

Facteurs influençant
le recrutement de la régénération
de *Thuja occidentalis* L. et
Abies balsamea (L.) Mill
dans des parterres
de coupe de la Gaspésie

Barbara Hébert et Sylvain Parent



Facteurs influençant le recrutement de la régénération de *Thuja occidentalis* L. et *Abies balsamea* (L.) Mill dans des parterres de coupe de la Gaspésie

ISBN 978-2-9809843-0-3

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 d'obtenir des exemplaires de cette publication auprès du :

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. et Parent², S. 2007. Facteurs influençant le recrutement de la régénération de *Thuja occidentalis* L. et *Abies balsamea* (L.) Mill dans des parterres de coupe de la Gaspésie. Consortium en foresterie Gaspésie-Les-Îles, Gaspé, Canada, 36 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)
barbara.hebert@foretgaspesie-les-iles.ca

(2) Biologiste, Ph. D. 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). 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 exprimer notre gratitude à tous ceux qui nous ont accompagnés dans ce projet. Ce sont eux qui ont fait de ce projet une expérience riche et agréable. Merci à Marie-Claude Rancourt, Peggy Brimsacle, François Perreault et Dan Cloutier pour la qualité de leur travail tant sur le terrain qu'en laboratoire de même qu'à Mathieu Côté pour son support dans cette étude. Nous tenons aussi à remercier Catherine Larouche et Luc Gagnon pour leurs précieux commentaires sur une version antérieure du manuscrit.

Résumé

Dans l'état actuel des connaissances, l'établissement et le maintien du thuya sur les aires faisant l'objet de coupes forestières est difficile à prévoir. Il n'y a pas, à ce jour, d'aménagement adapté au thuya c'est-à-dire, de méthodes d'intervention connues qui assurent l'établissement ou le maintien du thuya après la récolte des arbres du peuplement. Le présent projet avait pour but de dégager des connaissances qui permettraient d'orienter les traitements sylvicoles. Plus spécifiquement, les objectifs du projet étaient de 1) déterminer les meilleures associations semis/substrats (substrat de surface et substrat d'enracinement) pour le thuya et le sapin dans des assiettes de coupes totales sur sites mésiques où le thuya faisait partie de la composition du peuplement récolté; 2) déterminer après coupe la zone optimale de régénération du thuya résultant de la dispersion des graines provenant de semenciers résiduels et 3) identifier les stratégies de régénération qui participent au maintien du thuya sur les sites mésiques après une coupe totale. Quatorze parterres de coupe de la péninsule gaspésienne dans l'est de la province de Québec, ont été étudiés. La coupe remontait à une période variant, selon les sites, entre 3 ans et 16 ans.

Les résultats indiquent que dans les coupes étudiées le nombre de tiges de thuya issues de reproduction végétative était négligeable et la présence des semis de thuya était associée aux monticules avec de la mousse. Le sapin qui a été observé sur différents types de microsite s'est montré très spécifique à un substrat d'enracinement fait de débris ligneux. Bien que peu de semis aient été observés sur des débris ligneux, une proportion significative des semis de thuya et de sapin ($p < 0,001$) était associée, par le milieu d'enracinement, à des débris ligneux enfouis. Notre étude suggère que les monticules avec mousses pourraient permettre de suppléer à l'absence de débris ligneux en surface pour favoriser la régénération du thuya. Toutefois, comme la présence de mousse pourrait être liée aux débris ligneux enfouis, il importe dans un contexte d'aménagement écosystémique de faire une réflexion quant au rôle des bois morts dans le processus de régénération des peuplements futurs.

Table des matières

	RÉSUMÉ	04
	LISTE DES TABLEAUX	06
	LISTE DES FIGURES	07
	MISE EN CONTEXTE	08
	TERRITOIRE D'ÉTUDE	10
	MATÉRIEL ET MÉTHODE	12
	ASSOCIATIONS SEMIS/SUBSTRAT	12
	ZONE OPTIMALE DE RÉGÉNÉRATION DU THUYA	14
	STRATÉGIES DE RÉGÉNÉRATION DU THUYA DANS LES COUPES TOTALES	14
	ANALYSES STATISTIQUES	15
	RÉSULTATS	16
	ASSOCIATIONS SEMIS/SUBSTRAT POUR LES SUBSTRATS DE SURFACE	16
	ASSOCIATIONS SEMIS/SUBSTRAT POUR LES SUBSTRATS D'ENRACINEMENT	20
	ZONE OPTIMALE DE RÉGÉNÉRATION DU THUYA	22
	STRATÉGIES DE RÉGÉNÉRATION DU THUYA DANS LES COUPES TOTALES	23
	DISCUSSION	25
	ASSOCIATIONS SEMIS/SUBSTRAT	25
	ZONE OPTIMALE DE RÉGÉNÉRATION DU THUYA	28
	STRATÉGIES DE RÉGÉNÉRATION DU THUYA DANS LES COUPES TOTALES	28
	IMPLICATIONS POUR L'AMÉNAGEMENT	30
	BIBLIOGRAPHIE	32

Liste des tableaux

	TABLEAU 1	
	Densité et distribution de la régénération en thuya et sapin dans les assiettes de coupe à l'étude	11
	TABLEAU 2	
	Critères d'évaluation du niveau de décomposition des débris ligneux	12
	TABLEAU 3	
	Légende des codes utilisés dans l'étude et description des caractéristiques des substrats de surface (microtopographie et litière) et des substrats d'enracinement	13
	TABLEAU 4	
	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	17
	TABLEAU 5	
	Résultats des analyses de khi carré par site pour le thuya	18
	TABLEAU 6	
	Résultats des analyses de khi carré par site pour le sapin	18

Liste des figures

FIGURE 1 Valeurs résiduelles des analyses khi carré du facteur microtopographie pour les semis de thuya et de sapin	19
FIGURE 2 Valeurs résiduelles des analyses khi carré du facteur litière pour les semis de thuya et de sapin	19
FIGURE 3 Valeurs résiduelles des analyses khi carré du facteur microtopographie/litière pour les semis de thuya et de sapin	21
FIGURE 4 Valeurs résiduelles des analyses khi carré du facteur substrat d'enracinement pour les semis de thuya et de sapin	21
FIGURE 5 Distribution des semis de 1 et 2 ans en fonction de la distance des semenciers	22
FIGURE 6 Hauteur moyenne des semis pour le sapin et le thuya pour chaque site de coupe	23
FIGURE 7 Nombre de semis a) de sapin et b) de thuya installés en fonction de l'année de coupe	24

Mise en contexte

Le manque de connaissances quant à l'effet de la coupe sur la dynamique de régénération du thuya rend difficile l'application de stratégies d'aménagement adaptées à ce type de peuplement.

Le thuya occidental (*Thuja occidentalis* L.) est un conifère qui peut croître tant dans les sites hydriques que dans les sites xériques (Jonhston 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, sur les sites mésiques le thuya côtoie fréquemment le sapin baumier (*Abies balsamea* (L.) Mill.) et l'épinette blanche (*Picea glauca* L.) (Blanchet 1982). Actuellement, plusieurs de ces peuplements sont sous aménagement. Toutefois, le manque de connaissances quant à l'effet de la coupe sur la dynamique de régénération du thuya rend difficile l'application de stratégies d'aménagement adaptées à ce type de peuplement.

Plusieurs études ont démontré la grande spécificité de la régénération du thuya pour les débris ligneux (Simard *et al.* 1998; Scott et Murphy 1987; Cornett *et al.* 1997; Hébert 2007). Les semis de thuya sont vulnérables à la sécheresse (Curtis 1946) et les débris ligneux constituent des substrats ayant une bonne faculté de préserver l'eau (Lee et Sturgess 2001; Cornett *et al.* 1997). En brisant la barrière créée par la matière organique en surface, le feu ou un traitement de scarifiage peuvent aussi créer de bons microsites de régénération (Jonhston 1990; Heitzman *et al.* 1997).

