



Dynamique de la régénération de
Thuja occidentalis L. dans
de vieilles cédrières mésiques
de la Gaspésie

Barbara Hébert



Consortium en foresterie
Gaspésie-Les-Îles

Dynamique de la régénération de *Thuja occidentalis* L. dans de vieilles cédrières mésiques de la Gaspésie

ISBN 978-2-9809843-1-0

Dépôt légal - Bibliothèque et Archives nationales du Québec, 2007

Dépôt légal - Bibliothèque et Archives Canada, 2007

Cette étude a été réalisée avec l'appui financier du Programme de mise en valeur des ressources du milieu forestier, Volet 1, du Ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec.

Rapport final

Du projet 2004-2005 EX : 17

et du projet 2005-2006 EX : 07

Il est possible de télécharger un exemplaire de cette publication sur le site internet de :

Consortium en foresterie Gaspésie—Les Îles

37, rue Chrétien, bur. 26, C.P. 5 Gaspé (QC) G4X 1E1

Tél. : (418) 368-5166 Téléc : (418) 368-0511

consortium@foretgaspesie-les-iles.ca

www.mieuxconnaîtrelaforêt.ca

Référence à citer :

Hébert¹, B. 2007. Dynamique de la régénération de *Thuja occidentalis* L. dans de vieilles cédrières mésiques de la Gaspésie. Consortium en foresterie Gaspésie-Les-Îles, Gaspé, Canada. 43 pages.

(1) Chargée de recherche et de transfert, Consortium en Foresterie Gaspésie-Les-Îles et étudiante à la maîtrise en ressources renouvelables à l'Université du Québec à Chicoutimi (UQAC)

Remerciements

Le Consortium remercie ses partenaires financiers, soit Développement économique Canada (DEC), le Cégep de la Gaspésie et des Îles, la Conférence régionale des élu(e)s de la Gaspésie et des Îles-de-la-Madeleine (CRÉ-GÎM) et le Ministère des Ressources naturelles et de la Faune (MRNF). Nous tenons aussi à souligner la collaboration du Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP) pour l'autorisation d'accès et la permission de récolter des données sur le territoire de la réserve écologique de la Grande-Rivière. Merci à Luc Gagnon du Groupe GDS pour l'expérience du terrain et le support dans cette étude de même qu'aux gens du laboratoire d'écologie végétale de l'université du Québec à Chicoutimi pour leur aide précieuse et plus particulièrement à Doris Chalifour, Jean-Guy Girard et au Dr. Aline Philibert pour le support statistique. Nous tenons aussi à remercier tous ceux qui nous ont accompagnés dans ce projet. Merci à Marie-Claude Rancourt, Peggy Brimsacle, François Perreault, Dan Cloutier, Simon Caouette et Viateur Savage pour la qualité de leur travail tant sur le terrain qu'en laboratoire. Une partie de cette étude constituant la thèse de maîtrise de l'auteur, elle tient à exprimer sa profonde gratitude au Dr Sylvain Parent dont le travail a été un point de départ important pour cette étude et qui s'est montré disponible tout au long de ce projet. Elle tient aussi à remercier Réjean Gagnon son directeur et Sylvain Fortin son co-directeur pour leur support. Merci aussi à Catherine Larouche et Luc Gagnon pour leurs précieux commentaires sur une version antérieure du manuscrit.

Résumé

04

Dans un contexte où l'aménagement tend à s'inspirer des perturbations naturelles, l'étude de la dynamique de vieux peuplements vierges fournit des informations précieuses que des plans d'expérience limités dans le temps ou réalisés dans un contexte artificiel ne peuvent pas fournir. Nous avons choisi d'étudier deux cédrières issues de plus de 300 ans d'évolution sans perturbation anthropique afin d'observer la dynamique naturelle de la régénération du thuya tant sous la canopée que dans les trouées naturelles du peuplement. Par cette étude nous avons voulu 1) déterminer les meilleures associations semis/substrats pour le thuya et le sapin sous la canopée de deux vieilles cédrières vierges sur site mésique, 2) vérifier si les débris ligneux constituent des microsites permet-

tant la survie des semis plus de 5 ans et 3) identifier les stratégies de régénération qui participent au maintien du thuya sur les sites mésiques. Les résultats indiquent que sous couvert, les débris ligneux grossiers sont fortement privilégiés par les semis de thuya qui peuvent y survivre plus de 5 ans. Les semis de sapin qui ont montré une association positive et significative avec les monticules avec de la mousse se sont montrés beaucoup moins discriminants que le thuya en regard des microsites qui les supportaient. Dans les trouées, la haute régénération constituée d'un important nombre de tiges issues de reproduction végétative suggère que cette stratégie de régénération participe au maintien de l'espèce sur le site.

Table des matières

REMERCIEMENTS	03
RÉSUMÉ	04
LISTE DES TABLEAUX	06
LISTE DES FIGURES	07
MISE EN CONTEXTE	08
TERRITOIRE D'ÉTUDE	11
MATÉRIEL ET MÉTHODE	14
ÉCHANTILLONNAGE POUR LES ASSOCIATIONS SEMIS/SUBSTRAT	14
ÉCHANTILLONNAGE DE LA RÉGÉNÉRATION DANS LES TROUÉES NATURELLES	17
ANALYSES STATISTIQUES	18
RÉSULTATS	19
ASSOCIATIONS SEMIS/SUBSTRAT POUR LES SUBSTRATS DE SURFACE	19
ASSOCIATIONS SEMIS/SUBSTRAT POUR LES SUBSTRATS D'ENRACINEMENT	24
SURVIE DES SEMIS SUR DÉBRIS LIGNEUX	26
STRATÉGIES DE RÉGÉNÉRATION SOUS COUVERT ET DANS LES TROUÉES	29
DISCUSSION	31
ASSOCIATIONS SEMIS/SUBSTRAT POUR LES SUBSTRATS DE SURFACE ET D'ENRACINEMENT	31
SURVIE DES SEMIS SUR DÉBRIS LIGNEUX	33
STRATÉGIES DE RÉGÉNÉRATION DU THUYA	34
IMPLICATIONS POUR L'AMÉNAGEMENT	35
BIBLIOGRAPHIE	37
ANNEXE	41

Liste des tableaux

TABLEAU 1	
Caractéristiques générales des cédrières	12
TABLEAU 2	
Abondance et distribution de la régénération dans le sous-bois	13
TABLEAU 3	
Critères d'évaluation du niveau de décomposition des débris ligneux	14
TABLEAU 4	
Légende des codes utilisés dans l'étude et description des caractéristiques des substrats de surface (microtopographie et litière) et des substrats d'enracinement	16
TABLEAU 5	
Analyse de khi carré de la fréquence des semis de thuya selon les types de microtopographie, les types de litière, les types de microtopographie/litière et les substrats d'enracinement spécifiant la fréquence attendue en fonction de la superficie couverte par chaque type de substrat	20
TABLEAU 6	
Analyse de khi carré de la fréquence des semis de sapin selon les types de microtopographie, les types de litière, les types de microtopographie/litière et les substrats d'enracinement spécifiant la fréquence attendue en fonction de la superficie couverte par chaque type de substrat	21
TABLEAU 7	
Résultats des analyses de khi carré par site pour le thuya	22
TABLEAU 8	
Résultats des analyses de khi carré par site pour le sapin	22
TABLEAU 9	
Résultats de l'analyse de variance indiquant la relation entre la microtopographie et l'âge pour le thuya et le sapin	27
TABLEAU 10	
Résultats de l'analyse de variance indiquant la relation entre la classe de décomposition des débris ligneux et l'âge pour le thuya et le sapin	28
TABLEAU 11	
Compilation des données de régénération en thuya dans les trouées, par origine	30

Liste des figures

FIGURE 1	
Relation entre la hauteur et l'âge pour les semis de thuya	15
FIGURE 2	
Valeurs résiduelles des analyses khi carré du facteur microtopographie pour les semis de thuya et de sapin	22
FIGURE 3	
Valeurs résiduelles des analyses khi carré du facteur litière pour les semis de thuya et de sapin	23
FIGURE 4	
Valeurs résiduelles des analyses khi carré du facteur microtopographie/litière pour les semis de thuya et de sapin	24
FIGURE 5	
Proportion des semis de thuya et de sapin enracinés dans un débris ligneux en fonction du type de microtopographie sur lequel ils ont été observés	25
FIGURE 6	
Valeurs résiduelles des analyses khi carré du facteur substrat d'enracinement pour les semis de thuya et de sapin	26
FIGURE 7	
Âge moyen des semis a) de thuya et b) de sapin par type de microtopographie	28
FIGURE 8	
Âge moyen des semis a) de thuya et b) de sapin enracinés dans des débris ligneux par classe de décomposition des débris	29

Mise en contexte

Le thuya occidental (*Thuja occidentalis* L.) est un conifère qui peut croître tant dans les sites hydriques que dans les sites xériques (Johnston 1990). Cependant, c'est en milieu mésique qu'il montre les meilleurs accroissements (Curtis 1944). En Gaspésie, dans l'est de la province de Québec, Canada, sur les sites mésiques le thuya côtoie le sapin baumier (*Abies balsamea* (L.) Mill.) et l'épinette blanche (*Picea glauca* L.) (Blanchet 1982). Le processus de recrutement du thuya est toutefois mal compris. Malgré que le thuya soit une espèce tolérante à l'ombre (Johnston 1990), les semis en régénération sous la canopée dépassent rarement 30 cm (Scott et Murphy 1987; Curtis 1946) et plusieurs auteurs soulignent que le thuya recule (Heitzman *et al.* 1997; Anonyme 1973) souvent au profit du sapin (Blanchet 1982 ; Miller *et al.* 1990; Fortin 2002).

Des perturbations telles que le feu ou la coupe influencent généralement la dynamique des peuplements à une plus grande échelle que la mortalité naturelle des arbres qui s'opère à l'échelle de l'individu. Cette dernière affecte ainsi la structure d'un peuplement à une échelle plus fine. Le thuya est une espèce longévive qui peut survivre à deux voire trois révolutions des espèces qui l'accompagnent (Blanchet 1982). En Gaspésie, des individus de plus de 550 ans ont été identifiés (Archambault et Bergeron 1992). La mortalité et le bris de branche qui apparaissent dans la strate supérieure des vieux peuplements (phénomène de *snapping*) peuvent affecter fortement la microtopographie du sol (Putz *et al.* 1983). Ainsi, le bris de branches et le chablis d'arbres vivants ou morts ont pour effet de diversifier la microtopographie du sol en créant entre autres des monticules de débris ligneux en décomposition. Cette hétérogénéité dans la microtopographie influence le processus de régénération de certaines espèces (Cornett *et al.* 1997).

Plusieurs études ont déjà documenté les substrats favorables à la régénération du thuya (St-Hilaire et Leopold 1995; Simard *et al.* 1998; Chimner et Hart 1996; Cornett *et al.* 1997; 2000) et du sapin (Duchesneau et Morin 1999; Simard *et al.* 1998; Parent *et al.* 2003). Nous savons que sur sites mésiques, les débris ligneux constituent un facteur clé dans la régénération du thuya (Cornett *et al.* 1997;

Nous savons que sur sites mésiques, les débris ligneux constituent un facteur clé dans la régénération du thuya alors que le sapin est plus ubiquiste.

