Institut de recherche
en biologie végétale

CONSOLIDATION D'UN RÉSEAU D'ESSAIS EN FORÊT FEUILLUE POUR LA RÉGION

Rapport final préparé par
Alain Cogliastro

Présenté à la
Conférence régionale des élus
de la Vallée-du-Haut-Saint-Laurent
Fonds pour la mise en oeuvre
du plan régional de développement intégré
des ressources naturelles et du territoire (PRDIRT)
de la Vallée-du-Haut-Saint-Laurent

Mars 2014

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 chargés de recherche, étudiants à la maîtrise et au doctorat et chercheurs post-doctoraux. Les recherches sont de natures 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 deux bibliothèques spécialisées en botanique.

Équipe de travail

ALAIN COGLIASTRO — Jardin botanique de Montréal
Ph.D. Écologie forestière — Institut de recherche en biologie végétale

LÉA BOUTTIER — Institut de recherche en biologie végétale
Assist. de recherche, M.Sc. Sc. biologie

STÉPHANE DAIGLE — Institut de recherche en biologie végétale
Statisticien, Bacc. Statistique

Pour fin de citation :

Alain Cogliastro 2014. Consolidation d'un réseau d'essais en forêt feuillue pour la région. Présenté à la Conférence régionale des élus de la Vallée-du-Haut-Saint-Laurent. Fonds pour la mise en oeuvre du plan régional de développement intégré des ressources naturelles et du territoire (PRDIRT) de la Vallée-du-Haut-Saint-Laurent. Institut de recherche en biologie végétale. 73p.

Institut de recherche
en biologie végétale

CONSOLIDATION D'UN RÉSEAU D'ESSAIS

EN FORÊT FEUILLUE POUR LA RÉGION

Rapport final préparé par
Alain Cogliastro

Présenté à la
Conférence régionale des élus
de la Vallée-du-Haut-Saint-Laurent
Fonds pour la mise en oeuvre
du plan régional de développement intégré
des ressources naturelles et du territoire (PRDIRT)
de la Vallée-du-Haut-Saint-Laurent

TABLE DES MATIÈRES

ÉQUIPE DE TRAVAIL 3

TABLE DES MATIÈRES 7

LISTE DES FIGURES 9

LISTE DES TABLEAUX 11

INTRODUCTION 13

I-PLANTATIONS DE FEUILLUS NOBLES ACCOMPAGNÉS D'ESPÈCES À CROISSANCE RAPIDE 16

PLANTATIONS MÉLANGÉES DE FEUILLUS NOBLES AVEC MÉLÈZES ET ROBINIERS PSEUDOACACIA 17
INTRODUCTION 17
MÉTHODE 18
RÉSULTATS 19
CONCLUSION 22
LA POPULICULTURE EN PRODUCTION DOUBLE 24
AVEC DES FEUILLUS NOBLES 24
DESCRIPTION DU PROJET 24
RÉSULTATS 25
CONCLUSION 30

II-PLANTATIONS DE FEUILLUS NOBLES ACCOMPAGNÉS D'ARBRES ET D'ARBUSTES EN ABRIS LATÉRAL ET DE PROXIMITÉ 31

PLANTATIONS AVEC ACCOMPAGNEMENT : SITE PÉLADEAU 32
INTRODUCTION 32
MÉTHODOLOGIE 33
DESCRIPTION DU SITE 33
DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL 34
MESURES 35
RÉSULTATS 36
HAUTEUR 36
HISTORIQUE DE DISPONIBILITÉ EN LUMIÈRE 38
CONCLUSION 40

III- ESSAI DE NOYERS HYBRIDES 42

PLANTATIONS DE NOYERS HYBRIDES : 43
ÉVALUATION DU POTENTIEL AU QUÉBEC 43
DESCRIPTION DU PROJET 43
RÉSULTATS 44
CONCLUSION 47

IV- PEUPLIERS INSTALLÉS À LARGE ESPACEMENT 48

DESCRIPTION 49
RÉSULTATS 49
CONCLUSION 50

V- PLANTATIONS D'ENRICHISSEMENT SOUS COUVERT FORESTIER 51

PLANTATION SOUS COUVERT PAR BANDE : PROTECTIONS ET DIMENSIONS DES PLANTS À L'ESSAI 52
DESCRIPTION 52
RÉSULTATS 54
CONCLUSION 58
L'ENRICHISSEMENT PAR LA PLANTATION SOUS COUVERT FORESTIER : 16 ANS DE CROISSANCE 61
DESCRIPTION DU PROJET 61
RÉSULTATS 62
CONCLUSION 65

REMERCIEMENTS 66

ANNEXE 1 : PLAN DU SITE ALLARD : 67

ANNEXE 2 : PLAN DU SITE LANDRAU 68

ANNEXE 3 : ATTÉNUATION DE LA LUMIÈRE PAR LES MANCHONS PROTECTEURS 69

RÉFÉRENCES 72

LISTE DES FIGURES

FIGURE 1 SURVIE EN 2012 DE CHACUN DES TROIS CLONES SUR CHAQUE PIÈCE (A ET B).....26
FIGURE 2 ÉVOLUTION DU DIAMÈTRE (CM) DE 3 CLONES DE PEUPLIERS DE 13 ANS SELON DEUX TRAITEMENTS (CHAMPS A & B).....27
FIGURE 3 ÉVOLUTION DE LA HAUTEUR(M) DE 3 CLONES DE PEUPLIERS DE 13 ANS SELON DEUX TRAITEMENTS (CHAMPS A & B).....28
FIGURE 4 ÉVOLUTION DE LA CROISSANCE EN HAUTEUR DES FEUILLUS DE 13 ANS PLANTÉS ENTRE LES RANGÉES DE PEUPLIERS 29
FIGURE 5 HAUTEUR (CM) EN 2012 DU NOYER NOIR (NON) ET DU CHÊNE ROUGE (CHR) EN FONCTION DE L'ESPÈCE FORMANT L'ABRI LATÉRAL, SOIT LE PIN BLANC, LE SAULE OU SANS ABRI (TÉMOIN), ET SELON L'ESPÈCE FORMANT L'ABRI DE PROXIMITÉ : SANS ABRI (TÉMOIN), *ELAEAGNUS ANGUSTIFOLIA* (EA), *HIPPOPHAE RHAMNOIDES* (HR) ET *SALIX VIMINALIS* (SV).....37
FIGURE 6 DIAMÈTRE (CM) EN 2012 DU NOYER NOIR (NON) ET DU CHÊNE ROUGE (CHR) EN FONCTION DE L'ESPÈCE FORMANT L'ABRI LATÉRAL, SOIT LE PIN BLANC, LE SAULE OU SANS ABRI (TÉMOIN), ET SELON L'ESPÈCE FORMANT L'ABRI DE PROXIMITÉ : SANS ABRI (TÉMOIN), *ELAEAGNUS ANGUSTIFOLIA* (EA), *HIPPOPHAE RHAMNOIDES* (HR) ET *SALIX VIMINALIS* (SV).....37
FIGURE 7 RATIO HAUTEUR/DIAMÈTRE (CM) EN 2012 DU NOYER NOIR (NON) ET DU CHÊNE ROUGE (CHR) EN FONCTION DE L'ESPÈCE FORMANT L'ABRI LATÉRAL, SOIT LE PIN BLANC, LE SAULE OU SANS ABRI (TÉMOIN), ET SELON L'ESPÈCE FORMANT L'ABRI DE PROXIMITÉ : SANS ABRI (TÉMOIN), *ELAEAGNUS ANGUSTIFOLIA* (EA), *HIPPOPHAE RHAMNOIDES* (HR) ET *SALIX VIMINALIS* (SV).....38
FIGURE 8 LUMIÈRE DISPONIBLE – A) EN 2005 ET – B) EN 2008 SELON L'ESPÈCE FORMANT L'ABRI LATÉRAL, SOIT LE PIN BLANC (PIB), LE SAULE (SVIM) OU AUCUN ABRI LATÉRAL ET SELON L'ESPÈCE FORMANT L'ABRI DE PROXIMITÉ, SOIT *ELAEAGNUS ANGUSTIFOLIA* (EA), *E. COMMUTATA* (EC), *HIPPOPHAE RHAMNOIDES* (HR), *SALIX VIMINALIS* (SVIM) OU AUCUN ABRI DE PROXIMITÉ (TÉMOIN).....40
FIGURE 9 DIAMÈTRE (CM) ATTEINT EN 2013 (13 ANS) POUR CHAQUE TYPE DE NOYERS SUR CHAQUE SITE. *ESTRIE= NOYER NOIR D'ESTRIE, MTL= NOYER NOIR DE MONTRÉAL, NG23 ET NG38=HYBRIDES ENTRE JUGLANS NIGRA X J.REGIA.* 45
FIGURE 10 HAUTEUR (CM) ATTEINTE EN 2013 (13 ANS) POUR CHAQUE TYPE DE NOYERS SUR CHAQUE SITE. ESTRIE= NOYER NOIR D'ESTRIE, MTL= NOYER NOIR DE MONTRÉAL, NG23 ET NG38=HYBRIDES ENTRE *JUGLANS NIGRA X J.REGIA.* 46
FIGURE 11 A) PROTECTEUR DE TYPE FREEGRO À LARGES MAILLES (5MM X 5MM); B) PROTECTEUR DE TYPE CLIMATIC À MAILLES DE 2MM X 2MM; C) PROTECTEUR FABRIQUÉ DE TYPE GRILLAGE À LARGES MAILLES.....54
FIGURE 12 HISTOGRAMME REPRÉSENTANT LA RÉPARTITION, PAR BLOC EXPÉRIMENTAL (1-6), DE LA LUMIÈRE MESURÉE EN 2008 ET 2009 À 1,5M DU SOL POUR LA PLANTATION PAR BANDES INITIÉE EN 2008. 55
FIGURE 13 TAUX DE LUMIÈRE DISPONIBLE À LA CIME DES ARBRES DANS CHAQUE TRAITEMENT, EN 2008 ET 2009, EN PLANTATION PAR BANDES INITIÉES EN 2008. CHG= CHÊNE À GROS FRUIT ET CHR= CHÊNE ROUGE. *VALEUR DE LUMIÈRE DISPONIBLE CALCULÉE À L'INTÉRIEUR DES MANCHONS PROTECTEURS ET À LA CIME DES PLANTS TÉMOIN ET PFD. 55
FIGURE 14 TAUX DE SURVIE EN 2013, SELON LE TYPE DE PLANT, 2 OU 4 ANS (PFD) À LA PLANTATION, ET LE TYPE DE PROTECTEUR EN PLANTATION PAR BANDE INITIÉE EN 2008. CET= CERISIER TARDIF, CHG= CHÊNE À GROS FRUIT ET CHR= CHÊNE ROUGE. 56
FIGURE 15 CROISSANCE EN HAUTEUR, SELON LE TYPE DE PLANT, 2 OU 4 ANS (PFD) À LA PLANTATION, ET LE TYPE DE PROTECTEUR EN PLANTATION PAR BANDE INITIÉE EN 2008. CET= CERISIER TARDIF, CHG= CHÊNE À GROS FRUIT ET CHR= CHÊNE ROUGE. 57
FIGURE 16 ÉVOLUTION DU TAUX DE LUMIÈRE (%PPFD) DISPONIBLE À 2M DU SOL DE 2000 (ANNÉE 3) À 2013 (ANNÉE 16) SUR LES SITES ST-CHRYSOSTOME ET STE-CLOTILDE SELON LE TYPE DE TRAITEMENT (ÉCLAIRCIES ANNÉES 7-15 *VS* ANNÉES 3-7-15).....62

FIGURE 17 ÉVOLUTION DE LA HAUTEUR MOYENNE DES CHÊNES ROUGES ET DES CERISIERS TARDIFS DE L'AN 2 APRÈS PLANTATION (1999) À L'AN 16 (2013) SUR LES SITES ST-CHRYSOSTOME ET STE-CLOTILDE SELON LE TYPE DE TRAITEMENT (ÉCLAIRCIES ANNÉES 7-15 *VS* ANNÉES 3-7-15). 64
FIGURE 18. POURCENTAGE (%) DE LUMIÈRE TRANSMISE À L'INTÉRIEUR DU MANCHON PROTECTEUR CLIMATIC À DIFFÉRENTES HAUTEURS (CM) 69
FIGURE 19. POURCENTAGE (%) DE LUMIÈRE TRANSMISE À L'INTÉRIEUR DU MANCHON PROTECTEUR FREEGRO À DIFFÉRENTES HAUTEUR (CM) 70

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU 1 HAUTEUR 2008, 2009, 2013 ET SURVIE 2013. CHR= CHÊNE ROUGE, FRA= FRÊNE D'AMÉRIQUE, CET= CERISIER TARDIF, NON= NOYER NOIR, BOP= BOULEAU À PAPIER, MEH= MÉLÈZE HYBRIDE, ROF= ROBINIER FAUX-ACACIA ('N'= CULTIVAR NYIRZEG ET 'P'= CULTIVAR PUSZTAVACS) 21
TABLEAU 2 DENSITÉ À L'HECTARE POUR CHAQUE GROUPE D'ARBRES 25
TABLEAU 3 NOMBRE ET POURCENTAGE (%) D'INDIVIDUS PRÉSENTANT DES SIGNES DE DÉPÉRISSEMENT EN 2009 DÛ AU CHANCRE SEPTORIEN (*SEPTORIA MUSIVA*) EN FONCTION DE CLASSES DE POURCENTAGE. ...26
TABLEAU 4 SURVIE ET DIMENSIONS DES FEUILLUS 2012.....28
TABLEAU 5 NOMBRE D'ARBRES ET DENSITÉ (HA) TOTAUX DANS CHAQUE SECTION OCCUPÉE PAR UN CLONE, DANS CHACUN DES DEUX CHAMPS. 30
TABLEAU 6 EFFECTIFS DES VÉGÉTAUX AYANT ÉTÉ PLANTÉS SUR LE SITE PÉLADEAU 35
TABLEAU 7 EFFECTIF, DENSITÉ, REJETS 2009, SURVIE, DIAMÈTRE (DHP), HAUTEURS 2013 POUR DEUX PLANTATIONS DE NOYERS HYBRIDES (NG23 ET NG 38) ET DE NOYERS NOIRS (ESTRIE ET MONTRÉAL). *ESTRIE= NOYER NOIR D'ESTRIE, MONTRÉAL= NOYER NOIR DE MONTRÉAL, NG23 ET NG38=HYBRIDES ENTRE JUGLANS NIGRA X J.REGIA.* 45
TABLEAU 8 SURVIE ET DIMENSIONS DES PEUPLIERS AINSI QUE NOMBRE DE CAS DE FROTTIS PAR LE CERF ET DE PRODUCTIONS DE REJETS 50
TABLEAU 9 RÉSULTATS DES ANALYSES DE SOL DU SITE ALLARD MESURÉES EN 2008 52
TABLEAU 10 DISTRIBUTION DES ESPACEMENTS ENTRE LES ARBRES VIVANTS.....60
TABLEAU 11 LUMIÈRE DISPONIBLE MESURÉE EN 2013 (ANNÉE 16) À 4M DU SOL SUR CHAQUE SITE DANS CHAQUE PARCELLE TRAITEMENT. UNE ÉCLAIRCIE A ÉTÉ PRATIQUÉE À LA 15IÈME ANNÉE.....63
TABLEAU 12 RATIO HAUTEUR/DIAMÈTRE (H/D), DIAMÈTRE ET HAUTEUR MOYENS DE CHAQUE ESPÈCE SELON DEUX PÉRIODICITÉS D'ÉCLAIRCIES SUR DEUX SITES. 64

Introduction

Plusieurs projets novateurs de plantations d'arbres ont été initiés au cours des deux dernières décennies en Montérégie et de manière importante sur le territoire de la Vallée-du-Haut-Saint-Laurent. Le cumul de résultats de référence concernant de nouvelles pratiques, notamment dans le cas de la sylviculture de plantation de feuillus, est essentiel pour progresser. Nous croyons que la diversité des avenues sylvicoles développées et analysées ici est de nature à alimenter plusieurs objectifs très concrets dont ceux liés à l'augmentation des superficies forestières, au rehaussement de la qualité des nombreuses forêts postagricoles, à la production de bois de qualité, à la planification et à l'établissement d'éventuels corridors, etc. Les systèmes sylvicoles proposés ont été élaborés en cherchant à retenir certains éléments clés du fonctionnement des écosystèmes, comme la diversité en espèces, la diversité fonctionnelle, la diversité de structure. Un choix raisonné des espèces et de leur disposition a été fait dans le but d'assurer le développement ou le maintien d'une ambiance forestière. Ces éléments composant le fondement des actions sylvicoles proposées viennent soutenir la vision d'une forêt qui soit résiliente face aux changements globaux qui s'opèrent.

Pour que certains sites de plantation puissent maintenir leur statut de sites de démonstration, où on peut juger du résultat des interventions en vue d'accroître nos succès, il est nécessaire de consacrer des ressources financières conséquentes.

I) Ces appuis financiers permettent de réaliser la séquence ordonnée dans le temps des interventions sylvicoles qui ont été prévues dans la conduite de dispositifs aux objectifs clairs. *II)* L'aide consentie par la collectivité assure qu'un organisme compétent réalise le suivi des résultats produits par les interventions. *III)* Cette aide permet de faire connaître les diverses initiatives sylvicoles de démonstration et de diffuser leurs résultats aux propriétaires, conseillers forestiers, etc.

Idéalement, ces initiatives sont conçues dès le départ en concertation entre plusieurs intervenants qui identifient les problématiques à inclure aux dispositifs de démonstration. En finalité, les résultats obtenus par ces essais présentent diverses avenues de production

forestière au service d'une vaste gamme de besoins de production et de protection de l'environnement, notamment ceux identifiés par le PRDIRT[1]. Les résultats permettent également d'ajuster les programmes d'aide aux propriétaires.

Les sites de démonstration sélectionnés pour la valeur des approches et des résultats attendus, vont demeurer intéressants dans la mesure où ils reçoivent les interventions qui permettent de réaliser le plein potentiel du site et des espèces en place. Pour ces sites choisis, nous devrons souvent devancer les intentions des propriétaires pour appliquer les interventions afin de produire des exemples sylvicoles qui se démarquent. Soulignons notamment que plusieurs des plantations de feuillus présentées ici, dont certaines ont près de 20 ans aujourd'hui, ont été installées à haute densité (1500-2500/ha), alors que plusieurs conclusions de travaux fixent le potentiel de production de bois feuillus de haute valeur en plantation à un maximum de 200 arbres feuillus/ha à la récolte. L'éclaircie en plantations est fréquemment appliquée trop tardivement ou n'est même pas réalisée. Il nous faut présenter des plantations de démonstration où, non seulement les éclaircies, mais l'ensemble des interventions sylvicoles, ont été appliquées de façon dynamique en vue d'une production rapide de bois de haute valeur.

L'appui financier régional existe depuis plusieurs années mais la réalité des programmes d'appui aux initiatives forestières est peu adaptée pour aborder les questions sylvicoles qui sont de l'ordre du moyen et du long terme. Les résultats des initiatives originales de plantation qui sont présentés ici ont été rendus possibles par la répétition de plusieurs demandes d'appui financier. Cette répétition ne doit évidemment pas être sans fin mais peut être récurrente les premières années pour s'estomper graduellement. Nous considérons que la situation a été plutôt favorable depuis 1998 en Montérégie pour construire un réseau de démonstration et le suivre avec l'appui du Programme de mise en valeur des ressources du milieu forestier - Volet II. Les nouveaux programmes administrés par les CRÉ sont maintenant moins bien adaptés pour appuyer l'évolution du réseau. Le contexte de financement a considérablement augmenté le risque de réaliser trop tardivement certaines interventions ou de rater l'apparition d'un problème particulier

[1] Plan régional de développement intégré des ressources et du territoire

sur un site. Ainsi, les investissements initiaux peuvent ne pas être parfaitement optimisés. Pour qu'un réseau de sites de démonstration puisse véritablement être nommé ainsi, l'appui financier à son déploiement et à son soutien reste à inventer.