Considérant la grande spécificité du thuya pour les débris ligneux sous couvert, nous avons voulu vérifier quels microsites se montraient les plus adéquats pour la régénération du thuya dans les conditions créées par la coupe.

Plusieurs des études sur la régénération du thuya ont été faites sous un couvert arborescent (Rooney *et al.* 2002; Simard *et al.* 1998; Scott et Murphy 1987; Cornett *et al.* 1997; Hébert 2007) et les auteurs qui ont traité du recrutement après coupe ont principalement orienté leur étude sur la disponibilité des semences (Asselin *et al.* 2001). Or, on sait que les conditions de site changent selon les types de couvert (Cornett *et al.* 1998) et elles seront différentes sous la canopée, dans une petite trouée et dans une coupe totale de grande surface (LePage *et al.* 2000). Considérant la grande spécificité du thuya pour les débris ligneux sous couvert, nous avons voulu vérifier quels microsites se montraient les plus adéquats pour la régénération du thuya dans les conditions créées par la coupe.

Plusieurs auteurs ont observé qu'après coupe il y avait un déclin du thuya (Heitzman *et al.* 1997; Miller *et al.* 1990 ; Fortin 2002). Ce déclin du thuya se ferait souvent au profit du sapin (Blanchet 1982; Miller *et al.* 1990). Bien que certains types de microsites favorisent la régénération du sapin, ce dernier est beaucoup moins spécifique que le thuya à un type particulier de microsite (Simard *et al.* 1998; Cornett *et al.* 1997).

Nous savons que le succès du recrutement après une coupe sera, entre autres, fonction de la présence de semenciers et de conditions favorables à l'installation de nouveaux semis dans la zone de dispersion des graines (LePage *et al.* 2000; Galipeau *et al.* 1997; Asselin *et al.* 2001). Nous avons donc étudié des assiettes de coupes dont l'âge variait entre 3 et 16 ans et comportant des tiges résiduelles de thuya sur le parterre ou formant un peuplement adjacent à la coupe afin d'identifier les facteurs clés influençant le recrutement du thuya. Plus spécifiquement, les objectifs de notre étude étaient de 1) déterminer les meilleures associations semis/substrats pour le thuya et le sapin dans des assiettes de coupes totales sur sites mésiques, où le thuya faisait partie de la composition du peuplement récolté; 2) déterminer après coupe la zone optimale de régénération du thuya résultant de la dispersion des graines provenant de semenciers résiduels et 3) identifier les stratégies de régénération qui participent au maintien du thuya sur les sites mésiques après une coupe totale.

Territoire d'étude

Les sites d'étude se situent dans la péninsule gaspésienne, dans la partie est de la province de Québec. Les peuplements étudiés sont des cédrières avec sapins baumiers et épinettes blanches ou des sapinières avec thuya. Tous les peuplements sont sur un dépôt minéral (couche lithique à moins de 40 cm) où le drainage varie de bon à imparfait (Anonyme, 1994). Les sites 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 assiettes de coupe sont réparties dans quatre bassins hydrographiques. Ainsi, cinq sites sont dans le bassin de la rivière Darmouth (les sites LD et km27), sept sites dans celui de la rivière York (les sites PAT), un site dans le bassin de la rivière Petite Cascapédia (le site NR1-NW) et un site dans le bassin de la rivière Bonaventure (le site MA1). Ces 14 assiettes de coupe ont fait l'objet de récolte entre 1989 et 2002. Au moment de la prise de données, en 2004 et 2005, les peuplements étaient âgés entre 3 et 16 ans. Selon l'appellation cartographique du peuplement d'origine (cartes forestières et écoforestières 1 :20 000 du MRNF) le thuya représentait plus de 50 % de la composante en surface terrière dans trois sites parmi les 14 étudiés, entre 25 % et 50 % dans quatre sites et moins de 25 % dans sept sites. Neuf parterres de coupe étaient adjacents à un peuplement résiduel assurant une source de semences de thuya alors que dans cinq sites l'approvisionnement en semences reposait sur des semenciers résiduels épars laissés lors de la coupe.

Le tableau 1 présente les caractéristiques des sites d'étude. On peut y voir que la distribution des semis (stocking) variait entre 1 % et 78 % avec une moyenne de 30 % (± 17 %) d'occupation pour le thuya et 39 % (± 21 %) pour le sapin. La proportion de la régénération pré-établie s'élevait à 64 % (± 29 %) pour le sapin alors que celle du thuya était de seulement 16 % (± 22 %). La densité de semis par site variait entre 1000 et 106 000 semis/ha pour le thuya (moyenne 2660 et médiane 1400) tandis que celle du sapin variait entre 2000 et 70 000 semis/ha (moyenne 1642 et médiane 1450).

TABLEAU 1
**DENSITÉ ET DISTRIBUTION DE LA RÉGÉNÉRATION EN THUYA ET SAPIN
DANS LES ASSIETTES DE COUPE À L'ÉTUDE**

Site	Âge de la coupe	Peuplement d'origine	Peuplement adjacent	Thuya				Sapin			
				n=	Stocking	Nb semis/m ²	Proportion des semis établis avant coupe	n=	Stocking	Nb semis/m ²	Proportion des semis établis avant coupe
LD3	4	SC B3 VIN	semenciers éparés	102	43 %	2,7	7 %	61	48 %	1,5	58 %
LD4	8	CS C3 VIN el	CS C3 VIN el	14	15 %	0,3	14 %	84	30 %	1,8	71 %
LD5	5	CS B3 VIN	CS B3 VIN	398	33 %	7,6	1 %	46	39 %	0,9	60 %
MA1	N.D.	SC C3 70 el	semenciers éparés	103	45 %	2,0	N.D.	74	55 %	1,4	N.D.
NR1/NW	16	SS C2 90	SS C2 90	7	15 %	0,3	0 %	5	2 %	0,2	0 %
PAT2	5	SS A3 70	SC B3 70	5	1 %	0,1	60 %	101	53 %	2,2	100 %
PAT3	10	SC C3 VIN	SC C3 VIN	82	28 %	1,7	0 %	22	22 %	0,5	15 %
PAT4a	3	CS C3 VIN	CS C3 VIN	208	54 %	10,6	60 %	16	29 %	0,8	94 %
PAT4b	10	SC C3 VIN	semenciers éparés	29	31 %	1,0	7 %	5	7 %	0,2	80 %
PAT5	5	SE C3 90 el	semenciers éparés	21	15 %	0,5	5 %	73	48 %	1,6	64 %
PAT6	3	SS C2 70 el	semenciers éparés	59	32 %	1,2	37 %	349	78 %	7,0	65 %
Km 27*	3	SE C3 VIN	SC C3 VIN	283	32 %	5,1	9 %	144	45 %	2,6	98 %
LD1*	9	SS A3 50	CS C2 VIN	35	18 %	0,6	0 %	103	65 %	1,8	66 %
PAT1*	11	SS B2 70	CS B3 VIN	140	60 %	2,8	6 %	27	30 %	0,5	56 %
				Moyenne :	30 % (± 17 %)	2,6 (± 3,1)	16 % (± 22 %)	Moyenne :	39 % (± 21 %)	1,6 (± 1,7)	64 % (± 29 %)

* Sites échantillonnés en 2004.

Matériel et méthode

ASSOCIATIONS SEMIS/SUBSTRAT

Sur chaque site d'étude, cinq lignes d'échantillonnage de 50 m de longueur étaient tracées parallèlement en partant de semenciers résiduels. Dans les cas où il y avait un peuplement résiduel de thuyas adjacent à la coupe, les lignes étaient tracées perpendiculairement à la lisière de forêt résiduelle. Les lignes étaient distancées entre 20 mètres et 30 mètres selon la localisation des semenciers résiduels et un quadrats de 1 m² était inventorié à tous les 5 mètres pour un total de 55 quadrats échantillonnés par site. Le point de départ de chaque ligne correspondait à la projection verticale de la base de la cime d'un thuya qui était sexuellement mature au moment de la coupe.

