

Ministère des Ressources naturelles du Québec

Programme de mise en valeur des ressources du milieu forestier

Volet 1

**TITRE : IMPORTANCE DU SYSTÈME RACINAIRE ADVENTIF
 CHEZ LES SEMIS D'ÉPINETTE NOIRE :
 RAPPORT FINAL POUR LA PÉRIODE 1998-99.**

Par : Éric Gagnon, étudiant 2e cycle
 Daniel Lord, professeur
 Jacques Allaire, agr.
 Denis Walsh, M.Sc.
 Université du Québec à Chicoutimi
 Département des Sciences fondamentales
 555, boul. Université
 Chicoutimi, Qué. G7H 2B1
 Tél. 418-545-5011 poste 5064
 Télé. 418-545-5012

Promoteur : Barette-Chapais Ltée
 a/s M. Michel Deshaies
 C.P. 248
 Chapais, Qué. G0W 1H0
 Tel. 418-745-2545
 Télé. 418-745-3079

Collaborateur : Yvon Bouchard, chef
 Yan Lepage, ing. for.
 Unité de gestion de Chibougamau
 Ministère des Ressources naturelles
 624, 3e rue
 Chibougamau, Qué. G8P 1P1
 Tél. 418-748-2647
 Télé. 418-748-3359

30 AVRIL 1999

RÉSUMÉ

Le système racinaire d'une épinette noire issue de la régénération naturelle provient surtout de racines adventives qui se sont développées sur la tige. Le premier objectif considéré dans ce rapport consiste à évaluer l'importance d'enfouir la base de la tige de semis plantés afin de favoriser le développement d'un tel système. Des semis ont été plantés en juin, août et septembre 1996 selon 3 méthodes de plantation (au collet, enfoui et pré-enfoui) et 3 types de sol (organique, minéral et organique (5 cm) sur du minéral). Depuis 3 ans, survie et croissance des plants font l'objet d'un suivi annuel. En 1998, le taux de survie de la plantation dépasse 93 %, la mortalité étant répartie également entre les traitements. Les semis de la première plantation sont plus gros puisqu'ils ont profité d'une saison supplémentaire de croissance. Le type de sol a peu d'influence sur les paramètres mesurés. Durant l'année de la plantation, 7 % des semis placés en conditions favorables (enfoui et pré-enfoui) ont développé des racines adventives. Ce taux est passé à 43 % et 57 % en 1997 et 1998, respectivement. Les semis avec racines adventives investissent leur énergie dans ce système, au détriment du système racinaire initial, et le phénomène de défilement inverse apparaît déjà chez certains semis. Jusqu'à maintenant les traitements qui favorisent la formation de racines adventives affectent peu les paramètres mesurés. Le léger retard de croissance provoqué par le stress de l'enfouissement des semis lors de la plantation a déjà été comblé après 2 ans.

Un second objectif visait à déterminer si l'enfouissement des branches basales de semis d'épinette noire suite à une plantation profonde conduit, sept ans plus tard, à une augmentation significative du nombre de plants présentant des tiges multiples. Un dispositif expérimental implanté en 1991 à l'aide d'une planteuse mécanique Sylva-Nova qui enfouissait une partie de la tige des semis a été étudié. Les résultats indiquent que le phénomène de tiges multiples suite à l'enfouissement des branches au bas du semis lors de la plantation affecte moins de 1 % des plants enfouis. Il s'agit donc d'un phénomène marginal dans cette plantation et nous estimons qu'il en serait généralement de même dans les plantations où la tige des semis aurait été partiellement enfouie.

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ.....	ii
TABLE DES MATIÈRES	iii
LISTE DES FIGURES.....	iv
LISTE DES TABLEAUX.....	V
INTRODUCTION.....	1
PARTIE I : DÉVELOPPEMENT DU SYSTÈME RACINAIRE ADVENTIF	
MATÉRIEL ET MÉTHODES	3
RÉSULTATS ET DISCUSSION	9
CONCLUSIONS.....	13
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	15
REGROUPEMENT DES FIGURES ET TABLEAUX	17
ANNEXE 1.....	30
ANNEXE 2.....	31
PARTIE II : PROFONDEUR DE PLANTATION ET TIGES MULTIPLES	
INTRODUCTION.....	32
MATÉRIEL ET MÉTHODES	33
RÉSULTATS ET DISCUSSION	34
CONCLUSIONS.....	36
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	36

LISTE DES FIGURES

FIGURE 1 : PROPORTION DES SEMIS D'ÉPINETTE NOIRE AYANT DES RACINES ADVENTIVES EN FONCTION DE TROIS MÉTHODES DE PLANTATION POUR TROIS ANNÉES D'ÉCHANTILLONNAGES	25
FIGURE 2 : DIAMÈTRE AU NIVEAU DU COLLET ET DIAMÈTRE AU NIVEAU DU SOL DE SEMIS D'ÉPINETTE NOIRE POUR L'ANNÉE 1998.	25
FIGURE 3 : BIOMASSE SÈCHE DE LA TIGE DE SEMIS D'ÉPINETTE NOIRE EN FONCTION DE TROIS DATES DE PLANTATION POUR L'ANNÉE 1998	26
FIGURE 4 : HAUTEUR DE LA TIGE DE SEMIS D'ÉPINETTE NOIRE EN FONCTION DE LA MÉTHODE DE PLANTATION POUR L'ANNÉE 1998	26
FIGURE 5 : DIAMÈTRE AU NIVEAU DU COLLET ET DIAMÈTRE AU NIVEAU DU SOL DE SEMIS D'ÉPINETTE NOIRE EN FONCTION DE LA MÉTHODE DE PLANTATION POUR L'ANNÉE 1998.....	27
FIGURE 6 : BIOMASSE SÈCHE DES RACINES NON-ADVENTIVES DE SEMIS D'ÉPINETTE NOIRE EN FONCTION DE LA MÉTHODE DE PLANTATION	27
FIGURE 7 : BIOMASSE SÈCHE DES RACINES ADVENTIVES DE SEMIS D'ÉPINETTE NOIRE EN FONCTION DE LA MÉTHODE DE PLANTATION POUR L'ANNÉE 1998.....	28
FIGURE 8 : BIOMASSE SÈCHE DU TOTAL DES RACINES DE SEMIS D'ÉPINETTE NOIRE EN FONCTION DE LA MÉTHODE DE PLANTATION.....	28
FIGURE 9 : LONGUEUR CUMULÉE DES RACINES ADVENTIVES DE SEMIS D'ÉPINETTE NOIRE EN FONCTION DE LA MÉTHODE DE PLANTATION POUR L'ANNÉE 1998.....	29
FIGURE 10 : HAUTEUR DES PLANTS EN FONCTION DES DÉFAUTS DE TIGE ; LES MOYENNES SURMONTÉES D'UNE LETTRE DISTINCTE SONT SIGNIFICATIVEMENT DIFFÉRENTES À $P \leq 0,05$. LES BARRES VERTICALES REPRÉSENTENT LES ERREURS-TYPES	35

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU 1: CARACTÉRISTIQUES DES QUATRE LOTS DE GRAINES FOURNIES PAR LE CENTRE DE SEMENCES FORESTIÈRES DE BERTHIER.....	17
TABLEAU 2: DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL POUR UN DES 5 BLOCS	17
TABLEAU 3 : ANALYSE DE VARIANCE DU TAUX DE MORTALITÉ DES SEMIS D'ÉPINETTE NOIRE	18
TABLEAU 4 : POURCENTAGE DE SEMIS AYANT DÉVELOPPÉ DES RACINES ADVENTIVES EN FONCTION DES DIFFÉRENTES MÉTHODES DE PLANTATION ET TYPES DE SOL POUR LES ÉCHANTILLONNAGES 1996, 1997 ET 1998.....	18
TABLEAU 5 : ANALYSE DE VARIANCE DU NOMBRE DE SEMIS D'ÉPINETTE NOIRE AVEC DES RACINES ADVENTIVES.....	19
TABLEAU 6 : ANALYSE DE VARIANCE DE LA HAUTEUR DE LA TIGE POUR DES SEMIS D'ÉPINETTE NOIRE.....	19
TABLEAU 7 : ANALYSE DE VARIANCE DU DIAMÈTRE AU COLLET POUR DES SEMIS D'ÉPINETTE NOIRE.....	20
TABLEAU 8 : ANALYSE DE VARIANCE DU DIAMÈTRE AU NIVEAU DU SOL POUR DES SEMIS D'ÉPINETTE NOIRE	20
TABLEAU 9 : ANALYSE DE VARIANCE DE LA BIOMASSE SÈCHE DE LA TIGE POUR DES SEMIS D'ÉPINETTE NOIRE.....	21
TABLEAU 10 : ANALYSE DE VARIANCE DE LA BIOMASSE SÈCHE DES RACINES NON-ADVENTIVES POUR DES SEMIS D'ÉPINETTE NOIRE	21
TABLEAU 11 : EFFET DE LA POPULATION SUR LA HAUTEUR DE LA TIGE, LE DIAMÈTRE AU COLLET, LE DIAMÈTRE AU NIVEAU DU SOL ET LES BIOMASSES SÈCHES DE LA TIGE , DES RACINES NON-ADVENTIVES ET DU TOTAL DES RACINES POUR DES SEMIS D'ÉPINETTE NOIRE ÉCHANTILLONNÉS EN SEPTEMBRE 1998	22
TABLEAU 12 : ANALYSE DE VARIANCE DE LA BIOMASSE SÈCHE DES RACINES ADVENTIVES POUR DES SEMIS D'ÉPINETTE NOIRE	22
TABLEAU 13 : ANALYSE DE VARIANCE DE LA LONGUEUR CUMULÉE DES RACINES ADVENTIVES POUR DES SEMIS D'ÉPINETTE NOIRE	23
TABLEAU 14 : ANALYSE DE VARIANCE DE LA BIOMASSE RACINAIRE TOTALE POUR DES SEMIS D'ÉPINETTE NOIRE.....	23
TABLEAU 15 : ANALYSE DE VARIANCE DU TAUX DE PHOTOSYNTÈSE NET POUR DES SEMIS D'ÉPINETTE NOIRE.....	24
TABLEAU 16 : ANALYSE DE VARIANCE DES ANALYSES CHIMIQUES D'AIGUILLES POUR DES SEMIS D'ÉPINETTE NOIRE.....	24

TABLEAU 17 : POURCENTAGE DE PLANTS D'ÉPINETTE NOIRE EN FONCTION DU TYPE DE
PLANTATION ET DES DÉFAUTS DE TIGE 34

TABLEAU 18 : ANALYSE DE VARIANCE DE LA HAUTEUR DES PLANTS EN FONCTION DES CLASSES
DE TIGE. 35

INTRODUCTION

Ce rapport se veut la suite d'un projet entrepris à l'automne 1995 et qui devrait se poursuivre encore sur plusieurs années si l'on veut atteindre les quatre objectifs identifiés au départ. Rappelons que ceux-ci étaient les suivants :

- 1- Déterminer si un semis en première année de croissance peut développer des racines adventives sur sa tige.
- 2- Évaluer le potentiel de développement du système racinaire adventif chez des semis plantés à différentes époques de l'année.
- 3- Définir la dynamique d'implantation du système racinaire adventif de semis d'épinette noire après plantation en inventoriant des plantations existantes d'âges différents sises sur le territoire géré par l'unité de gestion de Chibougamau.
- 4- Commencer à étudier le phénomène des cimes multiples dans des plantations où les semis ont été plantés plus profondément.

