

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC

MÉMOIRE PRÉSENTÉ À
L'UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À CHICOUTIMI
COMME EXIGENCE PARTIELLE
DE LA MAÎTRISE EN RESSOURCES RENOUVELABLES

PAR
BARBARA HÉBERT, BACC. EN AM. DES RESS. FOREST.

CARACTÉRISATION DE LA RÉGÉNÉRATION ET DES LITS DE GERMINATION
DES SEMIS DE *THUJA OCCIDENTALIS*
DANS UNE VIEILLE CÉDRIÈRE EN GASPÉSIE, QUÉBEC, CANADA

MAI 2007



Mise en garde/Advice

Afin de rendre accessible au plus grand nombre le résultat des travaux de recherche menés par ses étudiants gradués et dans l'esprit des règles qui régissent le dépôt et la diffusion des mémoires et thèses produits dans cette Institution, **l'Université du Québec à Chicoutimi (UQAC)** est fière de rendre accessible une version complète et gratuite de cette œuvre.

Motivated by a desire to make the results of its graduate students' research accessible to all, and in accordance with the rules governing the acceptance and diffusion of dissertations and theses in this Institution, the **Université du Québec à Chicoutimi (UQAC)** is proud to make a complete version of this work available at no cost to the reader.

L'auteur conserve néanmoins la propriété du droit d'auteur qui protège ce mémoire ou cette thèse. Ni le mémoire ou la thèse ni des extraits substantiels de ceux-ci ne peuvent être imprimés ou autrement reproduits sans son autorisation.

The author retains ownership of the copyright of this dissertation or thesis. Neither the dissertation or thesis, nor substantial extracts from it, may be printed or otherwise reproduced without the author's permission.

RÉSUMÉ

Dans un contexte où l'aménagement forestier durable tend à s'inspirer de la nature, 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 fournir. Nous avons choisi d'étudier une cédrière issue de plus de 350 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 d'une cédrière vierge sur site mésique ; 2) vérifier si les débris ligneux constituent des microsites permettant la survie des semis au-delà de 5 ans et, 3) identifier les mécanismes de régénération qui participent au maintien du thuya dans cette vieille cédrière. Quatre-vingt-seize quadrats de 1 m² ont été délimités le long de transects parallèles établis de façon à couvrir la surface d'étude. Tous les semis de moins d'un mètre présents dans les quadrats ont été localisés en regard de la microtopographie et de la litière qui les supportaient. Les semis ont été récoltés en entier (tige et racines) et le substrat d'enracinement (débris ligneux, substrat organique

indifférencié ou minéral) a été déterminé. La hauteur et l'âge ont été mesurés en laboratoire. Les résultats indiquent que les substrats de surface et les substrats d'enracinement ont un impact significatif sur la présence de semis ($p < 0.0001$) et que ce sont les monticules faits de débris ligneux grossiers qui se sont avérés être les microsites les plus favorables aux semis de thuya et ce, malgré la présence de mousses ou de feuilles sur les troncs. Les résultats suggèrent qu'ils peuvent y survivre plus de 5 ans. Les semis de sapin qui ont présenté une association positive avec les monticules couverts de mousses se sont montrés beaucoup moins spécifiques que le thuya à un type particulier de substrat de surface ou d'enracinement. Dans les trouées, la haute régénération constituée d'un important nombre de tiges de thuya issues de reproduction végétative (marcottes, boutures de branches cassées enracinées) suggère que ce mécanisme de régénération participe au maintien de l'espèce sur le site et montre que la régénération de thuya a le potentiel de bien répondre à une ouverture du couvert.

REMERCIEMENTS

Je tiens à exprimer ma gratitude à tous ceux qui m'ont accompagnée 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, Simon Caouette et Viateur Savage pour la qualité de leur travail tant sur le terrain qu'en laboratoire. Merci à Luc Gagnon du Groupe GDS pour l'expérience du terrain. Merci aux gens du laboratoire d'écologie végétale de l'université du Québec à Chicoutimi pour leur aide précieuse. Plus particulièrement, merci à Germain Savard, Doris Chalifour et Jean-Guy Girard pour l'aide terrain et la patience nécessaire en laboratoire. Merci au Dr. Aline Philibert pour le support statistique de même qu'à Réjean Gagnon et Sylvain Fortin pour leur support dans cette étude. Et, merci incommensurable à Sylvain Parent dont la généreuse présence au bout du fil de mon téléphone a moussé mes réflexions.

TABLE DES MATIÈRES

	Page
Résumé.....	2
Remerciements.....	4
Table des matières.....	5
Liste des tableaux.....	6
Liste des figures.....	8
Chapitre 1 : Introduction.....	9
Chapitre 2 : Description du territoire.....	16
Chapitre 3 : Méthodologie.....	22
Chapitre 4 : Résultats.....	29
Chapitre 5 : Discussion.....	45
Chapitre 6 : Conclusion.....	54
Chapitre 7 : Bibliographie.....	56
Annexe.....	63

LISTE DES TABLEAUX

	Page
Tableau 1 : Caractéristiques du peuplement.....	19
Tableau 2: Liste des espèces herbacées et arbustives répertoriées.....	21
Tableau 3: Critères d'évaluation du niveau de décomposition des débris ligneux.....	23
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.....	25
Tableau 5 : Analyse de khi carré de la fréquence des semis de thuya selon les types de microtopographie, les types de litière et les types de substrat d'enracinement spécifiant la fréquence attendue en fonction de la superficie couverte pour chaque type de microtopographie, de litière et de substrat d'enracinement.....	30
Tableau 6 : Analyse de khi carré de la fréquence des semis de sapin selon les types de microtopographie, les types de litière et les types de substrat d'enracinement spécifiant la fréquence attendue en fonction de la superficie couverte pour chaque type de microtopographie, de litière et de substrat d'enracinement.....	31
Tableau 7 : Analyse de khi carré de la fréquence des semis de thuya selon les types de substrat de surface (microtopographie et litière regroupés) spécifiant la fréquence attendue en fonction de la superficie couverte pour chaque type de substrat de surface.....	34

Tableau 8 :	Analyse de khi carré de la fréquence des semis de sapin selon les types de substrat de surface (microtopographie et litière regroupés) spécifiant la fréquence attendue en fonction de la superficie couverte pour chaque type de substrat de surface.....	35
Tableau 9 :	Résultats de l'analyse de variance indiquant la relation entre la hauteur des semis de thuya et la hauteur et l'âge des semis de sapin, et le type de microtopographie sur lequel ils se trouvent.....	40
Tableau 10 :	Résultats de l'analyse de variance indiquant la relation entre la hauteur des semis de thuya et la hauteur et l'âge des semis de sapin, et la classe de décomposition des débris ligneux sur lesquels ils se trouvent.....	40
Tableau 11 :	Abondance et distribution de la régénération dans le sous-bois.....	43
Tableau 12 :	Compilation des données de régénération en thuya dans les trouées.....	44

LISTE DES FIGURES

	Page
Figure 1 : Localisation du site d'étude dans la péninsule gaspésienne.....	17
Figure 2 : Relation entre la hauteur des semis et l'âge.....	26
Figure 3 : Valeurs résiduelles des analyses khi carré : a) du facteur microtopographie et b) du facteur litière pour les semis de thuya et de sapin.....	32
Figure 4 : Valeurs résiduelles des analyses khi carré pour le substrat de surface (facteurs microtopographie et litière jumelés) pour les semis de thuya et de sapin.....	36
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.....	38
Figure 6 : Valeurs résiduelles des analyses khi carré pour le substrat d'enracinement pour les semis de thuya et de sapin.....	38
Figure 7 : Hauteur moyenne des semis de thuya par type de microtopographie.....	41
Figure 8 : Âge moyen des semis de sapin par type de microtopographie.....	41
Figure 9 : Hauteur moyenne des semis a) de thuya et b) de sapin enracinés dans des débris ligneux par classe de décomposition des débris.....	42
Figure 10 : Schéma montrant l'hypothèse de la dynamique de la cédrière mésique à l'étude en l'absence d'une perturbation majeure.....	53