Dans le quadrats, la microtopographie était 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 sans litière). 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 2).

TABLEAU 2

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 (< 1 m) 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 estimer le substrat d'enracinement dans le cas des semis (matière organique indifférenciée, substrat minéral ou 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, l'âge a été déterminé par le nombre de cernes compté au niveau du sol. Les classes de substrats (surface et enracinement) ainsi que les abréviations utilisées dans l'étude sont décrites au tableau 3.

TABLEAU 3

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 de feuilles provenant de la végétation compétitrice
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, sans litière
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 2)
Minéral	Mi	Substrat minéral

ZONE OPTIMALE DE RÉGÉNÉRATION DU THUYA

Pour ce volet de l'étude, nous avons utilisé parmi les parterres de coupe étudiés, ceux qui possédaient un peuplement résiduel adjacent. Parmi ceux-ci, certains ne possédaient pas assez de régénération pour effectuer des analyses. Ils ont donc aussi été éliminés. Ce choix visait à permettre de dégager un modèle qui exprime le plus justement possible la dissémination des graines. Les semis récents (1 et 2 ans) ont été utilisés pour donner une image de la distance optimale de dispersion des semences. Pour le thuya, l'âge était estimé par le compte des cernes à la base de la tige et 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 les sites échantillonnés en 2004, seule la hauteur des semis a été mesurée, tant pour le thuya que pour le sapin. Ces sites n'ont donc pas pu servir à ce volet de l'étude. Ainsi, l'analyse a été faite à partir des données des sites LD5, PAT3 et PAT4a (cf. tableau1), pour un total de 135 semis provenant de 3 sites.

STRATÉGIES DE RÉGÉNÉRATION DU THUYA DANS LES COUPES TOTALES

Pour déterminer la proportion de tiges de thuya issues de reproduction végétative de même que la densité et la distribution des semis, nous avons utilisé les données récoltées pour déterminer les associations semis/substrats, plus particulièrement celles ayant trait au substrat d'enracinement. Le pourcentage des semis et celui des tiges issues de reproduction végétative ont ainsi pu être déterminés.

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 $p < 0,05$. Des 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

Lorsqu'on analyse tous les sites ensemble le thuya montre une préférence pour les monticules-autres. Cependant, sur certains sites, l'association des semis de thuya est positive avec les monticules-troncs.

Le tableau 4 présente les résultats de l'analyse de khi carré pour le thuya, tous sites confondus. 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 tableaux 5 et 6 présentent les résultats pour chacun des sites individuellement pour le thuya et le sapin respectivement.

Lorsque tous les sites sont analysés ensemble, les résultats indiquent un lien significatif entre la microtopographie et la présence de semis de thuya. Bien que le thuya montre une préférence pour les monticules-autres (MT) lorsqu'on analyse tous les sites ensemble (figure 1), en référant au tableau 5, on constate que sur certains sites l'association des semis de thuya est positive avec les monticules-troncs (MT-TR).

Bien que le sapin montre une préférence pour les monticules-autres, il se trouve fréquemment sur d'autres types de microtopographie.

Pour le sapin, l'analyse de tous les sites confondus indique aussi un lien significatif entre la microtopographie et la présence de semis. Bien que le sapin montre une préférence pour les monticules-autres (MT), on observe dans le tableau 6 qu'il se trouve fréquemment sur d'autres types de microtopographie.

TABEAU 4

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	90	6 %	59	4 %	31	2 %		
Monticule autre	596	40 %	208	14 %	388	26 %		
Monticule-tronc	292	20 %	252	17 %	40	3 %		
Plat	506	34 %	965	65 %	-459	-31 %		
Total	1484						928,4	P<0,001
Litière								
Feuille	607	41 %	1068	72 %	-461	-31 %		
Herbe	15	1 %	45	3 %	-30	-2 %		
Mousses	628	42 %	119	8 %	509	34 %		
Mixte (mousse+feuille)	44	3 %	44	3 %	0	0 %		
Minéral	32	2 %	30	2 %	2	0 %		
Tronc nu	158	11 %	178	12 %	-20	-1 %		
Total	1484						2230,5	P<0,001
Microtopographie et litière combinées								
Dépression-feuille	25	2 %	36	2 %	-11	0 %		
Dépression-mousses	61	4 %	9	1 %	52	3 %		
Monticule-feuille	127	8 %	147	10 %	-20	-2 %		
Monticule-minéral	23	1 %	4	0 %	19	1 %		
Monticule-mousses	410	28 %	43	3 %	367	25 %		
Monticule-mixte	30	2 %	11	1 %	19	1 %		
Monticule-tronc avec feuille	58	4 %	40	3 %	18	1 %		
Monticule-tronc avec mousses	74	5 %	35	2 %	39	3 %		
Monticule-tronc sans litière	157	10 %	170	11 %	-13	-1 %		
Plat-feuille	397	27 %	848	57 %	-451	-27 %		
Plat-mousses	83	6 %	39	3 %	44	3 %		
Plat-mixte	11	1 %	23	1 %	-12	0 %		
Autres associations	28	2 %	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.		
Total	1484						3933,2	P<0,001
Substrat d'enracinement								
Débris ligneux	725	49 %	461	31 %	264	18 %		
Substrat minéral	161	11 %	34	2 %	127	9 %		
Substrat organique indifférencié	594	40 %	985	67 %	-391	-27 %		
Total	1480						785,5	P<0,001

TABLEAU 5

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 =
Km 27	283	MT-TR	137,9	<0,001	TR	108,0	<0,001	DL/Mi	376,0	<0,001
LD1	35	MT-TR	13,7	<0,001	MO/TR	83,1	<0,001	DL/Mi	127,6	<0,001
LD3	102	MT-TR	31,1	<0,001	TR/MO/MX	73,4	<0,001	DL	106,1	<0,001
LD4	14	MT-TR	44,1	<0,001	TR/MO	60,8	<0,001	DL/Mi	59,5	<0,001
LD5	398	MT	776,6	<0,001	MO	2067,9	<0,001	DL	10,7	0,005
MA1	103	MT-TR	151,4	<0,001	MO	178,6	<0,001	DL	111,8	<0,001
NR1/NW	5	PL	1,8	0,623	FE	2,8	0,423	Mi	293,8	<0,001
PAT1	140	MT	102,3	<0,001	Mi	113,8	<0,001	Mi	839,0	<0,001
PAT2	5	MT-TR/MT	15,1	<0,001	FE	0,7	0,692	DL/Mi	9,3	0,010
PAT3	82	MT-TR	2,26	0,520	MO	54,4	<0,001	DL	3,4	0,066
PAT4a	208	MT	411,7	<0,001	MO	408,0	<0,001	ORG	200,0	<0,001
PAT4b	29	MT	6,3	0,098	MO	138,0	<0,001	DL	9,21	0,010
PAT5	21	MT-TR/MT	8,3	0,016	MO/MX	15,0	<0,001	DL	23,7	<0,001
PAT6	59	MT	35,5	<0,001	MX	32,5	<0,001	DL	6,5	0,011
Tous sites	1484	MT/MT-TR	928,4	<0,001	MO	2230,5	<0,001	DL/Mi	785,5	<0,001