Le premier objectif a été atteint dans sa totalité et les résultats se retrouvent dans le rapport final pour la période 1995-97 (Lord 1997).

Les travaux concernant l'objectif 2 sont ceux qui vont s'étendre sur plusieurs années, car son atteinte exige la cueillette de nombreuses informations sur plusieurs années. Le rapport de l'an dernier (Lord 1998) faisait état des résultats recueillis en 1996 et 1997, alors que celui-ci, présenté en première partie du rapport, ajoute les résultats recueillis en 1998 à ceux qui ont été obtenus en 1996 et 1997.

La date de mise en place des travaux concernant l'objectif 3 a été fixée à l'été 1999 au plus tôt (cf. lettre du 22 août 1997 adressée à M. Benjamin Martin de l'UG de Chibougamau). Quant à

l'objectif 4, la même lettre faisait état de travaux qui se dérouleraient à l'été 1998, lesquels ont été réalisés, les résultats étant présentés dans la seconde partie de ce rapport.

PARTIE I :
DÉVELOPPEMENT DU SYSTÈME RACINAIRE ADVENTIF
MATÉRIEL ET MÉTHODES

Des semis d'épinette noire (*Picea mariana* (Mill.) BSP.) de quatre provenances ont été produits pour cette expérience (tableau 1). Les quatre lots ont été fournis par le Centre de semences forestières de Berthier. Les trois premiers lots de semis ont été produits aux serres du Pavillon de la Recherche Forestière de l'UQAC (latitude 48°25', longitude 71°04'), alors que le quatrième lot a été produit à la pépinière Boucher de St-Ambroise (latitude 48°33', longitude 71°20').

Deux méthodes ont été utilisées pour produire les semis avant plantation. La première ne favorisait pas le développement avant plantation d'un système racinaire adventif, alors que la seconde donnait la possibilité aux semis de développer un système racinaire adventif avant leur plantation.

Les semis sans racines adventives des 3 lots produits à l'UQAC ont été obtenus en utilisant la méthode standard de production dans des récipients 45-110. Les semis sans racines adventives de la pépinière Boucher ont été produits dans des récipients 67-50 jusqu'à leur réception à l'UQAC, un an après le semis et ont ensuite été transférés dans des récipients 45-110 en s'assurant que le collet des semis n'était pas enfoui.

L'obtention d'un certain nombre de semis avec racines adventives avant plantation fait appel à la méthode de pré-enfouissement de 5 cm de la tige des semis. Les semis produits aux serres de l'UQAC ont pu croître dans des récipients 67-50 jusqu'à leur 16e semaine. Ils ont alors été transférés dans des récipients 45-110 et les 5 premiers cm de la base de leur tige ont été recouverts par de la tourbe. Les semis produits dans la pépinière privée ont pu croître pendant un an dans des récipients 67-50 jusqu'à leur réception au Pavillon de la Recherche Forestière. Une fois sur place, ils ont été transférés dans des récipients 45-110 avec enfouissement des 5 premiers cm de leur tige. Les plants de la pépinière privée ont été placés à l'extérieur des serres de l'Université jusqu'à la plantation après leur transfert dans des 45-110 alors que les plants de

l'Université ont été placés à l'extérieur quatre semaines plus tard. Puisque la provenance biologique, le lieu de production et l'âge de certains semis sont différents, dans le cadre de ce travail, les termes population S1, S2, S3 seront utilisés pour qualifier les plants produits aux serres de l'Université et population P pour les plants de la pépinière privée.

Les semis ont par la suite été mis en terre dans l'aire commune 26-20 du secteur de Chapais. Deux sites ont été identifiés : site 1 : latitude 49°17'30'' N, longitude 75°13' O et site 2 : latitude 49°19'30'' N, longitude 75°12' O. Les sites étaient scarifiés et ils avaient déjà été reboisés. Un dispositif expérimental factoriel aléatoire et incomplet avec 3360 semis a été utilisés pour effectuer la plantation (tableau 2).

Le dispositif sur le terrain peut se résumer ainsi : (5 Blocs) X (4 Populations) X (3 Dates de plantation) X (8 combinaisons méthode de production-type de sol (combinaisons M-S)) X (7 Parcelles), pour un total de 3360 plants.

Les blocs 1, 2 et 3 étaient situés dans le site 1 qui est un site mésique où la couche de matière organique est épaisse et bien décomposée, alors que les blocs 4 et 5 étaient situés dans le site 2 qui est un site xérique où la couche de matière organique est mince et peu décomposée.

Dans chaque bloc il y a 7 parcelles qui correspondent chacune à une date d'échantillonnage ; tous les plants d'une parcelle sont ou seront mesurés au même âge. Il y aura donc des échantillonnages à 7 âges différents. Ces échantillonnages ont été planifiés à l'automne 1996, 1997, 1998, 1999, 2001, 2003 et 2006.

Chaque parcelle est divisée en 6 rangées où sont plantés 16 plants pour un total de 96 positions par parcelle. Ces 96 positions correspondent aux 96 combinaisons possibles Date X Population X combinaisons M-S (3 x 4 x 8). Chacune des 96 combinaisons de traitement a été affectée aléatoirement à une des 96 positions dans la parcelle.

Le facteur DATE correspond à 3 dates de plantation. La première plantation a été effectuée sur une période s'étendant du 17 juin au 9 juillet 1996. La seconde s'est fait du 6 au 14 août et la troisième du 3 au 10 septembre de la même année. Il est à noter que la fonte des neiges tardive du printemps 1996, les conditions très sèches prévalant en début de saison de plantation et les arrêts des travaux en forêt décrété par le MRN à cette époque nous ont obligé à modifier quelque peu nos dates de plantation comparativement au plan initial. C'est ce qui explique entre autres le délai de 22 jours entre le début et la fin de la première plantation.

Le facteur POPULATION correspond aux 4 populations décrites précédemment, soit les populations S1, S2, S3 et P.

Les 8 niveaux du facteur combinaison M-S ont été obtenus en associant 3 méthodes de plantation et 3 types de micro-sites (tableau 2). Les méthodes de plantation "COLLET" et "ENFOUIE" ont été obtenues en plantant les semis produits possiblement sans racines adventives alors que la méthode de plantation "PRÉ-ENFOUIE" a été obtenue en plantant les semis avec possiblement des racines adventives.

Les semis produits possiblement sans racines adventives ont été plantés de cinq façons : 1) enfouissement jusqu'au collet dans un micro-site qui avait plus de 15 cm de sol minéral, soit la combinaison "COLLET M-M", 2) enfouissement jusqu'au collet dans un micro-site qui avait plus de 15 cm de sol contenant une forte proportion de matière organique, soit la combinaison "COLLET O-O", 3) enfouissement de 5 cm de la tige dans un micro-site qui avait une couche d'environ 5 cm de matière organique sur un sol minéral, soit la combinaison "ENFOUIE O-M", 4) enfouissement de 5 cm de la tige dans un micro-site qui avait plus de 20 cm de matière organique, soit la combinaison "ENFOUIE O-O", 5) enfouissement de 5 cm de la tige dans un micro-site qui avait plus de 20 cm de sol minéral, soit la combinaison "ENFOUIE M-M".

Les semis avec possiblement des racines adventives ont été plantés de trois façons : 1) enfouissement jusqu'au sommet de la carotte de tourbe dans un micro-site qui avait plus de 15

cm de sol minéral, soit la combinaison “PRÉ-ENFOUIE M-M”, 2) enfouissement jusqu’au sommet de la carotte de tourbe dans un micro-site qui avait plus de 15 cm de sol contenant une forte proportion de matière organique, soit la combinaison “PRÉ-ENFOUIE O-O”, 3) enfouissement jusqu’au sommet de la carotte de tourbe dans un micro-site qui avait une couche d’environ 5 cm de matière organique sur un sol minéral, soit la combinaison “PRÉ-ENFOUIE O-M”.

Huit combinaisons méthodes-sols ont donc été étudiées. Le type de sol minéral sur organique n’a pas été utilisé puisqu’il ne correspond pas à la réalité terrain. La combinaison méthode de plantation au collet et type de sol organique sur minéral n’a pas été utilisée puisqu’elle n’amène aucune condition nouvelle pour des semis non-enfouis comparativement aux autres combinaisons.

Ce travail ramène les résultats des deux premières récoltes, octobre 1996 et octobre 1997, et introduit ceux de la troisième récolte effectuée en septembre 1998. Les derniers taux de survie ont été mesurés au même moment.

La récolte des 5 parcelles de la récolte 1, soit 477 plants, s’est déroulée du 15 au 17 octobre 1996, celle de la parcelle récolte 2 (455 plants) s’est déroulée du 6 au 8 octobre 1997 alors que celle de la parcelle récolte 3 (430 plants) a eu lieu du 21 au 23 septembre 1998. Les semis ont été déterrés puis placés dans des sacs de plastique pré-identifiés et amenés au laboratoire. Lors du séjour d’octobre 1996, le taux de survie de l’ensemble de la plantation a été effectué en répertoriant un à un chacun des 3 360 semis et en notant s’il était mort ou vivant, alors que le même exercice s’est fait à l’été 1997 et à l’automne 1998 en répertoriant un à un respectivement chacun des 2 880 et 2400 semis restants.

Au laboratoire, les semis ont été conservés en chambre froide en attendant qu’ils soient mesurés. Une fois les racines nettoyées, les semis ont été mesurés (longueur de la tige, diamètre au collet et au niveau du sol (échantillonnage 3 seulement)) et pesés (biomasse sèche de la tige et des

racines). Une attention particulière a été portée aux racines adventives caulinaires qui ont été recherchées puis mesurées et pesées séparément.

Deux autres volets ont été ajoutés aux expérimentations en 1998, des mesures du taux de photosynthèse sur le terrain et des analyses de la composition chimiques des aiguilles. Les facteurs méthodes de plantation et type de sol (combinaison M-S) ont été étudiés pour ces deux volets. Pour les mesures du taux de photosynthèse qui ont eu lieu du 31 août au 2 septembre, les plants ont été sélectionnés dans les parcelles du troisième temps de récolte (automne 1998). Une relation peut ainsi être établie entre la photosynthèse et les paramètres de croissance obtenus lors de l'échantillonnage. À l'intérieur de ce groupe, les semis de la première date de plantation (juin-juillet) et de la population P ont été retirés afin d'obtenir une plus grande homogénéité. À partir des semis restants, une liste a été compilée et amenée sur le terrain.