Dans un contexte où l'aménagement tend à s'inspirer des perturbations naturelles, l'étude de la dynamique de vieux peuplements vierges fournit des informations précieuses que des plans d'expérience limités dans le temps ou réalisés dans un contexte artificiel ne peuvent pas fournir.

2000; Scott et Murphy 1987) alors que le sapin est plus ubiquiste (Simard *et al.* 1998; Parent *et al.* 2003).

Les études antérieures traitant de la régénération du thuya ont été faites en serres ou au champ dans des peuplements où la dynamique naturelle d'évolution avait été interrompue à un moment par une perturbation anthropique ou naturelle. Très peu de recherches portent sur la dynamique de régénération de vieilles cédrières vierges, particulièrement sur sites mésiques. La forêt de South Manitou Island, au Michigan (Scott et Murphy 1987; Thompson 1963), figure parmi les rares cédrières vierges sur site mésique où la dynamique de la régénération a été documentée. Les auteurs y ont observé que la régénération de thuya était fortement associée aux débris ligneux et qu'en sous-bois, elle dépassait rarement 25 cm en hauteur sauf dans les ouvertures.

Dans un contexte où l'aménagement tend à s'inspirer des perturbations naturelles, l'étude de la dynamique de vieux peuplements vierges fournit des informations précieuses que des plans d'expérience limités dans le temps ou réalisés dans un contexte artificiel ne peuvent pas fournir. Nous avons choisi d'étudier deux cédrières issues de plus de 300 ans d'évolution sans perturbation anthropique afin d'observer la dynamique naturelle de régénération du thuya tant sous la canopée que dans les trouées naturelles du peuplement. En plus de documenter la dynamique de régénération de vieilles cédrières, notre étude se distingue des études précédentes faites sur la régénération du thuya et du sapin par le fait que nous distinguons les substrats de surface où sont observés les semis de leur substrat d'enracinement.

En outre, dans la littérature il est mentionné que la régénération des sites hydriques se ferait davantage par marcottes alors que dans les sites mésiques elle se ferait surtout par semis (Curtis 1944). L'impact de la reproduction végétative

sur la dynamique forestière est cependant très peu documenté dans les cédrières croissant sur sites mésiques. Notre étude vise donc à mesurer l'apport de la reproduction végétative et celui des semis dans la régénération du thuya dans de vieilles cédrières croissant sur sites mésiques.

Plus spécifiquement, les objectifs de cette étude sont de 1) déterminer les meilleures associations semis/substrats pour le thuya et le sapin sous la canopée de deux vieilles cédrières vierges sur site mésique; 2) vérifier si les débris ligneux constituent des microsites d'établissement permettant la survie des semis plus de 5 ans et, 3) identifier les stratégies de régénération qui participent au maintien du thuya sur les sites mésiques.

Territoire d'étude

Les sites d'étude sont localisés dans la péninsule gaspésienne, dans la partie est de la province de Québec, Canada. Ils se situent à la limite des domaines bioclimatiques de la sapinière à bouleau jaune de l'est (région écologique de la côte gaspésienne) et de la sapinière à bouleau blanc de l'est (région écologique du massif gaspésien) (Forêt Québec, 2000). La température moyenne annuelle est de 2,9°C et varie entre -11,9°C en janvier et 16,6°C en juillet. On compte 160 jours sans gel et 111,7 cm de précipitation tombent annuellement dont 380,0 cm sous forme de neige (Environnement Canada, 2004).

Les deux peuplements étudiés sont des cédrières avec sapins baumiers et épinettes blanches sur dépôt minéral (couche lithique à moins de 40 cm) où le drainage varie de modéré à imparfait (Anonyme 1994). Une première est située dans le bassin de la rivière Darmouth (49°01'N, 64°50'O). Elle constitue un îlot résiduel de forêt ceinturée par des coupes réalisées dans des peuplements dans lesquels le sapin dominait. Elle est située au milieu d'une pente de 8 %. La deuxième cédrière est située dans le bassin de la Grande Rivière (48°36'N, 64°49'O), sur la réserve écologique de la Grande Rivière. Le peuplement est sur une pente de 4 %. Nous savons que la présence de populations de cerfs de Virginie peut constituer un facteur limitant la régénération des cédrières (Rooney *et al.* 2002; Heitzman *et al.* 1999). Dans le secteur d'étude du bassin de la rivière Darmouth, l'espèce est à la limite de son aire de distribution et les populations sont négligeables. Dans le secteur de la Grande Rivière, l'espèce serait davantage présente cependant aucun signe de brout n'a été noté lors des inventaires.

Ces peuplements présentaient un couvert fermé relativement homogène malgré la présence de quelques trouées créées par le bris de grosses branches de thuya dans la canopée. Quinze trouées naturelles présentes dans le peuplement du bassin de la rivière Darmouth ont été étudiées. La superficie des trouées étudiées variait entre 33 et 198 m² pour une moyenne de 85 m², ce qui correspondrait à une trouée circulaire d'un diamètre de 11 mètres. Cependant, plus de la moitié des trouées avait une forme ovale dont les longueur et largeur oscillaient entre 8 et 26 mètres (détails à l'annexe A).

En apparence, aucune perturbation majeure telle que le feu ou la coupe (totale ou partielle) n'a affecté ces peuplements depuis au moins trois siècles. Dans la cédrière du bassin de la Rivière Darmouth, le nombre de cernes comptés sur 23 individus échantillonnés à la tarière de Pressler varie entre 180 et 361 alors que dans la cédrière du bassin de la Grande Rivière, le nombre de cernes comptés sur 7 individus échantillonnés varie entre 109 et 195. Ces nombres représentent un âge minimal compte tenu, entre autres, de la présence importante de carie sur plusieurs arbres particulièrement sur ceux du bassin de la Grande Rivière où plusieurs échantillons couvraient moins de la moitié du rayon. Une extrapolation de la croissance permet d'estimer que certains individus dépassent 650 ans. Dans ces peuplements, le thuya atteint une hauteur de 18 m et domine largement la canopée. Les diamètres des tiges de thuya dépassent parfois 100 cm alors que ceux du sapin et de l'épinette n'atteignent pas 40 cm. Le tableau 1 présente une description sommaire des cédrières étudiées.

TABLEAU 1

CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES DES CÉDRIÈRES

	Surface terrière moyenne (m ² /ha)			Diamètre moyen à hauteur de poitrine (DHP)			
	Thuya	Sapin	Épinette blanche	Thuya	Sapin	Épinette blanche	Épaisseur moyenne de l'humus
Cédrière du bassin de la rivière Darmouth	75	3	1	52 cm	19 cm	20 cm	28 cm (± 8 cm)
Cédrière du bassin de la Grande Rivière	50	2	2	38 cm	16 cm	16 cm	21 cm (± 8 cm)

Même si le thuya dominait largement la strate arborescente dans les deux cédrières, les semis de sapin étaient aussi abondants que les semis de thuya mais mieux distribués (tableau 2). Dans la cédrière du bassin de la rivière Darmouth, l'abondance des semis était la même pour le thuya et le sapin soit une moyenne par espèce de 4,2 semis/m² (42 000 semis/ha). Les semis étaient moins abondants dans la cédrière du bassin de la Grande Rivière avec 1,3 et 1,5 semis/m² (13000 et 15000 semis/ha) pour le thuya et le sapin respectivement. Et, comme dans le site du bassin de la rivière Darmouth, les semis de sapin étaient mieux distribués sur le parterre que ne l'étaient les semis de thuya.

La hauteur moyenne des semis de thuya était de 4,8 cm (\pm 0,4 cm) alors que celle du sapin était de 12,0 cm (\pm 1,1 cm). Soixante-dix-neuf pourcent (79 %) des semis de thuya inventoriés et 49 % des semis de sapin avaient une hauteur égale ou inférieure à 5 cm.

TABLEAU 2

ABONDANCE ET DISTRIBUTION DE LA RÉGÉNÉRATION DANS LE SOUS-BOIS

	Nombre moyen de semis/m ²		Coefficient de distribution ¹	
	Thuya	Sapin	Thuya	Sapin
Cédrière du bassin de la rivière Darmouth	4,2	4,2	46 %	76 %
Cédrière du bassin de la Grande Rivière	1,3	1,5	23 %	55 %

¹ Pourcentage des quadrats avec présence de semis.

Matériel et méthode

ÉCHANTILLONNAGE POUR LES ASSOCIATIONS SEMIS/SUBSTRAT

Des quadrats de 1m² étaient inventoriés à tous les 10 mètres le long de transects parallèles équidistants de 20 mètres de façon à couvrir le site d'étude. Quarante-seize (96) quadrats ont été inventoriés dans la cédrière du bassin de la rivière Darmouth et 22 quadrats dans la cédrière du bassin de la Grande-Rivière. Dans chaque quadrats, la microtopographie a été déterminée en considérant l'échelle du semis (monticule créé par un débris ligneux, monticule autre, plat, dépression) et dessinée à une échelle de 1:10. La surface des substrats était mesurée en laboratoire au planimètre. Puis pour chaque classe de microtopographie, une classe de litière y était associée (feuilles, mousses vivantes, herbe, tronc nu, sol minéral). La combinaison d'une classe de microtopographie et d'une classe de litière correspondait à un substrat de surface spécifique, monticule de mousses par exemple. Pour les microtopographies formées par des débris ligneux grossiers, le niveau de décomposition a été estimé selon trois classes (tableau 3).

TABLEAU 3

CRITÈRES D'ÉVALUATION DU NIVEAU DE DÉCOMPOSITION DES DÉBRIS LIGNEUX.

État de décomposition	Description	Critères
I	Débris non décomposé	Débris ferme (crayon ne s'y enfonce pas)
II	Débris partiellement décomposé	Débris qui s'échiffe en surface (un crayon s'enfonce partiellement dans le débris)
III	Débris fortement décomposé	Débris très tendre (un crayon s'y enfonce totalement)

Pour chaque substrat, toutes les tiges en régénération de thuya et de sapin (< 1m) étaient récoltées en entier, tige et racine. Les racines étaient minutieusement dégagées de façon à spécifier l'origine de la tige (marcotte ou semis) ainsi que pour identifier le substrat d'enracinement dans le cas des semis (matière organique indifférenciée, substrat minéral, débris ligneux). La tige était identifiée comme étant une marcotte lorsqu'elle se rattachait à un plant mère ou lorsque le système racinaire apparaissait incomplet. La hauteur des marcottes était notée sur le terrain alors que les semis étaient numérotés et apportés au laboratoire où la hauteur totale était mesurée et l'âge compté. Pour le sapin, l'âge des semis était estimé par le compte des cicatrices des écailles du bourgeon terminal sur toute la tige (Parent *et al.* 2000). Pour le thuya, une relation âge/hauteur a été déterminée à partir d'un échantillonnage de 39 semis de moins de 25 cm sur lesquels le nombre de cernes au niveau du sol a été compté (Rooney *et al.* 2002). Le modèle a été vérifié avec 38 autres semis. La corrélation montre que l'âge et ln (hauteur) sont positivement corrélés ($r^2=0,48$; $P<0,0001$). Selon le modèle :

$$\text{âge} = 5,87 (\ln \text{ hauteur en cm}) - 1,41$$

Ce modèle prédit que les semis de 3 cm auront 5 ans. (figure 1).