18

TABLEAU 6

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 =
Km 27	144	MT-DP	81,4	<0,001	MO/FE	92,7	<0,001	DL/Mi	32,8	<0,001
LD1	103	MT	14,9	<0,001	FE	15,1	<0,001	DL/Mi	77,5	<0,001
LD3	53	MT-DP	17,5	<0,001	FE/MO	4,9	0,300	DL	27,4	<0,001
LD4	56	PL	5,77	0,123	FE	8,1	0,150	DL	103,3	<0,001
LD5	46	MT-TR	1,2	0,741	MO	8,7	0,069	DL	29,9	<0,001
MA1	74	MT	2	0,568	MO/FE	27,0	<0,001	DL	74,2	<0,001
NR1/NW	7	MT	3,9	0,274	MO	4,3	0,223	Mi	133,2	<0,001
PAT1	27	PL	2,55	0,467	MO/FE	11,6	0,021	DL/Mi	4,1	0,128
PAT2	101	PL	2,9	0,229	FE	11,0	<0,001	DL	191,9	<0,001
PAT3	22	PL	3,18	0,364	MO	8,0	0,092	DL	0,2	0,667
PAT4a	16	PL	4,8	0,188	FE	7,4	0,059	DL	3,7	0,055
PAT4b	5	MT/MT-TR	11,2	0,011	MO/HE	12,9	<0,001	DL	10,4	<0,001
PAT5	73	MT	30,4	<0,001	MO/MX	24,7	<0,001	DL	84,0	<0,001
PAT6	349	MT	126,3	<0,001	FE/MX	113,2	<0,001	DL	289,7	<0,001
Tous sites	1074	MT	146,3	<0,001	MX/FE/MO	300,1	<0,001	DL/Mi	679,2	<0,001

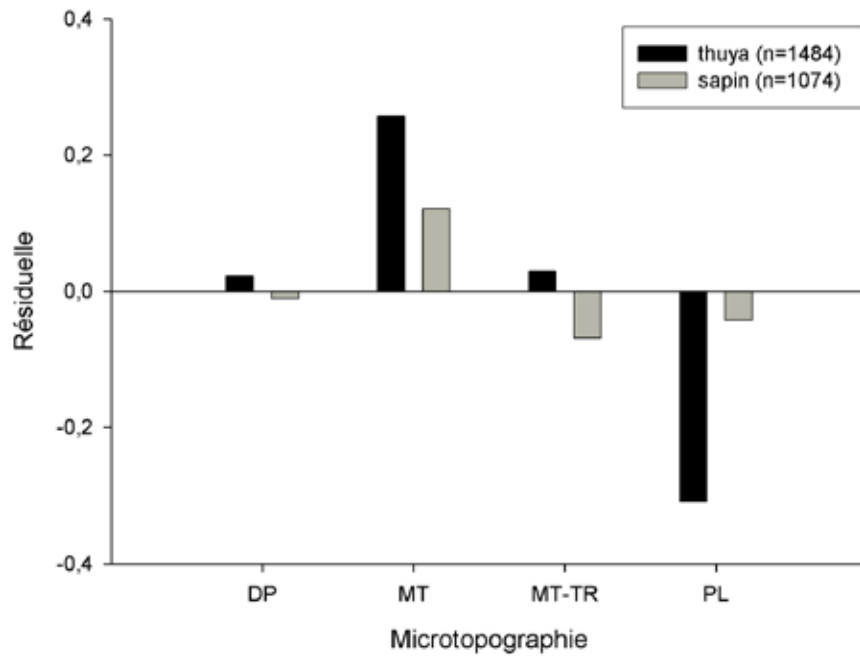


FIGURE 1

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

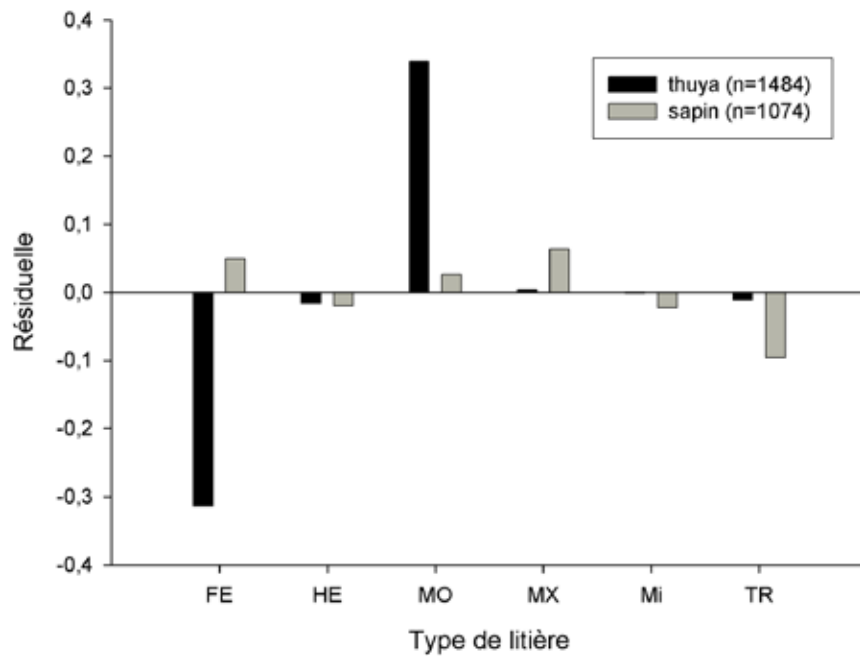


FIGURE 2

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

Tous les types de microtopographies supportant des mousses montrent une association positive avec le thuya. Quant au sapin, il s'est montré peu spécifique à un type particulier de litière.

Pour le facteur litière, selon les sites, l'association des semis de thuya est positive avec les mousses (MO), avec les troncs sans litière (TR) et avec le sol minéral sans litière (Mi). Les mousses qui couvraient au total 8 % de la superficie et supportaient 42 % des semis de thuya (tableau 4) montrent une association fortement positive avec cette espèce (figure 2). Par ailleurs, tous les types de microtopographies supportant des mousses montrent une association positive avec le thuya (figure 3) mais la microtopographie en monticule-autre (MT) supporte à elle seule 74 % des semis de thuya sur mousse. Quant au sapin, lorsqu'on analyse tous les sites ensemble, il apparaît favorisé par les litières mixtes (MX) (alternance de mousses et de feuilles). Toutefois, en observant le tableau 6, on constate que le sapin se montre peu spécifique à un type particulier de litière.

ASSOCIATIONS SEMIS/SUBSTRAT POUR LES SUBSTRATS D'ENRACINEMENT

Bien que l'association des semis de thuya avec les monticules faits de débris ligneux (MT-TR) soit plutôt neutre avec 20 % des semis sur 17 % de la surface couverte par des débris ligneux (figure 1), le nombre de semis de thuya associés aux débris ligneux augmente à 49 % lorsqu'on se rend au milieu d'enracinement (figure 4). Ainsi, lorsqu'on confond tous les sites, l'analyse montre un lien significatif entre le substrat d'enracinement et la présence de semis de thuya. L'association des semis de thuya avec des débris ligneux grossiers comme substrat d'enracinement s'est par ailleurs avérée positive sur plusieurs sites. En outre, 33 % des semis de thuya observés sur des monticules-autres (MT) étaient enracinés dans un débris ligneux (DL) et 34 % des semis de thuya observés sur mousses étaient aussi associés à un débris ligneux comme substrat d'enracinement. Quant au sapin, l'analyse de tous les sites confondus indique un lien significatif entre le substrat d'enracinement et la présence de semis de sapin. Ainsi, 66 % des semis de sapin étaient associés à un débris ligneux (DL) comme substrat d'enracinement et cette association du sapin avec des débris ligneux comme substrat d'enracinement est positive sur presque tous les sites. Parmi les semis de sapin enracinés dans des débris ligneux, 53 % étaient sur des monticules-autres (MT) et 51 % étaient sur mousses (MO).