CHAPITRE 1

INTRODUCTION

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, le thuya côtoie le sapin baumier (*Abies balsamea* (L.) Mill.) et l'épinette blanche (*Picea glauca* L.) sur les sites mésiques (Blanchet 1982). Les processus de recrutement du thuya sont 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 (Curtis 1946 ; Scott et Murphy 1987) et plusieurs auteurs soulignent que la régénération du thuya est souvent déficiente après la coupe (Anonyme 1973 ; Miller *et al.* 1990 ; Heitzman *et al.* 1997), entraînant un recul du thuya, 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 locale. Cette dernière affecte ainsi la structure d'un

peuplement à une échelle plus fine. La mortalité naturelle des tiges créant de petites trouées est caractéristique des vieux peuplements (Villeneuve et Brisson 2003). Or, le thuya est une espèce longévive qui peut survivre à deux voire trois générations des espèces qui l'accompagnent (Blanchet 1982). En Gaspésie, des individus de plus de 550 ans ont été identifiés (Archambault et Bergeron 1992). Putz *et al.* (1983) mentionnent que la mortalité et le bris de branches qui apparaissent dans la strate supérieure des vieux peuplements (phénomène de *snapping*) peuvent fortement affecter la microtopographie du sol. Ainsi, le bris de branches et le chablis d'arbres vivants ou morts ont pour effet de créer, entre autres, des monticules de débris ligneux. 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 ; Chimner et Hart 1996 ; Cornett *et al.* 1997 ; Simard *et al.* 1998 ; Cornett *et al.* 2000) et du sapin (Simard *et al.* 1998 ; Duchesneau et Morin 1999 ; Parent *et al.* 2003). Dans les sites mésiques, les débris ligneux constituent un facteur clé dans la régénération du thuya (Scott et Murphy 1987 ; Cornett *et al.* 1997 ; 2000) alors que le sapin se montre moins spécifique à un type particulier de microsite (Simard *et al.* 1998 ; Parent *et al.* 2003).

La présence importante des débris ligneux au sol à différents niveaux de décomposition est une caractéristique des vieux peuplements (Villeneuve et Brisson 2003). Les débris ligneux constituent des substrats ayant une bonne capacité de rétention de l'eau (Lee et Sturgess 2001 ; Cornett *et al.* 1997), ce qui favoriserait la survie des semis de thuya, sensibles à la sécheresse (Curtis 1946 ; Cornett *et al.* 2000). À l'échelle du semis, les débris ligneux grossiers offrent aussi des températures plus chaudes (Cornett *et al.* 1997) et ils accumulent moins de litière tombant des arbres (DeLong *et al.* 1997). Les débris ligneux seraient aussi un substrat offrant peu de résistance à l'élongation des racines, même en période de sécheresse (DeLong *et al.* 1997).

En Gaspésie, le thuya occidental est une espèce peu documentée, la presque totalité des études ayant été effectuée dans les cédrières hydriques centenaires ou bicentenaires du Michigan (Nelson 1951; Heitzman *et al.* 1997; 1999; Rooney *et al.* 2002) et du Maine (Curtis 1946) ou dans les cédrières de falaises de l'Ontario et de l'ouest du Québec (Larson et Kelly 1991; Archambault et Bergeron 1992). En outre, très peu de recherches portent sur la dynamique de régénération de vieilles cédrières, particulièrement sur sites mésiques. Parmi les études sur sites mésiques, Simard *et al.* (2003) ont étudié la régénération du thuya et du sapin dans des conditions artificielles, entre autres, en introduisant des débris ligneux dans le sous-bois d'une

cédrière et d'une peupleraie. Dans leur dispositif, le thuya s'est montré très spécifique aux débris ligneux alors que le sapin s'est montré plus ubiquiste, et ce, dans les deux types de peuplement.

La présente étude se rapproche davantage d'une étude réalisée par les mêmes auteurs dans la région du Lac Duparquet dans une cédrière de 230 ans issue de feu (Simard *et al.* 1998). Elle se démarque toutefois par le fait que, dans la présente étude, le substrat d'enracinement et le substrat de surface font l'objet d'une distinction et que le peuplement étudié est beaucoup plus avancé dans son évolution que celui étudié par Simard *et al.* (1998).

La cédrière de la forêt de South Manitou, Michigan, s'apparente à la cédrière qui fait l'objet de la présente étude. Les résultats des recherches qui y ont été effectuées (Thompson 1963; Scott et Murphy 1987) constituent les rares sources d'information sur la dynamique de régénération de vieilles cédrières en milieu mésique. Les auteurs y ont observé que la régénération de thuya était fortement associée aux débris ligneux et qu'en sous-bois, les semis dépassaient rarement 25 cm en hauteur sauf dans les ouvertures.

Certaines espèces tolérantes à l'ombre forment des banques de semis dans l'attente d'une perturbation qui les dégagera (Morin et Laprise 1997). En sous-étage, la régénération de ces espèces tend à être clairsemée et variable et à montrer une plus grande densité sur des microsites particuliers (Rooney *et al.* 2002). Le thuya, dont les semis sont souvent associés aux débris ligneux (Scott et Murphy 1987; Simard *et al.* 1998; 2003; Cornett *et al.* 1997) et dont la hauteur de la régénération en sous-étage dépasse rarement 30 cm (Scott et Murphy 1987; Heitzman *et al.* 1997) semble se conformer à ce modèle. Les semis et les jeunes plants peuvent survivre à des périodes prolongées de suppression et répondre favorablement à une ouverture (Heitzman *et al.* 1997). Le thuya aurait d'ailleurs besoin d'un certain degré de perturbation pour se développer (Scott et Murphy 1987). Le chablis qui a pour effet de mettre à nu une portion de sol minéral et d'augmenter la luminosité semble favorable à la germination et à la survie des semis de thuya (Heitzman *et al.* 1997). En réduisant la barrière créée par la matière organique en surface, le feu peut aussi créer de bons microsites de régénération (Jonhston 1990; Heitzman *et al.* 1997).

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 une cédrière

issue de plus de 350 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. En plus de documenter la dynamique de régénération d'une vieille cédrière, cette étude se différencie des études précédentes faites sur la régénération du thuya et du sapin par le fait que les substrats où sont observés les semis (substrat de surface) sont distingués des substrats d'enracinement.

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). Johnston (1990) précise que le thuya occidental a la faculté de produire des racines à partir de n'importe quel endroit sur la branche. L'impact de la reproduction végétative du thuya sur la dynamique forestière des cédrières croissant sur sites mésiques est toutefois très peu documenté. Notre étude vise donc à estimer l'apport des tiges de thuya issues de reproduction végétative et celui des semis dans la régénération d'une vieille cédrière croissant sur site mésique.

Plus spécifiquement, les objectifs de cette étude sont de : 1) déterminer les meilleures associations semis/substrats (surface et enracinement) pour le thuya et le sapin sous la canopée d'une vieille cédrière vierge sur site mésique ; 2) vérifier si les

débris ligneux constituent des microsites permettant la survie des semis au-delà de 5 ans et, 3) identifier les mécanismes de régénération qui participent au maintien du thuya sur les sites mésiques. En regard des objectifs cités et considérant les connaissances actuelles sur la dynamique de régénération du thuya nous émettons les hypothèses suivantes : 1) que les semis de thuya seront fortement associés aux débris ligneux (surface et enracinement) alors que les semis de sapin seront peu spécifiques à un substrat particulier (surface et enracinement; 2) que les débris ligneux constitueront des microsites permettant la survie des semis au-delà de 5 ans pour le thuya et le sapin et 3) que la reproduction végétative participera peu au maintien du thuya sur ce site mésique.

CHAPITRE 2

DESCRIPTION DU TERRITOIRE

Le territoire d'étude est situé dans la péninsule gaspésienne, à environ 30 km au nord-ouest de la ville de Gaspé (49°01'N, 64°50'O) dans la province de Québec, Canada (figure 1). Le peuplement étudié est une vieille cédrière avec sapins et épinettes blanches. Ce vieux peuplement a été repéré lors d'une visite terrain effectuée par des employés du Ministère des Ressources naturelles dans les secteurs de coupe prévus au plan annuel d'intervention de l'industriel intervenant dans ce secteur. Suite à cette visite, le site a été exclu du plan de coupe et destiné à la recherche. Des démarches pourraient éventuellement être entreprises afin de faire classer ce site « écosystème forestier exceptionnel » dans le cadre du programme du Ministère des Ressources naturelles du Québec.