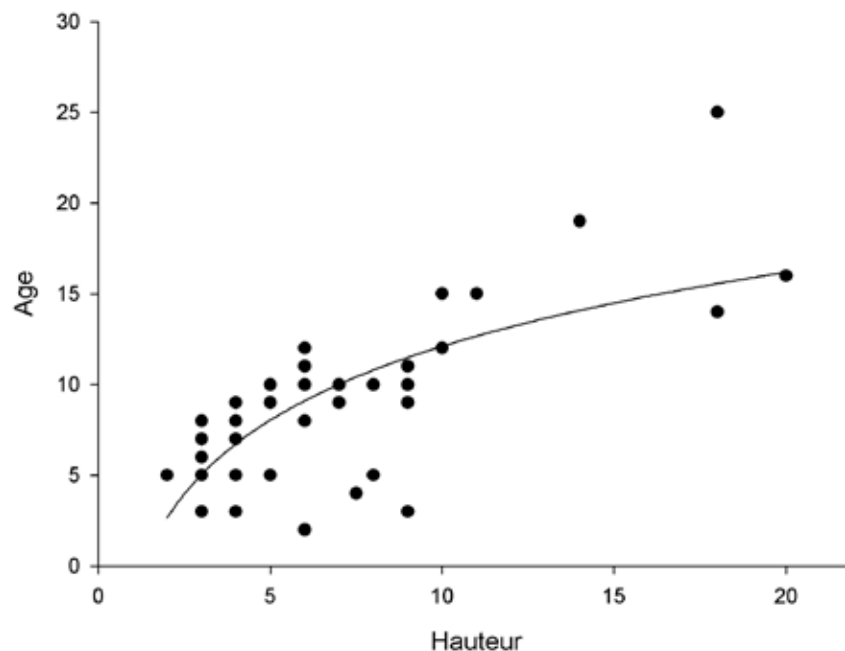


FIGURE 1

RELATION ENTRE L'ÂGE ET LA HAUTEUR POUR LES SEMIS DE THUYA

Les classes de substrats (surface et enracinement) ainsi que les abréviations utilisées dans l'étude sont décrites au tableau 4.

TABLEAU 4

LÉGENDE DES CODES UTILISÉS DANS L'ÉTUDE ET DESCRIPTION DES CARACTÉRISTIQUES DES SUBSTRATS DE SURFACE (MICROTOPOGRAPHIE ET LITIÈRE) ET DES SUBSTRATS D'ENRACINEMENT

	Code	Description
Microtopographie		
Plat	PL	Microtopographie non accidentée
Dépression	DP	Cuvette ou dépression dans le terrain
Monticule-tronc	MT-TR	Surélévation créée par un débris ligneux
Monticule-autre	MT	Surélévation dont l'origine ne peut être identifiée (butte de terre, tronc enfoui non identifiable, etc.)
Litière		
Feuille	FE	Litière généralement constituée d'écailles de thuya
Mousse	MO	Il s'agit de bryophytes. Les espèces les plus fréquemment rencontrées sont <i>Dicranum sp.</i> et <i>Peurozium shreberri</i>
Mixte	MX	Substrat où les mousses et la litière de feuille alternent
Herbe	HE	Végétation dense d'espèces herbacées diverses
Tronc nu	TR	Tronc sans litière dessus
Minéral	Mi	Sol minéral à nu
Substrat d'enracinement		
Organique indifférencié	ORG	Matière organique composée de différents résidus (sauf débris ligneux identifiables)
Débris ligneux	DL	Débris ligneux à différents niveaux de décomposition (cf. tableau 1)
Minéral	Mi	Substrat minéral

ÉCHANTILLONNAGE DE LA RÉGÉNÉRATION DANS LES TROUÉES NATURELLES

Les trouées étaient divisées en quatre cadrans par des lignes nord-sud et est-ouest. Dans chaque cadran, la plus haute tige en régénération était identifiée comme celle ayant le plus grand potentiel pour atteindre la canopée. L'espèce de cette tige était notée et dans le cas du thuya, le système racinaire était déterré afin de déterminer l'origine de la tige (semis ou reproduction végétative). Lorsque la racine prenait sa source à une branche ou un tronc, la tige était identifiée comme issue de reproduction végétative et lorsque le système racinaire était complet, la tige était identifiée comme un semis. Lorsque le système racinaire déterré apparaissait incomplet (généralement à cause de la pourriture) la tige était classée d'« origine inconnue ».

L'origine des tiges de plus de 30 cm croissant dans un rayon d'un mètre de cette tige a aussi été déterminée afin d'avoir un portrait de la régénération sous-dominante. De plus, un quadrat de 1 m² adjacent au rayon de 1 mètre de la tige et orienté vers le centre de la trouée a aussi permis de caractériser la petite régénération de la trouée (moins de 30 cm). L'espèce, la hauteur et l'origine des tiges (semis ou marcotte) étaient notées en utilisant la procédure décrite précédemment.

ANALYSES STATISTIQUES

Les degrés d'associations entre les semis et les substrats de surface et d'enracinement ont été déterminés par des analyses de khi carré en spécifiant les fréquences théoriques déterminées à partir de la surface couverte par chacun des types de microtopographie et de litière (Simard *et al.* 1998; Parent *et al.* 2003). Afin de permettre une analyse khi carré pour l'association des semis avec les substrats d'enracinement, nous avons déterminé la fréquence théorique en émettant l'hypothèse que la surface des débris ligneux disponibles à l'enracinement correspondait à celle de toutes les microtopographies en monticule (surface des monticules-tronc additionnée à celle des monticules-autres). Pour ces analyses de khi carré, les valeurs étaient considérées significatives lorsque $p < 0,001$. Des régressions logistiques ont été faites dans les situations où une variable dépendait d'une autre alors que des analyses de variance ont permis de comparer les valeurs moyennes des variables en continue. Pour ces analyses, les valeurs étaient considérées significatives lorsque $p < 0,05$. Les comparaisons multiples ont été faites avec le test de Tuckey-Kramer. Toutes les analyses ont été faites avec le logiciel JMP IN (SAS Institute Inc. 2003).

Résultats

ASSOCIATIONS SEMIS/SUBSTRAT POUR LES SUBSTRATS DE SURFACE

Les semis de thuya étaient surtout confinés sur des monticules formés par des débris ligneux et ils étaient plutôt absents des surfaces planes.

Le sapin a montré une association positive avec la microtopographie en monticules, qu'elle soit créée par des débris ligneux ou que la butte soit d'une autre origine.

Les tableaux 5 et 6 présentent les résultats de l'analyse de khi carré pour le thuya et le sapin respectivement lorsque les deux sites sont analysés ensemble. Ce type d'analyse montre la différence entre la fréquence observée (nombre de semis récoltés) et la fréquence théorique déterminée par la surface couverte par chaque type de substrat. Plus l'écart entre la valeur résiduelle et la valeur théorique est grand plus la valeur est significative. Une valeur résiduelle positive élevée indique une préférence du semis pour le substrat alors qu'une valeur négative indique que le substrat n'est pas favorable au semis. Les analyses ont été faites tous sites confondus cependant les tableaux 7 et 8 présentent les résultats pour chacun des sites individuellement pour le thuya et le sapin respectivement.

Dans les deux sites l'analyse indique que la microtopographie est un facteur significatif pour les semis de thuya (tableau 7) et que ces derniers montrent une préférence pour les monticules créés par les débris ligneux grossiers (MT-TR). Bien que ce type de microtopographie ne couvraient que 17 % de la surface totale échantillonnée, 76 % des semis de thuya y ont été observés (tableau 5). La figure 2 montre que les semis de thuya étaient surtout confinés sur ces monticules formés par des débris ligneux et qu'ils étaient plutôt absents des surfaces planes. Quant aux semis de sapin, bien qu'ils aient été observés sur plusieurs types de microtopographies, lorsqu'on confond les deux sites, l'analyse indique que les liens sont significatifs entre la microtopographie et la présence de semis (tableau 6). Ainsi, le sapin a montré une association positive avec la microtopographie en monticules, qu'elle soit créée par des débris ligneux (MT-TR) ou que la butte soit d'une autre origine (MT). Bien que les résultats ne soient pas significatifs pour le site du Bassin de la Grande-Rivière, les microtopographies en monticules (MT et MT-TR) ont tout de même montré une association positive avec les semis de cette espèce (tableau 8). En outre, malgré que 43 % des sapins aient été récoltés sur des microtopographies planes, cette association s'est avérée négative (tableau 6, figure 2).

TABLEAU 5

ANALYSE DE KHI CARRÉ DE LA FRÉQUENCE DES SEMIS DE THUYA SELON LES TYPES DE MICROTOPOGRAPHIE, LES TYPES DE LITIÈRE, LES TYPES DE MICROTOPOGRAPHIE/LITIÈRE ET LES SUBSTRATS D'ENRACINEMENT SPÉCIFIANT LA FRÉQUENCE ATTENDUE EN FONCTION DE LA SUPERFICIE COUVERTE PAR CHAQUE TYPE DE SUBSTRAT

	Fréquence observée	Fréquence observée (en %)	Fréquence attendue	Surface couverte (en %)	Résiduel	Résiduel (en %)	χ^2	P
Microtopographie								
Dépression	4	1 %	21	5 %	-17	-4 %		
Monticule autre	52	12 %	77	18 %	-25	-6 %		
Monticule-tronc	328	76 %	73	17 %	255	59 %		
Plat	47	11 %	260	60 %	-213	-49 %		
Total	431						1122,6	P<0,001
Litière								
Feuille	116	27 %	332	77 %	-216	-50 %		
Mousses	140	32 %	69	16 %	71	16 %		
Mixte (mousse+feuille)	21	5 %	21	5 %	0	0 %		
Tronc nu	154	36 %	9	2 %	145	34 %		
Total	431						3055,5	P<0,001
Microtopographie et litière associées								
Dépression-feuille	4	1 %	18	4 %	-14	-3 %		
Monticule-feuille	31	7 %	60	14 %	-29	-7 %		
Monticule-mousses	10	2 %	14	3 %	-4	-1 %		
Monticule-tronc avec feuille	51	12 %	17	4 %	34	8 %		
Monticule-tronc avec mousses	118	27 %	38	9 %	80	18 %		
Monticule-tronc sans litière	153	35 %	7	2 %	146	33 %		
Plat-feuille	30	7 %	239	55 %	-209	-48 %		
Plat-mousses	12	3 %	12	3 %	0	0 %		
Autres associations	22	5 %	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.		
Total	431						3606,5	P<0,001
Milieu d'enracinement								
Débris ligneux	367	86 %	151	35 %	216	51 %		
Substrat minéral	0	0 %	0	0 %	0	0 %		
Substrat organique indifférencié	62	14 %	278	65 %	-216	-51 %		
Total	429						501,0	P<0,001