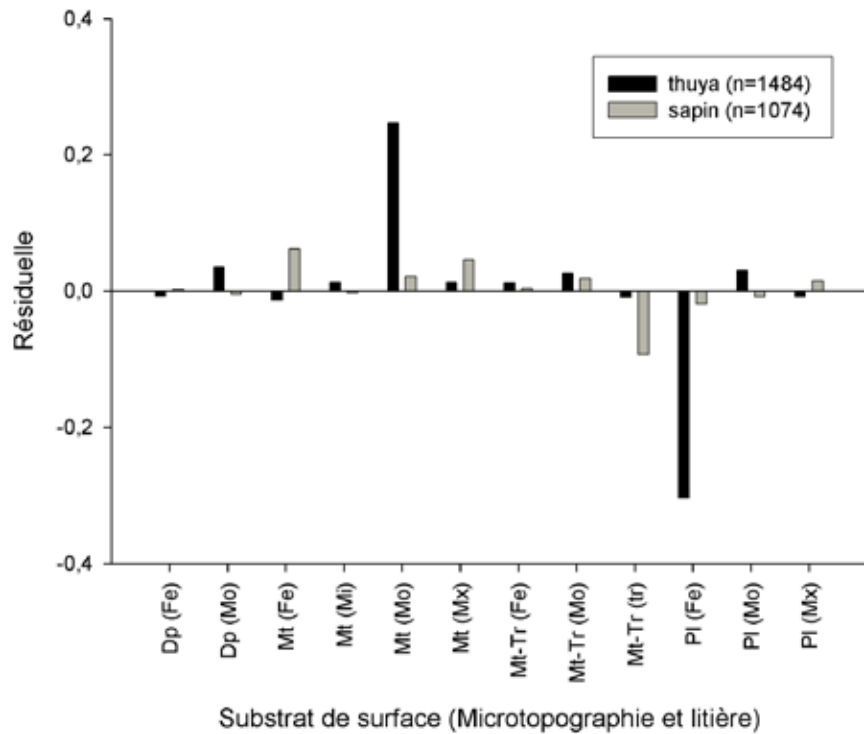


FIGURE 3

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; HE : HERBE; MO : MOUSSES; MX : MIXTE FEUILLES ET MOUSSES; MI : MINÉRAL; TR : TRONC NU)

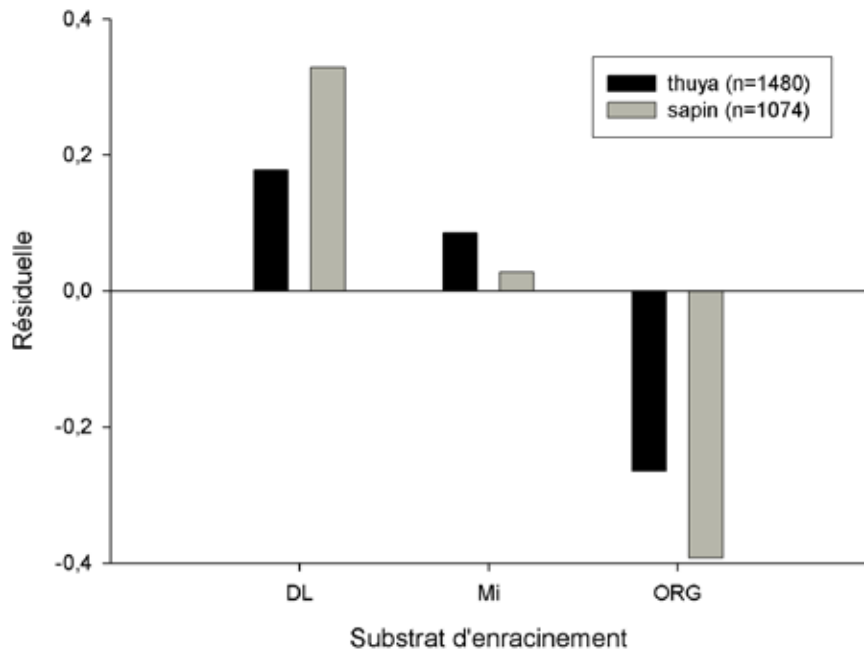


FIGURE 4

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)

Les débris ligneux et le substrat minéral se sont avérés être les deux types de substrat d'enracinement privilégiés tant par le thuya que par le sapin.

Quant au substrat minéral (Mi) comme milieu d'enracinement, 11 % des semis de thuya et 5 % des semis de sapin y étaient enracinés. Les débris ligneux et le substrat minéral se sont avérés être les deux types de substrat d'enracinement privilégiés tant par le thuya que par le sapin. Dans un seul site le substrat organique (ORG) a montré une association positive. Cette association était positive seulement avec le thuya.

ZONE OPTIMALE DE RÉGÉNÉRATION DU THUYA

Les résultats indiquent que la densité des semis diminuait d'une façon exponentielle avec la distance de la lisière (figure 5). Ainsi, 62 % des semis récents de thuya (1 et 2 ans seulement) se retrouvaient à moins de 10 mètres des semenciers du peuplement résiduel et 78 % à moins de 20 mètres.

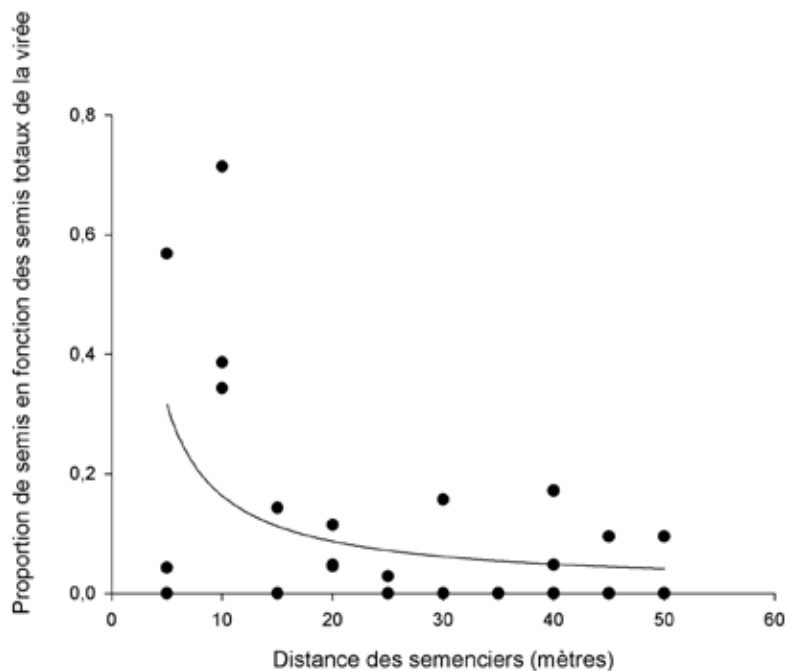


FIGURE 5

DISTRIBUTION DES SEMIS DE 1 ET 2 ANS EN FONCTION DE LA DISTANCE DES SEMENCIERS (P=0,01; R² = 0,21; N= 135 SEMIS SUR 3 SITES AVEC PEUPELEMENTS ADJACENTS)

STRATÉGIES DE RÉGÉNÉRATION DU THUYA DANS LES COUPES TOTALES

Dans les secteurs d'étude, le nombre de marcottes de thuya représentait 1,5 % de la régénération de thuya inventoriée. La densité moyenne des semis de thuya, bien que non significative, était plus élevée que celle du sapin avec 2,6 semis/m² contre 1,6 semis/m² pour le sapin (tableau 1). La hauteur moyenne des semis de sapin était plus importante que celle des semis de thuya dans tous les sites à l'exception d'un seul (figure 6). Pour le sapin, la densité de semis était corrélée négativement avec l'âge de la coupe ($r^2=0,59$; $P=0,002$), c'est à dire que plus la coupe était vieille, moins il y avait de semis. Contrairement au sapin, le thuya n'a pas montré de relation entre l'âge de la coupe et la densité de semis ($P > 0,05$).