Le présent rapport fait état de l'application de diverses interventions qui cherchent à optimiser la croissance des arbres sur un réseau de sites reconnus pour la qualité de leur contenu (approche et résultats). Les interventions réalisées ont été principalement : éclaircie, taille de formation et d'élagage, dégagement, protection cerfs, mesures des arbres, de la lumière. Les sites présentés ici soutiennent différents objectifs de plantations : en milieux ouverts, des propositions de plantations diversifiées, planifiées pour accroître efficacement les superficies forestières; des plantations qui mélangent des espèces de différents rythmes de croissance; qui intègrent des espèces hybrides à fort potentiel; sous le couvert de jeunes forêts postagricoles, la plantation d'arbres est proposée pour les enrichir et accroître leur résilience et leur potentiel économique; on y présente aussi différents systèmes de protection aux cerfs.

Les sites du réseau qui est ici initié comprennent toujours différents éléments de comparaison, soit divers traitements (éclaircie, protection) ou soit différentes espèces ou conditions de sol. Le potentiel d'enseignement de ces sites est très grand. Le détail des interventions conduites sur les sites accompagnent les résultats de croissance mesurés en 2012 et 2013.

I-PLANTATIONS DE FEUILLUS NOBLES ACCOMPAGNÉS D’ESPÈCES À CROISSANCE RAPIDE

PLANTATIONS MÉLANGÉES DE FEUILLUS NOBLES AVEC MÉLÈZES ET ROBINIERS PSEUDOACACIA

INTRODUCTION

Le robinier faux-acacia est un arbre pouvant atteindre 25 mètres, qui peut croître sur une grande variété de sols et qui affectionne particulièrement les sites perturbés (Burns et Honkala, 1990). Ses principaux avantages sont sa croissance juvénile très rapide et son bois résistant de grande valeur (Call et Nilsen, 2003). Par exemple, la croissance des repousses issues des souches et des racines peut atteindre 8 m en trois ans (Boring et Swank, 1984b). Le bois du robinier peut être récolté au terme d'une rotation de 20 à 40 ans (Demené et Merzeau, 2007) et être utilisé dans la production de pâtes et papiers, comme combustible ou dans la fabrication de meubles et structures pour des usages extérieurs (Burns et Honkala, 1990; Forêt Entreprise, 2007). En effet, le robinier est réputé pour sa résistance à la pourriture par ses propriétés antifongiques et antibactériennes (Zhang *et al.*, 2008). Le robinier a également la propriété de fixer l'azote atmosphérique dans le sol et à cette fin, il peut être utilisé pour améliorer la fertilité des sols (Lee *et al.*, 2004). Cette fixation d'azote peut aussi être directement utilisée par les feuillus, tel le noyer noir qui est une espèce exigeante en azote (USFS, 2009). Ces caractéristiques font du robinier faux-acacia un candidat intéressant à utiliser en plantations mélangées. Non seulement il pourrait favoriser les feuillus nobles qu'il accompagne, mais il représente lui-même un produit commercial intéressant.

Le mélèze hybride, issu d'un croisement entre les mélèzes d'Europe et du Japon, a des avantages similaires à ceux du robinier. Étant également une espèce ayant la capacité de croître rapidement dans les premières années, le mélèze hybride domine les feuillus à croissance plus lente et crée lui aussi ce début d'ambiance forestière. Le mélèze hybride a également l'avantage d'avoir une tige d'une grande rectitude et une bonne tolérance aux maladies. Une première éclaircie commerciale au terme de 20 à 25 ans fournira du bois pour fabriquer de la pâte. Une dizaine d'années plus tard, les arbres restants auront augmenté en volume et pourront former des billes pour le sciage (Fortier, 2007). L'utilisation du mélèze est variée; pâtes et papiers, piquets de clôture, planchers,

meubles, etc. (Gilmore et David, 2002; Gauthier, 2006). De la même façon que le robinier, le mélèze pourrait s'avérer être un compagnon avantageux pour les feuillus nobles et pourra servir lui-même de produit commercial.

Deux plantations mélangées ont été établies afin de mettre à l'essai ces deux essences à croissance rapide. Cette étude vise donc à analyser les effets de l'accompagnement par le robinier et le mélèze sur la croissance et le développement de feuillus nobles.

MÉTHODE

En 2008, deux plantations désignées par le nom des propriétaires (Allard et Landrau), sont mises en place en Montérégie (municipalités de Saint-Anicet et Godmanchester). Selon les cartes pédologiques de l'étude de Mailloux et Godbout (1954), le site Allard (pH=5,6) est formé d'un sol sableux, soit 91,1% de sable, 6,5% de limon et 2,4% d'argile et le site Landrau (pH=6,2) possède un sol de la classe texturale du loam limoneux, avec 15,2% de sable, 56,8% de limon et 28% d'argile. Des rangs de feuillus nobles (CHG= chêne à gros fruits, FRA= frêne d'Amérique, CET= cerisier tardif, NON= noyer noir et CHR= chêne rouge) alternent avec des rangs d'espèces compagnes à croissance rapide (ROF= robinier faux-acacia[2] et MEH= mélèze hybride[3]). Les rangées sont espacées de 5m et l'intervalle sur le rang est de 2m. Des parcelles témoins sans robinier ou mélèze sont également en place, le bouleau blanc (BOP) chez Allard et le frêne d'Amérique chez Landrau, remplacent ces espèces à croissance rapide. Les plants ont été mis en terre au printemps 2008, sauf les robiniers faux-acacia qui ont été planté à l'automne 2008. Pour les 2 sites, la densité à la plantation est de 1000 tiges/ha. Ainsi, pour les parcelles où les rangs de feuillus alternant avec des rangs de robiniers ou mélèzes, on trouve l'équivalent de 600 tiges/ha de robiniers faux-acacia ou de mélèzes hybrides et 400 tiges/ha de feuillus nobles. Les parcelles témoin sont composées de l'équivalent de 1000 tiges/ha de feuillus nobles. Les plans des 2 dispositifs sont en annexe (Annexes 1 et 2). Tous les plants étaient âgés d'un an à la plantation (1+0). Les robiniers étaient en récipients, les feuillus à racines nues.

[2] Les plants en récipients des Rof ont été produits par le Jardin botanique de Montréal à partir de semences importées de France et issues de sélections sur des peuplements de Hongrie
[3] Production de la Pépinière de Berthier du MRNF

Le dispositif du site Allard, d'une superficie de 0,9 ha, intègre quatre blocs expérimentaux (Annexe 1) et celui de Landrau, d'une superficie de 0,784 ha, en compte cinq (Annexe 2). Sur les deux sites, les rangées d'arbres sont espacées de 5 m et les arbres sont espacés de 2 m sur les rangées (voir Annexes 1-2).

NB. Les plantations ont reçu 2 applications annuelles de répulsif à chevreuil (DeerAway®). À la fin de la saison 2009, la pose de protecteurs Freegro® sur la moitié des feuillus nobles a été réalisée sur les sites. Les sites Allard et Landrau ont été regarnis au printemps de 2009 suite à la mortalité importante de certaines espèces. Ainsi, sur le site Allard, le taux de survie à la fin de l'année 2008 était de 93%, mais la survie des mélèzes était à 82,5% et celles des cerisiers à 77,5%. Chez Landrau, le taux de survie était de 91% mais n'était que de 66% pour les mélèzes. En 2013, certains arbres prometteurs, mais d'une hauteur qui les rend encore vulnérables aux cerfs, ont été protégés par un protecteur de type climatic®.

RÉSULTATS

La première saison de croissance a été difficile pour les deux plantations, surtout au site Allard. Une forte teneur en eau des sols à la plantation, les effets de la transplantation et un fort abroutissement par le chevreuil en sont les principales causes. Les analyses précédentes (Moisan *et al.*, 2009) avaient montré un fort taux d'apex mort, généralement lié à la transplantation. Les robiniers, plantés en automne 2008, avaient aussi subi une descente de cime sur le site Allard en 2009 (Bouttier *et al.*, 2010).

Un regarni a été réalisé au printemps de 2009. Ainsi, 10% des arbres sont remplacés chez Allard, dont majoritairement des CET (29%) et des MEH (19%). Sur le site Landrau, c'est 16% des arbres qui sont remplacés, dont 36% de MEH. Il est à noter que les mélèzes hybrides morts étaient concentrés dans des parties très mal drainées du site et que de fortes pluies sont survenues en mai 2008 (au total, 138mm de pluie est tombé en mai, alors que la valeur normale est de 90mm, Environnement Canada, 2009). Ainsi, une partie du site était gorgée d'eau sur une longue période: les MEH ne tolèrent pas de telles

conditions (Ressources naturelles Canada, 2008). Les ROF, plantés à l'automne 2008, ne semblent pas avoir réalisé correctement l'aoutement puisqu'au printemps 2009, 88 % (Allard) et 64% (Landrau) survivent. Les individus morts ont tous été remplacés par des plants à racines nues (0+1). La survie générale à la fin de la saison de croissance 2009 est de 96% pour les deux sites. Ce taux est supérieur à 95 % pour toutes les espèces et sur les deux sites sauf pour le noyer noir du site Landrau (83%) et les robiniers du site Allard (88%) (Bouttier *et al.*, 2010).

L'abroutissement en 2009 reste important chez Allard (34,4%) malgré les applications de répulsif à chevreuil : 87,5% des BOP sont atteints et ce, principalement à l'apex (Bouttier *et al.*, 2010). Ceci explique leur faible accroissement en 2009 (4,2cm). En revanche, l'abroutissement est réduit sur le site Landrau puisque seulement 8,3% des arbres sont atteints. Les ROF sont broutés au niveau des feuilles (sans toucher les parties ligneuses) sur les deux sites mais les MEH ne le sont pas. Nous avons toutefois installé des manchons protecteurs de type Freegro ® sur le tiers des plants de feuillus nobles à l'automne de 2009 sur les deux sites.

Après six ans de croissance (2013) (5 ans dans le cas des robiniers)[4], les valeurs de survie les plus faibles sont obtenues des mélèzes (51% au site Landrau) et des robiniers (55% à 74% selon le site) et (Tableau 1). La forte mortalité des mélèzes sur le site Landrau est essentiellement concentrée sur les secteurs plus mal drainés notamment des blocs expérimentaux # 2-3-4 avec des taux de survie respectif de 38%, 53% et 40%.

Nos observations sur les deux sites confirment de fortes attaques de l'insecte cyllène du robinier (*Megacyllene robiniae*). Les blessures sur les robiniers sont provoquées par l'alimentation des larves dans l'écorce interne et dans l'aubier, et ensuite par le forage du bois massif (http://aimfc.rncan.gc.ca/insectes/fiche/881). Le forage concentré sur certains points sur l'arbre affaiblit plusieurs tiges au point d'en voir certaines cassées suite à de

[4] Les résultats 2013 intègrent tous les arbres sans distinction de ceux qui ont été installés en regarni à la seconde année.

forts vents. Les secteurs de mauvais drainage au site Landrau (blocs #2 et 3 notamment) affectent également la survie du robinier sur ce site.

Tableau 1 Hauteur 2008, 2009, 2013 et survie 2013. Chr= chêne rouge, Fra= frêne d'Amérique, Cet= cerisier tardif, Non= noyer noir, Bop= Bouleau à papier, Meh= mélèze hybride, Rof= robinier faux-acacia ('n'= cultivar nyirzeg et 'p'= cultivar pusztavacs)

Site	Espèce	Traitement d'accompagnement	Hauteur 2008 (cm)	Hauteur 2009 (cm)	Hauteur 2013 (cm)	Survie 2013
Landrau	CHR	Frêne (Fra)	71	87	305	87%
		mélèze	63	71	185	60%
		robinier	66	78	299	70%
	FRA	Frêne (Fra)	108	140	504	97%
		mélèze	95	134	435	97%
		robinier	97	132	431	97%
	NON	Frêne (Fra)	43	66	286	89%
		mélèze	39	54	235	50%
		robinier	48	75	298	86%
	Espèces compagnes					
	MEH		86	115	429	51%
	FRA		102	136	473	99%
	ROF (n)		102	115	462	61%
	ROF (p)		99	116	504	55%
Allard	CET	Bouleau (Bop)	39	69	212	85%
		mélèze	46	70	272	75%
		robinier	41	69	224	90%
	CHG	Bouleau (Bop)	53	56	198	97%
		mélèze	50	56	230	100%
		robinier	52	58	205	100%
	CHR	Bouleau (Bop)	65	71	190	91%
		mélèze	61	65	217	86%
		robinier	58	61	171	93%
	Espèces compagnes					
	MEH		79	143	502	86%
	BOP		75	79	235	86%
	ROF (n)		103	101	299	74%
	ROF (p)		106	85	280	58%

La dimension atteinte par les arbres vivants est généralement satisfaisante (Tableau 1, voir hauteur 2013). La majorité des arbres présente une hauteur qui surpasse celle du protecteur. Les plus fortes croissances moyennes en hauteur sont obtenues des robiniers sur le site Landrau et des mélèzes au site Allard. Les frênes d'Amérique du site Landrau

sont également très productifs. Le chêne rouge du site Landrau est moins haut lorsqu'il est accompagné de mélèzes (Tableau 1). L'effet est possiblement associé à la plus forte mortalité du mélèze qui réduisant la protection aux vents. C'est aussi possible que les zones de mélèzes soient aussi celles les moins bien drainées, en dépit du positionnement aléatoire des traitements. Sur le site Allard, les cerisiers et chênes accompagnés des mélèzes ont tendance à être plus hauts que ceux accompagnés de bouleaux ou de robiniers (*non statistiquement validé en raison de la forte variabilité des résultats*) (Tableau 1). L'effet de l'accompagnement sur ce site apparaît davantage que sur le site Landrau, probablement en raison d'une plus grande régularité des conditions de croissance des espèces qui expriment davantage leur potentiel. C'est également un site plus exposé aux vents où la protection par les mélèzes est plus effective.

Dans le cas notamment des bouleaux et des cerisiers, on a fréquemment observé que, sous l'effet des protecteurs Freegro ®, l'étiolement de la tige produit une faible capacité à soutenir verticalement sa cime feuillée. L'inclinaison de la cime provoque un frottement entre le tronc et le sommet du protecteur (anneau métallique dans le cas du Freegro©) qui blesse cette partie du tronc. Dans ces cas, le retrait du protecteur nécessite la pose d'un tuteur. Le suivi sera essentiel pour retirer ce tuteur et ses attaches le plus tôt possible.

CONCLUSION

L'étude du potentiel des Robiniers faux-acacias dans le sud du Québec peut compter sur ces dispositifs qui présentent des conditions de sols contrastées. La forte présence de l'insecte cyllène du robinier a été surprenante et décevante. En effet, plusieurs robiniers de forte dimension sont présents dans nos paysages du sud du Québec, ce qui soutenait son potentiel en plantations plus formelles. Nous croyons à ce stade-ci que le robinier est particulièrement sensible au jeune âge avec un faible diamètre, pendant que la barrière d'écorce n'est pas encore importante. Le badigeonnage des troncs au lait de chaux mériterait d'être mis à l'essai. Le développement de la forme des robiniers résiduels

prometteurs devrait faire l'objet d'une attention particulière pendant les prochaines années pour obtenir des fûts de qualité.

Les résultats de survie du mélèze hybride soulignent l'importance des conditions de drainage. Le site Landrau possède une microtopographie où deux zones légèrement plus basses présentent des conditions d'hydromorphie. Cela explique les disparités de croissance des individus de MEH sur ce site. Alors que la mortalité est élevée chez les mélèzes hybrides retrouvés dans les parties mal drainées, ceux des autres secteurs ont eu une bonne croissance atteignant une moyenne de plus de 4m après 6 ans. La préparation du site aurait pu permettre de relever les secteurs les plus bas en pratiquant une culture sur billons.

LA POPULICULTURE EN PRODUCTION DOUBLE AVEC DES FEUILLUS NOBLES

DESCRIPTION DU PROJET

L'étude a été menée à partir de l'an 2000 à St-Rémi (45°14´ N., 73°40´ O.), dans la Municipalité régionale de comté (MRC) des Jardins de Napierville. Le sol est un loam contenant 20 % d'argile et 50 % de sable, avec une bonne capacité d'échange cationique (20,6 meq/100 g), une faible teneur en phosphore (27 kg/ha), un drainage modéré à imparfait et un pH neutre (6,9).

Le dispositif est composé de 2 pièces (A = 1,3ha et B = 1,7ha) qui diffèrent selon l'espacement entre les rangées de feuillus nobles et de PEH (A = 6 m, B = 8 m). Chacune des pièces est divisée en 4 blocs aléatoires complets, comprenant chacun 5 rangées de PEH et 4 rangées de feuillus nobles, de façon à ce que tous les rangs de feuillus soient accompagnés des 2 côtés par un rang de PEH. Les PEH ont été plantés initialement à tous les 2 m sur le rang, à raison de 9 plants contigus pour chacun des trois clones (Populus nigra x maximowiczii NM-3729, Populus deltoides x nigra DN-3308, Populus trichocarpa x deltoides TD-3230). Chaque bloc est scindé en trois parties, chacune occupée par un des 3 clones désigné de façon aléatoire. Les feuillus nobles, noyer noir (*Juglans nigra*) (NON) et frêne d'Amérique (*Fraxinus americana*) (FRA), sont plantés aux 3 m sur le rang, par groupe de 3 plants par espèce en alternance. En 2002, les arbres morts localisés dans des secteurs plus mal drainés ont été remplacés par le chêne à gros fruits (*Quercus macrocarpa*) (CHG) (n=27).

Une éclaircie réalisée au cours de l'hiver 2006 a permis d'augmenter l'espacement entre les PEH, qui était de 2m au départ, à entre 4 et 6 m sur les rangées en retirant près de deux arbres sur trois. Les PEH ont été élagués en 2003, 2005 et 2009 en visant à dégager, dans l'ordre, le tiers puis la demie de leur fût. Le dernier élagage atteint 6m de hauteur. Les feuillus ont été taillés en 2003, 2005, 2009 et 2012.

Entre 2004 et 2007, une étude comparative entre la culture intercalaire (soya trois ans et orge dernière année) et le hersage traditionnel a été conduite. Sur trois des cinq rangs de PEH des pièces A et B, le soya a été semé de 2004 à 2006, ensemencé de part et d'autre du rang par semis direct en visant une densité de 50 plants par m² et selon un espacement entre les rangs de 38 cm. En 2007 l'orge a remplacé le soya. Deux des cinq rangs de PEH des pièces A & B étaient sans culture et traités de part et d'autre du rang par deux hersages annuels. Le soya a reçu une application conventionnelle d'herbicides (mélange de FirstRate®, Pinnacle ® et Assure® II) au stade trifolié. La répression des herbacées à proximité des arbres est assurée par un paillis de plastique installé en bande continue. Les bandes d'herbacées colonisant l'interface paillis-soya ont été éliminées annuellement (2004-2007) grâce à l'application localisée de glyphosate (Round Up®). Ce dispositif a permis d'aborder l'agroforesterie en analysant les effets de la culture intercalaire sur la diversité biologique des sols (Lacombe *et al.*, 2007; Chifflot *et al.*, 2009) et sur la productivité et la nutrition dans un tel système (Rivest *et al.*, 2009a; Rivest *et al.*, 2009b).