TABLEAU 6

ANALYSE DE KHI CARRÉ DE LA FRÉQUENCE DES SEMIS DE SAPIN SELON LES TYPES DE MICROTOPOGRAPHIE, LES TYPES DE LITIÈRE, LES TYPES DE MICROTOPOGRAPHIE/LITIÈRE ET LES SUBSTRATS D'ENRACINEMENT SPÉCIFIANT LA FRÉQUENCE ATTENDUE EN FONCTION DE LA SUPERFICIE COUVERTE PAR CHAQUE TYPE DE SUBSTRAT

	Fréquence observée	Fréquence observée (en %)	Fréquence attendue	Surface couverte (en %)	Résiduel	Résiduel (en %)	χ^2	<i>P</i>
Microtopographie								
Dépression	13	3 %	22	5 %	-9	-2 %		
Monticule autre	114	26 %	78	18 %	36	8 %		
Monticule-tronc	119	28 %	74	17 %	45	11 %		
Plat	188	43 %	260	60 %	-72	-17 %		
Total	434						74,1	P<0,001
Litière								
Feuille	283	65 %	334	77 %	-51	-12 %		
Mousses	118	27 %	69	16 %	49	11 %		
Mixte (mousse+feuille)	25	6 %	22	5 %	3	1 %		
Tronc nu	8	2 %	9	2 %	-1	0 %		
Total	434						45,9	P<0,001
Microtopographie et litière associées								
Dépression-feuille	13	3 %	17	4 %	-4	-1 %		
Monticule-feuille	73	17 %	61	14 %	12	3 %		
Monticule-mousses	32	7 %	13	3 %	19	4 %		
Monticule-tronc avec feuille	21	5 %	17	4 %	4	1 %		
Monticule-tronc avec mousses	80	18 %	39	9 %	41	9 %		
Monticule-tronc sans litière	8	2 %	9	2 %	-1	0 %		
Plat-feuille	176	41 %	239	55 %	-63	-14 %		
Plat-mousses	6	1 %	13	3 %	-7	-2 %		
Autres associations	25	6 %	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.		
Total	434						115,2	P<0,001
Milieu d'enracinement								
Débris ligneux	220	51 %	150	35 %	70	16 %		
Substrat minéral	2	1 %	0	0 %	2	1 %		
Substrat organique indifférencié	208	48 %	280	65 %	-72	-17 %		
Total	430						388,3	P<0,001

TABLEAU 7

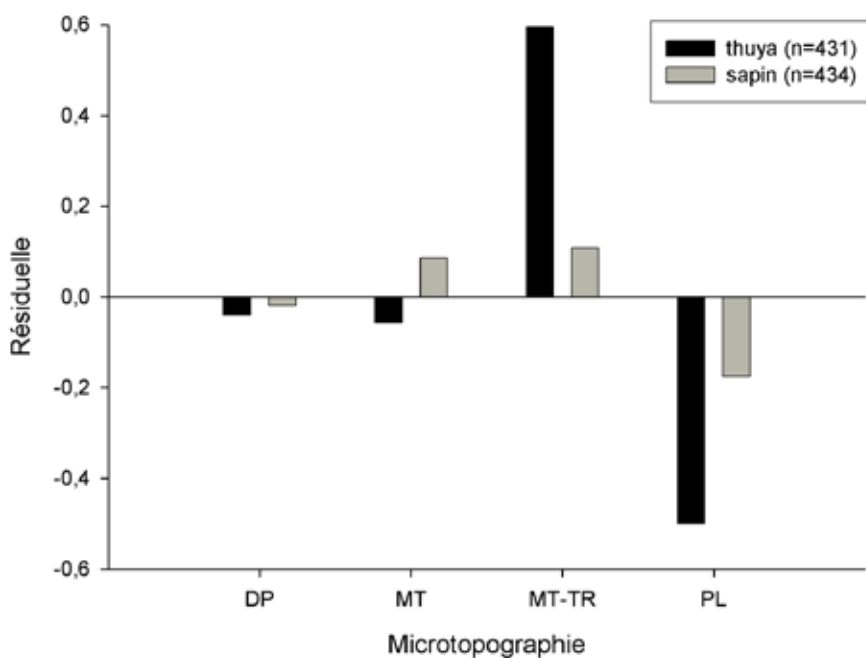
RÉSULTATS DES ANALYSES DE KHI CARRÉ PAR SITE POUR LE THUYA
(LES SUBSTRATS MENTIONNÉS INDIQUENT LES ASSOCIATIONS POSITIVES AVEC LES SEMIS)

Thuya	n =	Microtopographie	X ²	p =	Litière	X ²	p =	Substrat d'enracinement	X ²	p =
Darmouth	404	MT-TR	1179,4	<0,001	TR/MO	3539,2	<0,001	DL	1568,3	<0,001
Grande-Rivière	27	MT-TR	23,3	<0,001	MO/MX	36,3	<0,001	DL	11,9	0,003
Tous sites	431	MT-TR	1122,6	<0,001	TR/MO	3055,5	<0,001	DL	501,0	<0,001

TABLEAU 8

RÉSULTATS DES ANALYSES DE KHI CARRÉ PAR SITE POUR LE SAPIN
(LES SUBSTRATS MENTIONNÉS INDIQUENT LES ASSOCIATIONS POSITIVES AVEC LES SEMIS)

Sapin	n =	Microtopographie	X ²	p =	Litière	X ²	p =	Substrat d'enracinement	X ²	p =
Darmouth	400	MT/MT-TR	68,1	<0,001	MO	60,7	<0,001	DL	376,5	<0,001
Grande-Rivière	34	MT-TR/MT	5,1	0,166	MX/MO	15,7	<0,001	DL/Mi	8,1	0,017
Tous sites	434	MT-TR/MT	74,1	<0,001	MO/MX	45,9	<0,001	DL/Mi	388,3	<0,001

**FIGURE 2**

VALEURS RÉSIDUELLES DES ANALYSES DE KHI CARRÉ DU FACTEUR MICROTOPOGRAPHIE POUR LES SEMIS DE THUYA ET DE SAPIN (DP : DÉPRESSION; MT : MONTICULE AUTRE; MT-TR : MONTICULE-TRONC; PL : PLAT)

Les semis de thuya sont associés positivement avec tous les types de litière sur débris ligneux.

Les semis de sapin étaient surtout présents dans les litières de feuilles et de mousses cependant seules les litières de mousses ou mixtes ont montré pour cette espèce une association positive.

Les analyses indiquent aussi des liens significatifs entre le facteur litière et les semis de thuya et ce, pour les deux sites. Ainsi, les litières de mousses (MO) et l'absence de litière sur les troncs (TR) seraient les deux types de litière les plus favorables aux semis de thuya (figure 3). Ainsi, 36 % des thuyas récoltés étaient sur des troncs nus (TR) qui couvraient seulement 2 % de la surface échantillonnée. Les semis de thuya sont d'ailleurs associés positivement avec tous les types de litière sur débris ligneux (figure 4). Quant à la litière de feuille (FE), ici constituée d'écaillles de thuya, elle s'est avérée être fortement défavorable aux semis de thuya.

Les semis de sapin étaient surtout présents dans les litières de feuilles (FE) et de mousses (MO) où 65 % et 27 % des semis ont été observés respectivement (tableau 6). Cependant, seules les litières de mousses ou mixtes (feuilles avec mousses) ont montré pour cette espèce une association positive puisque la superficie couverte par les litières de feuille était de 77 % alors qu'elle était de 16 % pour les mousses. La figure 4 montre que le sapin est associé positivement surtout avec les monticules supportant une litière de mousse (Mt (Mo) et Mt-Tr (Mo)). Bien que le facteur litière ne montre pas de liens significatifs sur le site du Bassin de la Grande-Rivière, l'association du sapin avec les mousses (MO et MX) y est aussi positive (tableau 8).

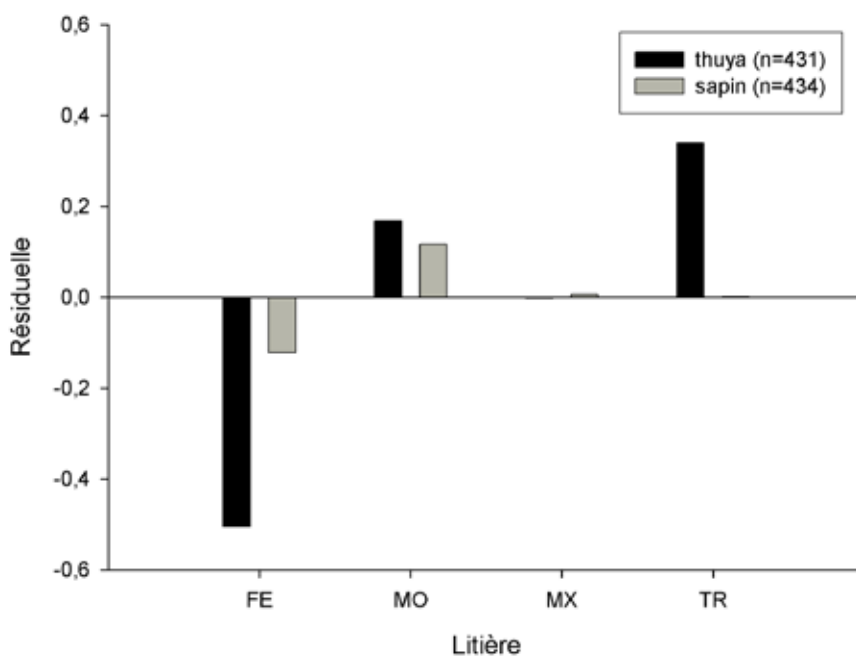


FIGURE 3

VALEURS RÉSIDUELLES DES ANALYSES KHI CARRÉ DU FACTEUR LITIÈRE POUR LES SEMIS DE THUYA ET DE SAPIN (FE : FEUILLE; MO : MOUSSES; MX : MIXTE FEUILLES ET MOUSSES; TR : TRONC NU)