Ce peuplement est situé 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). Le site est localisé à 260 m d'altitude et sa topographie présente une pente régulière de 8 % orientée ouest. La température moyenne varie entre -11,9°C en janvier et

16,6°C en juillet pour une moyenne annuelle de 2,9°C et 160 jours sans gel alors que 111,7 cm de précipitation tombent annuellement dont 380,0 cm sous forme de neige (Environnement Canada 2002). Le peuplement est sur un dépôt minéral (couche lithique à moins de 40 cm) de type fluvioglaciale et le drainage est modéré (Ministère des Ressources naturelles 1994). Plus spécifiquement, la texture est un loam argileux et l'épaisseur moyenne de la couche d'humus est de 28 cm. La cédrière est située dans le bassin de la rivière Darmouth. Elle constitue un îlot résiduel de forêt ceinturée par des coupes réalisées dans des peuplements dans lesquels le sapin dominait.

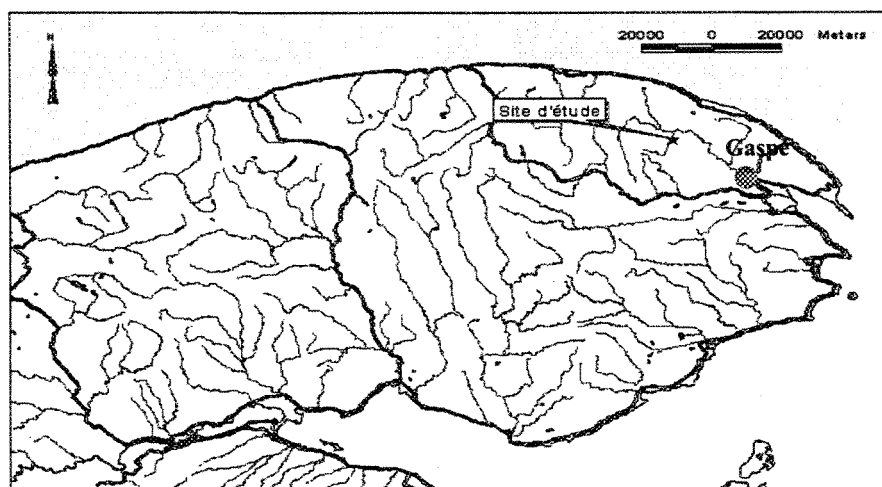


Figure 1 : Localisation du site d'étude dans la péninsule gaspésienne

Ce peuplement présente un couvert fermé relativement homogène malgré la présence de quelques trouées créées par le bris de grosses branches de thuya dans la

canopée. La superficie des trouées étudiées varie entre 33 m² et 352 m² pour une moyenne de 108 m², ce qui correspondrait à une trouée circulaire d'un diamètre de près de 12 mètres. Cependant, plus de la moitié des trouées étudiées étaient de forme ovale avec des longueur et largeur oscillant entre 6 et 28 mètres (détails en annexe).

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. Le nombre de cernes comptés sur 23 individus échantillonnés à la tarière de Pressler varie entre 180 et 361. Ces nombres représentent un âge minimal compte tenu, entre autres, de la présence importante de carie sur plusieurs arbres. Une extrapolation de la croissance permet d'estimer que certains individus dépassent 650 ans. L'échantillon de 361 cernes, par exemple, représentait moins du tiers du rayon de l'arbre.

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 blanche n'atteignent pas 40 cm. Le tableau 1 présente une description sommaire de la cédrière étudiée.

Dans le peuplement qui couvre une surface de 7,7 ha, le thuya, représente 96 % de la surface terrière alors que le sapin et l'épinette blanche en représentent respective-

Tableau 1 : Caractéristiques du peuplement (pour les tiges de 10 cm et plus)¹

		<i>Thuja occidentalis</i>	<i>Abies balsamea</i>	<i>Picea glauca</i>
		n=66	n=12	n=3
DHP (cm)	moyen	51,6	19,0	20,7
	Minimum	10	10	12
	Maximum	86	32	28
	Écart-type	13,5	7,6	8,1
Rang social	Dominants ²	51	1	2
	Intermédiaires ³	10	5	0
	Supprimés ⁴	5	7	1
Épaisseur d'humus (cm)	moyenne	28		
	Minimum	10		
	Maximum	42		
	Écart-type	8		

¹ Données provenant de deux parcelles de 625 m² où n=nombre de tiges échantillonnées

² Dominant : arbre dont la cime se retrouve dans le tiers supérieur de l'étage des dominants

³ Intermédiaire : arbre dont la cime se retrouve dans le tiers central

⁴ Supprimé : arbre dont la cime se retrouve en sous-étage de la canopée

ment 3 % et 1 %. Les 650 tiges/ha commerciales du peuplement cumulent une surface terrière de 79 m²/ha et un volume réel brut de plus de 600m³/ha. La présence de chicots, caractéristique aux vieux peuplements (Villeneuve et Brisson 2003) représente 18% des tiges debout et parmi les arbres vivants, 26% ont des blessures majeures, c'est-à-dire qu'ils ont plus de 50% de leurs branches cassées jonchant le sol.

Dans le sous-bois, le noisetier (*Corylus cornuta* Marsh) et l'érable à épis (*Acer spicatum* Lam.) côtoient les rares gaulis de sapin et de thuya alors que sur le parterre, les débris ligneux décomposés à divers degrés sont constitués presque exclusivement de thuya. Différentes espèces de mousses (*Hylocomium splendens* Hewd., *Pleurozium shreberi* Brid., *Dicranum sp.*, *Polytrichum sp. et*, *Mnium sp.*) et de lichens se sont installés sur ces débris. Ailleurs sur le sol, la litière est constituée d'écailles de thuya. Bien que plusieurs espèces boréales soient représentées (tableau 2), la couverture des strates herbacée et arbustive est peu importante. Cette association qui supporte le thuya et le sapin dans sa strate arborescente semble s'apparenter à celle que Blanchet et Lafond (1966) appellent *Abieti-Thujetum occidentalis*.

Il est reconnu que la présence de populations de cerfs de Virginie (*Odocoileus virginianus* L.) peut constituer un facteur limitant la régénération des cédrières (Heitzman *et al.* 1999 ; Rooney *et al.* 2002). Or, dans le secteur d'étude, le cerf est à la limite de son aire de distribution et les populations sont négligeables. Aucun signe de brout n'a été noté lors des inventaires.

Tableau 2 : Liste des espèces herbacées et arbustives répertoriées (septembre 2003)

<i>Acer spicatum</i> Lam.	<i>Linnaea borealis</i> L.
<i>Chiogene hispidula</i> L.	<i>Listera cordata</i> (L.) R.Brown
<i>Circaea alpina</i> L.	<i>Lycopodium</i> sp.
<i>Clintonia borealis</i> (Ait.) Raf.	<i>Mitella nuda</i> L.
<i>Coptis groenlandica</i> (Oeder) Fernald	<i>Oxalis montana</i> Raf.
<i>Cornus canadensis</i> L.	<i>Petasites palmatus</i> (Ait.) Gray
<i>Cornus stolonifera</i> Michx.	<i>Ribes lacustre</i> (Pers.)
<i>Corylus cornuta</i> Marsh	<i>Rubus pubescens</i> Raf.
<i>Dryopteris spinulosa</i> (O.F. Muell) Watt	<i>Sorbus americana</i> Marsh
<i>Galium</i> sp.	<i>Streptopus roseus</i> Michx.
<i>Kalmia angustifolia</i> L.	<i>Trientalis borealis</i> Raf.

CHAPITRE 3

MÉTHODOLOGIE

La prise de données a eu lieu à l'automne 2003 et a été complétée à l'automne 2004. Des quadrats de 1 m² étaient inventoriés à tous les 10 mètres le long de transects parallèles équidistants de 20 mètres établis de façon à couvrir le site d'étude. Quarante-seize (96) quadrats ont été inventoriés. Afin de maintenir une homogénéité dans les paramètres d'ensoleillement, les quadrats localisés à proximité de trouées dans la canopée ont été rejetés. Dans chaque quadrat, la microtopographie a été déterminée en considérant l'échelle du semis (monticule créé par un débris ligneux, monticule autre, plat, dépression). Puis, une classe de litière était associée à chaque classe de microtopographie (feuilles, mousses vivantes, herbe, tronc nu, sol minéral nu). La combinaison d'une classe de microtopographie et d'une classe de litière correspondait à un substrat spécifique, monticule de mousses par exemple. Chaque substrat était dessiné à une échelle de 1:10 et la surface de chacun était mesurée en laboratoire au planimètre. Pour les microtopographies formées par des débris ligneux grossiers, le niveau de décomposition a été estimé selon trois classes, adaptées de Scott et Murphy (1987) (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 (un 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 résineuses de moins de 1 m étaient récoltées en entier, tige et racine. Les racines étaient minutieusement dégagées de façon à spécifier l'origine de la tige (origine végétative ou semis) ainsi que pour identifier le substrat d'enracinement dans le cas des semis (matière organique indifférenciée, substrat minéral, débris ligneux). Les classes de substrats (surface et enracinement) ainsi que les abréviations utilisées dans l'étude sont décrites au tableau 4.