RÉSULTATS

Peupliers hybrides

En 2012, la densité moyenne de PEH sur la parcelle A est de 125 tiges/ha, et varie de 148 tiges/ha pour le clone 3230 à 83 tiges/ha pour le clone 3729 (Tableau 2). La densité moyenne est de 94 tiges/ha sur la parcelle B et varie de 38 tiges/ha pour le clone 3729 à 122 tiges/ha pour le clone 3230. Les densités européennes en populiculture à des fins de production de gros bois avoisinent les 200 tiges/ha. Ici ils sont en mélange avec des feuillus. La densité finale globale sera présentée plus loin.

Tableau 2 Densité à l'hectare pour chaque groupe d'arbres

	Densité (/ha) par clone et par espèce en 2012			
	3230	3308	3729	Feuillus
Champ A	148	143	83	198
Champ B	122	121	38	150

Le clone 3729 présentait en 2009 des signes de dépérissement de sa cime chez 21,5% des arbres de la pièce A et 25% de ceux de la pièce B (Tableau 3). Plus de la moitié de ces

plants étaient atteints sur plus de 50% de la cime. Sur tout le site, seul un individu 3308 et un 3230 présentaient des signes similaires. Les rouilles son présentes mais en fin de saison. Le chancre septorien (*Septoria musiva*) apparaît être la principale cause du dépérissement du clone 3729.

Tableau 3 Nombre et pourcentage (%) d'individus présentant des signes de dépérissement en 2009 dû au chancre septorien (*Septoria musiva*) en fonction de classes de pourcentage.

		Classes de % de Dépérissement			
piece	**clone**	**0-49%**	**50-74%**	**75-100%**	**Total**
A	3230	1 (1,6%)	0	0	1 (1,6%)
	3308	0	0	0	0
	3729	3 (4,6%)	6 (9,2%)	5 (7,7%)	14 (21,5%)
B	3230	0	0	0	0
	3308	0	1 (1,4%)	0	1 (1,4%)
	3729	3 (5%)	5 (8,3%)	7 (11,7%)	15 (25%)

Les effets du chancre sur le clone 3729 ont progressé et sont bien exprimés sur sa survie de 2012 qui est moins de la moitié de celle des deux autres clones (Figure 1).

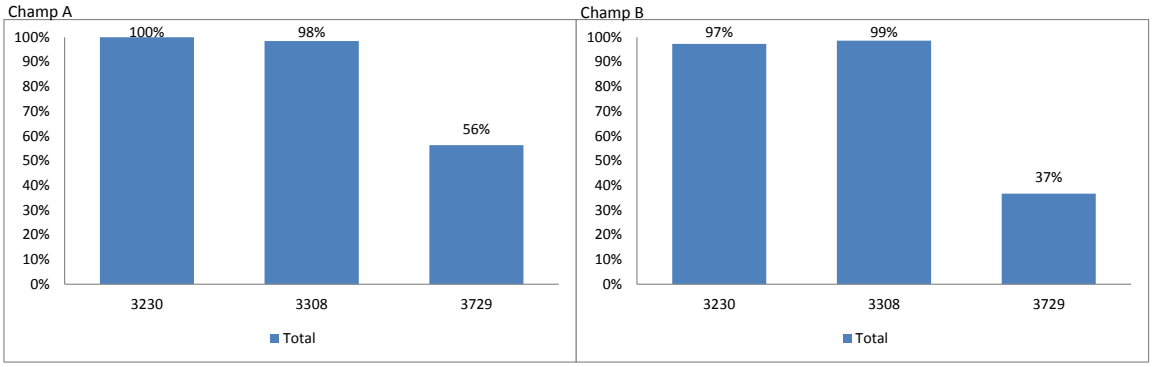


Figure 1 Survie en 2012 de chacun des trois clones sur chaque pièce (A et B)

La Figure 2 montre l'évolution des DHP des différents clones selon les traitements depuis 2005, sur les pièces A et B. Le clone 3729 a produit les résultats de DHP les plus faibles. On remarque dans les deux pièces une réduction de l'accroissement en diamètre de ce clone à partir de 2007, ce qui représente le début de l'effet du chancre septorien (Figure 2). Les clones 3230 et 3308 montraient des résultats de croissance en diamètre comparables au cours du temps sur les deux pièces jusqu'en 2009 (Figure 2). Depuis ce moment, au champ A, les arbres du clone 3308 qui ont été traités par hersage (de 2004 à

2007) ont réduit leur taux de croissance en comparaison à ceux qui étaient parmi un ensemencement de soya-orge (2004-2007) (Figure 2).

L'accroissement annuel moyen en diamètre (2009-2012) des clones sains 3230 et 3308 étaient respectivement de 2,5 cm et 2,1 cm sur la pièce A et de 2,6 cm et 2,3 cm sur la pièce B. Ceci correspond à un accroissement annuel moyen en circonférence de 7,5cm. L'objectif idéal serait de s'approcher de 10 cm. Une fertilisation en matière organique pourrait permettre d'atteindre l'objectif. Les besoins en azote des peupliers sont évidemment importants.

Le 3230 obtient les hauteurs les plus importantes en 2012 avec une moyenne de 20,7m sur la pièce A et 19,6m sur la pièce B (Figure 3). La différence de hauteur entre les clones est plus grande sur le champ B, là où le drainage est plus mauvais, le 3230 les tolère le mieux.

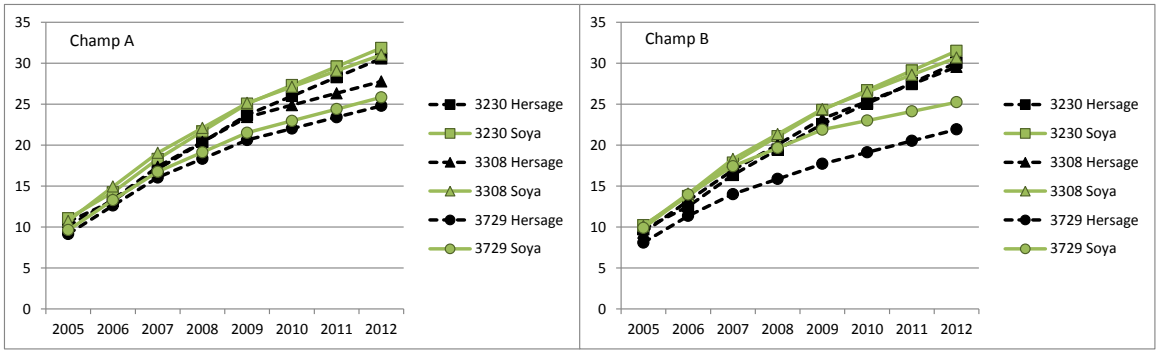


Figure 2 Évolution du diamètre (cm) de 3 clones de peupliers de 13 ans selon deux traitements (champs A & B)

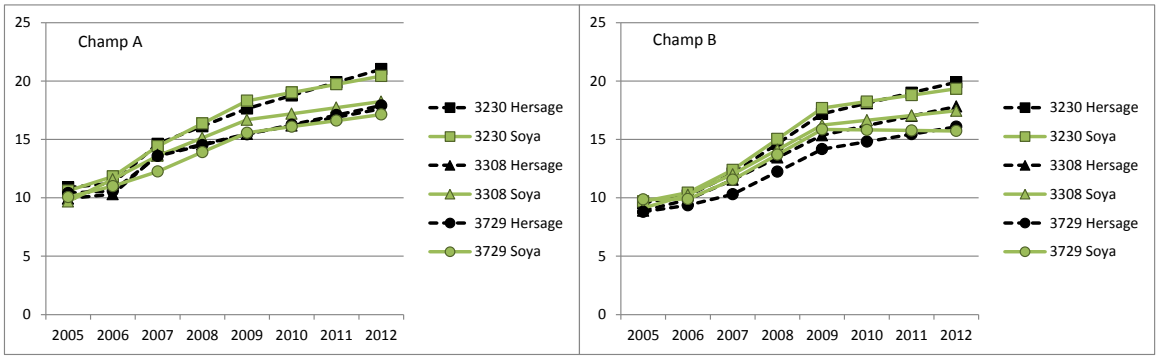


Figure 3 Évolution de la hauteur(m) de 3 clones de peupliers de 13 ans selon deux traitements (champs A & B)

Feuillus nobles

Le frêne d'Amérique présente un taux de survie presque parfaits en 2012 et le noyer noir est à près de 80% (Tableau 4). L'espacement au 3m sur le rang permet une éclaircie qui devrait être réalisée prochainement, le taux de survie de 80% du noyer noir permet encore suffisamment de choix. Les diamètres atteints par les deux espèces sont similaires et supérieurs sur la pièce A (Tableau 4).

Tableau 4 Survie et dimensions des feuillus 2012

Pièce	Espèces	Survie 2012 (%)	AAM du DHP de 2009-12 (cm)	DHP 2012 (cm)	Hauteur 2012 (m)	n
A	FRA	98	1,34	9,7	8,7	141
	NON	79	1,42	9,3	7,5	99
	CHG	89	1,16	7,4	6,2	18
B	FRA	98	1,28	8,4	7,7	141
	NON	81	1,41	8,6	6,0	110
	CHG	100	1,15	6,0	4,4	8
	AAM: Accroissement annuel moyen					

L'accroissement annuel moyen (AAM) en diamètre calculé sur les trois dernières années mesurées (2009-2012) a été supérieur pour les noyers noirs sur les 2 pièces (Tableau 4). C'est un changement depuis 2009 alors qu'entre 2007 et 2009 l'AAM en diamètre avait été supérieur chez le frêne. Le diamètre du noyer noir rattrape celui du frêne. L'AAM en diamètre des frênes et noyers obtenu ici est de 1,36 cm et correspond à un accroissement annuel en circonférence moyen de 4,3 cm ce qui est près de la référence de 5 cm que des

forestiers français (dont Jacques Becquey, IDF) m'ont présenté comme productivité satisfaisante à atteindre.

L'évolution de la hauteur des feuillus est présentée à la Figure 4. Ces données sont une référence importante pour évaluer à plus long terme la dynamique de croissance entre les peupliers et les feuillus. Rappelons que les peupliers sont hauts de 18m à 21m (Figure 3) et qu'ils bordent les feuillus qui sont à 6 m ou 8 m de distance des peupliers (respectivement pièce A et B). La disponibilité de la lumière pour les feuillus est fonction des dimensions relatives des deux groupes d'espèces, peupliers-feuillus. En 2012 les feuillus correspondaient à 30% à 40% de la hauteur des peupliers, selon l'espèce de feuillus et le clone de peupliers.

.

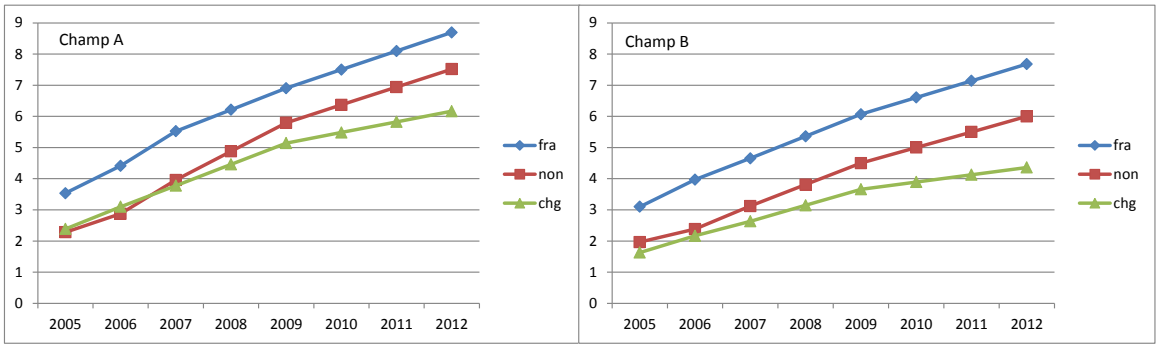


Figure 4 Évolution de la croissance en hauteur des feuillus de 13 ans plantés entre les rangées de peupliers

À l'observation, on constate que les feuillus présentent une masse foliaire qui devient plus clairsemée. Le ratio de la hauteur sur le diamètre (H/D) pour le FRA et le NON est respectivement de 90 et 81 dans la pièce A et de 91 et 70 dans la pièce B. Un ratio près de 60 serait préférable pour témoigner d'une largeur du houppier suffisante pour favoriser le développement en diamètre. Actuellement le développement en hauteur serait relativement trop important. Malgré que la densité soit moins importante dans la pièce B (Tableau 5), du fait de l'espacement de 8m entre les rangs (6m en pièce A), le ratio H/D reste inchangé pour le FRA. Il diminue cependant pour le NON. C'est la densité sur le rang qui apparaît maintenant trop élevée. L'espacement de 3m doit maintenant être accru par une éclaircie. La densité finale pourrait avoisiner les 200 arbres/ha alors qu'elle est de

288 à 369 arbres /ha dans le cas des parcelles de peupliers sains (3230 et 3308) (Tableau 5).

Tableau 5 Nombre d'arbres et densité (ha) totaux dans chaque section occupée par un clone, dans chacun des deux champs.

Champ A			CLONE	
Surface (ha)	**1,30**	3230	3308	3729
	Peuplier	64	62	36
	FRA	48	48	48
	NON	41	42	43
	CHG	7	6	5
Nombre total		160	158	132
Densité /ha		**369**	**365**	**305**
Champ B			CLONE	
Surface (ha)	**1,73**	3230	3308	3729
	Peuplier	71	70	22
	FRA	48	48	48
	NON	46	47	42
	CHG	2	1	6
Nombre total		167	166	118
Densité /ha		**290**	**288**	**205**

CONCLUSION

Les hybrides 3230 et 3308 présentent une forte productivité. Une fertilisation azotée serait bénéfique pour élever le taux de croissance en diamètre qui s'est estompé ces quatre dernières années. L'hybride 3729 est vulnérable au chancre septorien et ne doit plus être planté en Montérégie. Les feuillus nobles espacés de trois mètres sur leur rang devront être éclaircis prochainement de manière à maintenir leur taux de croissance et la régularité de la dimension des cernes de croissance à venir. Devant la menace de l'agrile du frêne, on s'attardera principalement à optimiser l'espacement des noyers et chênes à gros fruits.

II-PLANTATIONS DE FEUILLUS NOBLES ACCOMPAGNÉS D'ARBRES ET D'ARBUSTES EN ABRIS LATÉRAL ET DE PROXIMITÉ

PLANTATIONS AVEC ACCOMPAGNEMENT : SITE PÉLADEAU

INTRODUCTION

L'utilisation de plusieurs espèces au sein des plantations est proposée pour apporter plusieurs avantages comparativement aux monocultures. Plusieurs modèles de plantations mélangées peuvent être élaborés, un de ceux-là propose d'accompagner les feuillus nobles par des espèces qui formeront des abris de proximité et d'autres des abris latéraux bénéfiques aux feuillus.

Les espèces formant les abris de proximité auraient un effet de gainage sur les feuillus, ce qui pourrait limiter la croissance des branches latérales des feuillus nobles, augmentant ainsi la qualité de la tige (Garber et Maguire, 2005). Ces espèces, plantées entre les feuillus nobles sur un même rang, permettraient de gainer les plants (Becquey, 2006; Gavaland et Pagès, 2007).

Aussi, l'utilisation d'espèces plantées entre les rangs de feuillus nobles servent d'écran qui forme un abri latéral. De tels abris auraient des propriétés bénéfiques sur la croissance et le développement des feuillus nobles. En effet, l'écran formé par les abris latéraux force les feuillus à croître en hauteur pour atteindre la lumière (Gavaland et Pagès, 2007). Cet écran protège aussi les feuillus contre les intempéries, notamment le vent qui peut altérer la qualité des tiges (Forrester *et al.*, 2004).

Ainsi, les feuillus croissent verticalement plutôt qu'horizontalement et leur tige est plus droite grâce à l'effet de gainage de l'abri de proximité et la protection contre le vent de l'abri latéral. De plus, l'utilisation d'espèces comme le saule ou le pin blanc contribue à diversifier la production car ces essences pourront aussi être récoltées (Sayyad *et al.*, 2006).

Les végétaux du genre *Elaeagnus* (comme le chalef argenté et l'olivier de Bohème), sont utilisés depuis plusieurs années en plantation mélangées, notamment avec le noyer noir, puisque ce sont des végétaux qui ont la capacité de fixer l'azote, tel que rapporté par (von

Althen, 1990). Dans ces études, le noyer planté avec l'*Elaeagnus* était jusqu'à 256 cm plus haut que les plants témoins au terme de 10 ans.

L'argousier présente un port semblable à l'olivier. C'est un arbuste de la famille des Éléagnacées qui est originaire d'Europe et d'Asie. Il résiste à la sécheresse et peut tolérer des températures de -43°C à 40°C. Sa culture est de plus en plus populaire au Québec. En effet, son fruit, une petite baie orangée, est l'un des plus nutritifs et vitaminés du règne végétal. Il aurait des propriétés médicinales permettant entre autres de traiter les brûlures, la gingivite, les ulcères d'estomac et les maladies cardiovasculaires. Il existe depuis 2001 une Association des producteurs d'argousier du Québec (http://www.argousier.qc.ca/).

Très tôt dans l'histoire du Québec, le pin blanc a été utilisé par l'industrie forestière grâce à sa taille impressionnante et la qualité de son bois. Son exploitation fut très importante au 19e et au début du 20e siècle, jusqu'à en diminuer significativement les populations (Doyon et Bouillon, 2003). Jadis utilisé pour la fabrication des mats de bateaux et des meubles, on l'utilise aujourd'hui pour la construction de portes, fenêtres, moulures, placages, etc. Le pin blanc est mis à l'essai pour l'abri et la mixité qu'il apporte (Doyon et Bouillon, 2003).

MÉTHODOLOGIE

Description du site

Le site retenu, nommé Péladeau selon le nom de son propriétaire, se situe en Montérégie, dans la MRC du Haut-St-Laurent. Il s'agit d'un champ agricole abandonné d'une superficie de 1 ha et ayant reçu la plantation en 1999. Il fait la démonstration des effets d'une végétation d'accompagnement sur la croissance du chêne rouge et du noyer noir. Avant la plantation, les sols avaient été préparés en 1998 par labour, hersage et application de glyphosate. Un paillis de plastique de type agricole (1,22 m de largeur et 0,07 mm d'épaisseur) avait été installé de façon mécanique.

Dispositif expérimental

Le site est divisé en trois blocs comprenant chacun 21 rangs, dont 10 rangs de feuillus nobles (espacement 3m sur le rang), soit le chêne rouge et le noyer noir (accompagnés ou non). Ces derniers ont été plantés à raison de 540 plants à l'hectare (270 de chaque espèce). Entre les lignes de feuillus, 11 rangs sont occupés de saule (*Salix viminalis*), de pin blanc (*Pinus strobus*) ou d'aucune espèce afin d'analyser l'effet d'un abri latéral; les rangs sont espacés de 3 m. Des spirales contre les rongeurs ont été installées sur chaque plant, de même que du répulsif à cerf de Virginie (Deer Away ®) au printemps et à l'automne de chaque année jusqu'en 2002.