Une fois sur le terrain, dans chacun des blocs, les deux premier semis rencontrés pour chaque combinaison méthodes-sols ont été identifiées par un ruban rouge (5 blocs x 8 méthodes x 2 semis = 80 semis x 2 mesures). Ce dernier a été placé sur une pousse et quelques aiguilles ont été enlevées pour permettre une fermeture étanche de la cuvette sur le semis lors de la prise de mesures. Les plants ont eu un minimum d'une heure pour s'acclimater à ce stress. Les mesures ont été prises avec un LI-6200 de LI-COR (1989). Trente minutes avant la prise des mesures, l'appareil a été placé dans les mêmes conditions que les semis et a été calibré selon les procédures de LI-COR (1989). Le taux de photosynthèse a été mesuré en $\mu\text{mole de CO}_2/\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ à partir du différentiel de CO_2 pendant une minute (3x20 secondes). La cuvette un quart de litre de LI-COR a été utilisée. Les mesures du taux de photosynthèse ont été effectuées sur trois journées ; les plants sélectionnés des blocs 1 à 3 ont été mesurés une première fois le 31 août, tous les semis sélectionnés ont été mesurés le premier septembre et ceux des blocs 4 et 5 ont été mesurés une deuxième fois le 2 septembre 1998. Les mesures ont été prises sous lumière saturante grâce à deux ampoules halogènes de 50 watts (12 volts) à faisceau étroit. Le LI-6200 permet de mesurer directement la quantité de lumière dans la chambre foliaire et, d'après la littérature, une lumière de $1000 \mu\text{moles}/\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ permet de saturer en lumière l'épinette noire

(Lamhamedi, 1994). Suite à la dernière mesure du taux de photosynthèse, les pousses ont été recueillies dans des sacs pré-identifiés et emmenés au laboratoire.

La surface foliaire totale de chacune des pousses d'épinette noire recueillies sur le terrain a été mesurée à l'aide d'un numériseur et du logiciel Win/MacNeedle (1998) de Régent Instrument inc. Les taux de photosynthèse nette ont ensuite été obtenus en divisant les taux de photosynthèse mesurés par leur surface foliaire respective.

Quarante échantillons d'aiguilles ont été envoyés au laboratoire de chimie organique-inorganique de la direction de la recherche forestière du Ministère des ressources naturelles pour la détermination de leur composition chimique. Des semis récoltés lors de l'échantillonnage de 1998 ont été utilisés. Les semis des populations S1, S2 et S3 et de la première date de plantation (juin-juillet) ont été sélectionnés afin d'obtenir une plus grande homogénéité. Dans chaque bloc, un échantillon a été préparé avec les aiguilles prélevées sur tous les semis d'une même combinaison méthodes-sols (5 blocs x 8 méthodes = 40 échantillons). Les analyses ont été effectuées selon la méthode standard utilisée par le MRN (Thomas, 1967 et C.S.S.S.,1993).

Les données ont été traitées à l'aide d'une base de donnée et l'analyse statistique a été effectuée à l'aide du logiciel SAS system (SAS Institute Inc. 1988). Des analyses de variance ont été effectuées (procédure GLM) et des comparaisons multiples ont été effectuées avec le test de Tukey. Les données avec des fréquences ont été transformées par l'arc sinus. Le résultat de probabilité retenu comme étant le seuil significatif a été de 5 %.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Le relevé de la survie effectué à l'automne 1998 montre que 144 semis sont morts sur les 2278 semis restant sur le site. Le taux de survie est donc supérieur à 93 %. Ce taux était de 96 % à l'été 1997 et de 99 % à l'automne 1996. La mortalité des semis est encore faible peu importe la population, la date de plantation, la méthode de plantation et le type de sol. Plusieurs semis ont toutefois été affectés par deux gels tardifs qui ont eu lieu les matins du 27 et du 31 mai 1998, les dommages qui étaient visibles ont été notés. Les taux de survie ultérieurs permettront de mesurer les effets de ce gel sur la plantation. Il est à noter que selon nos nombreuses visites dans différentes plantations durant la saison de croissance 1998, ces gels ont affecté plusieurs plantations situées en zone boréale. Les données brutes se retrouvent à l'annexe 1.

L'analyse de variance du taux de mortalité des semis ne montre pas de différences significatives pour aucun facteur (tableau 3). Les facteurs dates et méthodes de plantation n'affectent plus la survie des plants cette année. En 1996 et 1997 la mortalité était supérieure pour la première plantation en raison d'une sécheresse au moment de la plantation. Le stress hydrique est la première cause de mortalité ou de baisse de croissance lors de la plantation de semis de conifère pour le reboisement (Orlander, 1990) mais cet événement ponctuel n'aura affecté le taux de survie que les deux premières années.

Un total de 452 racines adventives s'est développé sur 190 des 430 semis récoltés lors de l'échantillonnage de l'automne 1998. Selon le dispositif expérimental, 317 semis sur les 430 étaient placés dans des conditions favorisant le développement de racines adventives. De telles racines ont aussi été retrouvées sur 8 semis plantés au collet sur les 113 récoltés, contrairement à l'année 1997, on les retrouve dans les deux types de sol (organique et minéral). L'enfouissement de la tige ou l'accumulation de débris autour de la tige sont des conditions essentielles au développement des racines adventives (Aubin, 1996 ; Cloutier et Fillion, 1995 ; Lebaron, 1945 ; McClain, 1981 ; Stroempl, 1990 ;). Ces semis plantés au collet en 1996 auraient donc été enterrés de façon naturelle. Des racines adventives se sont développées sur 44 % de l'ensemble

des semis et sur 57 % de ceux qui ont été enfouis à la plantation ou pré-enfouis lors de la période de production (tableau 4).

L'analyse de variance pour les semis ayant des racines adventives montre des différences significatives pour le facteur méthodes de plantation ($p=0.0001$, tableau 5). La différence vient encore en 1998 des semis plantés au collet qui ne sont pas placés dans des conditions adéquates pour le développement d'un tel système racinaire (figure 1). Ce type de racines se retrouve sur 115 semis pré-enfouis (71,4 %) comparativement à 91 semis en 1997 (53,2 %) et 24 en 1996 (13 %). Des racines adventives se sont développées sur 67 semis (42,9 %) enfouis de 5 cm à la plantation comparativement à 54 semis (31,8 %) en 1997 et à deux semis (1 %) en 1996. Pour une troisième année, la méthode de plantation avec pré-enfouissement permet d'obtenir la plus grande quantité de semis avec des racines adventives, suivie par la méthode avec enfouissement à la plantation qui permet également d'en obtenir une bonne quantité. Les données brutes se retrouvent à l'annexe 2.

Des différences significatives sont observées pour le facteur population pour les paramètres hauteur de la tige (tableau 6), diamètre au collet (tableau 7), diamètre au niveau du sol (tableau 8), biomasse sèche de la tige (tableau 9), biomasse sèche des racines non-adventives (tableau 10) et biomasse sèche racinaire totale (tableau 14). La taille et l'âge supérieurs des semis de la pépinière Boucher (population P) lors de leur plantation est encore visible en 1998 (tableau 11).

Les analyses de variance portant sur les mesures du diamètre au collet (tableau 7), du diamètre au niveau du sol (tableau 8) et de la biomasse sèche de la tige (tableau 9) montre des différences significatives pour le facteur date de plantation. Les résultats montrent que les diamètres (figure 2) et la biomasse sèche de la tige (figure 3) sont supérieurs pour la première date de plantation (juin-juillet). Ces différences étaient présentes l'année dernière et peuvent s'expliquer par une saison de croissance supplémentaire pour les semis plantés plus tôt. Ces différences devraient donc diminuer au cours des années.

Des différences significatives sont également présentes pour le facteur méthodes de plantation, en ce qui concerne la hauteur de la tige (tableau 6), le diamètre au collet (tableau 7), la biomasse sèche des racines non-adventives (tableau 10), la biomasse sèche des racines adventives (tableau 12), la longueur cumulée des racines adventives (tableau 13) et la biomasse sèche racinaire totale (tableau 14). La figure 4 montre la hauteur de la tige en fonction des méthodes de plantation. Comme en 1997, les semis pré-enfouis ont une hauteur de la tige supérieure aux autres méthodes de plantation.

Comme en 1997, la biomasse des racines non-adventives pour les semis qui ont été pré-enfouis est inférieure aux deux autres méthodes de plantation (figure 6). La comparaison des données de cette figure et de celles de la figure 1 confirme encore cette année que les semis qui développent plus de racines adventives subissent une perte de biomasse au niveau du système racinaire non-adventif. Le système racinaire non-adventif serait graduellement remplacé par un système racinaire adventif (McClain, 1981). Deux autres paramètres confirment d'ailleurs cette tendance, la biomasse sèche des racines adventives (figure 7) et la longueur cumulée des racines adventives (figure 9) en fonction de la méthode de plantation. La biomasse et la longueur cumulée des racines adventives ont une valeur significativement supérieure pour la méthode pré-enfouie suivie par la méthode enfouie. La figure 8 montre la biomasse sèche totale des racines. La biomasse racinaire totale des semis pré-enfouis est inférieure aux deux autres méthodes de plantation alors que celle des semis enfouis de 5 cm est semblable à celle des semis plantés au collet. Toutefois les figures 1, 6, 7, 8 et 9 montrent que le système racinaire des trois méthodes de plantation se développe différemment. En effet, le système racinaire non-adventif des plants enfouis et pré-enfouis se dégraderait plus rapidement, la présence de racines adventives pourrait en être responsable. Lors de l'échantillonnage, il a été observé que les vieilles racines fines étaient souvent mortes et pourries. Ce phénomène était moins important chez les semis non-enfouis sans racines adventives. Même si la biomasse sèche totale de racine diminue avec l'enfouissement, cela ne change en rien la croissance de la partie aérienne du plant, même que la hauteur de la tige est significativement supérieure chez les pré-enfouis. Ainsi même avec une biomasse inférieure, le système racinaire en place permet de combler aussi bien les besoins en eau et en minéraux du

plant. Les racines adventives présentes chez ces plants permettraient donc au système racinaire d'être plus efficace pour répondre aux besoins des parties aériennes.

La figure 5 montre l'apparition du phénomène de défilement inverse chez les semis dont la tige a été enfouie et pré-enfouie. Le diamètre pour ces deux méthodes de plantation est moindre au niveau du collet en comparaison avec celui qui est au niveau du sol. Ce phénomène est observé chez l'épinette noire adulte et consiste en un ralentissement de la croissance du diamètre de la partie de la tige enfouie dans le sol (DesRocher, 1997).

Il y a une interaction (populations x dates) pour le paramètre hauteur de la tige (tableau 6) et une interaction (populations x méthodes x sols) pour les paramètres biomasse sèche et longueur cumulée des racines adventives (tableau 12 et 13).

Pour ce qui est des mesures du taux de photosynthèse, l'analyse de variance (tableau 15) montre qu'il n'y a aucun effet significatif. L'analyse de variance de la composition chimique des aiguilles (tableau 16) ne montre pas d'effet significatif pour les différents composés chimiques. Ainsi la composition chimique des aiguilles et les taux de photosynthèse des épinettes noires étudiées sont les mêmes peu importe la méthode de plantation et le type de sol.

CONCLUSIONS

Les objectifs de ce rapport étaient d'évaluer et d'étudier le potentiel de développement du système racinaire adventif caulinaire, le taux de survie et les effets des différents facteurs sur la croissance des semis.

Un taux de survie supérieur à 93 % a été obtenu pour cette plantation de 1996 récolté en 1998. Aucun facteur n'affecte significativement la survie. Les effets de date et de méthode de plantation retrouvés antérieurement sur la mortalité des semis se sont atténués avec le temps. Un gel tardif important qui a touché la plantation au printemps de 1998 devrait avoir un impact négatif sur le taux de survie pour la récolte 1999 surtout pour les blocs 1, 2 et 3.