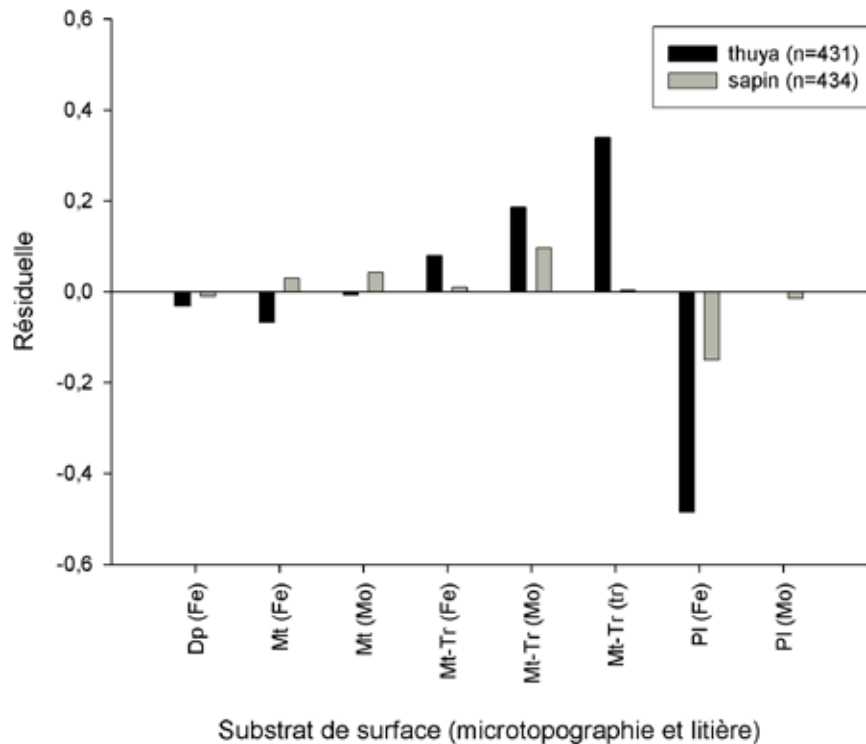


FIGURE 4

VALEURS RÉSIDUELLES DES ANALYSES KHI CARRÉ DU FACTEUR MICROTOPOGRAPHIE/LITIÈRE POUR LES SEMIS DE THUYA ET DE SAPIN (DP : DÉPRESSION; MT : MONTICULE AUTRE; MT-TR : MONTICULE-TRONC; PL : PLAT; FE : FEUILLE; MO : MOUSSES; MX : MIXTE FEUILLES ET MOUSSES; TR : TRONC NU)

ASSOCIATIONS SEMIS/SUBSTRAT POUR LES SUBSTRATS D'ENRACINEMENT

Une proportion des semis qui avait été observée sur des microtopographies autres que des débris ligneux était tout de même enracinée dans un débris ligneux.

Le nombre de semis enracinés dans des débris ligneux (DL) dépasse le nombre de semis observés sur les monticules faits de troncs (MT-TR) et ce, tant pour le thuya que pour le sapin. En effet, une proportion des semis qui avait été observée sur des microtopographies autres que des débris ligneux (PL, MT, DP) était tout de même enracinée dans un débris ligneux (figure 5). Parmi les semis qui n'avaient pas été observés sur des débris ligneux mais qui étaient tout de même enracinés dans un débris ligneux, figurent 79 % des semis de thuya observés sur des monticules autres et 54 % des sapin observés sur ce même type de microtopographie. Ainsi, 86 % des semis de thuya et 51 % des semis de sapins étaient enracinés dans des débris ligneux alors que la surface théoriquement disponible pour ce type de substrat (MT-TR et MT mis ensemble) était de 35 %. Les analyses indiquent donc des liens significatifs entre les semis et le substrat d'enracinement pour le site du

C'est avec les débris ligneux comme milieu d'enracinement que les semis de thuya et de sapin ont montré une association positive.

bassin de la rivière Darmouth mais pas pour celui du bassin de la Grande-Rivière (tableaux 7 et 8). C'est avec les débris ligneux comme milieu d'enracinement que les semis de thuya et de sapin ont montré une association positive (figure 6) et ce, sur les deux sites.

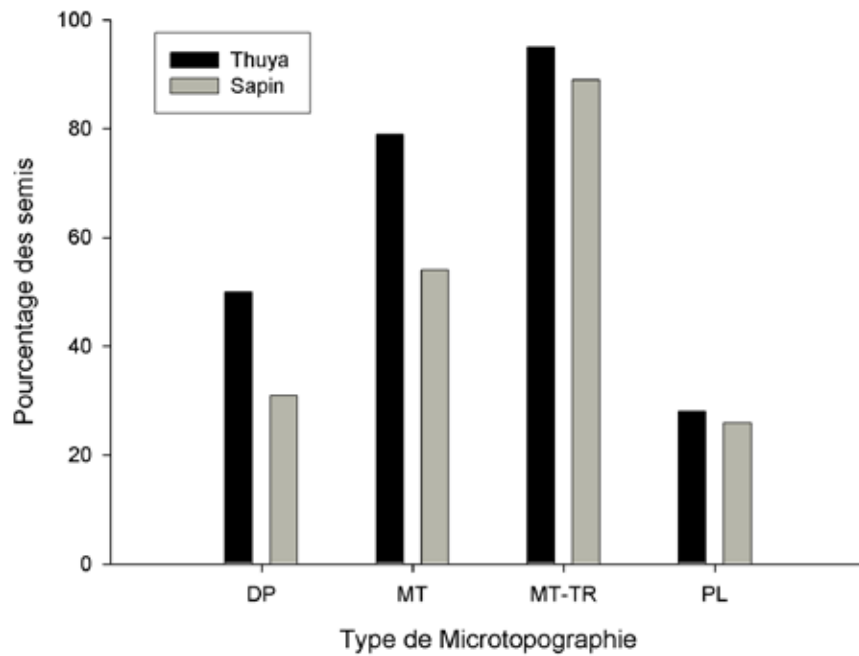
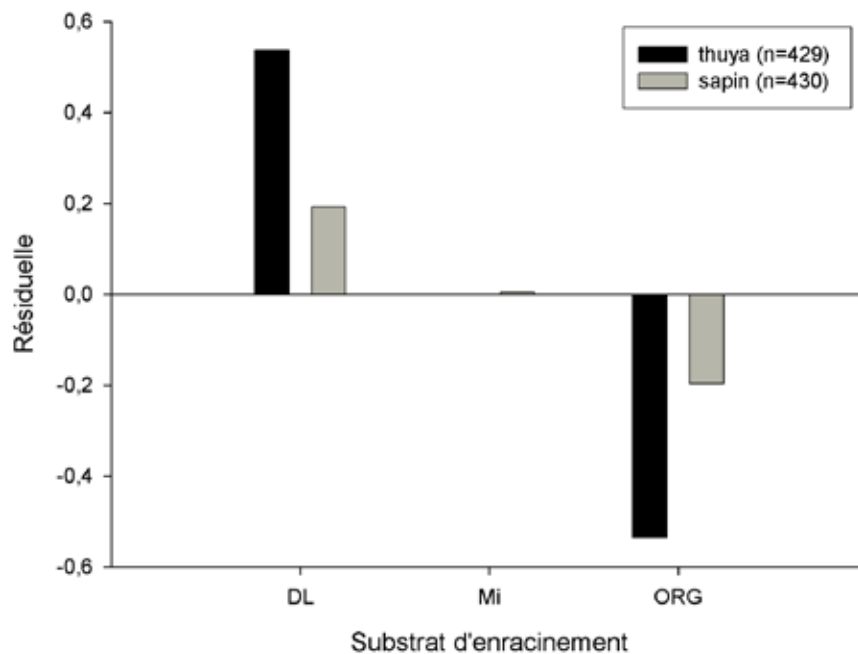


FIGURE 5

PROPORTION DES SEMIS DE THUYA ET DE SAPIN ENRACINÉS DANS UN DÉBRIS LIGNEUX EN FONCTION DU TYPE DE MICROTOPOGRAPHIE SUR LEQUEL ILS ONT ÉTÉ OBSERVÉS (DP : DÉPRESSION; MT : MONTICULE AUTRE; MT-TR : MONTICULE-TRONC; PL : PLAT)

**FIGURE 6**

VALEURS RÉSIDUELLES DES ANALYSES KHI CARRÉ DU FACTEUR SUBSTRAT D'ENRACINEMENT POUR LES SEMIS DE THUYA ET DE SAPIN (DL : DÉBRIS LIGNEUX; MI : SUBSTRAT MINÉRAL; ORG : SUBSTRAT ORGANIQUE INDIFFÉRENCIÉ)

SURVIE DES SEMIS SUR DÉBRIS LIGNEUX

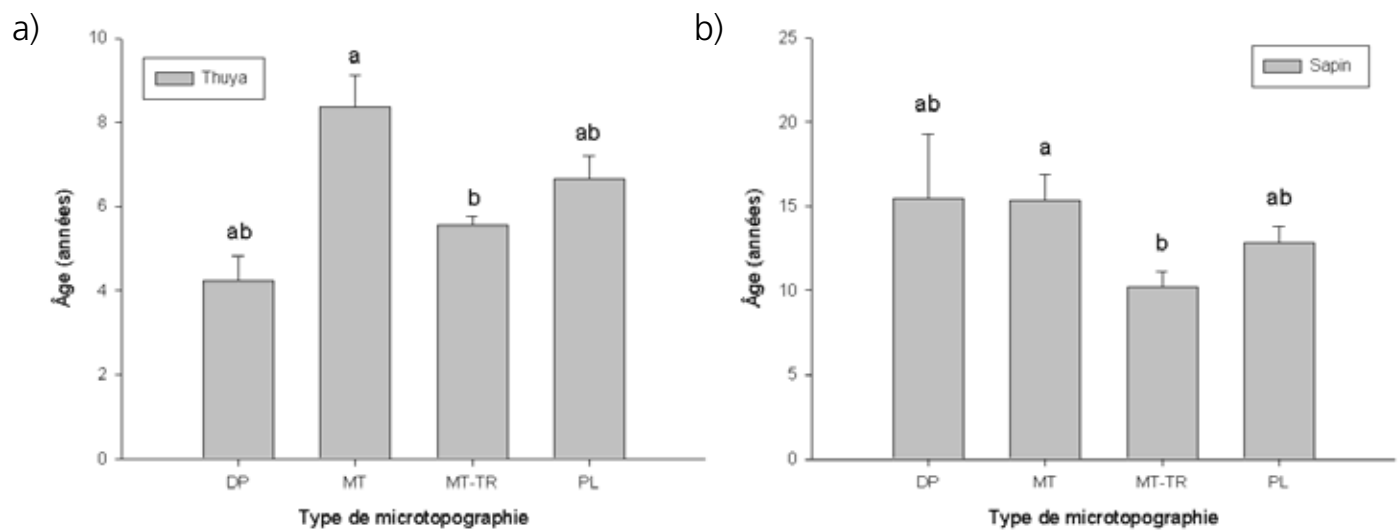
La relation âge/hauteur établie pour les semis de thuya indique que les semis dont la hauteur est de 3 cm auraient 5 ans. Ainsi, les données révèlent que 62 % de semis de thuya récoltés sous couvert pourraient avoir 5 ans et plus et que 83 % de ces semis sont enracinés dans des débris ligneux. Dans le cas du sapin, 85 % de semis sous couvert auraient 5 ans et plus et, 50 % d'entre eux seraient enracinés dans un débris ligneux.