Sur la ligne des arbres feuillus, la végétation d'accompagnement, plantée à 1m du plant, varie et agit en guise d'abri de proximité. Quatre espèces arbustives à croissance rapide forment ce gainage, soit l'olivier de Bohème (*Elaeagnus angustifolia*), le chalef argenté (*Eleagnus commutata*), l'argousier faux-nerprun (*Hippophae rhamnoides*) et le saule (*Salix viminalis*). L'absence d'abri de proximité est également réalisée sur le site pour servir de témoin. Ainsi, les effets de toutes les combinaisons d'accompagnement peuvent être analysés : sans abri, avec abri latéral seulement, avec abri de proximité seulement, avec abris latéral et de proximité. Il est à noter que l'argousier n'est présent que dans deux des trois blocs du dispositif.

Les effectifs des espèces plantées dans le dispositif sont présentés au Tableau 6. En 1999 et en 2000, des noyers, des chênes et des pins ont été replantés suite à de mauvaises conditions climatiques et des problèmes sanitaires qui ont affecté l'établissement des premiers. Pour mettre en valeur le site de démonstration Péladeau, une première éclaircie des pins blancs (environ 30% des pins sont conservés) a été pratiqué en 2008. L'importance des dommages liés au charançon du pin blanc a convaincu le propriétaire de retirer l'ensemble des pins en 2012. Il a également coupé tous les arbustes d'accompagnement qui étaient trop dominants (Saule) ou qui n'avait plus d'effet (*Eleagnus*). Il a conservé l'argousier qui demeure à une hauteur adéquate. La taille de formation et d'élagage des feuillus a été réalisée au cours des années 2000-2004-2006-2008-2012.

Tableau 6 Effectifs des végétaux ayant été plantés sur le site Péladeau

Espèce	Effectif
Feuillus	
Chêne rouge (*Quercus rubra*)	270
Noyer noir (*Juglans nigra*)	270
Total	**540**
Espèces compagnes	
Olivier de Bohème (*Elaeagnus angustifolia*).	132[c]
Argousier faux-nerprun (*Hyppophae rhamnoides*)	120
Chalef argenté (*Eleagnus commutata*)	72[c]
Saule (*Salix viminalis*)	1850[a]
Pin blanc (*Pinus strobus*)	125[b]
Total	**2287**
Grand total	**2827**

[a] Nombre de boutures plantées en 1999. Toutes coupées en 2012
[b] En 1999, 429 pins blancs ont été plantés, il en restait 125 après l'éclaircie de 2008. Tous les pins blancs ont été retirés en 2012.
[C] Les deux espèces d'*Eleagnus* ont été retirés en 2012 par le propriétaire.

Mesures

La hauteur (cm) des feuillus nobles, des pins blancs et des espèces en accompagnement a été mesurée en 1999-2000-2001-2004-2005 et 2008 (Moisan *et al.*, 2009). En 2012, seuls les chênes rouges et noyers noirs ont été mesurés : le rôle des espèces compagnes étant de moindre importance à ce stade.

RÉSULTATS

Rappel : Le site Péladeau fait la démonstration de différents types d'accompagnement sur la croissance du chêne rouge (CHR) et du noyer noir (NON). Les espèces formant les abris latéraux sont le pin blanc (*Pinus strobus*) (Pib) et le saule (*Salix viminalis*) (Sv) et celles formant les abris de proximité sont l'olivier de Bohème (*Elaeagnus angustifolia*) (Ea), le chalef argenté (*Elaeagnus commutata*) (Ec), l'argousier (*Hyppophea rhamnoides*) (Hr) et le saule (Sv).

Note : L'abri de proximité produit par le chalef argenté (*Elaeagnus commutata*) a été très peu présent. Il ne sera donc pas considéré ici. L'arbuste est demeuré très bas et sa survie a diminuée à chaque année. Étonnamment, le saule a mis du temps (3-5 ans) avant de bien s'installer, autant en abri latéral que de proximité. L'argousier (*Hyppophea rhamnoides*) a été l'arbuste dont la croissance a été la mieux accordée à celle des feuillus. L'olivier de Bohème a également bien fait mais il a commencé à dépérir vers la 7 et 8ème année. La survie des NON et CHR a été respectivement de 95% et 97% pour l'ensemble du dispositif.

Hauteur

La Figure 5 présente la hauteur (cm) du chêne rouge et du noyer noir selon le type d'abri latéral. La hauteur du NON est maximale lorsque le saule est l'abri latéral en combinaison à Hr. C'est également la même tendance chez le CHR. L'abri latéral de pin blanc en combinaison avec Ea ou sans arbuste de proximité est également profitable pour la hauteur produite par le NON. Un abri latéral de pin blanc combiné au saule en abri de proximité produit la plus faible croissance en hauteur du NON. L'association aura produit un niveau de compétition probablement trop sévère. Pour le chêne rouge, l'effet de l'abri latéral sur la croissance en hauteur est moins marqué que chez le NON, seule la présence latérale de saules montre une tendance favorable (avec Hr, Ec, Ea) (Figure 5).

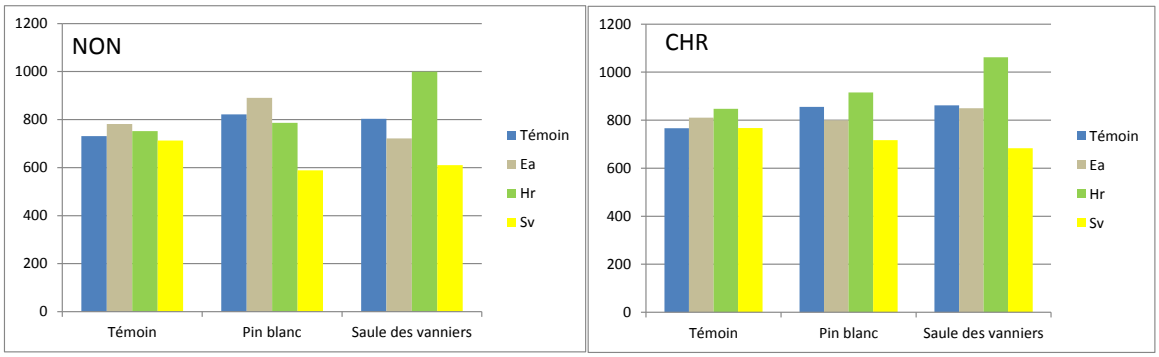


Figure 5 Hauteur (cm) en 2012 du noyer noir (NON) et du chêne rouge (CHR) en fonction de l'espèce formant l'abri latéral, soit le pin blanc, le saule ou sans abri (Témoin), et selon l'espèce formant l'abri de proximité : sans abri (Témoin), *Elaeagnus angustifolia* (Ea), *Hippophae rhamnoides* (Hr) et *Salix viminalis* (Sv).

L'effet sur le diamètre atteint par le NON et le CHR est significatif pour l'abri latéral (0,0087) et pour l'abri de proximité (0,0167) (Figure 6). L'abri latéral de saule aura généralement réduit le diamètre atteint alors que le pin blanc le favorise, l'effet étant plus marqué chez le NON. Le saule utilisé en abri de proximité réduit également le diamètre des deux espèces alors que Hr le favorise, notamment dans le cas du CHR.

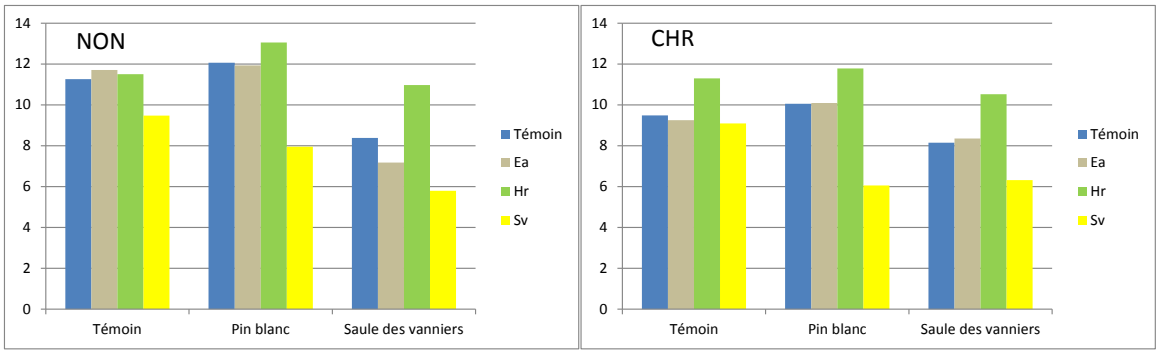


Figure 6 Diamètre (cm) en 2012 du noyer noir (NON) et du chêne rouge (CHR) en fonction de l'espèce formant l'abri latéral, soit le pin blanc, le saule ou sans abri (Témoin), et selon l'espèce formant l'abri de proximité : sans abri (Témoin), *Elaeagnus angustifolia* (Ea), *Hippophae rhamnoides* (Hr) et *Salix viminalis* (Sv).

L'effet sur le ratio hauteur/diamètre atteint par le NON et le CHR est significatif pour l'abri latéral (p=0,0021) et montre une forte tendance pour l'abri de proximité (p=0,0721) (Figure 7). Le saule en abri latéral a réduit le diamètre du NON (Figure 6), mais sans avoir avantagé sa hauteur (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). Un effet de compétition non souhaitable qui est illustré par un plus haut ratio hauteur/diamètre du

NON avec saule en abri latéral (Figure 7). Le cas du chêne rouge est similiaire avec un ratio H/D supérieur sous l'effet de l'abri latéral de saule (Figure 7). L'abri latéral de saule aura produit l'effet escompté, tirer l'arbre vers le haut au stade juvénile de croissance. L'abri latéral de Pin blanc, combiné à l'abri de proximité de saule provoque aussi un fort ratio H/D (Figure 7) surtout occasionné par un faible diamètre dans le cas du noyer (Figure 6). Encore l'expression d'un effet de compétition moins souhaitable.

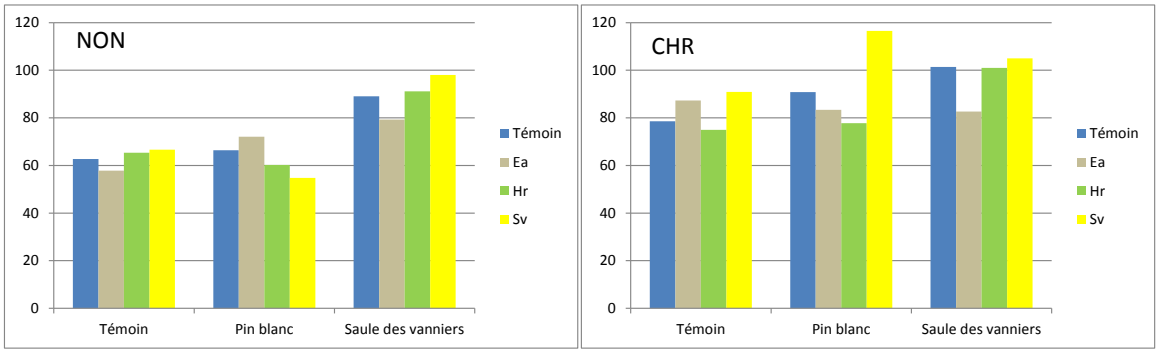


Figure 7 Ratio hauteur/diamètre (cm) en 2012 du noyer noir (NON) et du chêne rouge (CHR) en fonction de l'espèce formant l'abri latéral, soit le pin blanc, le saule ou sans abri (Témoin), et selon l'espèce formant l'abri de proximité : sans abri (Témoin), *Elaeagnus angustifolia* (Ea), *Hippophae rhamnoides* (Hr) et *Salix viminalis* (Sv).

Historique de disponibilité en lumière

La Figure 8 montre les mesures de lumière en 2005 (A) et en 2008 (B). En 2005, les mesures ont été prises à 1,5 m de hauteur, alors qu'elles ont été prises à 2 m de hauteur en 2008. Résultat, en 2005 la hauteur à laquelle la lumière est mesurée correspond en moyenne à 65% de la hauteur des arbres, alors que cette hauteur relative est de 41% en 2008. On ne peut donc pas comparer les deux années entre elles, d'autant plus que le feuillage des chênes et noyers est plus important en 2008 et affecte la transmission de la lumière. Ce qui est intéressant de constater, c'est qu'autant en 2005 qu'en 2008, des différences de lumière disponible existent entre les traitements et peuvent ainsi être attribuées à l'effet des abris.

En 2005, chez les arbres sans abri latéral (témoin), ce sont les arbres sans abris de proximité et ceux accompagnés du chalef (Ec) qui recevaient le plus de lumière, les trois autres traitements (Ea, Sv et Hr) ne sont pas différents entre eux (Figure 8A). Quand les

arbres sont accompagnés du pin (Pib) comme abri latéral, les traitements témoins et avec chalef (Ec) sont significativement différents des traitements avec argousier (Hr) et saule (Sv), les premiers laissant passer davantage de lumière. Le traitement avec olivier (Ea) est intermédiaire. Quand l'abri latéral est formé de saule (Svim), les traitements témoins et avec chalef (Ec) sont différents des traitements avec argousier (Hr) et saule (Sv), le traitement avec olivier (Ea) est intermédiaire (Figure 8A).

En 2008, ce sont principalement les espèces formant les abris de proximité qui modifient la disponibilité en lumière ($p < 0,0001$). Chez les arbres sans abris latéral (témoin), le traitement témoin est significativement différent des traitements avec argousier (Hr) et saule (Sv) en laissant passer davantage de lumière (Figure 8B). De plus, le traitement avec saule (Sv) laisse passer significativement moins de lumière que celui avec le chalef (Ec). Quand les arbres sont accompagnés du pin (Pib) comme abri latéral, le traitement témoin laisse passer significativement plus de lumière que les traitements avec argousier (Hr) et saule (Sv) qui sont les plus sombres du dispositif (Figure 8B). Aussi, les traitements avec olivier (Ea) et chalef (Ec) sont significativement différents du traitement avec saule (Sv) en laissant passer davantage de lumière. Quand les arbres sont accompagnés du saule comme abri latéral, la différence entre les abris de proximité n'est pas significative (Figure 8B).

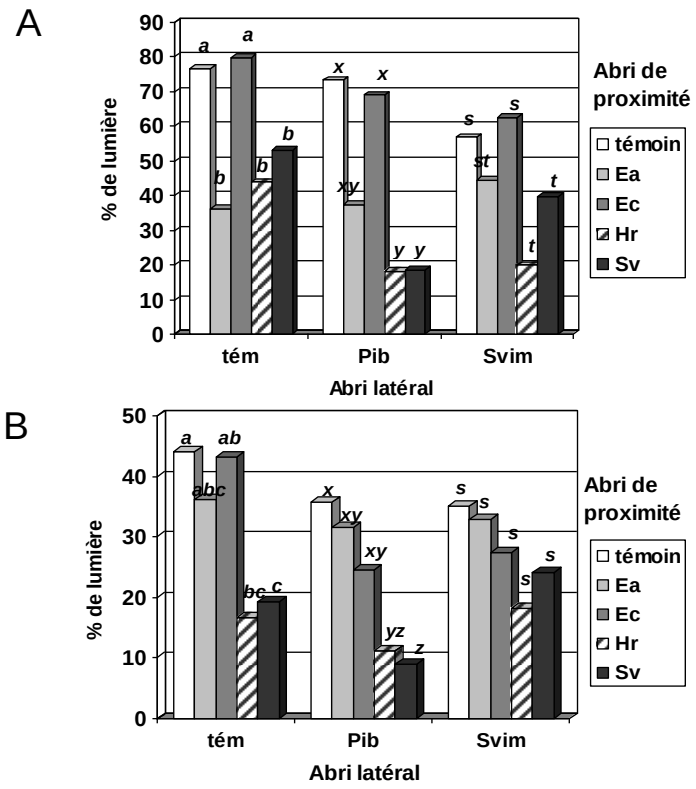


Figure 8 Lumière disponible – A) en 2005 et – B) en 2008 selon l'espèce formant l'abri latéral, soit le pin blanc (Pib), le saule (Svim) ou aucun abri latéral et selon l'espèce formant l'abri de proximité, soit *Elaeagnus angustifolia* (Ea), *E. commutata* (Ec), *Hippophae rhamnoides* (Hr), *Salix viminalis* (Svim) ou aucun abri de proximité (témoin).

CONCLUSION

Ce site offre maintenant quatorze années de mesures expérimentales du chêne rouge et du noyer noir en plantation avec accompagnement. Installé en 1999 dans la région d'Huntingdon en bordure de route, le site a été relativement peu affecté par le cerf. C'est également un site assez peu exposé aux vents d'ouest étant bordé par une forêt. Les effets de protection par les arbustes et les arbres installés en accompagnement aux NON et CHR sont probablement moins détectables et profitables qu'en situation très exposée. L'effet sur la disponibilité de la lumière et sur la compétition pour les ressources du sol sont cependant bien exprimés.

En considérant l'ensemble des interactions, l'abri latéral de Pin et de Saule nous apparait favorable et à conseiller pour une période de près de 10 ans. Pour une plus longue

période, le retrait de rangs de pins et de saules et/ou leur éclaircie est à programmer. Le saule installé sur quatorze ans a particulièrement réduit le diamètre du noyer. Plus tôt (à 10 ans), la période de construction du fut et le niveau de masse foliaire devraient être assez avancés pour débuter la réduction de la compétition par ces espèces secondaires. L'utilisation d'espèces en abri de proximité nous apparaît moins importante que de créer un abri latéral. Le rythme de croissance de ces espèces doit être bien ajusté à celui du feuillu, ce qui est difficile à maîtriser. L'argousier et l'olivier de bohème ont cependant été assez satisfaisants. Dans le cas de l'argousier, ses épines pourraient apporter une certaine protection aux cerfs.

En champ, les feuillus protégés par des rangs adjacents d'espèces compagnes permet d'envisager des combinaisons diverses qui atteignent plusieurs objectifs. La diversité de la plantation s'en trouve accrue. Le nombre d'arbres feuillus sur lesquels on accordera les soins de formation du fût (taille de formation et d'élagage) est réduit ainsi que les coûts. Le détourage des arbres d'avenir sélectionnés se fait en partie au détriment d'espèces compagnes qui ne n'ont pas entretenus. En plantation de feuillus, il n'est pas rare que des tiges ayant reçu de deux à quatre opérations de tailles soient sacrifiées pour favoriser les tiges d'avenir. Les espèces utilisées en accompagnement sont une occasion de mettre à l'essai de nouvelles espèces encore peu utilisées pour les apprivoiser. C'est ce que nous avons considéré pour certains autres dispositifs en intégrant les peupliers hybrides, robinier faux-acacia, mélèze hybride. Nous croyons également qu'un bon nombre de plantations de conifères pourraient intégrer des feuillus qui pourraient profiter de la protection, notamment aux vents.

III- ESSAI DE NOYERS HYBRIDES

PLANTATIONS DE NOYERS HYBRIDES :

ÉVALUATION DU POTENTIEL AU QUÉBEC

DESCRIPTION DU PROJET

La plantation de trois cultivars de noyers hybrides (Ng38, Ng23 (hybrides entre *Juglans nigra* x *J.regia*) et Mj209 (*J.major* x *J.regia*)), et de noyers noirs (*Juglans nigra*) de deux provenances du Québec (Estrie et Montréal) a eu lieu en 2001 sur 2 sites, nommés par le nom du propriétaire (Lalonde et Latulipe).

Les sites sont des friches agricoles reposant sur des dépôts littoraux (Lalonde, loam de pH 6,56) ou des dépôts glaciaires (Latulipe, loam sableux pierreux, de pH 7,25). Le site Latulipe est entouré de lisières boisées, le site Lalonde est situé en champ ouvert. Des travaux de labour-hersage (sur le rang d'arbre) et la pose d'un paillis de plastique sont réalisés avant la plantation.