Des racines adventives ont été retrouvées sur 190 des 430 semis récoltés en septembre 1998. Comme en 1996 et 1997, un effet de la méthode de plantation a été observé. Le pré-enfouissement permet d'obtenir plus de semis avec des racines adventives et l'enfouissement permet également d'en obtenir mais dans une moindre mesure.

Comme en 1996 et en 1997, le facteur population a un effet significatif sur plusieurs paramètres de croissance. La taille plus élevée et l'âge supérieur des semis de la pépinière Boucher (population P) lors de leur plantation a un impact encore visible en 1998. Des effets de la date de plantation et de la méthode de plantation sont aussi présents. Les tiges des semis mis en terre lors de la première plantation sont encore de diamètre et de masse supérieure puisqu'ils ont pu s'adapter au terrain l'année de leur plantation et qu'en plus, ils ont pratiquement profité d'une saison de croissance de plus. La hauteur de la tige des semis pré-enfouis est supérieure à celle des deux autres méthodes de plantation, comme en 1997.

La relation inverse qui semble se développer entre l'expression du potentiel de développement du système racinaire adventif et la biomasse retrouvée au niveau du système racinaire non-adventif se poursuit en 1998. Plus le plant met de l'énergie à développer le système adventif, moins il en

accorde à la croissance du système racinaire non-adventif. La biomasse sèche et la longueur cumulée des racines adventives sont d'ailleurs plus élevées pour la méthode pré-enfouie.

Le phénomène de défilement inverse est visible chez les semis qui ont été enfouis et pré-enfouis, le diamètre au collet des plants qui ont été enfouis étant inférieur au diamètre mesuré au niveau du sol.

Le phénomène de tige multiple qui pourrait être relié à l'enfouissement des plants n'a pratiquement pas été retrouvé au cours des trois échantillonnages effectués jusqu'à présent (Gross, 1985 et Webb, 1984). Par contre, les gels tardifs qui ont affecté plusieurs bourgeons terminaux de la plantation au printemps 1998 pourraient rendre le phénomène moins marginal.

Il n'y a pas de différence entre les méthodes de plantation et les types de sol pour le taux de photosynthèse et la composition chimique des aiguilles. L'appareil photosynthétique et son fonctionnement ne semblent pas être affectés par ces deux facteurs.

Les trois échantillonnages permettent d'observer de façon générale que certains effets ponctuels disparaissent avec le temps alors que des tendances générales se manifestent. Encore cette année, aucun effet de sol n'est présent. L'enfouissement des semis pendant la production ou lors de la plantation leur donne un léger avantage au niveau de la hauteur de la tige et un effet négatif sur le système racinaire non-adventif. D'autre part l'enfouissement a peu d'influence sur la croissance et la survie des semis. Par contre l'effet de l'enfouissement sur le développement de racines adventives est très prononcé, tant sur le nombre, la longueur, que sur la biomasse de ces racines. De plus cette tendance tend à s'accroître avec le temps. Si la croissance à long terme des semis d'épinette noire est favorisée par le développement de racines adventives, l'enfouissement des semis est prometteur. Finalement, l'inquiétude que pourrait apporter le résultat biomasse racinaire totale inférieure chez les semis enfouis n'a pas sa raison d'être puisque l'ensemble des données ayant trait aux parties aériennes des plants montre que celles-ci ne sont pas affectées lorsqu'il y a présence de racines adventives sur les semis.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Aubin, K. N. 1996. Influence du contenu en eau du substrat et de la profondeur de plantation sur la formation de racines adventives caulinaires, la croissance et l'allocation glucidique de semis d'épinette noire. Mémoire de maîtrise. UQAC. 105 p
- Canadian Society of Soil Science, 1993. Soil sampling and methods of analysis. Carter M.R. editor, Lewis publishers.
- Cloutier, J. et L. Fillion. 1995. Analyse dendrométrique d'une frange forestière soumise à l'entourbement sur une île centrale du lac Bienville, Québec subarctique. Recueil des résumés de communication, 63ième congrès de l'Acfas, UQAC, p. 47.
- DesRocher, A. Gagnon, R. 1997. Is ring count at ground level a good estimation of black spruce age ? Can. J. For. Res. 27 : 1263-1267.
- Gross, H.L. 1985. Multiple-leadered trees compare favorably with single-leadered trees in field performance tests of nursery stock, Great Lakes Forest Research Center, Canadian Forestry Service, Inf. Rep. O-X-363, Sault Ste. Marie, Ont.
- Lamhamedi, M. S. and Bernier, P. Y. 1994. Ecophysiology and field performance of black spruce (*Picea mariana*) : a review. Ann Sci For 51, 529-551.
- LeBarron, R. K. 1945. Adjustment of black spruce root system to increasing depth of peat. Ecology, 26(3) : 309-311.
- LI-COR. 1989. LI-6200 primer. LI-COR inc. Lincoln, Nebraska, U.S.A.
- Lord, D. 1997. Importance du système racinaire adventif chez les semis d'épinette noire : Rapport final pour la période 1995-97. Rapport présenté au Ministère des Ressources naturelles du Québec (Forêt), unité de gestion de Chibougamau, projet volet 1, juin 1997. 22 p.
- Lord, D., Gagnon É., Walsh D. 1998. Importance du système racinaire adventif chez les semis d'épinette noire : Rapport final pour la période 1997-98. Rapport présenté au Ministère des Ressources naturelles du Québec (Forêt), unité de gestion de Chibougamau, projet volet 1, mai 1998. 19 p.
- Mclain, K. M. 1981. Growth, nutrition and root development of ontario tubeling, plugs and 3+0 bare-root black spruce. Proceeding of the Canadian Containerized Tree Seedling Symposium, septembre 1981. SCF, MNR. Toronto. 331-342
- Orlander, G. Due, K. 1990. Location of hydraulic resistance in the soil ; 1-plant pathway in seedling of *Pinus sylvestrus* L. Grown in peat. Can. J. For. Res. 16 : 115-1223.

- Régent instruments inc. 1998. Win/Mac Needle version 4.4A. Québec, Canada, 32 pp.
- SAS Institutes Inc. 1988. SAS/STAT™ User's Guide Release 6.03 Edition. Cary, NC : SAS Institutes Inc. , 1028 pp.
- Stroempl, G. 1990. Deeper planting of seedlings and transplants increase plantation survival. Tree Planter's Notes, 41(4) : 17-21.
- Thomas R.R., Sheard R.W., Mayer J.R. 1967. Comparaison of conventional and automated procedures for nitrogen, phosphorus and potassium, analysis of plant material using a single digestion. Agronomy Journal, Vol.59, June p,240-243
- Webb, D.P. and Reese, K. H. 1984. Multiple leadering of coniferous nursery stock, Csn. For. Serv., Min. Natural Ressources, Ont., Joint Rep. No 3,

REGROUPEMENT DES FIGURES ET TABLEAUX

Tableau 1 : Caractéristiques des quatre lots de graines fournies par le Centre de semences forestières de Berthier

PROVENANCE	NBRE DE SEMENCE / KG *1000	ZONE	LATITU-DE	LONGI-TUDE	DATE DE RÉCOLTE
(S1) EPN-VI-025-K13-026-94	848	Verger	49°50'	74°50'	1994
(S2) EPN-AI-12B-K91-025-90	954	Boréale	49°40'	72°50'	1990
(S3) EPN-NI-12B-K91-025-84	1082	Boréale	49°40'	72°50'	1984
(P) EPN-NI-11A-Y32-024-88	886	Boréale	49°54'	71°15'	1988

Tableau 2 : Dispositif expérimental pour un des cinq blocs

		Populations											
		S1			S2			S3			P		
Dates de plantation	Sols	Méthodes			Méthodes			Méthodes			Méthodes		
		Pré-enfoui	Enfoui 5 cm	Collet	Pré-enfoui	Enfoui 5 cm	Collet	Pré-enfoui	Enfoui 5 cm	Collet	Pré-enfoui	Enfoui 5 cm	Collet
Jn-Jl	O-O	7	7	7									
	M-M	7	7	7									
	O-M	7	7	N.A.									
Août	O-O												
	M-M												
	O-M												
Septembre	O-O												
	M-M												
	O-M												

N.A. : non appliqué.

Tableau 3 : Analyse de variance du taux de mortalité des semis d'épinette noire pour quatre populations, trois dates de plantation, trois méthodes de plantation et trois types de sol

Source de variation	dl	carré moyen	1998		1997	1996
			F	p	p	p
Populations (P)	3	0.0375	2.36	0.0715		
Dates (D)	2	0.0125	0.79	0.4559	0.0243	0.0001
Méthodes (M)	2	0.0176	1.10	0.3323	0.0138	
Sol (S)	2	0.0459	2.88	0.0571		
P*D	6	0.0054	0.34	0.9177		0.0110
P*M	6	0.0121	0.76	0.6009		
P*S	6	0.0085	0.54	0.7809		
D*M	4	0.0157	0.99	0.4143		
D*S	4	0.0074	0.47	0.7606		
M*S	3	0.0233	1.46	0.2242		
P*D*M	12	0.0128	0.81	0.6453		
P*D*S	12	0.0154	0.96	0.4824		
P*M*S	9	0.0067	0.42	0.9239		
D*M*S	6	0.0180	1.13	0.3434		
P*D*M*S	18	0.0096	0.60	0.8970		

Tableau 4 : Pourcentage de semis ayant développé des racines adventives en fonction des différentes méthodes de plantation et types de sol pour les échantillonnages 1996, 1997 et 1998

Méthodes	Sols	Année d'échantillonnage		
		1998	1997	1996
Pré-enfouis	O-O	67.9	55.4	15.0
	M-M	69.8	53.3	15.0
	O-M	76.4	50.1	10.2
	Moyenne	71.4	53.2	13.4
Enfouis 5 cm	O-O	33.9	29.6	0.0
	M-M	59.6	36.2	1.7
	O-M	37.7	29.3	1.7
	Moyenne	42.9	31.8	1.1
Collet	O-O	5.4	0.0	0.0
	M-M	8.5	12.1	0.0
	Moyenne	7.1	6.1	0.0
Moyenne		44.2	33.4	5.5

Tableau 5 : Analyse de variance du nombre de semis d'épinette noire avec des racines adventives pour trois dates de plantation, trois méthodes de plantation et trois types de sol

Source de variation	dl	1998			1997	1996
		carré moyen	F	p	p	p
Dates (D)	2	0.0780	0.92	0.4040		
Méthodes (M)	2	4.8645	57.23	0.0001	0.0001	0.0001
Sol (S)	2	0.1552	1.83	0.1684		
D*M	4	0.2417	2.84	0.0301		0.0045
D*S	4	0.1060	1.25	0.2991		
M*S	3	0.1838	2.16	0.0999		
D*M*S	6	0.1530	1.80	0.1113		

Tableau 6 : Analyse de variance de la hauteur de la tige pour des semis d'épinette noire en fonction de quatre populations, trois dates de plantation, trois méthodes de plantation et trois types de sol