Une analyse de variance révèle une relation significative entre la microtopographie et l'âge des semis déterminé à partir de la relation établie pour le thuya et des cicatrices du bourgeon terminal pour le sapin ($p < 0,05$) (tableau 9). La distribution des classes d'âge (non montrée) indique par ailleurs que les jeunes semis ne sont pas surreprésentés et ce tant pour le thuya que pour le sapin. Ainsi, les semis les plus vieux seraient surtout localisés sur les monticules autres que des troncs (MT) et ce, tant pour le thuya que pour le sapin (figure 7). Les données indiquent cependant que les débris ligneux dans lesquels étaient enracinés les semis de thuya et de sapin observés sur des monticules autres (MT) étaient fortement décomposés (classe III). Le niveau de décomposition des débris ligneux comme substrat d'enracinement montre une relation significative avec l'âge des semis de thuya ($p < 0,05$) mais pas avec celle des semis de sapin (tableau 10 et figure 8).

TABLEAU 9

RÉSULTATS DE L'ANALYSE DE VARIANCE INDIQUANT LA RELATION ENTRE LA MICROTOPOGRAPHIE ET L'ÂGE POUR LE THUYA ET LE SAPIN

	DL	F ratio	P
Thuya	3	9,0755	<0,001
Sapin	3	2,8953	0,036

**FIGURE 7**

ÂGE MOYEN DES SEMIS A) DE THUYA ET B) DE SAPIN PAR TYPE DE MICROTOPOGRAPHIE. DES LETTRES DIFFÉRENTES INDIQUENT UNE DIFFÉRENCE SIGNIFICATIVE (DP : DÉPRESSION; MT : MONTICULE AUTRE; MT-TR : MONTICULE-TRONC; PL : PLAT)

TABLEAU 10

RÉSULTATS DE L'ANALYSE DE VARIANCE INDIQUANT LA RELATION ENTRE LA CLASSE DE DÉCOMPOSITION DES DÉBRIS LIGNEUX ET L'ÂGE POUR LE THUYA ET LE SAPIN

	DL	F ratio	P
Thuya	2	9,7752	<0,001
Sapin	2	1,5629	0,213

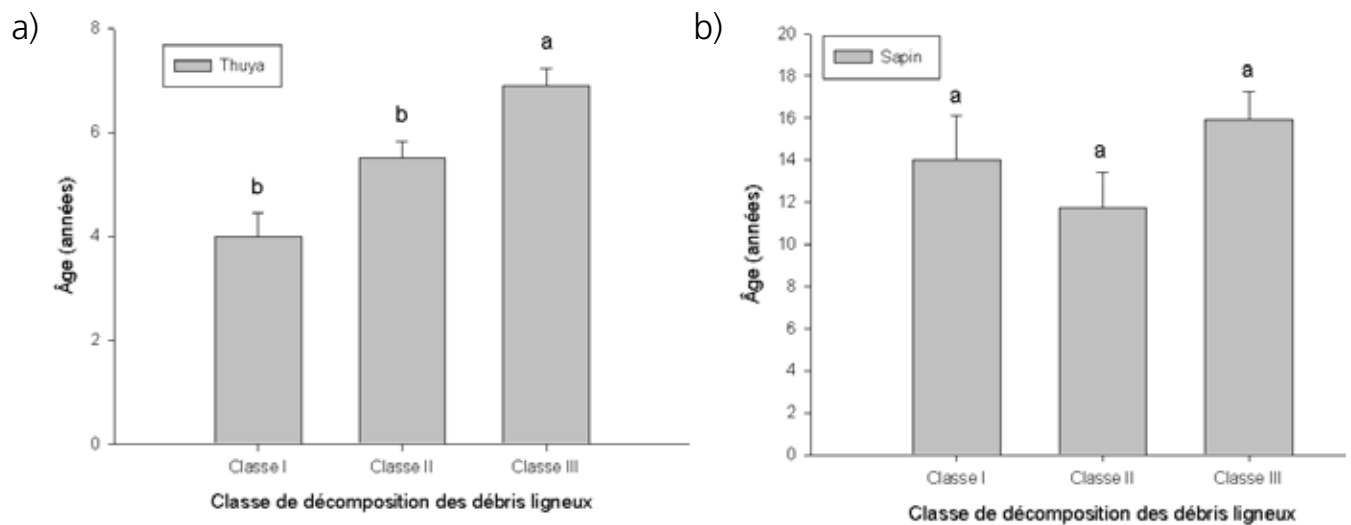


FIGURE 8

ÂGE MOYEN DES SEMIS A) DE THUYA ET B) DE SAPIN ENRACINÉS DANS DES DÉBRIS LIGNEUX PAR CLASSE DE DÉCOMPOSITION DES DÉBRIS. DES LETTRES DIFFÉRENTES INDIQUENT UNE DIFFÉRENCE SIGNIFICATIVE (CLASSE I : DÉBRIS FERME; CLASSE 2 : DÉBRIS QUI S'ÉCHIFFE EN SURFACE ; CLASSE III : DÉBRIS TRÈS TENDRE)

STRATÉGIES DE RÉGÉNÉRATION SOUS COUVERT ET DANS LES TROUÉES

Dans le sous-bois, les marcottes de thuya représentaient 15 % des tiges en régénération dans le site du bassin de la rivière Darmouth et 38 % dans le site du bassin de la Grande Rivière. Elles avaient une hauteur moyenne de 64,4 cm ($\pm 5,8$ cm). Quarante-vingt-dix-sept pourcent (97 %) des tiges de thuya de plus de 30 cm étaient des marcottes.

Dans les trouées naturelles du peuplement, la présence de tiges issues de reproduction végétative était beaucoup plus notoire que ne l'était la présence de marcottes sous le couvert.

Dans les trouées naturelles du peuplement, la présence de tiges issues de reproduction végétative était beaucoup plus notoire que ne l'était la présence de marcottes sous le couvert. Le tableau 11 décrit la régénération du thuya échantillonnée dans les trouées et les données par trouée sont présentées en annexe. Parmi les 60 cadrans inventoriés dans les 15 trouées, dans 8 cadrans la tige dominante en hauteur était un sapin alors que dans 52 cadrans la tige dominante était un thuya. La hauteur moyenne des tiges de thuya dominantes était de 4,0 mètres. De ces tiges, 44 % étaient des tiges issues de reproduction végétative et 8 % étaient des semis. Sur 48 % des tiges l'origine n'a pu être déterminée.

L'échantillonnage des tiges de 30 cm et plus de hauteur indique que près de 65 % des tiges de thuya inventoriées étaient issues de reproduction végétative (marcotte ou bouture) et 10 % étaient des semis. Sur 25 % des tiges, l'origine n'a pu être déterminée. La hauteur moyenne de ces tiges était de 1,89 mètre alors que celle des tiges de sapin était de 1,18 mètre. Quant aux tiges de moins de 30 cm, les inventaires indiquent qu'elles étaient toutes des semis.

TABLEAU 11

COMPILATION DES DONNÉES DE RÉGÉNÉRATION EN THUYA DANS LES TROUÉES, PAR ORIGINE

	% reproduction végétative	% semis	% origine inconnu	Hauteur moyenne
Thuyas dominants (n=52)	44 %	8 %	48 %	400 cm
Thuyas 30 cm et plus ((n=188) dominants inclus)	65 %	10 %	25 %	189 cm
Thuyas moins de 30 cm (n=242)	0 %	100 %	0 %	6 cm

Note : Les % réfèrent au nombre de tiges issues de reproduction végétative, de semis ou d'origine inconnue divisé par le nombre total de thuya n.

Discussion

L'étude de la régénération dans le sous-bois montre que les semis n'étaient pas distribués aléatoirement sur le parterre et qu'une proportion des semis de thuya et de sapin qui n'avait pas été observée sur des débris ligneux grossiers était tout de même associée aux débris ligneux par le milieu d'enracinement. Par ailleurs, l'étude de la régénération dans les trouées révèle que les stratégies de reproduction végétative du thuya telles que le marcottage et le bouturage pourraient participer d'une façon importante au maintien de l'espèce sur site mésique.

ASSOCIATIONS SEMIS/SUBSTRAT POUR LES SUBSTRATS DE SURFACE ET D'ENRACINEMENT

La majorité des semis de thuya a été observée sur des monticules formés de débris ligneux grossiers qui pourtant n'occupaient qu'une petite surface du parterre alors que le sapin était très peu fréquent sur ce type de microsite. Cette différence d'abondance entre le sapin et le thuya sur ce type de microsite ne peut s'expliquer uniquement par une plus faible représentativité des semenciers de sapin par rapport aux semenciers de thuya puisque pour un nombre égal, les semis de sapin étaient mieux distribués que les semis de thuya (Simard *et al.* 1998; Cornett *et al.* 1997).

Nos résultats confirment que la spécificité du thuya pour un microsite particulier influe davantage sur l'abondance de ses semis que ne le fait la spécificité du sapin dont l'ubiquité a déjà été soulignée.

Ces résultats sont concordants avec ceux d'autres études sur le recrutement du thuya (Scott et Murphy 1987; Cornett *et al.* 1997; Simard *et al.* 1998; Rooney *et al.* 2002) et du sapin (Simard *et al.* 1998; 2003; Duchesneau et Morin 1999; Parent *et al.* 2003). Nos résultats confirment que la spécificité du thuya pour un microsite particulier influe davantage sur l'abondance de ses semis que ne le fait la spécificité du sapin dont l'ubiquité a déjà été soulignée (Simard *et al.* 1998, Cornett *et al.* 1997). Le peu d'affinité du thuya (Simard *et al.* 1998; 2003) pour les microtopographies planes et les litières de feuilles est également supporté par nos résultats.

Dans les cédrières étudiées, l'épaisseur moyenne de la matière organique constituée d'écaillés de thuya dépassait 20 cm. Cette épaisse couche organique

Le recrutement important des semis de thuya sur les débris ligneux sans litière et celui moins important mais tout de même positif sur les troncs avec litière de feuille ou avec mousses suggèrent que la forme des débris pourrait jouer un rôle important dans la protection des semis en faisant dévier la matière organique vers le sol.

constitue une barrière presque infranchissable entre les semis et le substrat minéral, plus stable en humidité (DeLong *et al.* 1997). Le sapin arrive à s'installer plus fréquemment que le thuya sur ce type de substrat (Cornett *et al.* 1997; Simard *et al.* 1998). La meilleure performance de *Abies sp.* dans les litières de feuilles pourrait être due à ses graines qui sont plus grosses que celles de *Thuja sp.* (Weber *et al.* 2003).

Dans les cédrières, la chute des feuilles de thuya est responsable de la mortalité de jeunes semis de thuya (Simard *et al.* 2003). Le recrutement important des semis de thuya sur les débris ligneux sans litière et celui moins important mais tout de même positif sur les troncs avec litière de feuille ou avec mousses suggèrent que la forme des débris (hauteur et largeur) pourrait jouer un rôle important dans la protection des semis en faisant dévier la matière organique vers le sol (DeLong *et al.* 1997). En limitant ainsi l'accumulation de matière organique, il est possible que les débris ligneux constituent des microsites dont la disponibilité durerait plusieurs années. De plus, les trous et les encavures agissent comme trappe à graines (Cornett *et al.* 1997) et les semences du thuya semblent arriver mieux que celles du sapin à exploiter ce substrat. En effet, des observations *in situ* suggèrent que les fines racines du thuya puissent croître tout au fond des fentes de l'écorce du débris de thuya, là où davantage d'humidité serait retenue alors que la racine initiale du sapin, plus grosse, ne posséderait pas cette aptitude. Cette hypothèse pourrait expliquer le fait que moins de sapin aient été observés sur les débris ligneux récents. Il n'est pas possible cependant avec les données actuelles d'affirmer que les conditions offertes par ces débris récents peu décomposés permettront la survie à long terme des semis.