Sur le site Latulipe, l'équivalent de 556 tiges/ha ont été plantés sur des rangées espacées de 6 m. Les rangées du site Lalonde sont espacées de 12 m (le propriétaire compte récolter le fourrage entre les rangées) ce qui donne une densité de 278 tiges/ha. L'espacement sur le rang est de 3 m. La proportion de chaque hybride et noyers noirs plantés varient selon le site puisque la disponibilité des cultivars était variable. Ainsi, sur les 2 sites, 7% des arbres sont des représentants de Ng38, 32% de Ng23, 14% de noyers noirs de l'Estrie, 14% à 16% selon le site de Noyers noirs de Montréal et 32% à 34% de Mj209.

En 2002, puis 2003, et sur les 2 sites, une rangée sur deux a reçu une taille de formation. En 2009, une autre taille de formation est réalisée sur l'ensemble des arbres. Les résultats présentés portent sur la croissance obtenue jusqu'en 2013 après 13 ans. Ils excluent l'hybride MJ209 dont la rusticité s'est montrée inadéquate.

RÉSULTATS

La croissance, la survie et la résistance au gel hivernal ont été étudiées en 2004, après 4 années de croissance (Cogliastro, 2004). Le gel des bourgeons terminaux des hybrides de noyers a été constaté après le troisième hiver, et les noyers noirs montraient alors beaucoup plus de tolérance à ces froids. Parmi les hybrides, les Ng38 et Ng23 ont été les plus résistants, notamment sur le site Latulipe, et présentaient des taux de production de rejets de la base, ce qui est associé à la réduction générale de l'accroissement suite aux effets du climat hivernal, relativement réduits (Cogliastro, 2004). En 2009, nous avions mesuré 4,2% et 10,8% de production de rejets de base pour Ng38 et Ng23 sur le site Lalonde et 4,3% et 9% sur le site Latulipe (Tableau 7). Sur le site Lalonde, 2,6% des noyers noirs de Montréal présentaient des rejets de base en 2009, alors qu'aucun des noyers noirs (Estrie et Montréal) n'en présentait sur le site Latulipe (Tableau 7)[5].

L'hybride Mj209 présentait en 2004 le plus grand nombre de plants où au moins un rejet de la base remplaçait la tige principale (Tableau 7), ce qui est associé à la réduction générale de l'accroissement chez cet hybride suite aux effets du climat hivernal (Cogliastro, 2004). Cet hybride (Mj209) subissait d'importants dommages et un retard de croissance. Ce constat se vérifie et est accentué sur les deux sites en 2009 puisque la majorité des plants de cet hybride présentent des rejets à la base avec 80% chez Lalonde et 81% chez Latulipe contre 51% et 36% en 2004 (Cogliastro, 2004).

Le taux de survie moyen en 2013 est supérieur sur le site Latulipe, avec 94%, contre 84% sur le site Lalonde (Tableau 7). La survie du NG38 est cependant quasi parfaite sur les deux sites. Les résultats de croissance mesurés en 2013 montrent que le diamètre est légèrement supérieure pour trois types de noyers au site Latulipe (Tableau 7; Figure 9). Le site Latulipe est protégé des vents par les lisières boisées l'entourant, ce qui avantage les noyers et dans ce cas, autant les noyers noirs que les hybrides ont présenté une croissance soutenue. La hauteur atteinte par les noyers sur ce site est également supérieure (Tableau 7; Figure 10) comme le ratio H/D qui demeure près de la valeur

[5] Le cultivar Mj209 n'apparaît pas au tableau considérant les dommages importants associés à sa rusticité inadéquate

recherchée de 60 (Tableau 7). L'accroissement annuel moyen (AAM) obtenu entre 2009 et 2013 est particulièrement élevé chez le NG38 du site Lalonde (Tableau 7).

Tableau 7 Effectif, densité, rejets 2009, survie, diamètre (DHP), hauteurs 2013 pour deux plantations de noyers hybrides (Ng23 et Ng 38) et de noyers noirs (Estrie et Montréal). ***Estrie= noyer noir d'Estrie, Montréal= noyer noir de Montréal, Ng23 et Ng38=hybrides entre Juglans nigra x J.regia.***

Site	Type de noyer	N	Nb/ha	Rejet (%) 2009	Survie (%) 2013	DHP (cm) 2013	Hauteur (cm) 2013	H/D	AAM Diam
lalonde	Estrie	48	203	0,0	73	9,3	491	53	1,20
	Montréal	48	220	2,6	79	10,2	563	55	1,29
	Ng23	112	233	10,8	83	11,4	610	53	1,23
	Ng38	24	278	4,2	100	13,2	757	57	1,45
	Moyenne		233		84	11	605	55	1,29
latulipe	Estrie	48	486	0,0	88	12,8	818	64	1,35
	Montréal	56	526	0,0	95	10,7	673	63	1,17
	Ng23	112	541	9,0	97	11,1	726	66	0,99
	Ng38	24	532	4,3	96	14,4	825	57	1,24
	Moyenne		521		94	12	760	63	1,19

AAM: Accroissement annuel moyen; H/D; ratio hauteur/diamètre

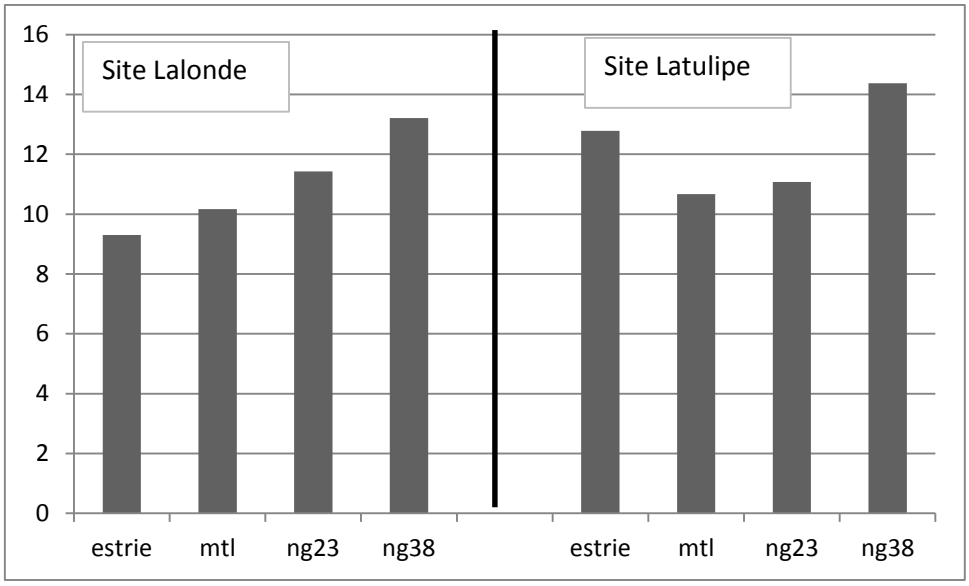


Figure 9 Diamètre (cm) atteint en 2013 (13 ans) pour chaque type de noyers sur chaque site. ***Estrie= noyer noir d'Estrie, Mtl= noyer noir de Montréal, Ng23 et Ng38=hybrides entre Juglans nigra x J.regia.***

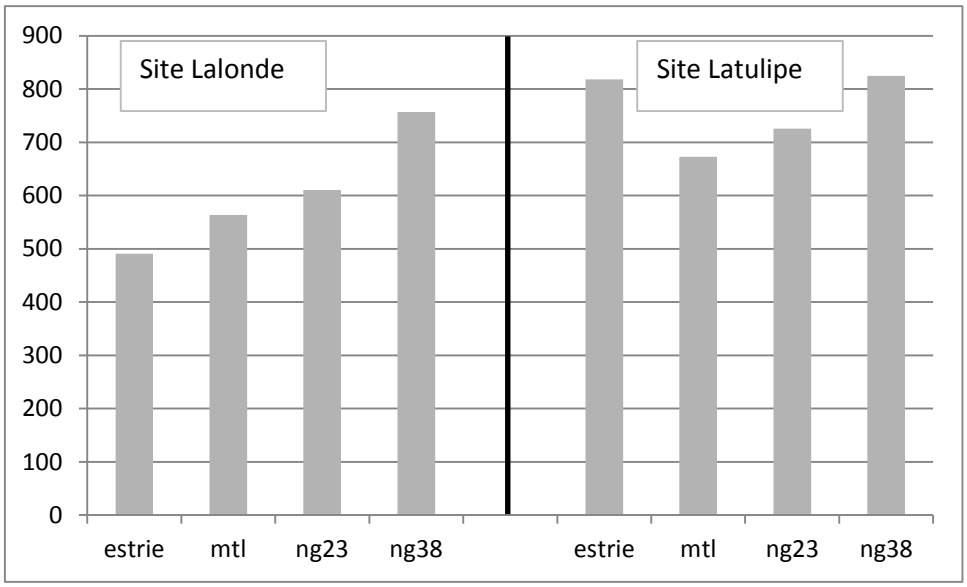


Figure 10 Hauteur (cm) atteinte en 2013 (13 ans) pour chaque type de noyers sur chaque site. Estrie= noyer noir d'Estrie, Mtl= noyer noir de Montréal, Ng23 et Ng38=hybrides entre *Juglans nigra x J.regia.*

Les résultats de survie et de croissance du noyer hybride Ng23 sont également intéressants. Cependant, on constatait en 2009 une production de rejets de la base sur 10,8% des Ng23 sur le site Lalonde et 9% sur le site Latulipe (Tableau 7). L'accroissement annuel moyen en diamètre était également inférieur au NG38.

Les noyers noirs, d'Estrie et de Montréal, ont des taux de survie 2013 plus élevés sur le site Latulipe avec respectivement 88% et 95%, contre 73% et 79% sur le site Lalonde (Tableau 7). Les valeurs de croissance des noyers noirs, notamment en hauteur, sont aussi supérieures sur le site Latulipe. Par exemple, la moyenne de DHP et de hauteur des noyers noirs de Montréal sont de 10,2cm et 563cm sur le site Lalonde, contre 10,7cm et 673cm sur le site Latulipe. Le noyer noir d'Estrie, quant à lui, présente aussi des différences de dimension très importantes entre les deux sites, avec le diamètre et la hauteur moyens de 9,3cm et 491cm sur le site Lalonde et de 12,8cm et 818cm sur le site Latulipe (Tableau 7). La protection contre les vents est donc être très importante pour la productivité des noyers noirs.

CONCLUSION

La culture des noyers (noirs et hybrides) doit composer avec la susceptibilité aux gels, notamment les gels tardifs printaniers. Les sites protégés, bien positionnés dans le paysage pour éviter les masses d'air froid, aux sols riches et bien approvisionnés en eau, doivent être privilégiés.

Suite aux présents travaux, une utilisation modérée des hybrides de noyers est proposée (dont Ng38 surtout, et Ng23) par leur intégration parmi d'autres espèces d'arbres feuillus en plantations sur les meilleurs sites. La rapidité de croissance de ces hybrides commande cependant beaucoup d'attention quant aux tailles de formation qui devraient être fréquentes, idéalement annuelles pendant au moins les cinq premières années. L'hybride Mj209 a subi de tels dommages et retard de croissance depuis la plantation, qu'il est recommandé de ne pas poursuivre les essais avec celui-ci.

IV- Peupliers installés à large espacement

PLANTATION DE DIFFÉRENTS CLONES DE PEUPLIERS INSTALLÉS À LARGE ESPACEMENT

DESCRIPTION

Cette plantation récente (2011) installée par le propriétaire, présente un modèle de culture du peuplier visant une production rapide. Pour ce faire, les espacements sont grands, comme sur les 270 000ha de peupleraies de France, soit 7,5m x 7m. Le large espacement est en vue d'une production rapide de gros bois de qualité sans étapes intermédiaires d'éclaircie. Quatre différents hybrides de peupliers produits par le MRN sont à l'essai ici (3587DN, 102527MxTD, 103124MN, 104090MN) avec un paillis de plastique de 1m X 1m à la base et une spirale de protection des petits rongeurs . Ce type de disposition des plants n'est actuellement pas inclus au programme d'aide de l'Agence forestière mais les résultats de ce type d'essais sont utiles à la réflexion portant sur les différentes avenues de production intensive. L'utilisation des peupliers est également proposée pour initier la forêt dans plusieurs études, ce qui pourrait être considéré dans certains projets de corridors.

La plantation est adjacente à deux autres dispositifs de plantations qui sont abordés ici (avec Robinier et mélèze ainsi que sous-couvert par bande). Le site a donc une excellente valeur de démonstration pouvant présenter trois différentes approches de mise en valeur forestière. Le sol de ce site est détaillé à la prochaine section (Site Allard, Haut-Saint-Laurent, St-Anicet) Secion V- PLANTATIONS D'ENRICHISSEMENT SOUS COUVERT FORESTIER.

RÉSULTATS

Le site a présenté plusieurs limites. Des zones d'hydromorphie sont constatées au printemps et après de fortes précipitations alors qu'en période sèche, la surface sableuse conduit à une forte réduction de la disponibilité de l'eau pour de jeunes plants dont les

racines ne prospectent pas encore profondément. Le broutage par le cerf a été très important malgré l'application d'un répulsif à la plantation. Nous avions cru que ce serait suffisant pour permettre aux plants déjà de bonnes hauteurs d'être épargnés du broutage de la cime. Ce ne fut pas le cas.

La survie est particulièrement réduite sur ce site pour le clone DN 3587 mais elle demeure acceptable pour les autres clones (Tableau 8). Ces autres clones sont plus tolérants aux conditions variables de drainage du site. La croissance en hauteur (Tableau 8) après deux ans a peu progressé en raison du broutage et des conditions de croissance pour de jeunes plants, ce qui n'a pas permis d'obtenir une hauteur qui met les plants à l'abri du broutage par le cerf. Certains arbres de plus fortes dimensions ont également des marques de frottis par le cerf (Tableau 8).

Tableau 8 Survie et dimensions des peupliers ainsi que nombre de cas de frottis par le cerf et de productions de rejets

Clone*		N	Survie %	Hauteur initiale	DHP (cm) 2013	Haut (m) 2013	Nb rejets	Nb frottis
3587	DN	54	57	2,22	2,43	2,75	8	2
102527	MxTD	40	83	1,98	1,87	2,23	4	1
103124	MN	40	98	1,72	2,27	2,78	1	1
104090	MN	40	95	1,97	2,37	2,98	3	6

* numéros du clone et hybridation

CONCLUSION

Les résultats sont décevants et illustrent que les sites aux conditions irrégulières et relativement extrêmes de drainage, sont peu propices à une production intensive de peupliers. Les clones de type MN ont cependant offerts de meilleurs résultats dans ces conditions et pourraient satisfaire la volonté d'obtenir rapidement l'occupation de l'espace par des arbres. Ce site pourrait devenir intéressant pour la plantation de feuillus sous un léger couvert de peupliers. Le chêne à gros fruits, le bouleau blanc, le cerisier tardif, pourraient être considérés dans les secteurs mieux drainés.

.

V- PLANTATIONS D'ENRICHISSEMENT SOUS COUVERT FORESTIER

PLANTATION SOUS COUVERT PAR BANDE : PROTECTIONS ET DIMENSIONS DES PLANTS À L'ESSAI

DESCRIPTION

Le peuplement traité était une bétulaie grise (Site Allard, Haut-Saint-Laurent, St-Anicet) sur sol sableux, le dépôt du secteur est nommé sable de « Sorel » mais plusieurs incursions des « sables du complexe de Saint-Amable » sont présentes dans la région. Le site d'expérimentation a toute les caractéristiques de ce dernier type. La nappe phréatique est relativement haute et le terrain est vallonné : aussi le drainage est-il variable. Au printemps, l'automne, et lors de fortes précipitations, des zones d'hydromorphie plus ou moins permanentes sont visibles. Lors de la plantation, nous avons omis de planter certaines sections trop humides. Ce mauvais drainage par sections demeure cependant important à considérer. Le sol du site présente une texture sableuse (91% sable, 6,5% limon, 2,4% argile) de pH 5,2 (Tableau 9).

Tableau 9 Résultats des analyses de sol du site Allard mesurées en 2008

	Bloc 1	Bloc 2	Bloc 3	Bloc 4	Bloc 5	Bloc 6	Moyenne
CEC (meq/100g)	12,4	14,2	8,73	15,9	10,8	12	12,34
pH	5	4,8	5,7	5,5	5,1	5,1	5,2
Ca (kg/ha)	306	514	629	1 510	462	153	595,7
P (kg/ha)	< 9[1]	36	23	< 9	< 9	< 9	15,8
K (kg/ha)	24	36	15	42	22	19	26,3
Mg (kg/ha)	17	< 15[2]	126	149	21	< 15	57,2

[1] Lorsque le résultat est de < 9, la valeur 9 a été utilisée pour le calcul de la moyenne
[2] Lorsque le résultat est de < 15, la valeur 15 a été utilisée pour le calcul de la moyenne

Des bandes ouvertes de 5 m de largeur orientées nord-sud, espacées d'interbandes forestières de 10 m, ont été dégagées par abattage et débroussaillage. Dans les dispositifs

expérimentaux, les arbres plantés sont disposés au centre des bandes ouvertes et en bordure, à raison d'un total de 833 plants/ha. Les arbres au centre des rangées (333 plants/ha) forment le cœur de l'expérimentation.

Le rang au centre des bandes est scindé en parcelles de quatre arbres d'une même espèce (chêne à gros fruits (CHG) ou chêne rouge (CHR)) comprenant deux types d'arbres, soit des plants de 2 ans et des plants de 4 ans de forte dimension (ici nommé PFD). L'espacement entre les arbres est de 2m. Entre les parcelles, un cerisier tardif (CET) est parfois planté.

Chaque parcelle représente un des trois types de protections contre le cerf de Virginie (*Odocoileus virginianus*) installés sur les arbres de 2 ans :

- le manchon protecteur de marque Freegro® à larges mailles (5mm X 5mm) (Figure 11A), d'un diamètre de 15 cm et 150 cm de hauteur,
- le type de marque Climatic® (mailles 2mm X 2mm) (Figure 11B) de 20 cm de diamètre et 180 cm de hauteur disponible chez Dendrotik®
- et un type fabriqué d'un cylindre de grillage métallique de 30 cm de diamètre et 120 cm de hauteur : le grillage est à larges mailles (mailles de 15cm de largeur et dont la hauteur se réduit progressivement de 6cm, au bas, à 15cm dans la partie supérieure) (Figure 11). Ce dernier est installé de manière à atteindre une protection à partir de 20 à 30 cm de hauteur du sol, laissant la base découverte mais permettant de protéger la cime de l'arbre jusqu'à près de 150cm. La grande taille des mailles permet un traitement de protection qui ne limite pas la disponibilité de la lumière.
- Des parcelles témoins, sans aucune protection, complètent le dispositif.

Aucun manchon protecteur n'est installé sur les arbres PFD de 4 ans. Les troncs de ces arbres ont cependant été protégés des frottis par le cerf en installant une gaine protectrice autour du tronc, fabriquée à partir du protecteur de type Climatic. Leur cime feuillée demeure libre (sans protection), atteignant de 1,8 à 2,0 m de hauteur. Le site Allard comprend sept bandes, est subdivisé en six blocs de 12 parcelles, pour un total de 72 parcelles.