Source de variation	dl	1998			1997	1996
		carré moyen	F	p	p	p
Populations (P)	3	64514.4	23.39	0.0001	0.0001	0.0001
Dates (D)	2	5918.2	2.15	0.1186	0.0223	0.0104
Méthodes (M)	2	16983.4	6.16	0.0024	0.0001	
Sol (S)	2	105.5	0.04	0.9625		
P*D	6	5968.8	2.16	0.0461	0.0001	0.0001
P*M	6	389.1	0.14	0.9907		0.0001
P*S	6	2376.6	0.86	0.5234	0.0499	0.3820
D*M	4	1863.0	0.68	0.6094		
D*S	4	850.7	0.31	0.8723		
M*S	3	2825.0	1.02	0.3820		
P*D*M	12	2012.4	0.73	0.7224	0.0406	0.2124
P*D*S	12	792.8	0.29	0.9911		
P*M*S	9	3868.1	1.40	0.1857		
D*M*S	6	2594.2	0.94	0.4660		
P*D*M*S	18	780.4	0.28	0.9986		

Tableau 7 : Analyse de variance du diamètre au collet pour des semis d'épinette noire en fonction de quatre populations, trois dates de plantation, trois méthodes de plantation et trois types de sol

Source de variation	dl	carré moyen	1998		1997	1996
			F	p	p	p
Populations (P)	3	16.7	13.12	0.0001	0.0001	0.0001
Dates (D)	2	8.29	6.51	0.0017	0.0054	
Méthodes (M)	2	8.98	7.05	0.0010		0.0001
Sol (S)	2	3.76	2.96	0.0534		
P*D	6	0.56	0.44	0.8540		
P*M	6	1.07	0.84	0.5376		0.0174
P*S	6	0.42	0.33	0.9231		
D*M	4	1.97	1.55	0.1880		
D*S	4	1.29	1.02	0.3988		
M*S	3	1.26	0.99	0.3972		
P*D*M	12	1.33	1.05	0.4066		
P*D*S	12	0.47	0.37	0.9743		
P*M*S	9	1.45	1.14	0.3337		
D*M*S	6	0.78	0.61	0.7233		
P*D*M*S	18	1.04	0.81	0.6847		

Tableau 8 : Analyse de variance du diamètre au niveau du sol pour des semis d'épinette noire en fonction de quatre populations, trois dates de plantation, trois méthodes de plantation et trois types de sol pour l'échantillonnage 1998

Source de variation	dl	carré moyen	F	p
Populations (P)	3	12.53	10.36	0.0001
Dates (D)	2	7.97	6.59	0.0016
Méthodes (M)	2	1.80	1.49	0.2270
Sol (S)	2	1.47	1.21	0.2991
P*D	6	0.29	0.24	0.9624
P*M	6	1.84	1.52	0.1701
P*S	6	0.49	0.40	0.8772
D*M	4	0.69	0.57	0.6855
D*S	4	1.08	0.90	0.4659
M*S	3	0.94	0.77	0.5095
P*D*M	12	0.52	0.43	0.9511
P*D*S	12	0.37	0.31	0.9881
P*M*S	9	1.61	1.33	0.2207
D*M*S	6	0.39	0.32	0.9252
P*D*M*S	18	1.10	0.91	0.5654

Tableau 9 : Analyse de variance de la biomasse sèche de la tige pour des semis d'épinette noire en fonction de quatre populations, trois dates de plantation, trois méthodes de plantation et trois types de sol

Source de variation	dl	1998			1997	1996
		carré moyen	F	p	p	p
Populations (P)	3	54.56	10.74	0.0001	0.0001	0.0001
Dates (D)	2	39.46	7.77	0.0005	0.0001	
Méthodes (M)	2	1.36	0.27	0.7659		0.0001
Sol (S)	2	2.74	0.54	0.5834		
P*D	6	0.64	0.13	0.9931		0.0006
P*M	6	4.66	0.92	0.4831		0.0001
P*S	6	3.71	0.73	0.6259		
D*M	4	1.08	0.21	0.9311		
D*S	4	5.87	1.16	0.3302		
M*S	3	4.41	0.87	0.4581		
P*D*M	12	3.02	0.59	0.8467		
P*D*S	12	1.83	0.36	0.9760		
P*M*S	9	6.76	1.33	0.2194		
D*M*S	6	2.73	0.54	0.7795		
P*D*M*S	18	4.13	0.81	0.6847		

Tableau 10 : Analyse de variance de la biomasse sèche des racines non-adventives pour des semis d'épinette noire en fonction de quatre populations, trois dates de plantation, trois méthodes de plantation et trois types de sol

Source de variation	dl	1998			1997	1996
		carré moyen	F	p	p	p
Populations (P)	3	2.11	3.47	0.0164	0.0002	0.0082
Dates (D)	2	0.39	0.65	0.5247		0.0001
Méthodes (M)	2	3.80	6.27	0.0021	0.0001	0.0001
Sol (S)	2	1.22	2.02	0.1345		
P*D	6	0.38	0.63	0.7089		0.0129
P*M	6	0.71	1.16	0.3251		0.0182
P*S	6	0.09	0.15	0.9889		
D*M	4	0.37	0.61	0.6570		
D*S	4	0.43	0.70	0.5908		
M*S	3	0.53	0.88	0.4519		
P*D*M	12	0.49	0.80	0.6511		
P*D*S	12	0.28	0.46	0.9363		
P*M*S	9	0.49	0.80	0.6146		
D*M*S	6	0.33	0.54	0.7797		
P*D*M*S	18	0.44	0.73	0.7790		

Tableau 11 : Effet de la population sur la hauteur de la tige, le diamètre au collet, le diamètre au niveau du sol et les biomasses sèches de la tige, des racines non-adventives et du total des racines pour des semis d'épinette noire échantillonnés en septembre 1998. Les populations qui ne partagent pas la même lettre sont significativement différentes les unes des autres (n=430). Chaque paramètre a été traité séparément.

Populations	Hauteur de la tige (mm)	Diamètre au collet (mm)	Diamètre au niveau du sol (mm)	Biomasse sèche de la tige (grammes)	Biomasse sèche des racines non-adventives (grammes)	Biomasse sèche racinaire totale (grammes)
S1	259,2 b	3,21b	3,57 b	2,4116 b	1,0921 b	1,1247 b
S2	257,0 b	3,24 b	3,55 b	2,3998 b	1,1000 b	1,1399 b
S3	243,2 b	3,25 b	3,46 b	2,2923b	1,1370 ab	1,1594 b
P	301,9 a	4,01a	4,20 a	3,8273 a	1,4006 a	1,4634 a

Tableau 12 : Analyse de variance de la biomasse sèche des racines adventives pour des semis d'épinette noire en fonction de quatre populations, trois dates de plantation, trois méthodes de plantation et trois types de sol

Source de variation	dl	carré moyen	1998		1997*	1996*
			F	p	p	p
Populations (P)	3	0.02	1.29	0.2788		
Dates (D)	2	0.00	0.03	0.9744		
Méthodes (M)	2	0.11	6.88	0.0012		
Sol (S)	2	0.015	0.97	0.3786		
P*D	6	0.02	0.97	0.4435		
P*M	6	0.02	0.96	0.4504		
P*S	6	0.03	2.04	0.0596		
D*M	4	0.01	0.87	0.4800		
D*S	4	0.04	2.39	0.0508		
M*S	2	0.01	0.45	0.7182		
P*D*M	6	0.01	0.66	0.7922		
P*D*S	12	0.02	1.04	0.4122		
P*M*S	6	0.04	2.38	0.0127		
D*M*S	4	0.01	0.72	0.6298		
P*D*M*S	7	0.01	0.83	0.6619		

*Il n'y avait pas d'effet significatif pour aucun facteur

Tableau 13 : Analyse de variance de la longueur cumulée des racines adventives pour des semis d'épinette noire en fonction de quatre populations, trois dates de plantation, trois méthodes de plantation et trois types de sol pour l'échantillonnage de 1998

Source de variation	dl	carré moyen	F	p
Populations (P)	3	132091.0	1.53	0.2075
Dates (D)	2	10682.7	0.12	0.8839
Méthodes (M)	2	931113.7	10.76	0.0001
Sol (S)	2	83495.9	0.96	0.3821
P*D	6	91268.8	1.05	0.3898
P*M	6	63137	0.73	0.6261
P*S	6	163765.2	1.89	0.0815
D*M	4	43825.4	0.51	0.7311
D*S	4	179573.9	2.07	0.0837
M*S	2	74356.6	0.86	0.4625
P*D*M	6	58084.1	0.67	0.7791
P*D*S	12	62485.0	0.72	0.7299
P*M*S	6	178012.6	2.06	0.0329
D*M*S	4	69842.7	0.81	0.5650
P*D*M*S	7	92723.1	1.07	0.3800

Tableau 14 : Analyse de variance de la biomasse racinaire totale pour des semis d'épinette noire en fonction de quatre populations, trois dates de plantation, trois méthodes de plantation et trois types de sol pour l'échantillonnage de 1998

Source de variation	dl	carré moyen	F	p
Populations (P)	3	2.4866	3.88	0.0094
Dates (D)	2	0.3693	0.58	0.5622
Méthodes (M)	2	2.7077	4.23	0.0154
Sol (S)	2	0.9702	1.52	0.2212
P*D	6	0.3891	0.61	0.7241
P*M	6	0.6253	0.98	0.4409
P*S	6	0.1805	0.28	0.9453
D*M	4	0.2721	0.42	0.7906
D*S	4	0.4354	0.68	0.6062
M*S	2	0.5389	0.84	0.4718
P*D*M	6	0.5651	0.88	0.5650
P*D*S	12	0.2976	0.46	0.9343
P*M*S	6	0.6156	0.96	0.4719
D*M*S	4	0.3168	0.49	0.8122
P*D*M*S	7	0.4712	0.74	0.7734

Tableau 15 : Analyse de variance du taux de photosynthèse net moyen pour des semis d'épinette noire en fonction de trois méthodes de plantation et trois types de sol

Source de variation	dl	carré moyen	F	p
Méthodes (M)	2	21.01	0.98	0.3789
Sol (S)	2	1.18	0.06	0.9461
M*S	3	8.53	0.40	0.7538

Tableau 16 : Analyse de variance des analyses chimiques d'aiguilles pour des semis d'épinette noire en fonction de trois méthodes de plantation et trois types de sol

Source de variation	dl	N		P		K		Ca		Mg	
		F	p	F	p	F	p	F	p	F	p
Méthodes (M)	2	0.10	0.904	0.01	0.990	0.16	0.854	1.14	0.331	0.29	0.748
Sol (S)	2	0.11	0.897	0.13	0.874	1.16	0.326	0.30	0.745	2.99	0.065
M*S	3	0.10	0.961	0.74	0.538	0.49	0.691	0.38	0.766	0.44	0.723

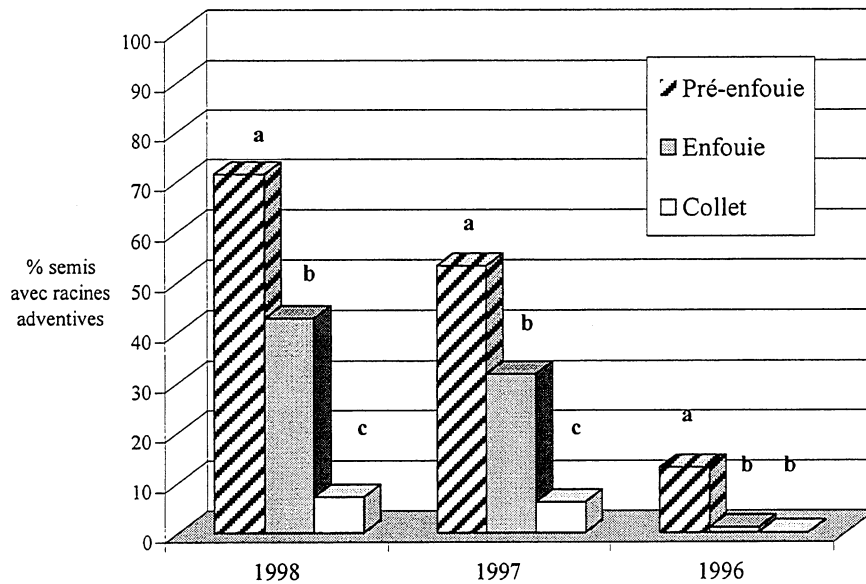


Figure 1 : Proportion des semis d'épinette noire ayant des racines adventives en fonction de trois méthodes de plantation pour trois années d'échantillonnages. Les méthodes qui ne partagent pas la même lettre sont significativement différentes les unes des autres. Chaque échantillonnage a été traité séparément.