Les semis récoltés 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 20 cm sur lesquels le nombre de cernes au niveau du sol a été compté (Simard *et al.* 1998; Rooney *et al.* 2002). Le modèle a été vérifié avec 38 autres semis. Il aurait été préférable d'établir une relation pour

chaque type de substrat toutefois, plusieurs semis ayant été abîmés lors du transport, il n'a pas été possible de le faire. L'échantillonnage ayant servi à construire le modèle respecte néanmoins la proportion des semis observée sur chaque type de microtopographie. La corrélation montre que l'âge et le logarithme naturel de la hauteur sont positivement reliés ($r^2=0,48$; $P<0,001$). Selon le modèle,

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

Ce modèle prédit que les semis de 3 cm auront 5 ans (figure 2). Rooney *et al.* (2002) avaient obtenu une relation semblable avec un échantillonnage de 42 semis, tous substrats confondus. La hauteur des semis ayant servi à construire son modèle était toutefois plus importante, variant entre 15 cm et 100 cm ($r^2=0,50$; $P<0,001$). Ainsi, dans son modèle :

$$\hat{\text{Age}} = 7,73 (\ln \text{ hauteur en cm}) - 16,22$$

Des modèles comme ceux-ci limitent toutefois l'utilisation des données relatives à l'âge compte tenu qu'ils ne tiennent pas compte des substrats de croissance et d'enracinement des semis qui peuvent en influencer la hauteur et amener une fausse

interprétation de l'âge. Dans la présente étude, cette relation âge/hauteur servira uniquement à estimer le nombre d'années de survie des semis sous couvert.

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>Pleurozium 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. tableau1)
• Minéral	Mi	Substrat minéral

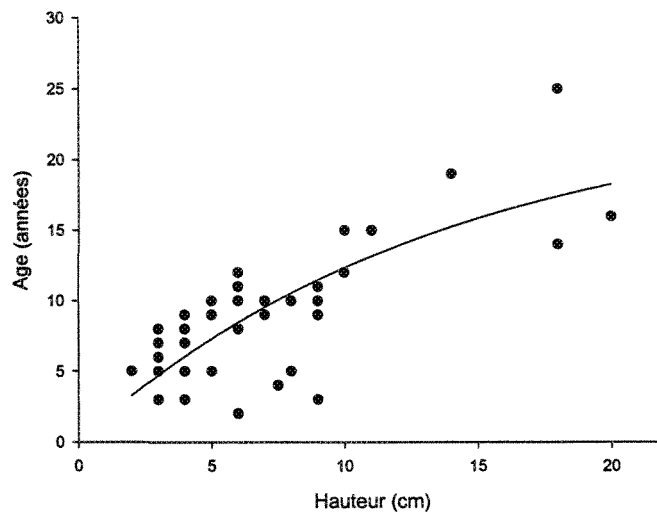


Figure 2 : Relation entre la hauteur des semis et l'âge.

Échantillonnage de la régénération dans les trouées naturelles

L'étude a porté sur quinze trouées naturelles localisées dans le peuplement. 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 considérée 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 marcotte). Lorsqu'une racine prenait sa source à une branche ou un tronc, la tige était identifiée comme une tige issue de reproduction végétative et lorsque le système racinaire était complet, la tige était identifiée comme un semis.

Lorsque le système racinaire déterré était 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. 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 disponible à l'enracinement correspondait à celle de toutes les microtopographies en monticule (monticules-tronc et monticules-autres). Pour ces analyses de khi carré, les valeurs étaient considérées significatives lorsque $p < 0,0001$. 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 Tukey-Kramer. Toutes les analyses ont été faites avec le logiciel JMP IN (SAS Institute Inc. 2003).

CHAPITRE 4

RÉSULTATS

Associations semis/substrat pour les substrats de surface

Les tableaux 5 et 6 présentent les résultats de l'analyse de khi carré pour le thuya et le sapin respectivement. 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 fréquence observée et la fréquence attendue est grand, plus la valeur est significative. Une valeur résiduelle positive élevée indique un lien de dépendance entre le semis et le substrat alors qu'une valeur négative indique un substrat défavorable pour le semis.

Les résultats montrent une valeur résiduelle positive élevée entre les semis de thuya et les monticules créés par les débris ligneux visibles (MT-TR). Bien que ce type de microtopographie ne couvrait que 16 % de la surface totale échantillonnée, 76 % des semis de thuya y ont été observés (tableau 5). La figure 3a montre que les semis de thuya étaient surtout confinés sur ces monticules formés par des débris ligneux surélevés et qu'ils étaient plutôt absents des surfaces planes. Quant aux semis de sapin (tableau 6), bien qu'ils aient été observés sur plusieurs types de microtopo-

Tableau 5 : Analyse de khi carré de la fréquence des semis de thuya selon les types de microtopographie, les types de litière et les types de substrat d'enracinement spécifiant la fréquence attendue en fonction de la superficie couverte par chaque type de microtopographie, de litière et de substrat d'enracinement

	Fréquence observée (en nombre)	Fréquence observée (en %)	Fréquence attendue (en nombre)	% superficie	Résiduel (en nombre)	Résiduel (en %)	X^2	P
Microtopographie								
Monticule-tronc	292	76 %	61	16 %	231	60 %		
Monticule-autre	53	14 %	76	20 %	-23	-6 %		
Plat	36	9 %	226	59 %	-190	-50 %		
Dépression	3	1 %	21	5 %	-17	-4 %		
Total :	384						1053	<0.0001
Litière								
Feuilles (écailles thuya)	100	26 %	314	82 %	-214	-56 %		
Mousses	121	31 %	57	15 %	64	16 %		
Tronc nu	152	40 %	6	1 %	146	39 %		
Mixte (feuille et mousse)	11	3 %	7	2 %	4	1 %		
Total :	384						3671	<0.0001
Substrat d'enracinement								
Débris ligneux	344	90 %	136	36 %	208	54 %		
Organique indifférencié	38	10 %	246	64 %	-208	-54 %		
Total :	382						467	<0.0001

Tableau 6 : Analyse de khi carré de la fréquence des semis de sapin selon les types de microtopographie, les types de litière et les types de substrat d'enracinement spécifiant la fréquence attendue en fonction de la superficie couverte par chaque type de microtopographie, de litière et de substrat d'enracinement

	Fréquence observée (en nombre)	Fréquence observée (en %)	Fréquence attendue (en nombre)	% superficie	Résiduel (en nombre)	Résiduel (en %)	χ^2	<i>P</i>
Microtopographie								
Monticule-tronc	94	24 %	61	16 %	33	8 %		
Monticule-autre	116	30 %	76	20 %	40	10 %		
Plat	162	42 %	227	59 %	-65	-17 %		
Dépression	13	4 %	21	5 %	-7	-1 %		
Total :	385						59	<0.0001
Litière								
Feuilles (écailles thuya)	261	68 %	315	82 %	-54	-14 %		
Mousses	108	28 %	57	15 %	51	13 %		
Tronc nu	8	2 %	6	1 %	2	1 %		
Mixte (feuille et mousse)	8	2 %	7	2 %	1	0 %		
Total :	385						57	<0.0001
Substrat d'enracinement								
Débris ligneux	196	51 %	136	36 %	60	15 %		
Organique indifférencié	185	49 %	245	64 %	-60	-15 %		
Total :	381						41	<0.0001