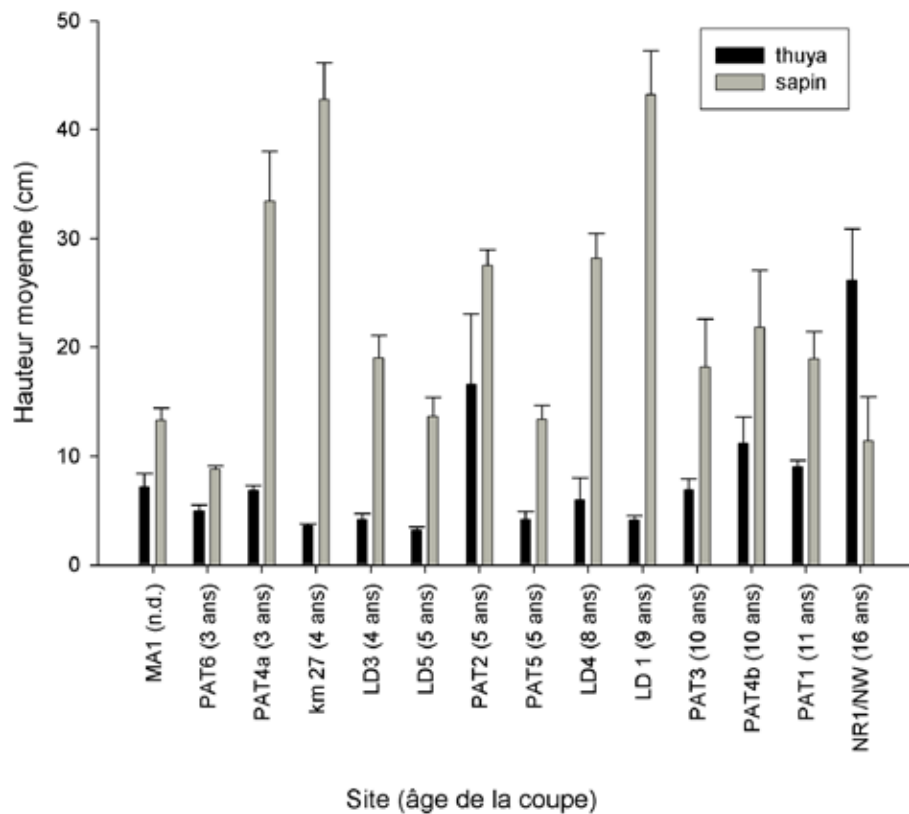
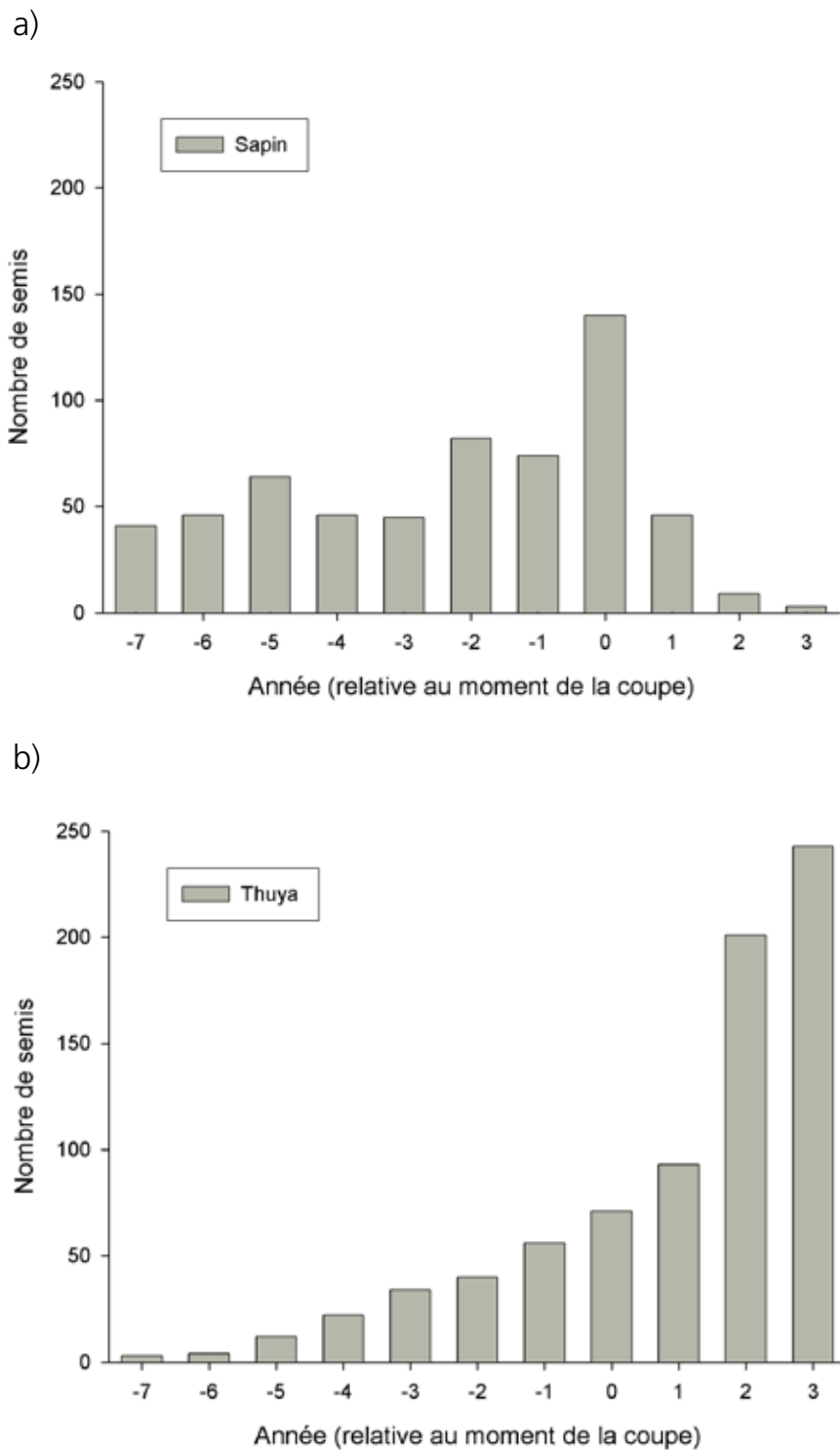


FIGURE 6

HAUTEUR MOYENNE DES SEMIS POUR LE THUYA ET LE SAPIN POUR CHAQUE SITE DE COUPE (L'ÂGE DE LA COUPE EST INSCRIT ENTRE PARENTHÈSES)

Nos résultats indiquent aussi que les semis de sapin ont cessé de s'installer assez rapidement après la coupe (figure 7) malgré la présence de semenciers dans les peuplements adjacents alors que le thuya ne montre pas encore ce ralentissement après 3 ans.

**FIGURE 7**

NOMBRE DE SEMIS A) DE SAPIN ET B) DE THUYA INSTALLÉS EN FONCTION DE L'ANNÉE DE LA COUPE (ANNÉE DE LA COUPE = AN 0)

Discussion

Nos résultats indiquent que les semis de thuya sont peut-être moins spécifiques aux débris ligneux que ne le suggère la littérature. En revanche, le sapin qu'on dit ubiquiste apparaît ici très spécifique à un substrat d'enracinement particulier. De plus, notre étude suggère que le thuya pourrait s'installer graduellement pendant plusieurs années après la coupe, alors que le sapin aurait une fenêtre d'installation plus courte.

ASSOCIATIONS SEMIS/SUBSTRAT

Nos résultats indiquent que les semis de thuya sont peut-être moins spécifiques aux débris ligneux que ne le suggère la littérature. En revanche, le sapin qu'on dit ubiquiste apparaît ici très spécifique à un substrat d'enracinement particulier.