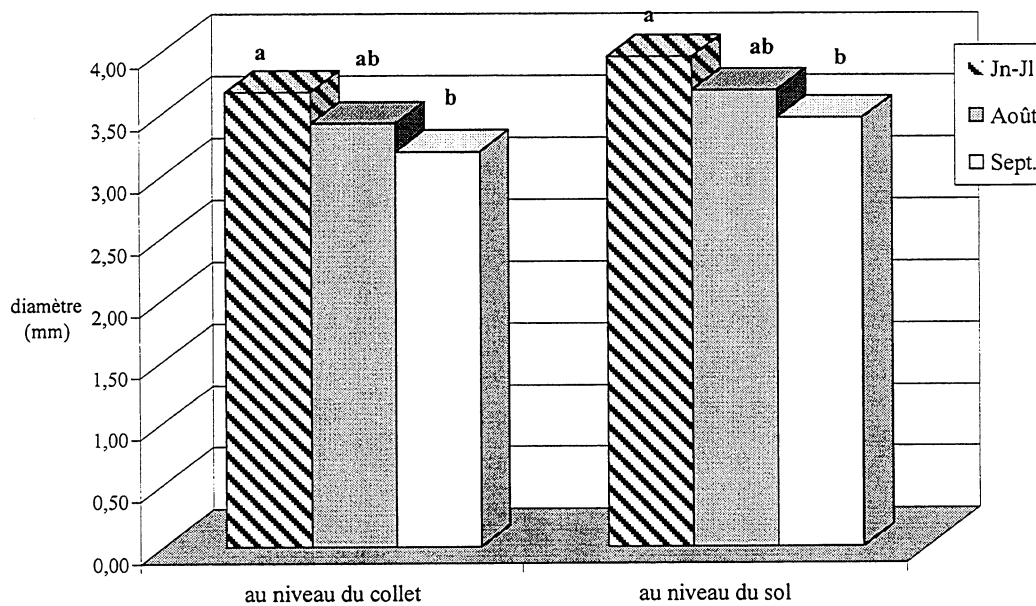


Figure 2 : Diamètre au niveau du collet et diamètre au niveau du sol de semis d'épinette noire pour l'année 1998. Les dates qui ne partagent pas la même lettre sont significativement différentes les unes des autres (n=430). Les deux types de diamètre ont été traités séparément

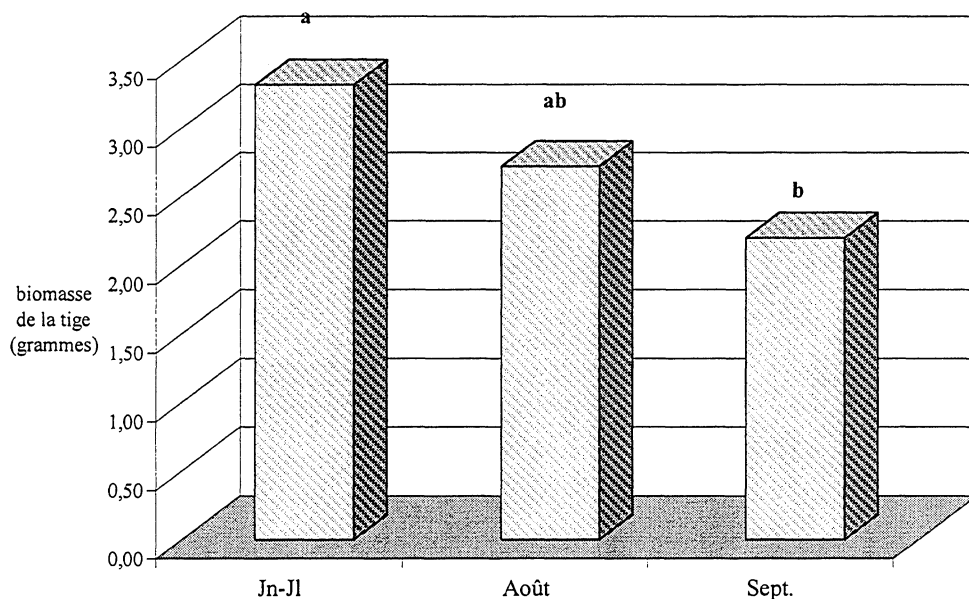


Figure 3 : Biomasse sèche de la tige de semis d'épinette noire en fonction de trois dates de plantation pour l'année 1998. Les dates qui ne partagent pas la même lettre sont significativement différentes les unes des autres (n=430)

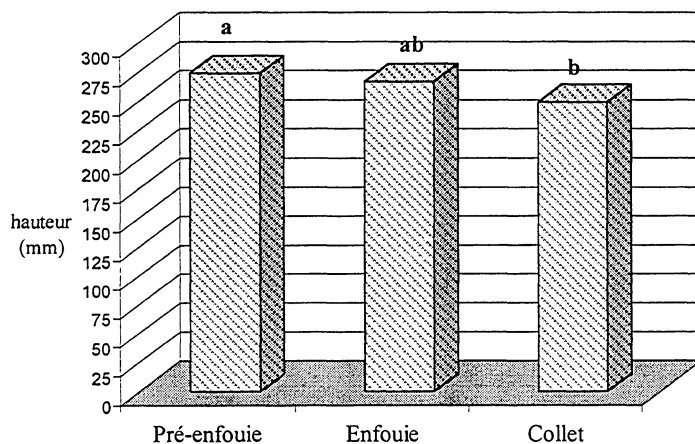


Figure 4 : Hauteur de la tige de semis d'épinette noire en fonction de la méthode de plantation pour l'année 1998. Les méthodes qui ne partagent pas la même lettre sont significativement différentes les unes des autres (n=430)

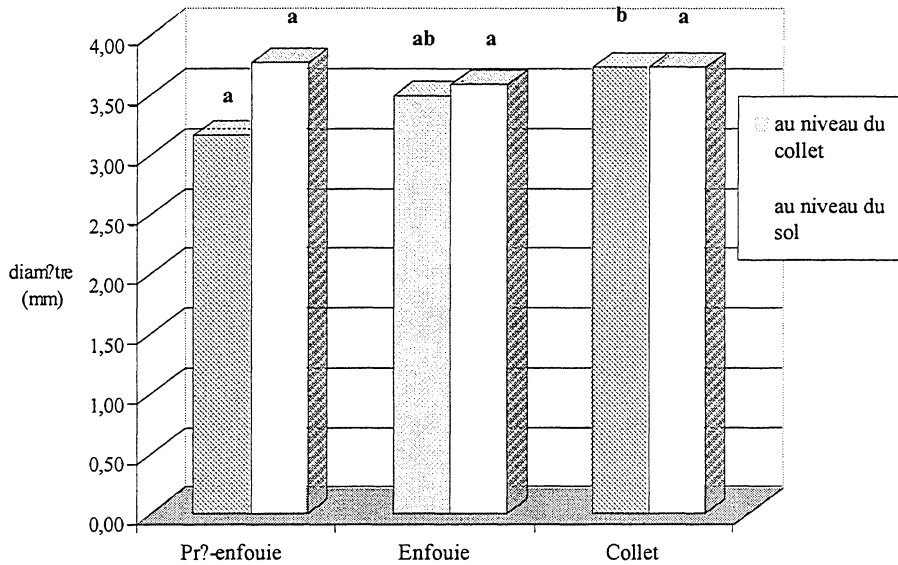


Figure 5 : Diamètre au niveau du collet et diamètre au niveau du sol de semis d'épinette noire en fonction de la méthode de plantation pour l'année 1998. Les méthodes qui ne partagent pas la même lettre sont significativement différentes les unes des autres (n=430). Les deux types de diamètre ont été traités séparément.

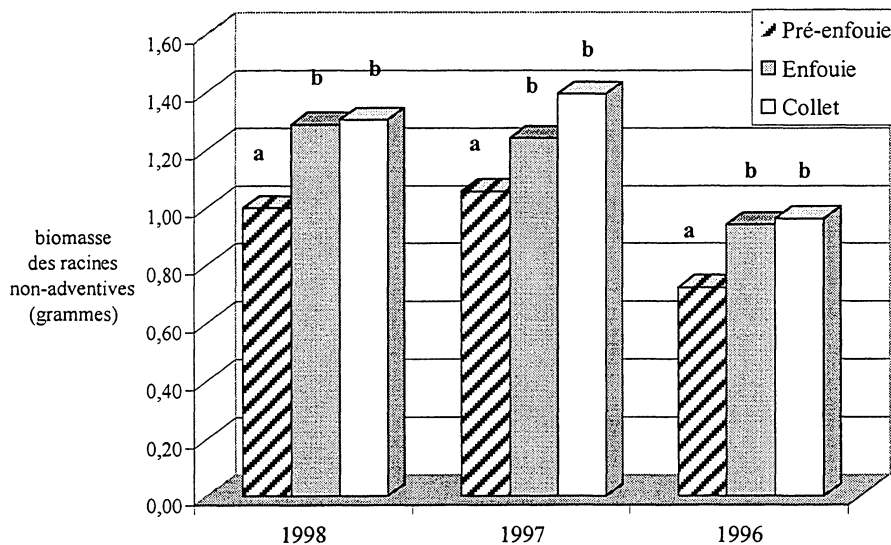


Figure 6 : Biomasse sèche des racines non-adventives de semis d'épinette noire en fonction de la méthode de plantation. Les méthodes qui ne partagent pas la même lettre sont significativement différentes les unes des autres.