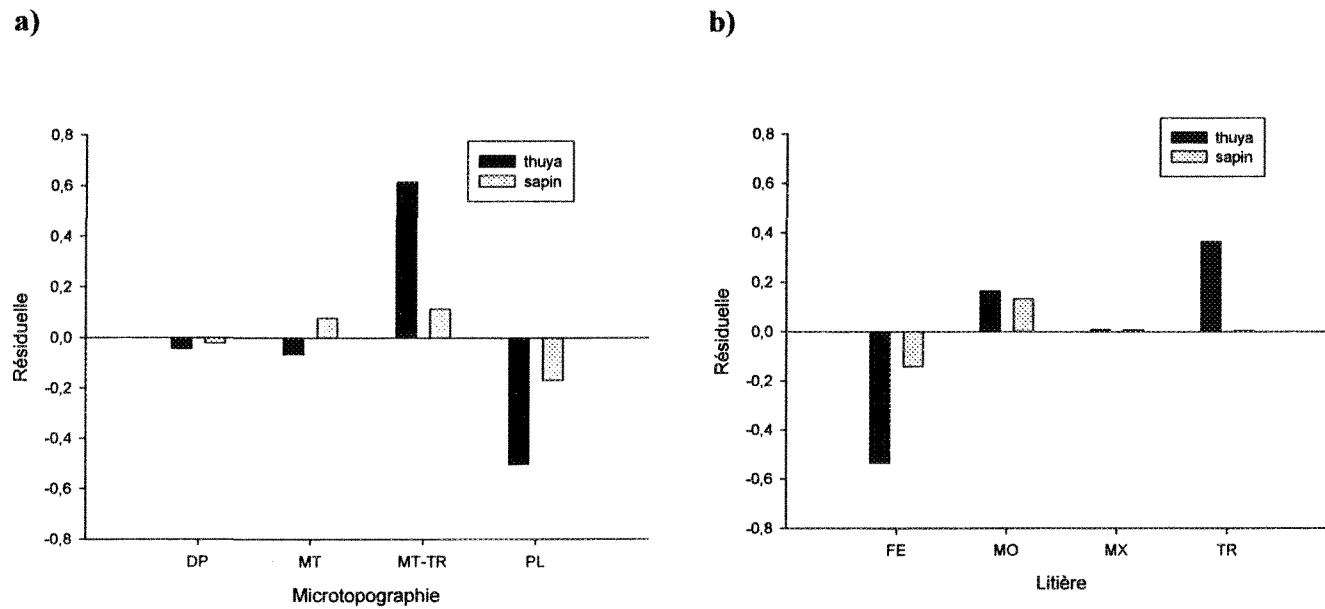


Figure 3 : Valeurs résiduelles des analyses khi carré a) du facteur microtopographie et b) du facteur litière pour les semis de thuya et de sapin (DP : dépression ; MT : monticule autre ; MT-TR : monticule-tronc ; PL : plat ; FE : feuilles ; MO : mousses ; MX : mixte ; TR : tronc nu)

graphies, l'analyse indique que les liens sont significatifs entre la microtopographie et la présence des semis. Ainsi, le sapin a montré une association positive avec la microtopographie en monticules, qu'ils soient créés par des débris ligneux (MT-TR) ou que la butte soit d'une autre origine (MT) (figure 3a). Et, malgré que 42 % des sapins aient été récoltés sur des microtopographies planes, cette association s'est tout de même avérée être négative puisque la surface couverte par ce type de microtopographie était de 59%.

Les analyses indiquent aussi des liens significatifs entre le facteur litière et les semis de thuya et de sapin. 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 3b). Quarante pourcent (40 %) des thuyas récoltés étaient sur des troncs nus (TR) qui couvraient seulement 2 % de la surface échantillonnée (tableau 5). Les semis de thuya sont d'ailleurs associés positivement avec tous les types de litières sur débris ligneux (tableau 7, figure 4). Quant à la litière de feuille (FE), ici constituée d'écailles de thuya, elle s'est avérée être fortement défavorable aux semis de thuya.

Tableau 7 : Analyse de khi carré de la fréquence des semis de thuya selon les types de substrat de surface (microtopographie et litière regroupés) spécifiant la fréquence attendue en fonction de la superficie couverte pour chaque type de substrat de surface

	Fréquence observée (en nombre)	Fréquence observée (en %)	Fréquence attendue (en nombre)	% superficie	Résiduel (en nombre)	Résiduel (en %)	χ^2	<i>P</i>
Substrat de surface								
Dépression-feuille	3	1 %	17	4 %	-14	-3 %		
Dépression-mousse	0	0 %	4	1 %	-4	-1 %		
Plat-feuille	30	8 %	213	55 %	-183	-47 %		
Plat-mousse	5	1 %	7	2 %	-2	-1 %		
Plat-tronc	1	0 %	1	0 %	0	0 %		
Monticule-autre- feuille	28	7 %	60	16 %	-32	-9 %		
Monticule-autre- mousse	14	4 %	17	4 %	-3	0 %		
Monticule-autre- mixte	11	3 %	3	1 %	8	2 %		
Monticule-Feuille sur tronc	39	10 %	20	5 %	19	5 %		
Monticule-Mousse sur tronc	102	27 %	33	9 %	69	18 %		
Monticule-Mixte sur tronc	0	0 %	4	1 %	-4	-1 %		
Monticule-Tronc nu	151	39 %	6	2 %	145	37 %		
Total :	384						4205	<0.0001

Tableau 8 : Analyse de khi carré de la fréquence des semis de sapin selon les types de substrat de surface (microtopographie et litière regroupés) spécifiant la fréquence attendue en fonction de la superficie couverte pour chaque type de substrat de surface

	Fréquence observée (en nombre)	Fréquence observée (en %)	Fréquence attendue (en nombre)	% superficie	Résiduel (en nombre)	Résiduel (en %)	χ^2	<i>P</i>
Substrat de surface								
Dépression-feuille	13	3 %	18	4 %	-5	-1 %		
Dépression-mousse	0	0 %	4	1 %	-4	-1 %		
Plat-feuille	158	41 %	213	55 %	-55	-14 %		
Plat-mousse	4	1 %	7	2 %	-3	-1 %		
Plat-tronc	0	0 %	1	0 %	-1	0 %		
Monticule-autre- feuille	69	18 %	60	16 %	9	2 %		
Monticule-autre- mousse	40	10 %	17	4 %	23	6 %		
Monticule-autre- mixte	7	2 %	3	1 %	4	1 %		
Monticule-Feuille sur tronc	21	6 %	21	5 %	0	1 %		
Monticule-Mousse sur tronc	64	17 %	33	9 %	31	8 %		
Monticule-Mixte sur tronc	1	0 %	4	1 %	-3	-1 %		
Monticule-Tronc nu	8	2 %	6	2 %	2	0 %		
Total :	385						91	<0.0001

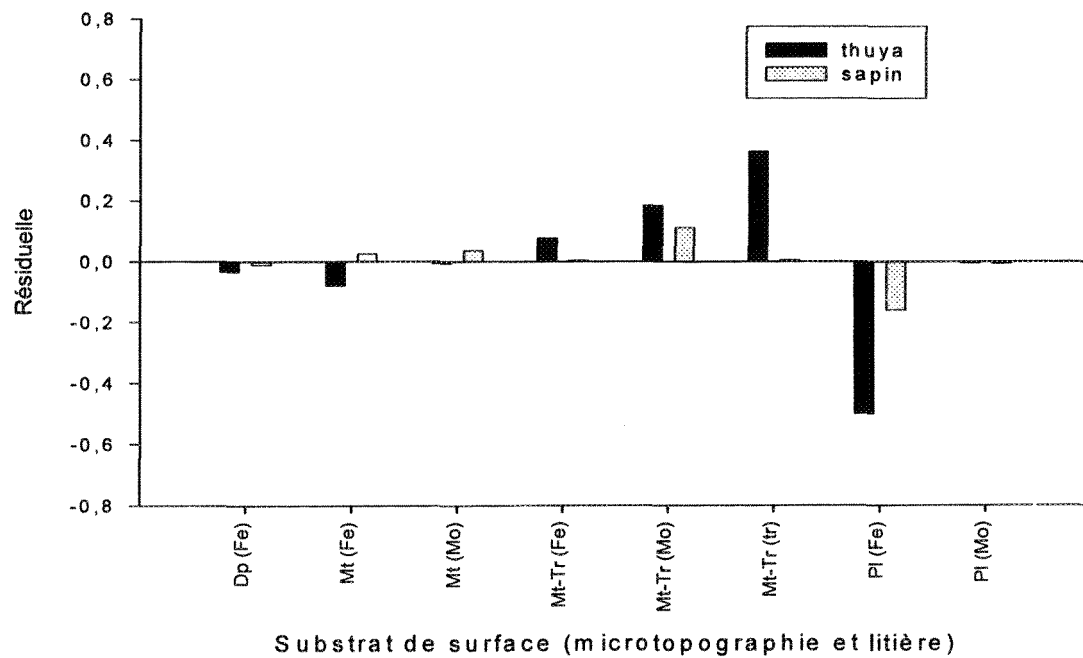


Figure 4 : Valeurs résiduelles des analyses khi carré pour le substrat de surface (facteurs microtopographie et litière jumelés) pour les semis de thuya et de sapin (Dp : dépression ; Mt : monticule autre ; Mt-Tr : monticule-tronc ; Pl : plat ; Fe : feuilles ; Mo : mousses ; Tr : tronc nu)

Quant aux semis de sapin, ils étaient surtout présents dans les litières de feuilles (FE) et de mousses (MO) où 68 % et 28 % des semis ont été observés respectivement. Cependant, seules les litières de mousses ont montré pour cette espèce une association positive puisque la superficie couverte par les litières de feuille était de 82% alors qu'elle était de 15 % 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)).