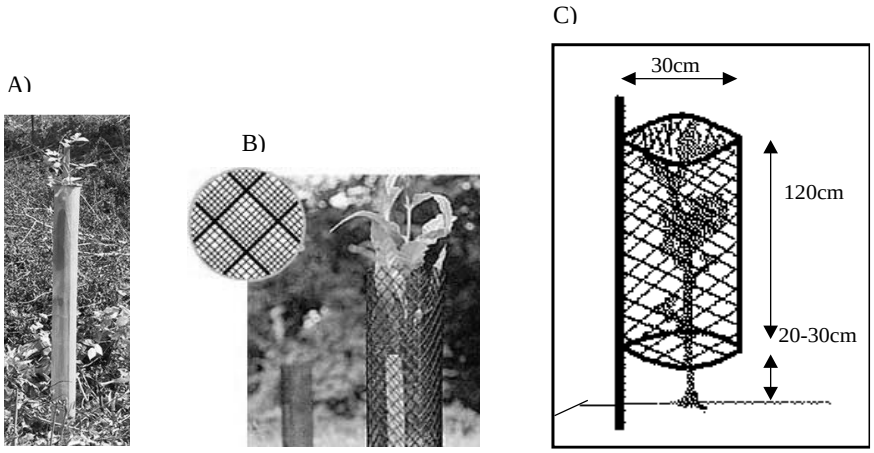


Figure 11 A) protecteur de type Freegro à larges mailles (5mm x 5mm); B) protecteur de type Climatic à mailles de 2mm x 2mm; C) protecteur fabriqué de type grillage à larges mailles

RÉSULTATS

Lumière fixe

Les données de lumière ont été recueillies dans les parcelles de chênes rouges et à gros fruits. La Figure 12 montre la répartition de la lumière à 1,5m du sol, ainsi que sa variation entre 2008 et 2009. De façon générale, la lumière disponible varie peu entre 2008 et 2009 : elle diminue sur le site Allard (respectivement de 37% à 32%).

Lumière à hauteur d'arbre

Le taux de lumière disponible aux arbres a été mesuré à l'intérieur des manchons protecteurs. L'annexe 3 présente le taux de lumière à l'intérieur des manchons Climatic et Freegro (Figure 18 et Figure 19). Sur le site Allard, le taux de lumière disponible à hauteur des arbres de 2ans diminue de façon générale d'une année à l'autre (Figure 13). Ainsi, ce taux passe de 8,3% en 2008 à 4,7% en 2009 pour les CHG avec protecteurs de type Climatic. De même, le CHR de type témoin reçoit 33,4% de lumière en 2008 et 25,7% en 2009. La repousse de la végétation herbacée et ligneuse dans les bandes peut expliquer ces résultats (un débroussaillage a été pratiqué en fin de saison 2009 de part et d'autre des plants). Cependant, les résultats sont inversés pour le CHG avec protecteur de type grillage, qui en 2008 reçoit 22,6% de lumière, puis 29,1% en 2009 (Figure 13). Ces arbres ont la hauteur moyenne la plus élevée en 2009 (85,4cm). Ils se seraient donc mieux

positionnés pour la réception de la lumière par une bonne croissance. Les arbres de 4 ans ont aussi un taux de lumière disponible plus élevé en 2009 (Figure 13).

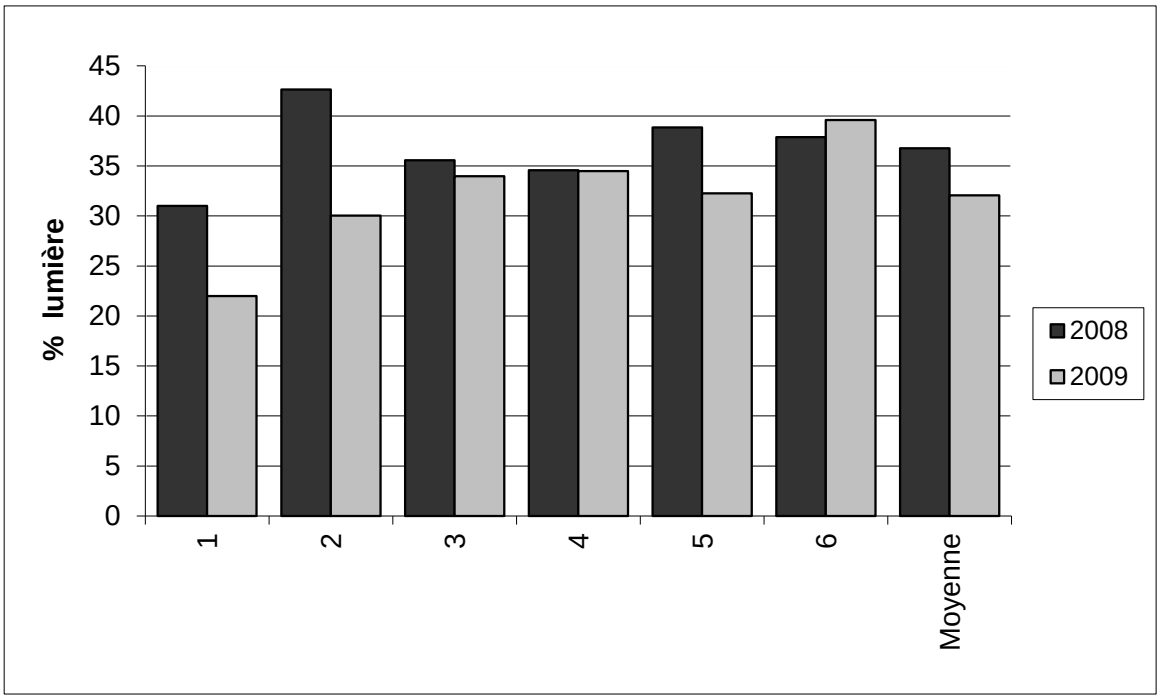


Figure 12 Histogramme représentant la répartition, par bloc expérimental (1-6), de la lumière mesurée en 2008 et 2009 à 1,5m du sol pour la plantation par bandes initiée en 2008.

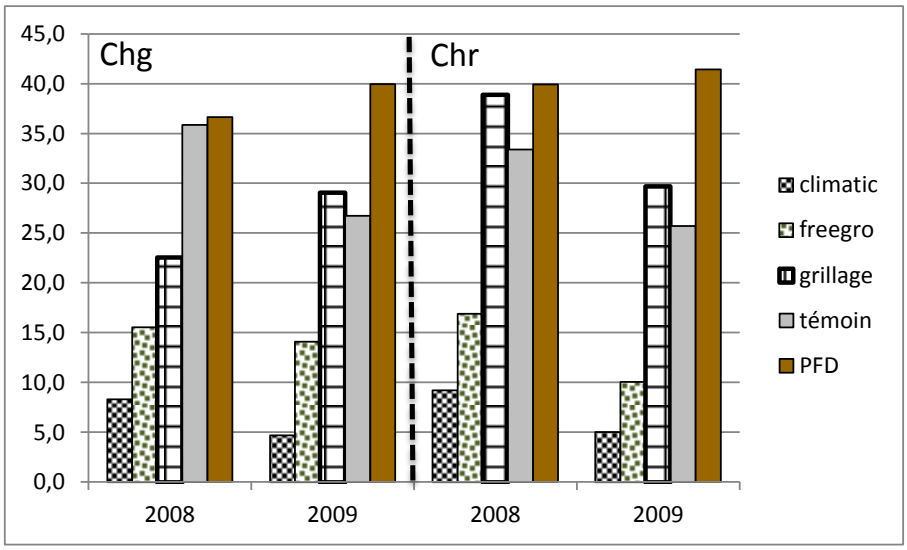


Figure 13 Taux de lumière disponible à la cime des arbres dans chaque traitement, en 2008 et 2009, en plantation par bandes initiées en 2008. CHG= chêne à gros fruit et CHR= chêne rouge. *valeur de lumière disponible calculée à l'intérieur des manchons protecteurs et à la cime des plants témoin et PFD.

Survie

Le taux moyen de survie en 2013 est de 67% sur le site Allard et le CET obtient le plus faible taux moyen (53%). Pour cette espèce, la survie varie peu selon le type de protecteur (Figure 14). Pour le CHG, la survie est au plus faible par le Freegro, suivi du Climatic (Figure 14): la survie des CHG sans protection (témoin) ou protégés du grillage est parfaite après 6 ans. Le taux de survie des CHR est le plus bas par le protecteur climatic et dans les parcelles « témoin » (Figure 14).

Parmi les arbres de type 4 ans PFD, les CHR ont obtenu le plus faible taux de survie à 60% alors qu'il a été de 75% pour le CHG (Figure 14). Une forte présence de chenilles (54,2%) avait été notée en 2008 pour ces arbres (Moisan *et al.*, 2009).

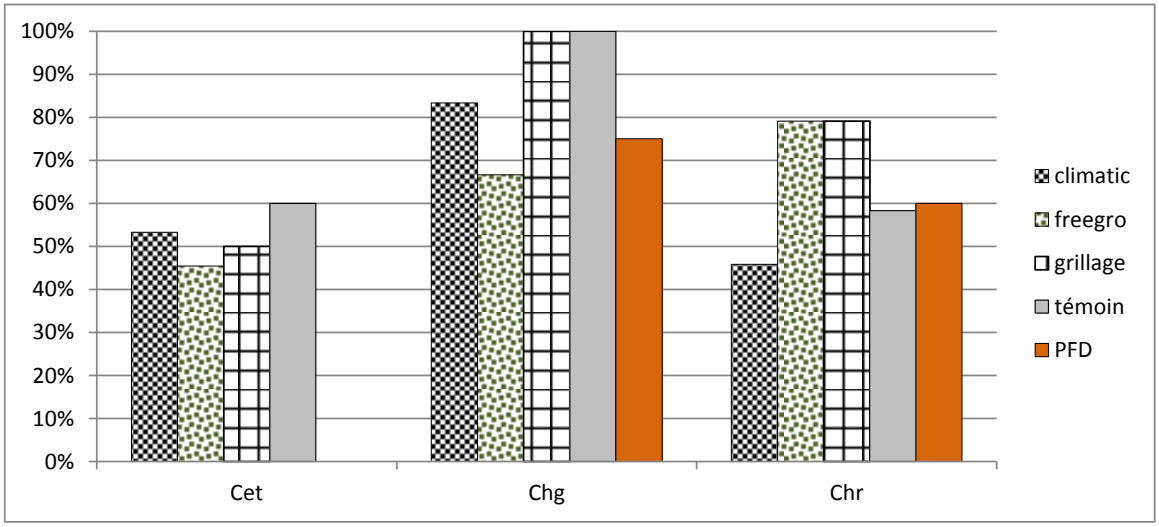


Figure 14 Taux de survie en 2013, selon le type de plant, 2 ou 4 ans (PFD) à la plantation, et le type de protecteur en plantation par bande initiée en 2008. CET= cerisier tardif, CHG= chêne à gros fruit et CHR= chêne rouge.

Croissance

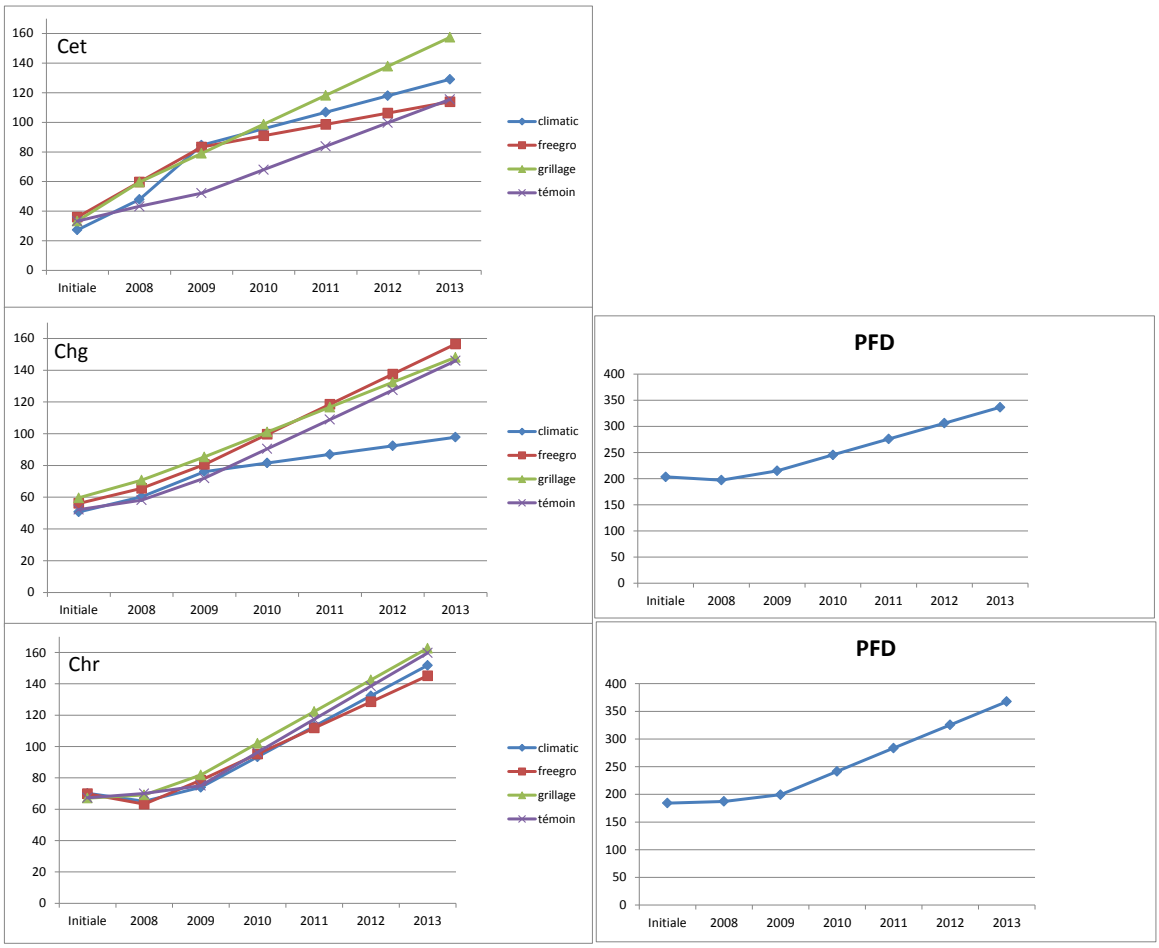


Figure 15 Croissance en hauteur, selon le type de plant, 2 ou 4 ans (PFD) à la plantation, et le type de protecteur en plantation par bande initiée en 2008. CET= cerisier tardif, CHG= chêne à gros fruit et CHR= chêne rouge.

L'accroissement du CET a été positif avec tous les types de protecteurs avec un avantage pour la protection par grille (Figure 15). Chez le CHG la croissance a été la plus faible sous le protecteur Climatic, le plus sombre : les autres traitements produisent autant que le témoin. Chez le CHR, il est à noter que la mort de l'apex avait été constatée en 2008 pour 33% des CHR avec Climatic et 41% des CHR avec Freegro (Moisan *et al*, 2009). Après 6 ans de croissance des chênes rouges, les différents types de protection produisent de manière similaire aux parcelles témoin (Figure 15).

Pour les plants de 4 ans PFD qui ont survécu, la croissance à partir de la 3ième année a été importante (Figure 15). La cime de ces plants est maintenant très majoritairement hors d'atteinte par le broutage du cerf étant à plus de 3 m de hauteur.

CONCLUSION

Plants de 2 ans :

Il est difficile d'établir une relation entre la survie des arbres et le type de protecteurs qui soit cohérente l'ensemble des espèces. La protection apportée par les types Climatic et Freegro est accompagnée d'une forte réduction de la disponibilité de la lumière, ce qui réduit la survie du CHG en comparaison aux autres traitements. Cette espèce est, parmi les espèces utilisées, la plus tolérante aux sections de mauvais drainage du site : sa survie est alors accordée principalement au maximum de lumière disponible. Pour maintenir sa survie, le CHR aura mieux toléré le niveau d'atténuation de la lumière du Freegro que celui du Climatic: l'espèce présente cependant un niveau général de survie plus bas que le CHG sur ce site. Pour le CHR, l'assèchement fréquent de la flèche terminale noté en 2008 pourrait témoigner d'une plus grande difficulté d'établissement que le CHG. Le cas du cerisier tardif illustre que sa survie sur ce site dépend de d'autres facteurs que celui de sa protection et nous croyons que les conditions variables de drainage du site ont particulièrement affecté l'espèce : sa forte mortalité témoigne des fréquents secteurs d'hydromorphie.

Les protecteurs de type Freegro et grillage présentent les meilleurs compromis entre protection contre les brouteurs et transmission de la lumière en situation de plantation sous couvert. Le protecteur de type Climatic réduit trop fortement la lumière disponible sous ces conditions. Le protecteur de type grillage tend à laisser passer des tiges principales au travers, mais les résultats de survie et de croissance sont satisfaisants dans l'ensemble.

Après six années de croissance, plusieurs protecteurs n'étaient plus en place. Nous avons corrigé les cas où les arbres apparaissaient vigoureux. La bonne tenue des protecteurs

doit être mieux assurée par la pose de deux piquets plutôt qu'un seul, surtout si les visites et interventions sont peu fréquentes. Les conditions de croissance dans les ouvertures par bandes de ce site n'ont pas permis une croissance rapide en hauteur. Après six ans, la moyenne de hauteur est en deçà de 2m pour les plants d'arbres de 2 ans. Ce rythme de croissance oblige à une bonne tenue des protections pendant une longue période. C'est une vitesse de croissance qu'il faut améliorer pour assurer que les plants dominent la végétation de sous-bois qui profite également de l'ouverture. La disponibilité de la lumière à la cime des arbres devrait être maintenue à plus de 20% ce qui exclurait les protecteurs réguliers de type Climatic ou Freegro. Ce niveau exigerait également d'assurer que la compétition périphérique de sous-bois ne surpasse pas les plants.

Plants de 4 ans PFD:

On remarque des difficultés initiales d'établissement des plants de 4 ans sur le site. Les taux de survie sont assez bas, surtout pour le CHR. Le choc de transplantation pourrait être plus important chez ces fortes dimensions de plants et l'abondance de chenilles constatée en 2008 a surement participé à l'obtention des plus faibles résultats de survie. Cependant, leur taille permet d'exposer une cime feuillée à un bon niveau de lumière, éloignée du brouteur, même si les plants stagnent en croissance pendant les 2 premières années. Des dimensions intermédiaires entre les hauteurs des plants de deux ans et ceux de quatre ans utilisés ici, et sous l'effet de protections limitant moins la disponibilité de lumière que les Climatic et Freegro, pourraient être mises à l'essai.

Distribution des arbres

Les arbres ont été plantés à une distance de 2m sur le rang. L'examen des effets de la mortalité sur l'espacement entre les arbres résiduels vivants montre que 75% de ces espacements sont de 2m et 14% de 4m (Tableau 10). Il y a respectivement neuf et dix sections formées d'une série d'arbres morts cote à cote qui crée un espacement de 6m et de 8m entre les vivants. Un espacement qui atteint au maximum 8m en finalité de rotation nous semble adéquat. La survie doit cependant se maintenir. Les six sections supérieures à 8m d'espacement entre les arbres pourraient être regarnies. Cependant ces cas témoignent de conditions de mauvais drainage. La plantation d'enrichissement dans des

peuplements parsemés de petits secteurs mal drainés pourrait aussi procéder par trouées, distribuées dans les meilleures conditions de drainage du site, ce que la plantation par bande rend moins praticable.