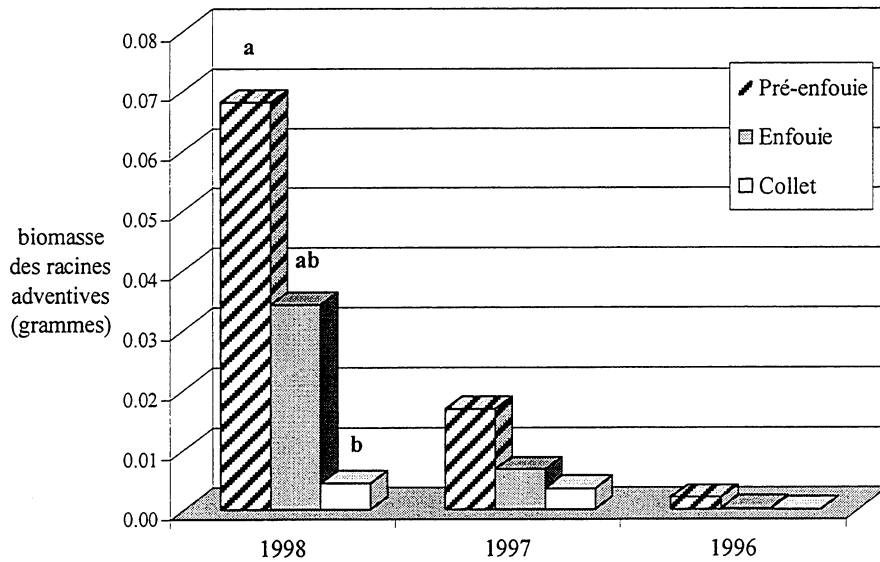


Figure 7 : Biomasse sèche des racines adventives de semis d'épinette noire en fonction de la méthode de plantation. Les méthodes qui ne partagent pas la même lettre sont significativement différentes les unes des autres

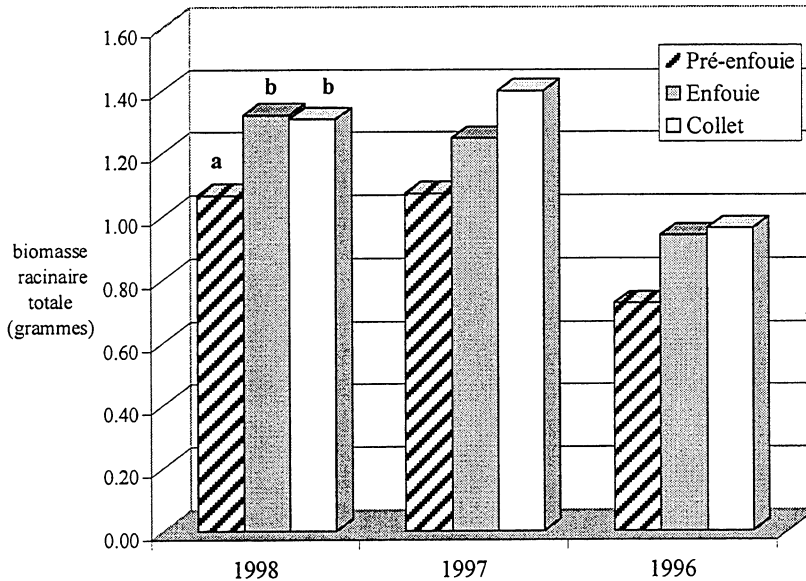


Figure 8 : Biomasse sèche du total des racines de semis d'épinette noire en fonction de la méthode de plantation. Les méthodes qui ne partagent pas la même lettre sont significativement différentes les unes des autres

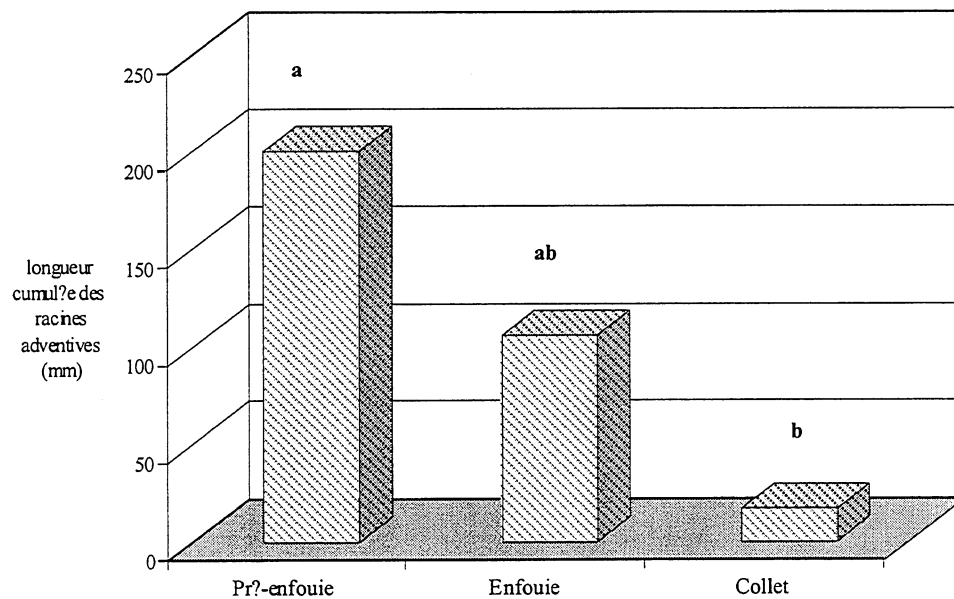


Figure 9 : Longueur cumulée des racines adventives de semis d'épinette noire en fonction de la méthode de plantation pour l'année 1998. Les méthodes qui ne partagent pas la même lettre sont significativement différentes les unes des autres (n=430)

ANNEXE 1

Mortalité de la plantation Barette-Chapais après trois années de plantation

	Mort 96 (n=3360)		Mort 97 (n=2880)		Mort 98 (n=2400)	
	semis	%mort	semis	%mort	semis	%mort
Total	31	0.9%	113	3.9%	145	6.4%

Dates	Mort 96		Mort 97		Mort 98	
	semis	%mort	semis	%mort	semis	%mort
1 (jn-ju)	22	2.0%	41	4.4%	54	7.2%
2 (aout)	6	0.5%	33	3.5%	42	5.5%
3 (sept.)	3	4.1%	39	4.1%	49	6.4%

Populations	Mort 96		Mort 97		Mort 98	
	semis	%mort	semis	%mort	semis	%mort
S1	6	0.7%	31	4.3%	28	4.9%
S2	7	0.8%	33	4.6%	45	8.0%
S3	7	0.85	25	3.5%	45	7.8%
P	11	1.3%	24	3.4%	27	4.7%

Combinaisons méthodes-sols	Mort 96		Mort 97		Mort 98	
	semis	%mort	semis	%mort	semis	%mort
Pré-O-O	7	1.7%	9	2.5%	25	8.7%
Pré-O-M	6	1.4%	16	4.5%	22	7.7%
Pré-M-M	3	0.7%	7	2.0%	7	2.4%
5cm-O-O	5	1.2%	14	3.9%	22	7.7%
5cm-O-M	3	0.7%	19	5.3%	20	7.1%
5cm-M-M	2	0.5%	29	8.1%	18	6.6%
Col-O-O	3	0.7%	5	1.4%	20	6.8%
Col-M-M	2	0.5%	14	3.9%	11	3.9%

Blocs	Mort 96		Mort 97		Mort 98	
	semis	%mort	semis	%mort	semis	%mort
1	5	0.7%	22	3.8%	41	8.95
2	5	0.7%	18	3.2%	45	9.8%
3	5	0.7%	40	7.0%	36	8.2%
4	9	1.3%	18	3.2%	7	1.5%
5	7	1.0%	15	2.6%	16	3.5%

ANNEXE 2

**Semis ayant développé des racines adventives
à la plantation Barette-Chapais pour 1996, 1997 et 1998**

(480 semis/ destruction)	(477 semis vivants)		(455 semis vivants)		(430 semis vivants)	
	Échantillonnage 96		Échantillonnage 97		Échantillonnage 98	
	semis	%	semis	%	semis	%
Total	26	5,5%	152	33,4%	190	44%

Dates de plantation (1996)	Échantillonnage 96		Échantillonnage 97		Échantillonnage 98	
	semis	%	semis	%	semis	%
1 (jn-jl)	8	5%	48	31,2%	62	45.6%
2 (août)	4	2,5%	57	37,3%	60	40.8%
3 (sept.)	14	8,8%	47	31,8%	68	46.3%

Populations	Échantillonnage 96		Échantillonnage 97		Échantillonnage 98	
	semis	%	semis	%	semis	%
S1	1	0,8%	37	31,9%	48	42.9%
S2	4	3,4%	32	27,6%	49	47.6%
S3	2	1,7%	39	34,2%	40	37.0%
P	19	15,8%	44	40,4%	53	49.5%

Combinaisons méthodes-sols	Échantillonnage 96		Échantillonnage 97		Échantillonnage 98	
	semis	%	semis	%	semis	%
Pré-O-O	9	15%	31	55,4%	36	67.9%
Pré-O-M	6	10,2%	28	50,1%	42	76.4%
Pré-M-M	9	15%	32	53,3%	37	69.8%
5cm-O-O	0	0%	16	29,6%	19	33.9%
5cm-O-M	1	1,7%	17	29,3%	20	37.7%
5cm-M-M	1	1,7%	21	36,2%	28	59.6%
Col-O-O	0	0%	0	0%	3	5.4%
Col-M-M	0	0%	7	12,1%	5	8.8%

Blocs	Échantillonnage 96		Échantillonnage 97		Échantillonnage 98	
	semis	%	semis	%	semis	%
1	3	3,2%	40	44,9%	38	43.7%
2	9	9,4%	39	42,4%	49	55.7%
3	6	6,3%	30	31,3%	43	55.1%
4	4	4,2%	23	26,1%	28	31.5%
5	4	4,2%	20	22,2%	32	36.4%

PARTIE II : PROFONDEUR DE PLANTATION ET TIGES MULTIPLES

INTRODUCTION

Les études sur les épinettes noires adultes des chercheurs du Consortium de recherche sur la forêt boréale commerciale ont montré que le système racinaire est formé presque qu'exclusivement de racines adventives se développant sur la tige de l'arbre (DesRochers et Gagnon 1997). Les semis plantés en forêt n'ont pas la possibilité de développer rapidement des racines adventives ; la croissance racinaire des premières années est souvent limitée à l'extrémité basale de la carotte de tourbe (Balinsky 1995).

La plantation profonde favoriserait le développement d'un système racinaire adventif caulinaire qui remplacerait le système racinaire primitif confiné à la carotte de tourbe. Cette méthode de plantation n'est pas encore utilisée couramment pour la plantation d'arbre au Québec. Des essais ont toutefois été réalisés à petite échelle au Canada. Mullin (1964) a montré que la survie des plants de pin rouge est améliorée 10 ans après une plantation profonde. Sutton (1967) attribue la performance supérieure des plants d'épinette blanche plantés profondément au développement des racines adventives, celles-ci se développant dans un horizon de sol assurant de meilleures relations hydriques. Sutton (1995) recommande de planter plus profondément les semis d'épinette noire afin de stimuler le développement des racines adventives sur la partie enfouie de la tige ; la survie et la croissance en hauteur ne sont pas compromises par l'enfouissement de la moitié de la cime. De plus, la plantation profonde augmente la stabilité des plants et la résistance au stress de température au niveau de l'interface tige-sol (Stroempl 1990)

Une objection soulevée contre la plantation profonde vient du fait qu'elle favoriserait le développement de tiges multiples à partir des branches basales enfouies dans le sol. La compétition des tiges entre elles donnerait des troncs de plus petites tailles impropres au sciage. L'effet des défauts des jeunes arbres sur les produits finis est peu connu quoique les déformations très sévères aient un impact économique au moment de la récolte (Adams et Bastien 1994). Une croissance plus faible a été observée chez les plants à cimes multiples chez *Picea sitchensis* 12 à

15 ans après la plantation au niveau de la circonférence (Welch *et al.* 1995), chez *Pinus radiata* 21 ans après la plantation au niveau du diamètre et du volume du bois pour le sciage (Birk 1992, Birk *et al.* 1993) et chez *Pinus strobus* âgés de plus de 50 ans au niveau de la hauteur (Chamberlin et Aarssen 1996). Un effet négatif sur la qualité du bois a aussi été documenté chez *Picea sitchensis* de 1 à 14 ans après la plantation (Welch *et al.* 1992).