Associations semis/substrat pour les substrats d'enracinement

Le nombre de semis enracinés dans des débris ligneux 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). De ce fait, 81 % des semis de thuya et 51% des semis de sapin qui étaient sur des monticules-autres (MT) étaient enracinés dans des débris ligneux de même que 34 % et 28 % des semis de thuya et de sapin respectivement qui étaient sur une microtopographie plane (PL). Au total, 90% des semis de thuya et 51 % des semis de sapins étaient enracinés dans les débris ligneux (figure 6) alors que la surface théoriquement disponible (monticules-tronc et monticules autres mis ensembles) était de 36 % (tableaux 5 et 6, figure 6). Les

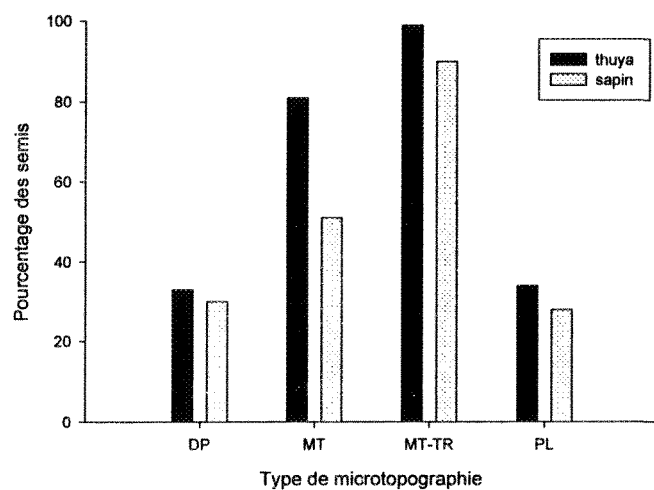


Figure 5 : Proportion des semis de thuya et de sapin enracinés dans un débris ligneux en fonction du type de microtopographie sur lequel ils ont été observés (DP : dépression ; MT : monticule autre ; MT-TR : monticule-tronc ; PL : plat)

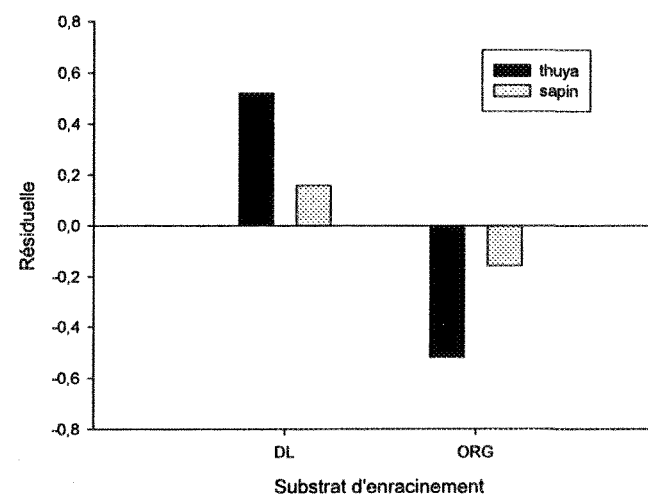


Figure 6 : Valeurs résiduelles des analyses khi carré pour le substrat d'enracinement pour les semis de thuya et de sapin (DL : Débris ligneux enfouis ; ORG : substrat organique indifférencié)

analyses indiquent donc que cette association des semis avec les débris ligneux comme milieu d'enracinement est positive et significative et ce, tant pour le thuya que pour le sapin.

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 (figure 2). Ainsi, selon cette relation, 62 % des semis de thuya récoltés sous couvert pourraient avoir 5 ans. Quarante-deux pourcent (82 %) de ces semis seraient enracinés dans des débris ligneux. Dans le cas du sapin, 85 % des semis sous couvert ont plus de 5 ans et 50 % d'entre eux sont enracinés dans un débris ligneux.

Une analyse de variance révèle une relation significative ($p < 0,05$) entre la hauteur moyenne des semis de thuya et la microtopographie sur laquelle on les retrouve. Cette relation n'est cependant pas significative pour le sapin en ce qui a trait à la hauteur des semis mais elle l'est avec l'âge (tableau 9).

Ainsi, les semis de thuya les plus hauts seraient surtout localisés sur les monticules autres que des troncs (MT) de même que les semis de sapin les plus vieux (figures 7 et 8). 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).

Tableau 9 : Résultats de l'analyse de variance indiquant la relation entre la hauteur des semis de thuya et la hauteur et l'âge des semis de sapin, et le type de microtopographie sur lequel ils se trouvent

	dl	F ratio	P=
Thuya (hauteur)	3	11,6046	<0,0001
Sapin (âge)	3	2,9410	0,0338
Sapin (hauteur)	3	1,0176	0,3848

En effet, le niveau de décomposition des débris ligneux montre une relation significative avec la hauteur pour les semis de thuya. Ainsi, les semis de thuya les plus hauts, ont été observés sur des débris ligneux fortement décomposés (classe III). Les analyses n'indiquent toutefois aucune relation entre l'âge ou la hauteur du sapin et le niveau de décomposition des débris ligneux (tableau 10, figure 9).

Tableau 10 : Résultats de l'analyse de variance indiquant la relation entre la hauteur des semis de thuya et la hauteur et l'âge des semis de sapin, et la classe de décomposition des débris ligneux sur lesquels ils se trouvent

	dl	F ratio	P=
Thuya (hauteur)	2	9,3428	<0,0001
Sapin (âge)	2	0,6677	0,5148
Sapin (hauteur)	2	1,6522	0,1945

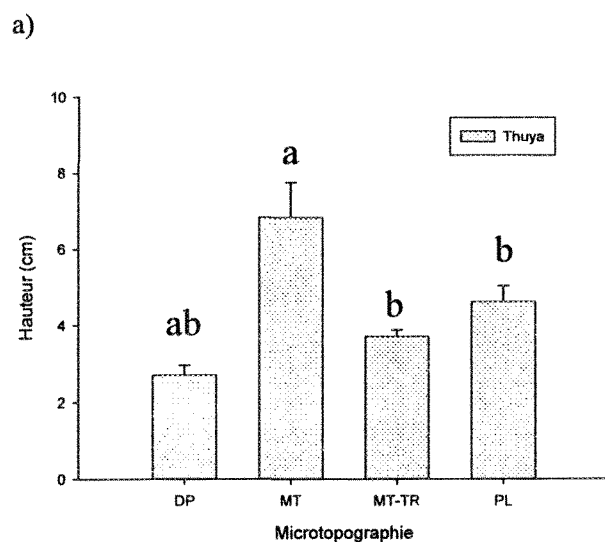


Figure 7 : Hauteur moyenne des semis de thuya par type de microtopographie. Des lettres différentes indiquent une différence significative (DP : dépression ; MT : monticule autre ; MT-TR : monticule-tronc ; PL : plat)