Notre étude qui montre le fort lien d'association entre les semis de thuya et les débris ligneux ne permet pas d'expliquer toutes les conditions de microsite favorables au thuya. Cependant, l'association négative des semis de thuya avec la microtopographie monticules-autres suggère que ce soit davantage les caractéristiques propres aux débris ligneux qui favorisent la germination et l'établissement des semis que l'effet de la microtopographie. DeLong *et al.* (1997) mentionnent

Les débris ligneux en plus d'avoir une bonne capacité de rétention en eau offriraient moins de résistance à l'élongation des racines en période de sécheresse que le substrat minéral.

que les débris ligneux en plus d'avoir une bonne capacité de rétention en eau offriraient moins de résistance à l'élongation des racines en période de sécheresse que le substrat minéral. Les observations faites sans considérer la zone d'enracinement sous-estiment l'importance des débris ligneux dans le processus de régénération par graines du thuya et du sapin. Et, le lien d'association du sapin avec les débris ligneux comme milieu d'enracinement pourrait être encore davantage sous-estimé surtout lorsqu'une partie de la base de la tige est recouverte de débris organiques puisque l'accumulation de matières organiques à la base de la tige peut stimuler le développement de racines adventives (Parent *et al.* 2000). Dans ce cas, le collet du plant ne se situe pas au niveau du sol mais sous la surface, parfois à plus de 5 cm de profondeur (S. Parent, obs. pers.). En outre, le milieu d'enracinement observé ne correspond donc pas nécessairement au milieu initial d'enracinement (germination).

Notre étude indique que les mousses sont favorables au recrutement du sapin ce qui concorde avec les résultats d'études précédentes (Simard *et al.* 1998, Duchesneau et Morin 1999; Parent *et al.* 2003). Cependant, comme dans notre étude les semis de thuya associés aux mousses étaient aussi enracinés dans un débris ligneux, il n'est pas possible de distinguer l'effet des mousses de celui des débris ligneux.

SURVIE DES SEMIS SUR DÉBRIS LIGNEUX

Dans notre étude, les semis de thuya les plus hauts se retrouvent sur des monticules autres que des débris ligneux, comme noté par Rooney *et al.* (2002). Cependant, en atteignant le substrat d'enracinement, on observe que ces semis sont en fait fortement associés à des débris ligneux très décomposés. La hauteur moyenne plus grande de ces semis s'explique peut-être simplement par le fait qu'ils se sont installés il y a plus longtemps, au moment où le débris ligneux était plus récent, peu décomposé et moins enfoui sous la litière de feuille.

Les résultats montrent que les débris ligneux ne constituent pas seulement de bons microsites de germination mais qu'ils constituent aussi de bons sites d'établissement tant pour le thuya que pour le sapin.

Les résultats montrent que les débris ligneux ne constituent pas seulement de bons microsites de germination mais qu'ils constituent aussi de bons sites d'établissement tant pour le thuya (Cornett *et al.* 1997) que pour le sapin (Simard *et al.* 2003) puisque nous avons observé qu'une partie importante des populations de semis peuvent y survivre plus de 5 ans.

STRATÉGIES DE RÉGÉNÉRATION DU THUYA

La hauteur moyenne de la régénération du thuya dans les trouées dépassait largement en hauteur celle dans le sous-bois (Scott et Murphy 1987). Notre étude démontre toutefois que les semis de thuya peuvent survivre plusieurs années dans le sous-bois des cédrières mais qu'ils dépassent très rarement la hauteur de 30 cm (Scott et Murphy 1987; Curtis 1946; Heitzman *et al.* 1997) et les tiges qui dépassent cette hauteur sont, le plus souvent, dans les trouées comme sous le couvert, des tiges issues de reproduction végétative. Le petit nombre de marcottes observé sous couvert jumelé aux boutures issues des branches cassées pourrait donc participer d'une façon plus importante que les semis au maintien de l'espèce sur le site.

L'étude de la régénération dans les trouées révèle que les stratégies de reproduction végétative du thuya telles que le marcottage et le bouturage pourraient participer d'une façon importante au maintien de l'espèce sur site mésique.

La littérature reconnaît le rôle important des marcottes dans la régénération des stations hydriques mais suggère que sur station mésique, ce soit la régénération par graines qui domine (Curtis 1946; Johnston 1990). Mais, nos observations dans les trouées quant à la présence importante de hautes tiges de thuya en régénération issues de marcottes ou de branches cassées enracinées (bouture) suggère que l'importance de ces stratégies de reproduction ait été sous-estimée dans la dynamique des cédrières croissant sur sites mésiques. Selon Curtis (1946), les branches cassées de thuya pourraient s'enraciner en moins de deux mois dans de bonnes conditions. Les types de débris observés sur le parterre et les cimes abîmées des arbres sur le pourtour des trouées suggèrent que les trouées aient été formées par le bris de cimes (*snapping*). Sans l'avoir quantifié, nous avons observé l'enracinement de certaines branches issues de ce phénomène de *snapping* mais la littérature est peu bavarde quant à cette stratégie de reproduction du

thuya par bouturage et marcottage de grosses branches. Nos résultats appuient ceux de Weber *et al.* (2003) qui suggèrent que les marcottes et l'enracinement de branches cassées constituent possiblement un mécanisme important de maintien du thuya de l'ouest (*Thuja plicata* Donn ex D. Don) dans les cédrières matures.

En regard des tiges dominantes dans les trouées, nous avons choisi de ne pas répartir entre les deux catégories (reproduction végétative et semis) les tiges dont l'origine était indéterminée. En admettant que toutes les tiges dominantes d'origine inconnue soient des semis, le fait que 44 % des tiges soient issues de marcottes ou de boutures indique déjà que sur ce site mésique, la reproduction végétative comme stratégie de reproduction pourrait jouer un rôle non négligeable dans la dynamique de régénération du thuya. En outre, bien que la présence de marcottes ait aussi été notée dans le sous-bois, c'est dans les trouées qu'elles arrivaient à atteindre le stade gaulis.

La banque de semis de thuya étudiée dans la cédrière du bassin de la rivière Darmouth montre une densité moyenne de 4,2 semis par m² ce qui ressemble à ce que Scott et Murphy (1987) ont observé dans la forêt vierge de South Manitou Island avec 4,5 semis par m². On peut se demander dans quelle mesure cette banque de semis, dont la hauteur dépasse exceptionnellement 15 cm, a le potentiel de répondre à une perturbation pour dominer en hauteur les autres espèces afin de se maintenir dans des conditions adéquates d'ensoleillement, d'autant plus que la hauteur moyenne du sapin dépasse déjà largement celle du thuya. Avant la formation de la trouée, le milieu était fermé et le portrait de la régénération ressemblait probablement à ce qui a été observé sous couvert. Or, les résultats de l'étude de la vieille cédrière vierge du Bassin de la rivière Darmouth suggèrent que le peuplement puisse s'être maintenu jusqu'à ce jour par la dynamique des trouées qui s'opère dans le peuplement (Chen et Popadiouk 2002). Dans cette dynamique, il semble que la reproduction végétative soit une stratégie de reproduction importante. Si, dans le sous-bois, la hauteur moyenne de la régénération de sapin dépasse celle de la régénération de thuya, dans les trouées, c'est le thuya qui domine en hauteur le sapin. Et, la proportion importante des tiges de thuya

Les résultats suggèrent que le peuplement puisse s'être maintenu jusqu'à ce jour par la dynamique des trouées qui s'opère dans le peuplement.

Plusieurs types de traitements sylvicoles sont proposés dans les guides pour l'aménagement des cédrières mais aucun n'implique dans les scénarios sur sites mésiques, la reproduction végétative.

issues de reproduction végétative qui dominant en hauteur la régénération des trouées montre l'avantage notoire de ces tiges dans l'ascension vers la canopée.

IMPLICATIONS POUR L'AMÉNAGEMENT

La haute régénération du thuya dans les petites ouvertures naturelles indique que le thuya a le potentiel de répondre favorablement à l'ouverture du couvert (Heitzman *et al.* 1997; Scott et Murphy 1987). Plusieurs types de traitements sylvicoles sont proposés dans les guides pour l'aménagement des cédrières mais aucun n'implique dans les scénarios sur sites mésiques, la reproduction végétative (Ministère des Ressources naturelles de la Faune et des Parcs 2003; Schaffer 1996; Johnston 1977; Del Degan et Massé 1998; Lanasa et Zuidema 1991). Or, c'est peut-être la participation des boutures et marcottes issues du phénomène de *snapping* dans la régénération des trouées naturelles des vieux peuplements qui explique en partie l'échec des interventions de coupes par trouées qui tentaient d'imiter la nature. Ainsi, un aménagement orienté vers les semis impose de vérifier le potentiel qu'ils ont de répondre à une ouverture dans le couvert et atteindre la canopée. Les marcottes et les boutures de thuya qui peuvent s'enraciner en une saison (Curtis 1946) ont souvent l'avantage de dominer en hauteur le sapin et plusieurs autres plantes. Une meilleure compréhension de la dynamique de régénération du thuya tant au niveau des mécanismes de régénération par boutures et par marcottes que du potentiel des semis à atteindre le stade gaulis apparaît essentielle au développement d'une sylviculture favorisant le maintien de l'espèce.

BIBLIOGRAPHIE

Anonyme, 1973. Mémoire sur l'exploitation des cédrières du Québec, Ministère des Terres et Forêts, Direction générale des forêts, Service des plans d'aménagement, 13 p.

Anonyme, 1994. Le point d'observation écologique. Direction de la gestion des stocks forestiers. Service des inventaires forestiers. Gouvernement du Québec. Ministère des Ressources naturelles. 115 p.

Archambault, S., Bergeron, Y., 1992. Discovery of a Living 900 Year-old Northern White Cedar, *Thuja occidentalis*, in Northwestern Québec. *Canadian Field-Naturalist* 106(2):192-195.

Blanchet, B., 1982. Les cédrières du Québec. Études écologiques publiées sous la direction de M. Grandtner, Laboratoire d'écologie forestière, Université Laval, Québec, 166 p.

Chen H.Y.H., Popadiouk, R.V., 2002. Dynamics of North American boreal mixed-woods. *Environ. Rev.* 10 :137-166.

Chimner, R.A., Hart, J.B., 1996. Hydrology and microtopography effects on northern white-cedar regeneration in Michigan's Upper Peninsula. *Can. J. For. Res.* 26: 389-393.