Tableau 10 Distribution des espacements entre les arbres vivants

Espace entre les vivants (m)	nombre de cas	%
2	170	75%
4	32	14%
6	10	4,4%
8	9	4,0%
10	2	0,88%
12	1	0,44%
16	2	0,88%
18	1	0,44%

L'ENRICHISSEMENT PAR LA PLANTATION SOUS COUVERT FORESTIER : 16 ANS DE CROISSANCE

DESCRIPTION DU PROJET

Les 2 sites, désignés par le nom des propriétaires (Bourdeau et Laplante), sont situés en Montérégie (municipalités de St-Chrysostome et MRC de Ste-Clothilde), et sont de jeunes peuplements de bouleaux gris sur sol de type loam sableux au pH respectif de 5,2 et 5,9.

En 1998, les 2 sites ont été enrichis par plantation sous couvert forestier et ont reçu l'équivalent de 900 tiges/ha (Paquette, A., Bouchard, A. et Cogliastro, A., 2006.) de chêne rouge (CHR), cerisier tardif (CET) et bouleau jaune (BOJ). Le site Laplante a subit une éclaircie avant la plantation. La luminosité sur le site Bourdeau ayant été jugée suffisante, aucune éclaircie n'est réalisée avant la plantation.

En 2000, un dispositif expérimental portant uniquement sur les CHR et les CET est mis en place sur chacun des sites. Ainsi, 11 placettes sur le site Laplante et 12 placettes sur le site Bourdeau, mesurant de 400 à 600 m^2, et séparées d'une zone tampon (minimum de 10 m) sont désignées. Un dégagement complet autour des plants (rayon de 1m, du sol à la canopée) a ensuite été appliqué en 2000 sur une partie des parcelles. Les autres parcelles servant de témoins. Une application annuelle de répulsif à chevreuil (DeerAway®) a été réalisée sur les 2 sites de 2000 à 2004. À l'hiver 2005 et 2012, toutes les parcelles subissent une éclaircie d'environ 30% de la canopée. Le dispositif compare maintenant l'effet de deux fréquences d'éclaircie post-plantation : une pratiquée en trois opérations aux années 3, 7 et 15, une autre appliquée aux années 7 et 15. Nous croyons que les propriétaires ne sont actuellement pas enclins à pratiquer une éclaircie hâtive (à 3 ans par exemple, alors qu'il pourrait être avantageux ce le faire.

RÉSULTATS

La lumière

La Figure 16 montre l'évolution de la disponibilité en lumière à 2m du sol de la 3ième année après plantation (2000) à la 16ième année (2013) sur les parcelles éclaircies trois fois (3-7-15 ans) et les parcelles éclaircies deux fois (7-15 ans) sur les sites St-Chrysostome et Ste-Clotilde. À l'année 4, les parcelles éclaircies à l'an 3 avaient un taux de lumière plus important (~ 30% PPFD[6]) que pour les parcelles non éclaircies (< 25% PPFD, Figure 16). De l'an 4 à l'an 7, il y a fermeture progressive de la canopée, mais les taux de lumière étaient toujours plus importants sur les parcelles éclaircies (Figure 16). À la 8ième année, et après l'éclaircie de 30% de la canopée de l'an 7, les taux de lumière ont considérablement augmenté sur l'ensemble des 2 sites. Par la suite, la canopée se referme à nouveau graduellement sur les 2 sites. À 12 ans, le taux de lumière disponible à 2m du sol diffère peu entre les placettes de chacun des sites (Figure 16). Le site St-Chrysostome est occupé par une végétation de sous-bois plus importante, atténuant davantage la lumière à 2m qu'au site Ste-Clotilde.

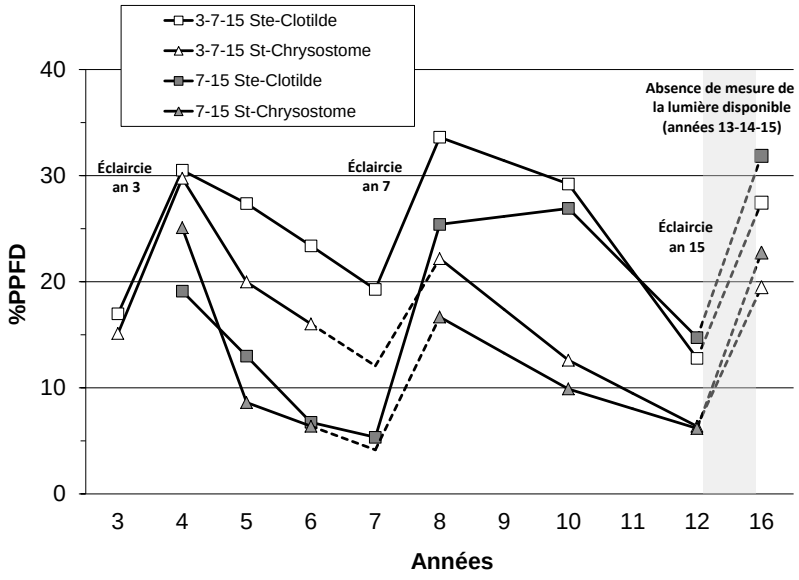


Figure 16 Évolution du taux de lumière (%PPFD) disponible à 2m du sol de 2000 (année 3) à 2013 (année 16) sur les sites St-Chrysostome et Ste-Clotilde selon le type de traitement (éclaircies années 7-15 *vs* années 3-7-15).

[6] PPFD= Photosynthetic photon flux density / Flux photonique photosynthétisant

L'éclaircie pratiquée à la 15ième année conduit au rehaussement de la lumière disponible à plus de 20% à hauteur de 2m du sol (Figure 16). Le (Tableau 11) montre la lumière disponible à 4m de hauteur à la 16ième année (2013). Ce niveau de lumière est celui reçu par les arbres qui ont obtenu du succès.

Tableau 11 Lumière disponible mesurée en 2013 (année 16) à 4m du sol sur chaque site dans chaque parcelle traitement. Une éclaircie a été pratiquée à la 15ième année.

		après ouverture de l'an 15	
		2013	
site	Éclaircie	Lumière 4m	écart-type
StChrys	7-15	35,0%	17%
	3-7-15	29,8%	14%
SteClo	7-15	43,5%	18%
	3-7-15	37,1%	19%

Croissance en hauteur

La Figure 17 montre l'évolution de la hauteur des chênes rouges (chr) et cerisiers tardifs (cet) de l'an 2000 (année 3) à 2013 (année 16) sur les parcelles éclaircies trois fois (3-7-15ans) et les parcelles éclaircies deux fois (7-15 ans) sur les sites St-Chrysostome et Ste-Clotilde. Pour les chr, l'effet positif de l'éclaircie de la 3ième année (2000) est significatif sur les deux sites à partir de la 5ième et s'accentue ensuite (Figure 17). L'éclaircie de l'an 7 a eu des effets positifs sur la croissance en hauteur des chr présents sur les parcelles déjà éclaircies à l'an 3. Cette éclaircie a moins d'effet sur la croissance des chr non éclaircie à l'an 3 (Figure 17). La baisse des valeurs de hauteurs à l'an 8 (2005) est due à la chute des arbres suite à l'éclaircie ce qui aurait parfois endommagé des plants. Des dommages engendrés par les rongeurs et par le gel tardif du printemps 2005 expliquent également ce recul de hauteur.

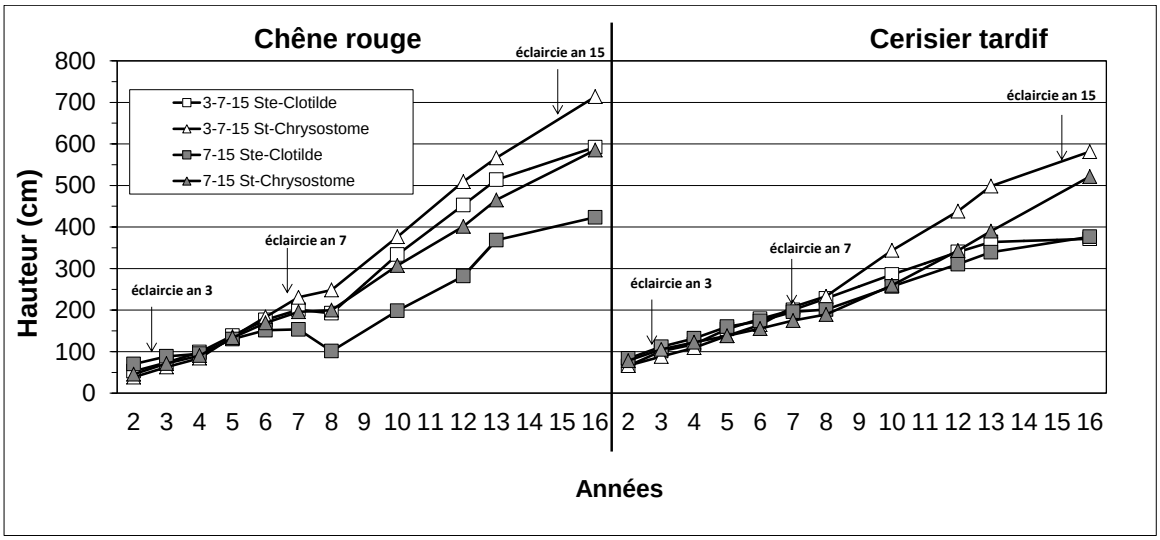


Figure 17 Évolution de la hauteur moyenne des chênes rouges et des cerisiers tardifs de l'an 2 après plantation (1999) à l'an 16 (2013) sur les sites St-Chrysostome et Ste-Clotilde selon le type de traitement (éclaircies années 7-15 *vs* années 3-7-15).

Pour les cerisiers, l'éclaircie de la 3ième année semble avoir été trop faible puisqu'il n'y a pas de différence de hauteur entre les plants des parcelles témoins et éclaircies (Figure 17). L'éclaircie de l'an 7 n'a été favorable qu'aux cerisiers des parcelles déjà éclaircies à l'an 3 (2000) du site St-Chrysostome (Figure 17). Sur ce site, la croissance des cerisiers éclaircis deux fois (ans 7 -15) se rapprochent maintenant de ceux éclaircis trois fois (ans 3 -7 -15) (Figure 17).

La croissance des plants sous le couvert forestier avec éclaircies périodiques a conduit à une production de tiges ayant de très hauts ratio hauteur/diamètre (Tableau 12). Les effets de la dernière éclaircie conduite en 2012 (15 ans) seront intéressants à analyser sur ce plan. Le grossissement des tiges est maintenant à privilégier. Pour l'obtenir, la cime devra être maintenue en bonne position de réception de la lumière. Les prochaines interventions pourraient être ponctuelles en vue de détourer les tiges d'avenir.

Tableau 12 Ratio hauteur/diamètre (H/D), diamètre et hauteur moyens de chaque espèce selon deux périodicités d'éclaircies sur deux sites.

St-Chrysostome	**Chêne rouge**			**Cerisier tardif**		
Éclaircie (années)	H/D2013	DHP2013 (cm)	Haut2013 (cm)	H/D2013	DHP2013 (cm)	Haut2013 (cm)
7-15	141	4,4	585	146	3,7	521
3-7-15	137	5,7	714	145	4,4	581
Ste-Clotilde						
7-15	148	3,0	423	165	2,5	377
3-7-15	143	4,5	592	176	2,5	372

CONCLUSION

L'éclaircie pratiquée en 3ième année, combinée à celle de la 7ième année, a eu des effets positifs significatifs sur la croissance des plants sur les deux sites. Les sites ainsi traités par deux éclaircies présentaient un total de près de 300 tiges à l'hectare de CET et de CHR de plus de 4 m et plus de 100 autres de 3≤ >4m après 12 ans d'installation, une réussite (Bouttier *et al.*, 2010). La faible réponse des CET à la première éclaircie conduite en 3ième année (2000) suggère le besoin d'une ouverture plus importante dans les premières années d'établissement des plants de cette espèce.

La seconde éclaircie réalisée en 7ième année (2005) n'a eu des effets positifs significatifs sur la croissance des plants que sur les parcelles préalablement éclaircies en 3ième année, et ce, surtout pour le CHR. Les effets de la 3ième éclaircie pratiquée en 15ième année sont à venir. Elle a permis une transmission de 30% à 43% de lumière à 4m de hauteur soit dans la région de la cime des arbres plantés.

Le CET éclaircie deux fois semble rattraper celui éclairci trois fois sur le site de St-Chrysostome. Ce qui permet de nuancer les résultats de départ pour cette espèce qui a conservé une capacité de réaction à l'éclaircie. Nous croyons à ce stade-ci qu'aucune autre éclaircie importante ne sera nécessaire. Le détourage de certaines tiges pourrait être favorable à un stade ultérieur.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier les propriétaires de tous les sites d'étude qui nous ont accordé l'accès aux plantations. Merci également aux nombreux assistants, stagiaires, étudiants ayant contribué aux activités. Le financement a été assuré par le fonds pour la mise en oeuvre du plan régional de développement intégré des ressources naturelles et du territoire (PRDIRT) de la Vallée-du-Haut-Saint-Laurent et par le programme d'aide à la mise en valeur des forêts privées, administré par l'Agence forestière de la Montérégie. La volonté des propriétaires et le soutien régional a permis la réalisation des interventions qui permettent de constituer un réseau de parcelles de démonstration pour guider le développement de l'activité sylvicole en Montérégie.

ANNEXE 1 : Plan du site Allard :

Plantation mélangée Robinier-faux-acacia –Mélèze hybride -Feuillus

	BLOC 1								BLOC 2								BLOC 3								BLOC 4							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15		16	17	18	19	20	21	22		23	24	25	26	27	28	29	30
L	m	Rn	cr	Rn	ct	Rn	cg	Rn	b	ct	b	ct	b	cr	b		Rp	cr	Rp	ct	Rn	cr	Rn		b	ct	b	cg	b	ct	b	m
2	m	Rn	cr	Rn	ct	Rn	cg	Rn	b	ct	b	ct	b	cr	b		Rp	cr	Rp	ct	Rn	cr	Rn		b	ct	b	cg	b	ct	b	m
3	m	Rn	cr	Rn	ct	Rn	cg	Rn	b	ct	b	ct	b	cr	b		Rp	cr	Rp	ct	Rn	cr	Rn		b	ct	b	cg	b	ct	b	m
4	m	Rn	cr	Rn	ct	Rn	cg	Rn	b	ct	b	ct	b	cr	b		Rp	cr	Rp	ct	Rn	cr	Rn		b	ct	b	cg	b	ct	b	m
5	m	Rn	cr	Rn	ct	Rn	cg	Rn	b	ct	b	ct	b	cr	b		Rp	cr	Rp	ct	Rn	cr	Rn		b	ct	b	cg	b	ct	b	m
6	m	Rp	cg	Rp	cr	Rp	ct	Rp	b	cr	b	cg	b	cg	b		Rn	cg	Rn	ct	Rp	cg	Rp		b	cr	b	cr	b	cg	b	m
7	m	Rp	cg	Rp	cr	Rp	ct	Rp	b	cr	b	cg	b	cg	b		Rn	cg	Rn	ct	Rp	cg	Rp		b	cr	b	cr	b	cg	b	m
8	m	Rp	cg	Rp	cr	Rp	ct	Rp	b	cr	b	cg	b	cg	b		Rn	cg	Rn	ct	Rp	cg	Rp		b	cr	b	cr	b	cg	b	m
9	m	Rp	cg	Rp	cr	Rp	ct	Rp	b	cr	b	cg	b	cg	b		Rn	cg	Rn	ct	Rp	cg	Rp		b	cr	b	cr	b	cg	b	m
0	m	Rp	cg	Rp	cr	Rp	ct	Rp	b	cr	b	cg	b	cg	b		Rn	cg	Rn	ct	Rp	cg	Rp		b	cr	b	cr	b	cg	b	m
L	m	m	ct	m	cr	m	cg	m	Rp	ct	Rp	cg	Rn	ct	Rn		b	cr	b	ct	b	ct	b		m	cr	m	ct	m	cr	m	m
2	m	m	ct	m	cr	m	cg	m	Rp	ct	Rp	cg	Rn	ct	Rn		b	cr	b	ct	b	ct	b		m	cr	m	ct	m	cr	m	m
3	m	m	ct	m	cr	m	cg	m	Rp	ct	Rp	cg	Rn	ct	Rn		b	cr	b	ct	b	ct	b		m	cr	m	ct	m	cr	m	m
4	m	m	ct	m	cr	m	cg	m	Rp	ct	Rp	cg	Rn	ct	Rn		b	cr	b	ct	b	ct	b		m	cr	m	ct	m	cr	m	m
5	m	m	ct	m	cr	m	cg	m	Rp	ct	Rp	cg	Rn	ct	Rn		b	cr	b	ct	b	ct	b		m	cr	m	ct	m	cr	m	m
6	m	m	cg	m	ct	m	cr	m	Rn	cr	Rn	cg	Rp	cr	Rp		b	cg	b	cg	b	cr	b		m	cg	m	cg	m	ct	m	m
7	m	m	cg	m	ct	m	cr	m	Rn	cr	Rn	cg	Rp	cr	Rp		b	cg	b	cg	b	cr	b		m	cg	m	cg	m	ct	m	m
8	m	m	cg	m	ct	m	cr	m	Rn	cr	Rn	cg	Rp	cr	Rp		b	cg	b	cg	b	cr	b		m	cg	m	cg	m	ct	m	m
9	m	m	cg	m	ct	m	cr	m	Rn	cr	Rn	cg	Rp	cr	Rp		b	cg	b	cg	b	cr	b		m	cg	m	cg	m	ct	m	m
0	m	m	cg	m	ct	m	cr	m	Rn	cr	Rn	cg	Rp	cr	Rp		b	cg	b	cg	b	cr	b		m	cg	m	cg	m	ct	m	m
L	m	b	cr	b	cg	b	ct	b	m	cr	m	cg	m	cr	m		m	cr	m	cg	m	cr	m		Rn	cr	Rn	ct	Rp	cg	Rp	m
2	m	b	cr	b	cg	b	ct	b	m	cr	m	cg	m	cr	m		m	cr	m	cg	m	cr	m		Rn	cr	Rn	ct	Rp	cg	Rp	m
3	m	b	cr	b	cg	b	ct	b	m	cr	m	cg	m	cr	m		m	cr	m	cg	m	cr	m		Rn	cr	Rn	ct	Rp	cg	Rp	m
4	m	b	cr	b	cg	b	ct	b	m	cr	m	cg	m	cr	m		m	cr	m	cg	m	cr	m		Rn	cr	Rn	ct	Rp	cg	Rp	m
5	m	b	cr	b	cg	b	ct	b	m	cr	m	cg	m	cr	m		m	cr	m	cg	m	cr	m		Rn	cr	Rn	ct	Rp	cg	Rp	m
6	m	b	ct	b	cr	b	cr	b	m	ct	m	cr	m	ct	m		m	ct	m	cr	m	ct	m		Rp	cr	Rp	ct	Rn	cr	Rn	m
7	m	b	ct	b	cr	b	cr	b	m	ct	m	cr	m	ct	m		m	ct	m	cr	m	ct	m		Rp	cr	Rp	ct	Rn	cr	Rn	m
8	m	b	ct	b	cr	b	cr	b	m	ct	m	cr	m	ct	m		m	ct	m	cr	m	ct	m		Rp	cr	Rp	ct	Rn	cr	Rn	m
9	m	b	ct	b	cr	b	cr	b	m	ct	m	cr	m	ct	m		m	ct	m	cr	m	ct	m		Rp	cr	Rp	ct	Rn	cr	Rn	m
0	m	b	ct	b	cr	b	cr	b	m	ct	m	cr	m	ct	m		m	ct	m	cr	m	ct	m		Rp	cr	Rp	ct	Rn	cr	Rn	m