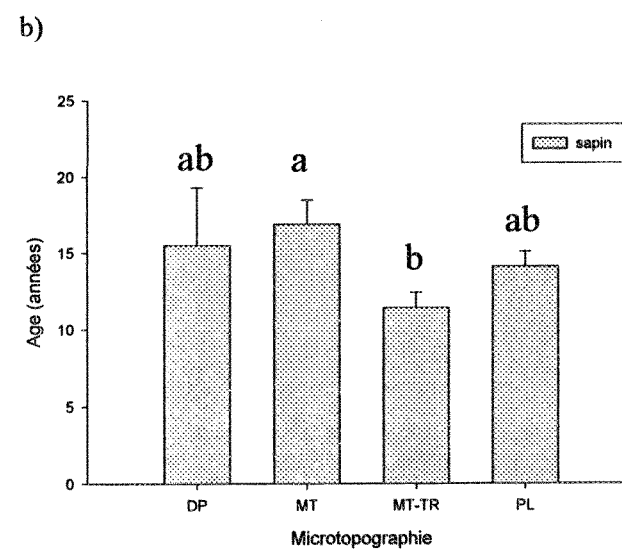


Figure 8 : Âge moyen des semis de sapin par type de microtopographie. Des lettres différentes indiquent une différence significative (DP : dépression ; MT : monticule autre ; MT-TR : monticule-tronc ; PL : plat)

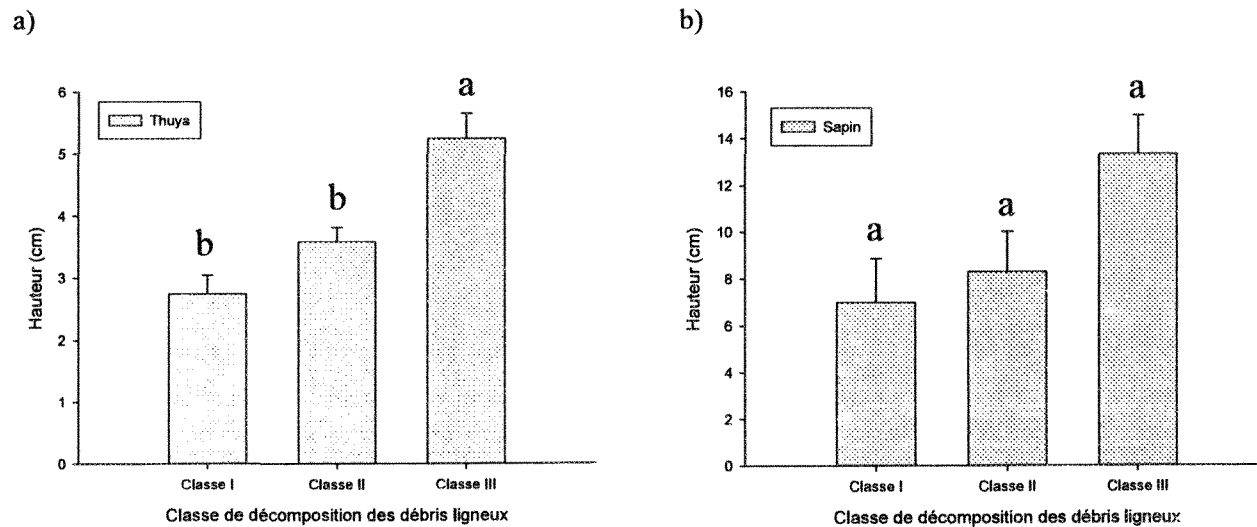


Figure 9 : Hauteur moyenne des semis a) de thuya et b) de sapin enracinés dans des débris ligneux par classe de décomposition des débris. Des lettres différentes indiquent une différence significative (classe I : débris ferme ; classe II : débris qui s'échiffe en surface ; classe III : débris très tendre)

Description de la régénération dans le sous-bois et dans les trouées naturelles

Dans le sous-bois, la densité des semis était de 4,2 semis/m² (soit 42 000 semis/ha) tant pour le thuya que pour le sapin (tableau 11). Même si le thuya dominait largement dans la composition du peuplement, les semis de sapin étaient aussi abondants que les semis de thuya mais mieux distribués. La hauteur moyenne des semis de thuya était de 4,8 cm (\pm 0,4 cm) alors que celle du sapin était de 10,7 cm (\pm 1,0 cm). Soixante-dix-neuf pourcent (79 %) des semis de thuya inventoriés et 52 % des semis de sapin avaient une hauteur égale ou inférieure à 5 cm. Les marcottes de thuya représentaient 15 % des tiges en régénération. Elles avaient une hauteur moyenne de 57,2 cm (\pm 6,1 cm). Quatre-vingt-treize pour cent (93 %) des tiges de thuya en régénération sous couvert de plus de 30 cm étaient des marcottes.

Tableau 11 : Abondance et distribution de la régénération dans le sous-bois

nb moyen de semis/m ²		Coefficient de distribution ¹	
Thuya	Sapin	Thuya	Sapin
4,2	4,2	46 %	76 %

¹ : % des quadrats de 1 m² avec présence de semis

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 12 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 issues de reproduction végétative (marcotte ou bouture de branches cassées) et 8 % étaient des semis. Sur 48 % des tiges l'origine n'a pu être déterminée.

Tableau 12 : Compilation des données de régénération en thuya dans les trouées

	% reproduction végétative	% semis	% origine inconnu	Hauteur moyenne (cm)
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 (reproduction végétative, semis ou d'origine inconnue) divisé par le nombre total de thuya n.

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.

CHAPITRE 5

DISCUSSION

Dans le cadre de cette étude, il a été noté que dans le sous-bois, 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 tiges issues de reproduction végétative pourraient participer d'une façon importante au maintien de l'espèce sur les sites mésiques.

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 les monticules faits de débris ligneux 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 de semis, ceux du sapin étaient mieux distribués que ceux du thuya.

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 ; Cornett *et al.* 2001 ; Rooney *et al.* 2002) et du sapin (Simard *et al.* 1998 ; Duchesneau et Morin 1999 ; Simard *et al.* 2003 ; 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 (Cornett *et al.* 1997 ; Simard *et al.* 1998). Le peu d'affinité du thuya pour les microtopographies planes et les litières de feuilles (ici constituée d'écailles de thuya) est également supporté par nos résultats (Simard *et al.* 1998 ; Cornett *et al.* 2000 ; Simard *et al.* 2003).

Dans la cédrière étudiée, l'épaisseur moyenne de la matière organique constituée d'écailles de thuya était de 28 cm. Le sapin arrive à germer et s'établir 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 positivement significatif sur les troncs avec litière de feuilles ou avec mousses suggèrent que la forme convexe des débris pourrait jouer un rôle important dans la protection des semis en ne permettant pas l'accumulation des feuilles et autres matériaux tombant au 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, ne posséderait pas cette aptitude. 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. Toutefois, 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 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. De son côté, Cornett *et al.* (2001) suggèrent que l'accumulation dans les débris ligneux d'azote fixée par des bactéries puisse constituer un bénéfice pour les semis par rapport à un simple monticule. Les observations faites sans considérer la zone d'enracinement sous-estiment l'importance des débris ligneux dans le processus de régénération du thuya par graines.

La présente étude indique que les mousses sont favorables au recrutement du sapin, ce qui concorde avec les résultats d'études précédentes (Simard *et al.* 1998, 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. Ainsi, la hauteur moyenne plus importante de ces semis s'explique peut-être simplement pas 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 feuilles.

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 estimé qu'une partie importante des populations de semis peuvent y survivent plus de 5 ans.

Mécanismes de régénération sous couvert et dans les trouées naturelles

La hauteur moyenne de la régénération du thuya dans les trouées dépassait largement celle de la régénération dans le sous-bois (Scott et Murphy 1987). Notre étude démontre néanmoins 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 (Curtis 1946 ; Scott et Murphy 1987 ; Heitzman *et al.* 1997). Les tiges de thuya 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

relevé sous le couvert pourrait donc participer d'une façon plus importante que les semis au maintien de l'espèce sur le site.

La littérature reconnaît le rôle important des marcottes de thuya dans la régénération des stations hydriques (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 boutures de branches cassées suggèrent que l'importance de ces mécanismes de régénération 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 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 de ces branches issues de ce phénomène de *snapping* mais la littérature est peu bavarde quant à ce mécanisme de reproduction du thuya par bouturage qui pourrait avoir un rôle prépondérant dans la régénération des vieilles cédrières.