Si dans les cédrières âgées, les semis de thuya étaient presque exclusivement confinés aux monticules faits de débris ligneux (Scott et Murphy 1987; Hébert 2007), dans les coupes totales étudiées ils étaient aussi associés aux monticules-autres. Chimner et Hart (1996) avaient aussi noté la faveur du thuya pour la microtopographie en buttes. Malgré la présence de débris ligneux sur tous les parterres de coupe, le thuya n'a pas montré sur tous les sites une association positive avec les monticules faits de troncs. Ceci peut s'expliquer par le fait que la qualité des débris ligneux quant à l'espèce, à la morphologie ou aux dimensions par exemple, pourrait avoir été variable d'un site à l'autre. Lee et Sturgess (2001) ont observé que les débris ligneux qui avaient un diamètre de plus de 30 cm étaient davantage favorables à la régénération que les débris plus petits. Or, dans les secteurs étudiés, les débris ligneux étaient principalement des débris provenant de tiges de sapin dont le diamètre était inférieur à 30 cm. En outre, les débris de sapin pourraient être moins aptes à capter et retenir les semences que les débris de thuya qui ont une rugosité plus importante (Cornett *et al.* 1997).

Trois types de litières ressortent parmi les substrats privilégiés par les semis de thuya. Il s'agit des mousses (MO), des débris ligneux sans litière (TR) et des surfaces minérales sans litière (Mi). Ces résultats supportent ceux d'études précédentes, notamment sur l'effet favorable des débris ligneux pour les semis de thuya (Cornett *et al.* 1997 ; Simard *et al.* 2003; Scott et Murphy 1987; Hébert 2007). La préférence du thuya pour le substrat minéral est aussi déjà reconnue (Jonhston 1990). Les surfaces minérales seraient toutefois rapidement rendues indisponibles

Il semble que l'effet combiné des mousses et d'une microtopographie surélevée soit favorable aux semis de thuya.

par la litière de feuilles qui s'accumule sur le parterre, la litière de feuille étant non favorable à la germination (DeLong *et al.* 1997; Weber *et al.* 2003; LePage *et al.* 2000). Quant à l'effet favorable de la litière de mousses sur les semis de thuya, il semble qu'il y ait un effet combiné des mousses avec une microtopographie surélevée. En effet, Simard *et al.* (2003), qui avaient noté la préférence du thuya pour les mousses sur débris ligneux suggèrent qu'il y ait aussi un effet du monticule, ce type de microtopographie ayant pour effet d'accumuler moins de litière, qu'il s'agisse d'un monticule résultant d'un débris ligneux ou d'un monticule autre (DeLong *et al.* 1997). Notre étude va dans le même sens puisque les semis de thuya qui sont sur mousses sont aussi fortement associés à un monticule autre qu'un débris ligneux.

Quant à la régénération de sapin, bien que d'une façon générale les monticules-autres et les litières de mousses ou mixtes se soient montrés plus favorables (Parent *et al.* 2003; Simard *et al.* 1998), l'espèce a été observée sur plusieurs types de microtopographies et de litières. Ces résultats concordent avec ceux d'autres auteurs qui définissent le sapin comme une espèce ubiquiste (Simard *et al.* 2003; Cornett *et al.* 1997; Hébert 2007). Toutefois, la forte association des semis de sapin avec des débris ligneux comme substrat d'enracinement suggère qu'il pourrait être plus spécifique à un substrat particulier que les études précédentes le laissent croire (Parent *et al.* 2003).

La présence du sapin pourrait être fortement liée à la disponibilité de débris ligneux partiellement ou totalement enfouis et décomposés.

L'étude de Simard *et al.* (2003) révèle que le substrat de surface (microtopographie et litière) n'aurait pas limité le sapin dans sa phase initiale de germination et il semble que sa croissance ne soit pas limitée non plus par le substrat puisqu'on l'observe sur divers types de microtopographie et de litière. Or, Parent *et al.* (2003) ont observé que les sapins formaient fréquemment des racines adventives, ce qui favoriserait une croissance latérale et pourrait expliquer qu'on l'observe sur divers substrats. Notre étude indique cependant que la présence du sapin pourrait être fortement liée à la disponibilité de débris ligneux partiellement ou totalement enfouis et décomposés. Paradoxalement, le sapin qui semble favorisé par la disponibilité d'un substrat d'enracinement constitués de débris ligneux, ne semble

pas apte à germer sur les débris ligneux disponibles en surface (Hébert 2007). Simard *et al.* (2003) ont d'ailleurs noté que les débris ligneux enfouis au niveau du sol étaient ceux que le sapin avait privilégiés par rapport aux débris ligneux qui étaient surélevés. Les auteurs estiment que l'effet de températures plus chaudes sur les monticules pourrait être défavorable aux semis de sapin en créant par exemple, une augmentation de la transpiration.

Contrairement au sapin qui peut germer sur différents types de substrat, le thuya serait plus limité par les microsites de germination que par les microsites de croissance (Cornett *et al.* 1997). Or, sur les parterres de coupe étudiés, les substrats avec mousses ont montré auprès de la régénération de thuya, un succès plus régulier que les débris ligneux. Il semble que les mousses, en plus de créer un microenvironnement favorable à la germination des semis dû à leur forte capacité de rétention en eau (St-Hilaire et Leopold 1995), auraient une morphologie qui favoriserait la captation et la rétention des semences (Cornett *et al.* 1997). En outre, les colonies de mousses croissent souvent sur des débris ligneux bien décomposés, assurant aux semis un apport en eau et permettant la pénétration des racines (St-Hilaire et Leopold 1995). Les semis bénéficieraient ainsi du double avantage d'être captés par les mousses et d'avoir un substrat favorable à la germination et à la croissance. Nos résultats suggèrent que le sapin pourrait être plus spécifique à la présence de débris ligneux disponibles à l'enracinement que ne le serait le thuya.

Ces résultats apportent des précisions aux études précédentes quant à la spécificité de chacune de ces espèces pour un substrat particulier. Ainsi, le sapin qui se montre ubiquiste aurait une grande spécificité en regard de son substrat d'enracinement alors que le thuya qui dans plusieurs études s'est montré très spécifique aux débris ligneux (Scott et Murphy 1987; Simard *et al.* 1998; Hébert 2007) pourrait trouver dans d'autres types de substrat les conditions favorables à son émergence.

Au-delà d'une distance de 20 mètres des semenciers, le nombre de semis chute fortement.

ZONE OPTIMALE DE RÉGÉNÉRATION DU THUYA

D'une façon générale, notre courbe reflète le patron de dissémination aérienne des graines (Galipeau *et al.* 1997; Greene *et al.* 1999; LePage *et al.* 2000) et indique qu'il y aurait une limite de dissémination au-delà de laquelle le recrutement pourrait être problématique. Or, la distance des semenciers constitue une variable qui influence fortement la distribution de la régénération (Asselin *et al.* 2001). Jonhston (1990) mentionne que les semences de thuya se disperseraient efficacement jusqu'à 50 mètres. Or, nos résultats montrent qu'au-delà d'une distance de 20 mètres des semenciers, le nombre de semis chute fortement. Ces résultats sont concordant avec les prévisions du modèle développé par LePage *et al.* (2000) qui prédit dans des ouvertures qui ont de 35 mètre à 80 mètre de diamètre une diminution importante du nombre de semis de thuya de l'ouest (*Thuja plicata* Donn ex D. Don) dans la zone entre 15 mètres et 20 mètres. Le nombre plus élevé de semis en bordure du peuplement résiduel pourrait aussi être dû aux conditions créées par la présence des arbres qui pourraient avoir pour effet de favoriser la germination et la survie des jeunes semis.

STRATÉGIES DE RÉGÉNÉRATION DU THUYA DANS LES COUPES TOTALES

Hébert (2007) avait suggéré que les tiges de thuya issues de reproduction végétative, telles que les marcottes et les boutures, pouvaient contribuer au maintien de l'espèce dans les vieilles cédrières sur sites mésiques. Or, la proportion de tiges issues de reproduction végétative ayant contribué à la régénération des parterres de coupe étudiés était de loin inférieure à celle que l'auteur avait observée dans les trouées naturelles d'une vieille cédrière sur station mésique de la Gaspésie. Dans cette étude, l'auteur avait noté que la présence de tiges issues de reproduction végétative semblait liée à la formation de la trouée alors que certaines grosses branches de thuya qui cassaient, s'enracinaient ensuite pour former des tiges en régénération. Or, dans les assiettes de coupe étudiées, le plus jeune âge

La stratégie du sapin semble être d'utiliser sa banque de semis installée avant la coupe alors que le thuya montrerait une aptitude à s'installer de façon efficace après une coupe.

des peuplements suggère que les thuyas n'avaient pas atteint une taille favorisant le bris des branches.