Cornett, M. W., Reich, P. B., Puettmann, K. J., 1997. Canopy feedbacks and microtopography regulate conifer seedling distribution in two Minnesota conifer-deciduous forests. *Ecoscience* 4(3): 353-364.

Cornett, M. W., Reich, P. B., Puettmann, K. J., Frelich, L. E., 2000. Seedbed and moisture availability determine safe sites for early *Thuja occidentalis* (Cupressaceae) regeneration. *American Journal of Botany* 87(12):1807-1814.

Curtis, J.D., 1944. Northern White cedar on upland soils in Maine. *Jour. Forestry* 42:756-759.

Curtis, J.D., 1946. Preliminary observations of northern white-cedar in Maine. *Ecology* 27-1: 23-36.

Del Degan, Massé et associés, 1998. Autécologie, sylviculture et aménagement faunique applicables au Thuya de l'Est, revue de littérature, Forêt modèle du Bas-St-Laurent, 34 p.

DeLong, H.B., Lieffers, V.J., Blenis, P.V., 1997. Microsite effects on first-year establishment and overwinter survival of white spruce in aspen-dominated boreal mixewoods, *Can. J. For. Res.* 27: 1452-1457.

Duchesneau, R., Morin, H., 1999. Early seedling demography in balsam fir seedling banks. *Can. J. For. Res.* 29: 1502-1509.

Environnement canada, 2004. La voie verte : Site WEB d'Environnement Canada. <http://www.climate.weatheroffice.ec.gc.ca/>. Province Québec, région Gaspé. Site consulté en ligne le 12 décembre 2006.

Forêt Québec, 2000. Carte des régions écologiques du Québec méridional (troisième version) à l'échelle de 1/1 250 000. Gouvernement du Québec. Ministère des Ressources naturelles.

Fortin, S., 2002. Le thuya en Gaspésie. Programme de mise en valeur des ressources du milieu forestier, Volet 1 Expérimentation sylvicole et connaissance. Ministère des Ressources naturelles de la Faune et des Parcs. 90p. Non publié.

Heitzman, E., Pregitzer, K. S., Miller, R. O., 1997. Origin and early development of northern white-cedar stands in northern Michigan. *Can. J. For. Res.* 27: 1953-1961.

Heitzman, E., Pregitzer, K. S., Miller, R. O., Lanasa M., Zuidema, M., 1999. Establishment and development of northern white-cedar following strip clearcutting. *Forest Ecology and Management.* 123: 97-104.

Johnston, W.F., 1977. Manager's handbook for northern white-cedar in the north-central States, USDA For.Serv., Gen.Tech.Rep. NC-35, 18 p.

Johnston, W.F., 1990. *Thuja occidentalis* L. Northern white cedar, Pp 508-589 in: Burns R.M. and B.H. Honkala (technical coordinators), *Silvics of North America: 1 Conifers*. Agriculture handbook 654, USDA, Forest service, Washington, D.C. Vol. 1 675p.

Kneeshaw, D.D., Bergeron, Y., 1996. Ecological factors affecting the abundance of advance regeneration in Québec's southwestern boreal forest. *Can. J. For. Res.* 26: 888-898.

Lanasa M., Zuidema, M., 1991. Site préparation for northern white cedar, cedar-note #2, Cedar evaluation development information and research, Action group, 6 p.

Miller, R.O., Elsing, D., Lanasa, M., Zuidema, M., 1990. Northern White-cedar: Stand assessment and Management options. Department of Forestry, Michigan state University, Northern White-cedar Michigan workshop, North Bay, Ontario, 6 p.

Ministère des Ressources naturelles de la Faune et des Parcs, 2003. Manuel d'aménagement forestier, 4^e édition. Gouvernement du Québec. Ministère des Ressources naturelles de la Faune et des Parcs. Direction des programmes forestiers. 245 p.

Minore D., 1990. *Thuja plicata* donn. Ex D. Don. In: Burns R.M. and B.H. Honkala (technical coordinators), *Silvics of North America: 1 Conifers*. Agriculture handbook 654, USDA, Forest service, Washington , D.C. Vol 1 pp 590-600.

Parent, S., Morin, H., Messier, C., 2000. Effects of adventitious roots on age determination in Balsam fir (*Abies balsamea*) regeneration. *Can. J. For. Res.* 30: 513-518.

Parent, S., Simard, M-J., Morin, H., Messier, C., 2003. Establishment and dynamics of the balsam fir seedling bank in old forest of north-eastern Québec. *Can. J. For. Res.* 33: 597-603.

Putz F.E., Coley P.D., Lu K., Montalvo A., Aiello A., 1983. Uprooting and *snapping* of trees : Structural determinants and ecological consequences. Can. J. For. Res. 13(5): 1011-1020.

Rooney, T. P., Solheim, S. L., Waller, D. M., 2002. Factors affecting the regeneration of northern white cedar in lowland forests of the Upper Great Lakes region, USA. Forest Ecology and management 163: 119-130.

Runkle, J.R., 1992. Guidelines and sample protocol for sampling Forest Gaps. United States Department of Agriculture. Pacific Northwest Research Station, General Technical Report. PNW-GTR-283. 36 p.

Schaffer, W.W., 1996. Silvicultural guidelines for the eastern white cedar. Southern region science & technology transfer unit, Ontario Technical report RT-006 62 p.

Scott, M. L. and. Murphy, P.G. 1987. Regeneration Patterns of Northern White Cedar, an Old-growth Forest Dominant. American Midland Naturalist 117: 10-16.

Simard, M-J., Bergeron, Y., Sirois, L., 1998. Conifer seedling recruitment in a southeastern Canadian boreal forest: the importance of substrate. Journal of Vegetation science 9: 575-582.

Simard, M-J., Bergeron, Y., Sirois, L., 2003. Substrate litterfall effect on conifer seedling survivorship in southern boreal stands of Canada. Can. J. For. Res. 33: 672-681.

St-Hilaire L.R., Leopold D.J., 1995. Conifer seedling distribution in relation to microsite conditions in a central New York forested minerotrophic peatland. Can. J. For. Res. 25: 261-269.

Thompson, P.W., 1963. The character of an ancient white cedar forest on South Manitou Island. Michigan. Pap. Mich. Acad. Sci. Arts Lett., 47:177-186.

Weber, A., Gilbert, B., Kimmins, J.P., Prescott, C.E., 2003. Factors limiting the early survivorship of *Thuja plicata* on northern Vancouver Island, British Columbia. Can. J. For. Res. 33: 854-861.

ANNEXE

TABLEAUX DESCRIPTIFS DES DONNÉES COMPILÉES POUR L'ÉTUDE DANS LES TROUÉES

COMPILATION DES DONNÉES PAR TROUÉE POUR LES TIGES DOMINANTES

	Dimension des trouées NS x EO	Surface des trouées ¹ (m ²)	Nb de tiges de thuya dominantes mesurées	% marcottes identifiées	% semis identifiés	Hauteur moyenne (cm)
No trouée						
1	18 m x 14 m	198	4	25 %	0 %	571
2	n.d.	n.d.	4	25 %	0 %	401
3	26 m x 8 m	163	4	50 %	0 %	474
4	n.d.	n.d.	4	50 %	0 %	486
5	17 m x 10 m	134	4	25 %	0 %	338
6	12 m x 11 m	104	4	50 %	0 %	449
7	9 m x 6 m	42	2	100 %	0 %	295
8	8 m x 6 m	38	2	0 %	0 %	415
9	13 m x 8 m	82	4	75 %	0 %	477
10	7 m x 8 m	44	4	75 %	0 %	300
11	11 m x 9 m	78	4	75 %	0 %	358
12	11 m x 8 m	69	4	50 %	0 %	400
13	8 m x 11 m	69	2	0 %	0 %	365
14	6 m x 7 m	33	4	75 %	25 %	270
15	9 m x 8 m	57	2	0 %	0 %	243
Moyenne pondérée		85				400 cm

¹ Surface d'un ovale : π (longueur x largeur)/4 (Runkle 1992).

COMPILATION DES DONNÉES PAR TROUÉE POUR LES TIGES DE PLUS DE 30 CM DE HAUTEUR

No trouée	THO				SAB		EPB	
	Nb ¹	% marcottes identifiées	% semis identifiés	Hauteur moyenne (cm)	Nb	Hauteur moyenne (cm)	Nb	Hauteur moyenne (cm)
1	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
2	11	45,5 %	0,0 %	204	4	103	0	0
3	12	41,7 %	0,0 %	295	10	148	10	147
4	15	80,0 %	0,0 %	196	7	69	5	221
5	13	61,5 %	0,0 %	188	6	236	3	79
6	29	58,6 %	0,0 %	192	0	0	0	0
7	7	100,0 %	0,0 %	154	6	38	3	194
8	7	71,4 %	0,0 %	181	1	280	2	110
9	16	62,5 %	18,8 %	233	9	174	6	145
10	8	62,5 %	25,0 %	241	14	120	11	107
11	16	75,0 %	6,3 %	202	4	59	4	52
12	8	50,0 %	12,5 %	264	4	79	1	118
13	17	70,6 %	17,6 %	113	3	102	4	70
14	12	75,0 %	8,3 %	183	3	42	1	40
15	17	64,7 %	29,4 %	76	2	51	0	0
Moyenne pondérée		65,6 %	8,4 %	188,9 cm		118 cm		126 cm

¹ Pour une surface échantillonnée de 4 x 4 m² sauf pour les trouées 7, 8, 13 et 15 qui avaient seulement 2 x 4 m².

COMPILATION DES DONNÉES PAR TROUÉE POUR LES PETITES TIGES (<30 CM)

No trouée	THO		SAB		EPB	
	Nb ¹	Hauteur moyenne (cm)	Nb	Hauteur moyenne (cm)	Nb	Hauteur moyenne (cm)
1	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
2	27	4,2	67	10,7	3	17,0
3	13	4,3	6	11,2	4	14,3
4	1	6,0	14	12,8	4	18,0
5	33	6,6	14	12,3	0	-
6	13	2,3	7	9,7	0	-
7	93	4,2	4	8,8	1	6,0
8	3	2,0	0	-	0	-
9	18	2,0	18	5,4	2	2,0
10	0	-	5	14,2	0	-
11	21	5,4	14	7,4	1	23,0
12	1	26,0	9	6,0	0	-
13	4	2,0	5	9,8	0	-
14	4	15,3	19	4,5	1	2,0
15	11	9,0	3	5,3	0	-
Moyenne pondérée		6,2 cm		8,8 cm		13,4 cm

¹ Pour une surface échantillonnée de 4 x 1 m² sauf pour les trouées 7, 8, 13 et 15 qui avaient seulement 2 x 1 m².

SAVOIR | FAIRE SAVOIR



Consortium en foresterie
Gaspésie—Les-Îles

37, rue Chrétien, bureau 26, C. P. 5 Gaspé (Québec) G4X 1E1 **Tél.:** 418.368-5166 ou 1 866.361.5166 **Télec.:** 418.368.0511

mieuxconnaîtrelaforêt.ca