Nyirzeg - peuplement Gyulahaza 2A - code peuplement 020 511074
Pusztavacs - peuplement Pusztavacs 24A - code peuplement 022 511077

Légende

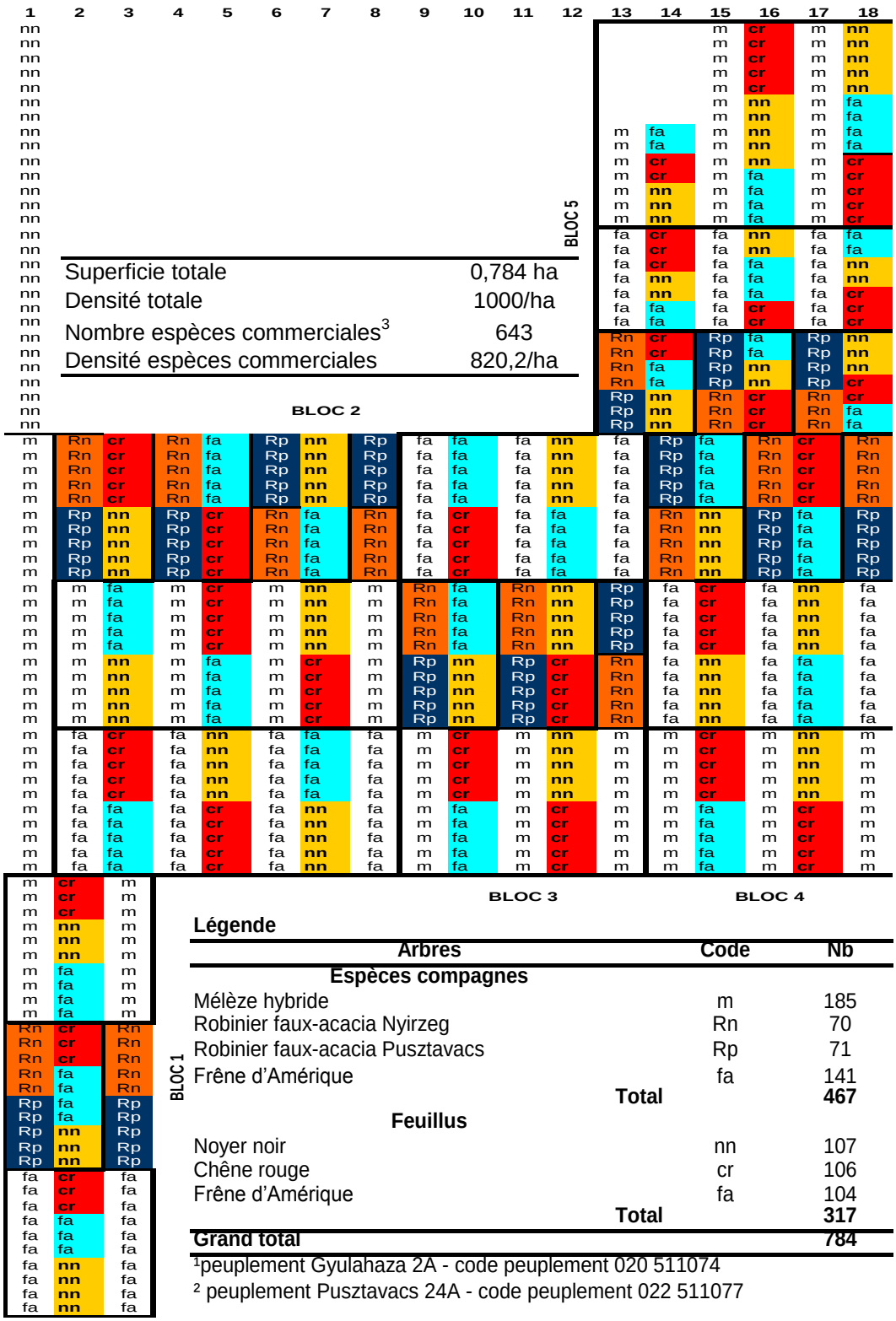
Code	Arbres	Nb
	Espèces compagnes	
m	Mélèze hybride	220
Rn	Robinier faux-acacia Nyirzeg	80
Rp	Robinier faux-acacia Pusztavac	80
	Total	**380**
	Feuillus	
cg	Chêne à gros fruits	100
cr	Chêne rouge	140
ct	Cerisier tardif	120
b	Bouleau blanc	160
		520
Grand total		**900**

Superficie totale	0,9 ha
Densité totale	1000/ha
Nombre espèces commerciales *	740
Densité espèces commerciales	822,2/ha

* Feuillus + mélèzes hybrides

ANNEXE 2 : Plan du site Landrau

Plantation mélangée Robinier-faux-acacia –Mélèze hybride -Feuillus



Superficie totale	0,784 ha
Densité totale	1000/ha
Nombre espèces commerciales[3]	643
Densité espèces commerciales	820,2/ha

Légende

Arbres	Code	Nb
Espèces compagnes		
Mélèze hybride	m	185
Robinier faux-acacia Nyirzeg	Rn	70
Robinier faux-acacia Pusztavacs	Rp	71
Frêne d'Amérique	fa	141
Total		**467**
Feuillus		
Noyer noir	nn	107
Chêne rouge	cr	106
Frêne d'Amérique	fa	104
Total		**317**
Grand total		**784**

[1]peuplement Gyulahaza 2A - code peuplement 020 511074

[2] peuplement Pusztavacs 24A - code peuplement 022 511077

ANNEXE 3 : Atténuation de la lumière par les manchons protecteurs

Les **Figure 18** et **Figure 19** montrent respectivement les mesures d'atténuation de la lumière dans les manchons Climatic et Freegro, mesurée en milieu ouvert. Pour le protecteur Climatic, un plateau s'observe jusqu'à une hauteur d'environ 90 cm, où celle-ci est de 32,2% en moyenne. À partir de ce point, le pourcentage de lumière transmise augmente tranquillement jusqu'à plus de 40% à 155 cm, puis de façon exponentielle pour atteindre 100% à 175 cm (figure 16). Il faut noter que le protecteur Climatic est d'une hauteur de 180 cm. La hauteur moyenne des arbres qui se trouvent dans les protecteurs Climatic varie selon l'espèce et le site de 47,9 à 70,3 cm. Plus d'un mètre sépare donc la cime des arbres de l'extrémité du protecteur et la hauteur de la cime des arbres se situe dans la plage de hauteurs auxquelles s'observe le plateau de lumière transmise (32,2%).

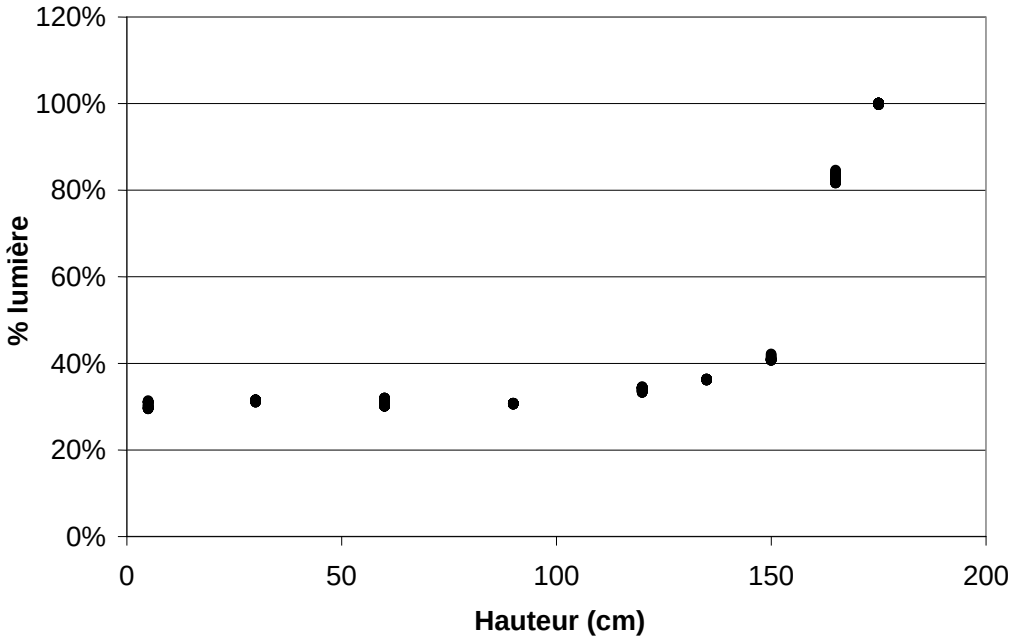


Figure 18. Pourcentage (%) de lumière transmise à l'intérieur du manchon protecteur Climatic à différentes hauteurs (cm)

Dans le manchon Freegro, un plateau est aussi observable jusqu'à environ 90 cm, ce plateau correspond à 52,4% de lumière transmise. Ce pourcentage augmente tranquillement jusqu'à plus de 60% à 120 cm de hauteur, puis de façon exponentielle

jusqu'à 100% à une hauteur de 140 cm (figure 17). Le protecteur Freegro étant d'une hauteur de 150 cm, les arbres qui en sont munis ne le dépassent pas. En effet, la hauteur de ces arbres varie de 59,7 à 69,6 cm selon l'espèce et le site. Donc, encore une fois, la hauteur de la cime des arbres correspond au plateau dans la figure, soit où la lumière transmise est de 52,4% en moyenne.

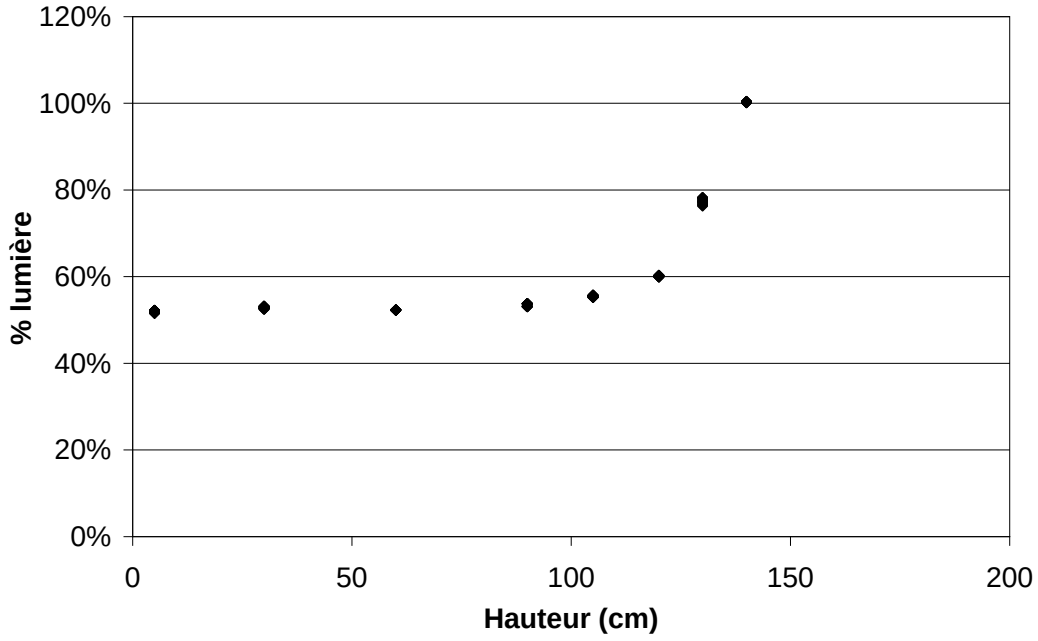


Figure 19. Pourcentage (%) de lumière transmise à l'intérieur du manchon protecteur Freegro à différentes hauteur (cm)

Pour une même hauteur à l'intérieur du protecteur, le protecteur Freegro laisse passer davantage de lumière que le protecteur Climatic. Le tableau 9 montre l'effet combiné de l'atténuation de la lumière par le couvert forestier et par le protecteur pour les chênes rouges et à gros fruits de deux ans. L'atténuation de la lumière par le couvert forestier est obtenue par une mesure de lumière qui a été prise à la hauteur de la cime de l'arbre, à l'extérieur du protecteur. On connaît donc quel pourcentage de lumière l'arbre recevrait s'il n'était pas à l'intérieur du protecteur (Figure 13B). En combinant cette donnée au pourcentage de lumière disponible dans le manchon (32,2% pour Climatic et 52,4% pour Freegro) (figures 15 et 16), on obtient la lumière que l'arbre reçoit effectivement (tableau 9). L'atténuation de la lumière par le protecteur Climatic étant plus importante, les arbres

qui en sont munis ne reçoivent au final que de 8,1 à 9,3% de la lumière. Avec le protecteur Freegro, cette proportion de lumière atteignant les arbres est plus importante, soit entre 13,5 et 16,9%. Aussi, un peu plus de lumière semble parvenir aux arbres situés sur le site Allard que sur le site Lemaire.

À partir du moment où les arbres atteindront 140 cm de hauteur avec le protecteur Climatic et 105 cm avec Freegro, la lumière qui leur parviendra sera de plus en plus importante à mesure qu'ils croîtront. On peut donc croire qu'avec le protecteur Freegro, l'atténuation de la lumière par le protecteur se fera sentir moins longtemps qu'avec le type Climatic. Cependant, il faudra alors aussi considérer le couvert forestier pour avoir l'effet combiné des deux facteurs limitant la disponibilité de la lumière.

RÉFÉRENCES

Becquey, J. 2006. L'accompagnement du planteur. Forêt-entreprise **170**: 56-57.

Boring, L.R. et Swank, W.T. 1984b. The Role of Black Locust (*Robinia pseudoacacia*) in Forest Succession. Journal of Ecology **72**: 749-766.

Bouttier, L., Daigle, S. et Cogliastro, A. 2010. Réseau de sites de démonstration en plantations de feuillus : sylviculture intensive, enrichissement sous couvert, double rotation, populiculture. Présenté au Ministère des Ressources naturelles du Québec, Programme de Mise en valeur des Ressources du milieu forestier - Volet II, Projet 16-2009-05&36. Institut de recherche en biologie végétale, 80 p.

Burns, R.M. et Honkala, B.H. 1990. Silvics of North America: 2. Hardwoods. Agriculture Handbook 654. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Washington, DC. 877 p

Call, L.J. et Nilsen, E.T. 2003. Analysis of Spatial Patterns and Spatial Association between the Invasive Tree-of-Heaven (*Ailanthus altissima*) and the Native Black Locust (*Robinia pseudoacacia*). The American Midland Naturalist **150**: 1-14.

Chifflot, V., Rivest, D., Olivier, A., Cogliastro, A. et Khasa, D. 2009. Molecular analysis of arbuscular mycorrhizal community structure and spores distribution in tree-based intercropping and forest systems. Agric. Ecosyst. Environ. **131**: 32-39.

Cogliastro, A. 2004. Essais de noyers hybrides au Québec. Ministère des Ressources naturelles du Québec. Programme de mise en valeur des ressources du milieu forestier. Projet # 2-02-63-27. 34 p.

Demené, J.-M. et Merzeau, D. 2007. Le Robinier faux acacia, historique et caractéristiques biologiques. Forêt-entreprise **177**: 10-12.

Doyon, F. et Bouillon, D. 2003. Stratégie d'aménagement, de restauration et de conservation du pin blanc et du pin rouge dans l'Outaouais. . Institut québécois d'aménagement de la forêt feuillue, 10 p.

Forêt Entreprise. 2007. Le Robinier Faux acacia. Dossier Volume 5 **177**: 9-53.

Forrester, D.I., Bauhus, J. et Khanna, P.K. 2004. Growth dynamics in a mixed-species *Eucalyptus globulus* and *Acacia mearnsii*. Forest Ecology and Management **193**: 81-95.

Fortier, J. 2007. Le mélèze : une essence prometteuse pour le Québec. Périodique de transfert de connaissances du Réseau Ligniculture Québec **4**: 1-4.

Garber, S.M. et Maguire, D.A. 2005. Vertical trends in maximum branch diameter in two mixed-species spacing trials in the central Oregon Cascades. Canadian Journal of Forest Research **35**: 295-307.

Gauthier, N. 2006. Les étapes de production du mélèze hybride. Centre technologique des résidus industriels, 6 p.

Gavaland, A. et Pagès, L. 2007. Le robinier pour la biomasse et l'accompagnement des feuillus précieux en plantation. Forêt-entreprise **177**: 24-27.

Gilmore, D.W. et David, A.J. 2002. Current trends in management practices for European larch in North America. Forestry Chronicle **78**: 822-829.

Lacombe, S., Rivest, D., Cogliastro, A., Olivier, A. et Bradley, R. 2007. Tree-based intercropping systems increase spatial heterogeneity of soil microbial communities. *Dans* 10e Congrès nord-américain d'agroforesterie, Québec, 2007: Opportunités

économiques et bénéfices environnementaux de l'agroforesterie. Québec. 11-14 juin 2007. pp.
Lee, C.-S., Cho, H.-J. et Yi, H. 2004. Stand dynamics of introduced black locust (*Robinia pseudoacacia L.*) plantation under different disturbance regimes in Korea. Forest Ecology and Management **189**: 281-293.
Mailloux, A. et Godbout, G. 1954. Étude Pédologique des sols des comtés de Huntingdon et Beauharnois. Ministère de l'Agriculture du Québec. Division des sols. Ste-Anne-de-la-Pocatière, Québec. Bulletin technique No 4. 221 p.
Moisan, C., Bouttier, L., Payeur, M.-È., Daigle, S. et Cogliastro, A. 2009. Plantations mélangées pour accompagner le feuillu noble. Présenté au ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec. Programme de mise en valeur des ressources du milieu forestier – Volet II. Projet 16-2008-07. Institut de recherche en biologie végétale, 98 p.
Ressources naturelles Canada. 2008. Mélèze d'Europe (Larix decidua Mill.) et mélèze du Japon (Larix leptolepis (Sieb. Zucc.) Gord.). Service canadien des forêts. Gouvernement du Canada [En ligne]. http://scf.rncan.gc.ca/soussite/glfc-tree-planting/larix-decidua (page consultée le 1er octobre 2008), p.
Rivest, D., Cogliastro, A. et Olivier, A. 2009a. Tree-based intercropping systems increase growth and nutrient status of hybrid poplar: A case study from two Northeastern American experiments. Journal of Environmental Management **91**: 432-440.
Rivest, D., Cogliastro, A., Vanasse, A. et Olivier, A. 2009b. Production of soybean associated with different hybrid poplar clones in a tree-based intercropping system in southwestern Québec, Canada. Agriculture, Ecosystems and Environment **131**: 51-60.
Sayyad, E., Hosseini, S.M., Mokhtari, J., Mahdavi, R., Jalali, S.G., Akbarinia, M. et Tabari, M. 2006. Comparison of growth, nutrition and soil properties of pure and mixed stands of *Populus deltoides* and *Alnus subcordata*. Silva Fennica **40**: 27-35.
USFS.2009. 13 janvier 2009.
von Althen, F.W. 1990. The effects of alternate-row interplanting of five species on black walnut growth. Forestry Canada, Ontario region, Great lakes Forestry Centre. Information report 0-X-409. 14 p.
Zhang, Z.Y., Dai, G.H., Zhuge, Y.Y. et Li, Y.B. 2008. Protective effect of *Robinia pseudoacacia* Linnl extracts against cucumber powdery mildew fungus, *Sphaerotheca fuliginea*. Crop Protection **27**: 920-925.