À notre connaissance, il n'y a pas d'études réalisées sur les conséquences de la plantation profonde sur la formation de tiges multiple conséquemment à l'enfouissement des branches basales. Au cours de l'été 1991, une entente entre le Ministère des forêts du Québec et la firme Sylva Inc. a permis de réaliser une plantation de 500 000 plants en utilisant une planteuse mécanique Sylva Nova dans l'unité de gestion de Chibougamau. Le ministère a profité de l'occasion pour mettre en place un dispositif expérimental pour étudier les effets de la plantation profonde sur les plants d'épinette noire et de pin gris produits en récipient. Nous avons donc utilisé ces parcelles expérimentales pour étudier à l'été 1998 les relations entre la profondeur de plantation des semis et la formation de tiges multiples. Notre objectif principal est de déterminer si l'enfouissement des branches basales de semis d'épinette noire suite à une plantation profonde conduit, sept ans plus tard, à une augmentation significative du nombre de plants présentant des tiges multiples.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

La plantation expérimentale est localisée dans l'aire commune 026-20 à environ 77 km au sud-ouest de Chibougamau. Le dispositif expérimental a été décrit par Dufour et Côté (1992). Brièvement, les semis d'épinette noire produits en récipient 67-50 et 45-110 ont été plantés à l'automne 1991 à l'aide d'une planteuse mécanique Sylva Nova à différentes profondeurs par rapport au collet ; 0-4 cm, 6-8 cm et 10 cm. Des plants supplémentaires plantés manuellement au niveau du collet servent de témoins. Les parcelles expérimentales étaient réparties en 8 blocs.

À l'automne 1998, 1482 plants d'épinette noire provenant de 5 blocs expérimentaux ont été examinés et la forme de la tige a été classifiée en 4 catégories :

- 1- Normal : un seul tronc et une seule flèche terminale ;
- 2- Cimes multiples : plus d'une flèche terminale codominantes, le point de division entre les axes n'étant pas enfoui ;
- 3- Fourche : branche non-enfouie faisant un angle inférieur à 30° et qui concurrence la flèche principale ;
- 4- Tiges multiples : une ou plusieurs branches enfouie se développant comme une tige et qui demeurent codominantes entre elles et/ou la tige principale.

Les fréquences ont été comparées en utilisant la méthode du khi-deux. La hauteur des plants a été mesurée et les moyennes des classes de tige ont été comparées par une analyse de variance suivie d'un test de comparaisons multiples de Tukey.

RÉSULTATS

L'analyse statistique au tableau 17 montre que le pourcentage de plants présentant des défauts de tiges (cimes multiples, fourche et tiges multiples) ne varie pas significativement en fonction de la profondeur de plantation. Le résultat le plus important pour cette étude vient de ce que le pourcentage de tiges multiples est négligeable pour toutes les sortes de plantations, ne dépassant pas 0,6 % dans l'ensemble du dispositif expérimental.

Tableau 17. Pourcentage de plants d'épinette noire en fonction de la plantation et des défauts de tige.

Plantation	Prof. (cm)	Normal	Cimes multiples	Fourche	Tiges multiples
Manuelle	0-1	73,5	25,3	0,6	0,6
Mécanique	0-4	69,0	27,9	3,2	0,0
Mécanique	6-8	66,9	29,6	3,0	0,6
Mécanique	≥ 10	69,3	27,7	1,7	1,2
	Moyenne=	69,6	27,7	2,2	0,6

khi-carré = 14,49, d.l. = 9, $p = 0,11$.

Le pourcentage de cimes multiples est relativement élevé soit 28 % et ne varie pas en fonction de la profondeur de plantation. Le gel et/ou les dommages causés par le froid sont les causes

principales des pertes de dominance apicale et de la formation de cimes multiples chez l'épinette noire (Khalil 1973, Webb et Reese 1984, Gross 1985, Colombo 1986, Hofstra *et al.* 1988). L'épinette noire, en l'absence de nouveaux dommages, recouvre une dominance apicale et une flèche terminale unique (Webb et Reese 1984). C'est ce qui explique le nombre relativement faible de plants fourchus (tableau 17).

La hauteur des plants est significativement différente entre les classes de tiges (tableau 18). Seuls les plants fourchus ont une hauteur significativement plus faible (fig. 10).

Tableau 18. Analyse de variance de la hauteur des plants en fonction des classes de tige.

Source	d.l.	S.C.M.	F	<i>p</i>
Bloc	5	257		
Classe	3	560	6,1	0,001
Erreur	12	47		

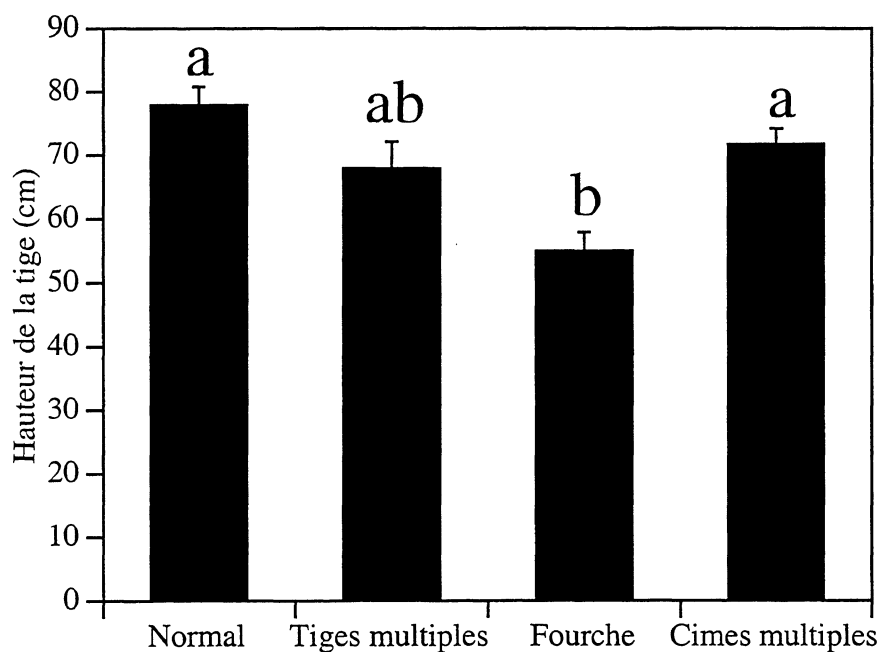


Figure 10. Hauteur des plants en fonction des défauts de tige ; les moyennes surmontées d'une lettre distincte sont significativement différentes à $p \leq 0,05$. Les barres verticales représentent les erreurs-types.

CONCLUSION

Le relevé effectué à Chibougamau ne montre pas de relation entre la profondeur de plantation et la formation de plusieurs tiges par l'enfouissement des branches basales des semis d'épinette noire. En fait l'incidence des tiges multiples est si faible (0,6 %) qu'il ne devrait pas y avoir d'incidence sur la récolte de bois. Dans la limite de nos résultats expérimentaux, l'enfouissement d'une partie de la tige des plants d'épinette noire afin de favoriser le développement de racines adventives ne devrait pas accroître significativement le nombre de plants affectés par le phénomène des tiges multiples.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Adams, W.T. et J.-C. Bastien 1994. Genetics of second flushing in a french plantation of coastal Douglas-fir. *Silvae Genet.* 43 : 345-352.
- Balinski, A.C., Salonijs, P., Walli, C. et D. Brinkman 1995. Seedling roots and forest floor : misplaced and neglected aspects of British Columbia's reforestation effort ? *For. Chron.* 71 : 59-65.
- Birk, E.M. 1992. Biomass and nutrient distribution in radiata pine in relation to previous land use I. Biomass. *Austr. For.* 55 : 118-125.
- Birk, E.M., Bowman, V.J., Fulton, J.A. et I. Hides 1993. Merchantability of *Pinus radiata* in relation to previous land use. *Austr. For.* 56 : 157-164.
- Chamberlin, E.A. et L.W. Aarssen 1996. The cost of apical dominance in white pine (*Pinus strobus* L.) : growth in multi-stemmed versus single-stemmed trees. *Bull. Torrey Bot. Club* 123 : 268-272.

- Colombo, S.J. 1986. Second-year shoot development in black spruce *Picea mariana* (Mill.) B.S.P. container seedlings. *Can. J. For. Res.* 16 : 68-73.
- DesRochers, A. et R. Gagnon 1997. Is ring count at ground level a good estimation of black spruce age ? *Can. J. For. Res.* 27 : 1263-1267.
- Dufour, A. et D. Côté 1992. Effet de la profondeur de plantation sur le développement des semis d'épinette noire (*Picea mariana* (Mill.) B.S.P.) et de pin gris (*Pinus banksiana* (Lamb.)). Ministère des forêts du Québec.
- Gross, H.L. 1985. Multiple leadered trees compare favorably with single-leadered trees in field performance tests of nursery stock, Great Lakes Forest Research Centre, Can. For. Serv., Inf. rep. O-X-363, Sault Ste. Marie, Ont.
- Hofstra, G., McLoes, C.M. et J. Ensing 1988. Incidence and performance of multiple-leadered seedlings of black and white spruce in canadian nurseries. *North. J. Appl. For.* 5 : 99-103.
- Khalil, M.A.K. 1973. Results of a four-year nursery provenance experiment on black spruce in Newfoundland. Newfoundland Forest Research center, Inf. report N-X-99.
- Mullin, R.E. 1964. Influence of planting depth on survival and growth of red pine. *For. Chron.* 58: 40-43.
- Stroempl G. 1990. Deeper planting of seedlings and transplants increases plantation survival. *Tree Planters' Notes* 41 : 17-21.
- Sutton, R.F. 1967. Influence of planting depth on early growth of conifers. *Commonw. For. Rev.* 46 : 282-295.
- Sutton, R.F. 1995. Advantages of deep planting black spruce. *Can. For. Serv. Techn. Note no.* 50.

Webb, D.P. et K.H. Reese 1984. Multiple leadering of coniferous nursery stock. Can. For. Serv., Min. Natiral Ressources, Ont., Joint rep. No. 3.

Welch, D., Scott, D. et B.W. Staines 1995. Survival rates and performance of multi-trunked trees in even-aged stands of Sitka spruce in western Scotland. Forestry 68 : 245-253.

Welch, D., Staines, B.W., Scott., D. et D.D. French 1992. Leader browsing by red and roe deer on young Sitka spruce trees in western Scotland. II. Effect on growth and tree form. Forestry 65 : 309-330.