La régénération sur ces sites mésiques est donc dominée par des semis de thuya et de sapin qui se seraient installés surtout avant la coupe pour le sapin et surtout après la coupe pour le thuya. Cette installation du sapin avant la coupe semble lui donner l'avantage d'être prêt à croître au moment de l'ouverture (Parent et Ruel 2002) puisque dans tous les sites à l'exception d'un seul, la hauteur moyenne du sapin était largement plus importante que celle du thuya.

La densité des semis de sapin montre une corrélation négative avec l'âge de la coupe indiquant que plus la coupe était vieille moins la régénération en sapin était abondante. Ce résultat suggère que le recrutement après coupe aurait été moins important que la mortalité des semis de sapin qui a eu lieu au fil des ans. Contrairement au sapin, le thuya n'a pas montré de relation entre l'âge de la coupe et la densité de semis. Ainsi, la dynamique de recrutement semble différer pour les deux espèces. La stratégie du sapin semble être d'utiliser sa banque de semis installée avant la coupe (Harvey et Bergeron 1989; Greene *et al.* 1999) alors que le thuya montrerait une aptitude à s'installer de façon efficace après une coupe. À cet effet, nos résultats sont concordants avec ceux de Heitzman *et al.* (1999) qui ont rapporté que le thuya se serait installé de façon intensive durant les six années suivant la coupe. La fenêtre d'installation du thuya après coupe pourrait donc être plus longue que celle du sapin. Ce phénomène de recrutement devra cependant faire l'objet d'études plus détaillées puisque plusieurs chercheurs ont estimé que la fenêtre de recrutement après coupe se réduit très rapidement pour les essences résineuses (en moins de 5 ans après la coupe) surtout en raison de l'installation de la végétation de compétition (Greene *et al.* 1999).

Effectuer des études démographiques dans le thuya comporte toutefois des incertitudes quand à l'année d'origine des semis. Contrairement au sapin, le thuya n'a pas de cicatrices foliaires visibles. Les études actuelles doivent donc se baser sur le nombre de cernes au niveau du sol pour estimer le moment d'établissement

(Rooney *et al.* 2002; Heitzman *et al.* 1999). Bien que nos résultats sur la fenêtre d'installation soient concordants avec ceux d'autres auteurs ayant travaillé sur le thuya, nous croyons qu'il faille tenir compte de cette incertitude liée à l'âge qui pourrait fausser en partie notre interprétation. Parent *et al.* (2000) ont démontré que la croissance latérale du sapin pouvait induire une différence importante entre l'âge du semis et le nombre de cernes au niveau du sol.

IMPLICATIONS POUR L'AMÉNAGEMENT

Heitzman *et al.* (1999) sous-tendent qu'un site puisse être recolonisé par le thuya même en l'absence de régénération pré-établie. L'analyse des résultats sur la dispersion indique qu'un seuil de sécurité pour assurer un recrutement abondant serait de viser une distance maximale de 50 mètres entre les sources de graines. Cette distance assurerait un mince chevauchement au-delà de la zone optimale de régénération de 20 mètres déterminée par notre étude. Asselin *et al.* (2001) suggèrent de laisser de petits groupes de semenciers plutôt que des individus isolés.

Dans les coupes totales étudiées, la spécificité du thuya pour les débris ligneux s'est montrée moins grande que sous la canopée de vieilles cédrières. Les substrats de mousses sur des monticules autres que des débris ligneux se sont avérés être de bons substrats pour favoriser la régénération du thuya. Dans ce contexte, la protection des substrats de mousses constitue un critère augmentant les chances de succès de la régénération de thuya. En outre, comme la présence de mousses pourrait aussi être fortement liée à de vieux débris ligneux enfouis (St-Hilaire et Léopold 1995), la présence de gros débris ligneux laissés sur le parterre pourrait s'avérer être un élément favorable dans le processus de la régénération des espèces. La gestion des bois morts nous apparaît importante, particulièrement dans un contexte où l'on cherche à tendre vers un aménagement écosystémique.

Heitzman et al. (1999) insiste sur la nécessité d'être patient lorsqu'on travaille avec la régénération de thuya puisque cette dernière peut prendre plusieurs décennies pour atteindre le stade gaulis. Le thuya semble donc apte à se régénérer après coupe, cependant la régénération en sapin qu'il côtoie le dépasse largement en hauteur. Il apparaît donc pertinent de se questionner sur le potentiel qu'ont les semis de thuya pour atteindre, dans les conditions créées par une coupe de grande surface, le stade de gaulis. Un suivi de ces secteurs devrait être fait afin de s'assurer que la régénération persiste et croît pour constituer le peuplement futur. Heitzman *et al.* (1999) insiste sur la nécessité d'être patient lorsqu'on travaille avec la régénération de thuya puisque cette dernière peut prendre plusieurs décennies pour atteindre le stade gaulis. Hébert (2004) avait observé que les tiges de thuya pouvaient prendre plus de 30 ans pour atteindre la hauteur de un mètre. En outre, la participation des tiges issues de reproduction végétative dans la régénération des sites pourrait être favorisée si la récolte dans les cédrières se faisait au moment où les arbres sont plus avancés dans leur maturité.

BIBLIOGRAPHIE

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.

Asselin, H., Fortin, M.-J., et Bergeron, Y., 2001. *Spatial distribution of late-successional coniferous species regeneration following disturbance in southwestern Québec boreal forest*. *Forest Ecology and Management*. 140: 29-37.

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.

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., Puettmann, K. J., Reich, P. B., 1998. *Canopy type, forest floor, predation, and competition influence conifer seedling emergence and early survival in two Minnesota conifer-deciduous forests*. *Can. J. For. Res.* 28: 196-205.

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.

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.

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.

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. 90 p. Non publié.

Galipeau, C., Kneeshaw, D., Bergeron, Y., 1997. *White spruce and balsam fir colonization of a site in the southeastern boreal forest as observed 68 years after fire*. Can. J. For. Res. 27: 139-147.

Greene, D.F., Zasada, J.C., Sirois, L., Kneeshaw, D., Morin, H., Charron, I., Simard, M.-J., 1999. *A review of the regeneration dynamics of North American boreal forest tree species*. Can. J. For. Res. 29 : 824-839.

Harvey, B.D., Bergeron, Y. 1989. *Site patterns of natural regeneration following clear-cutting in northwestern Québec*. Can. J. For. Res. 19: 1458-1469.

Hébert, B., 2004. *Étude sur Thuja occidentalis : 1. Acquisition de connaissances en vue de développer des stratégies sylvicoles favorisant le retour du thuya; 2. Impacts des coupes totales sur les tiges résiduelles de thuya.* 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. 66 p. Non publié.

Hébert, 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.

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., 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. 1 675 p.

Lee, P., Sturgess, K., 2001. *Effect of logs, stumps, and root throws on understory communities within 28-years-old aspen dominated boreal forests.* Can. J. Bot. 79: 905-916.

LePage, P.T., Canham, C.D., Coates, D.K., Bartemucci, P., 2000. *Seed abundance versus substrate limitation of seedling recruitment in northern temperate forest of British-Colombia,* Can. J. For. Res. 30: 415-427.

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.

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., Ruel, J.-C., 2002. *Chronologie de la croissance chez des semis de sapin baumier (Abies balsamea (L.) Mill.) après une coupe à blanc avec protection de la régénération*. The Forestry Chronicle : Vol. 78 No 6.

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

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.

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.

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.

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