En regard des tiges dominantes dans les trouées, nous avons choisi de ne pas répartir entre les deux catégories (marcottes et semis) les tiges dont l'origine était indéterminée. En admettant que toutes les tiges dominantes d'origine inconnue

soient des semis, les 44 % de tiges identifiées comme étant issues de reproduction végétative indiquent déjà que sur ce site mésique, la reproduction végétative comme stratégie de maintien de l'espèce pourrait jouer un rôle non négligeable dans la dynamique de régénération du thuya. Weber *et al.* (2003) suggéraient que la reproduction végétative par la formation de marcottes et l'enracinement de branches cassées constituait possiblement un mécanisme important de maintien du thuya de l'ouest (*Thuja plicata* Donn ex D. Don) dans les cédrières matures. Or, dans la présente étude, le nombre important de tiges issues de reproduction végétative qui dominant en hauteur la régénération des trouées nous invite à émettre l'hypothèse que ces mécanismes de régénération puissent, tout comme le suggèrent Weber *et al.* (2003) pour le thuya de l'ouest, participer d'une façon importante au maintien du thuya occidental (*Thuja occidentalis* L.) dans les cédrières matures. Par ailleurs, bien que la présence de marcottes ait aussi été notée dans le sous-bois, c'est dans les trouées que ces tiges, issues de reproduction végétative, arrivaient à atteindre le stade gaulis.

La banque de semis de thuya étudiée dans le sous-bois de la cédrière montre une densité moyenne de 4,2 semis/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/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, 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 cette vieille cédrière vierge suggèrent que la dynamique des trouées qui s'opère dans le peuplement participe d'une manière importante au maintien de l'espèce sur le site (Chen et Popadiouk 2002) (figure 10). Par ailleurs, dans cette dynamique, il semble que la reproduction végétative soit un mécanisme important

Les trouées montrent des conditions favorables à la croissance des tiges de thuya (Scott et Murphy 1987). Si dans le sous-bois la hauteur moyenne des semis de sapin dépasse celle des semis de thuya, dans les trouées, c'est le thuya qui domine en hauteur le sapin. Et la proportion importante des tiges de thuya issues de reproduction végétative qui dominent en hauteur les trouées montre l'avantage notoire de ces tiges dans l'ascension vers la canopée.

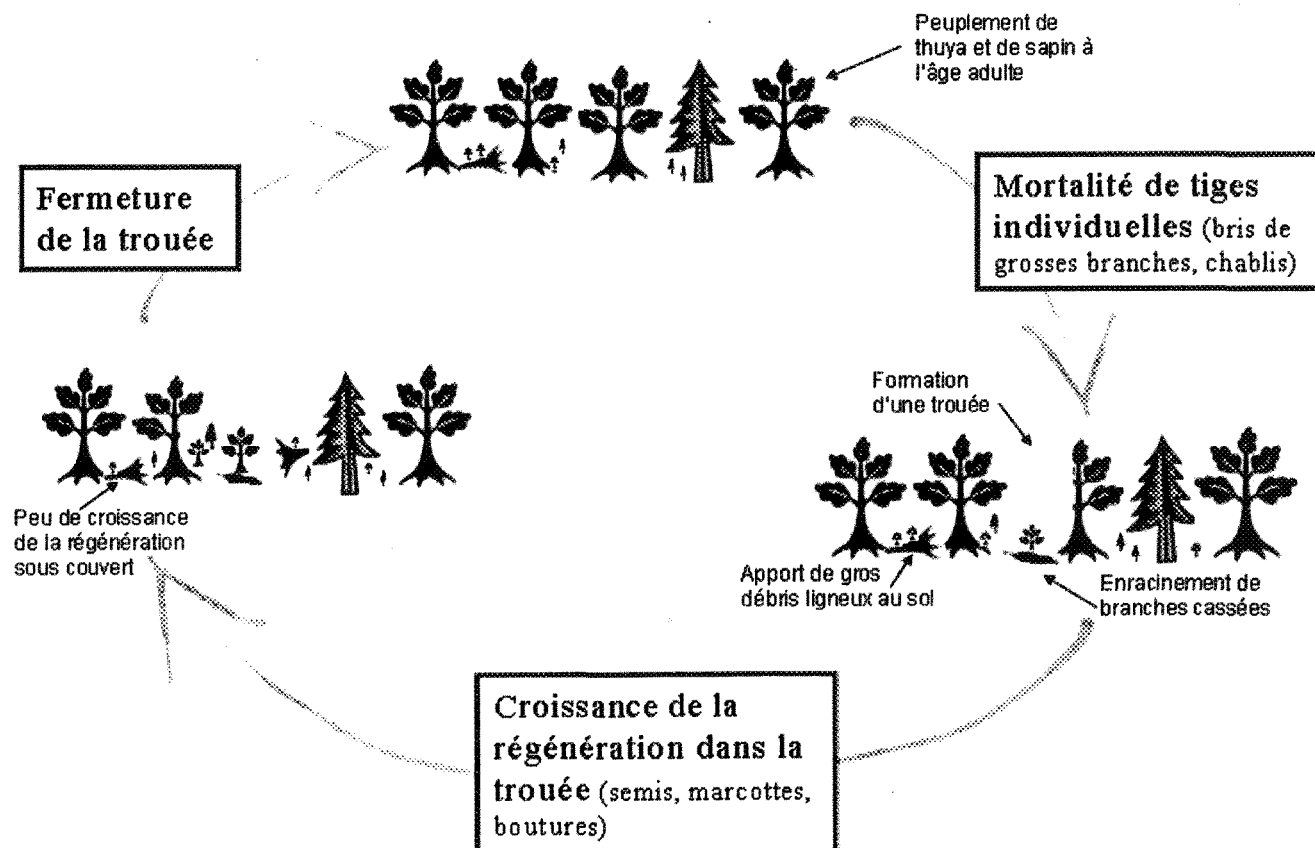


Figure 10 : Schéma montrant l'hypothèse de la dynamique de la cédrière mésique à l'étude en l'absence d'une perturbation majeure

CHAPITRE 6

CONCLUSION

Les résultats confirment donc deux des hypothèses de travail en démontrant que sous couvert, les microsites faits de troncs apparaissent comme étant les meilleurs sites de germination pour le thuya et qu'ils en permettent la survie au-delà de 5 ans. Le sapin s'est aussi comporté tel que prévu en étant moins spécifique que le thuya à un substrat particulier. L'hypothèse quant à la participation marginale de la reproduction végétative dans le maintien du peuplement a toutefois été infirmée puisque dans les trouées, les marcottes et les boutures représentaient une partie importante des tiges d'avenir dans cette vieille cédrière sur site mésique.

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 (Scott et Murphy 1987 ; Heitzman *et al.* 1997). Plusieurs types de traitements sylvicoles sont proposés dans les guides mais aucun n'implique dans les scénarios sur sites mésiques, la reproduction végétative (Johnston 1977; Lanasa et Zuidema 1991; Schaffer 1996 ; Del Degan et Massé 1998 ; Ministère des Ressources naturelles de la

Faune et des Parcs 2003). En outre, c'est peut-être la participation des boutures 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. Par ailleurs, les études réalisées sur le thuya traitent presque essentiellement de la régénération par semis (Scott et Murphy 1987 ; Bartlett et Larson 1990 ; St-Hilaire et Léopold 1995 ; Chimner et Hart 1996 ; Cornett *et al.* 1997 ; Simard *et al.* 1998 ; Matthes-Sears et Larson 1999 ; Cornett *et al.* 2000 ; Simard *et al.* 2003 ; Rooney *et al.* 2002) et négligent la participation de la reproduction végétative dans la régénération, particulièrement sur les sites mésiques. Ainsi, un aménagement orienté vers les semis impose de vérifier le potentiel qu'ils ont pour répondre à une ouverture dans le couvert et atteindre la canopée. Les marcottes et les boutures 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 bouture et par marcotte que du potentiel des semis à atteindre le stade gaulis, apparaît essentielle au développement d'une sylviculture favorisant le maintien de l'espèce.

CHAPITRE 7
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, 13p.
- 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.
- Bartlett R.M., Larson D.W., 1990. The physiological basis for the contrasting distribution patterns of *Acer saccharum* and *Thuja occidentalis* at cliff edges, Journal of ecology **78**: 1063-1078
- 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.
- Blanchet, B., Lafond, A., 1966. Les cédrières des comtés de Kamouraska et l'Islet. Université Laval, Québec, 38 p.
- Chen H.Y.H., Popadiouk, R.V., 2002. Dynamics of North American boreal mixedwoods. Environmental review **10** :137-166.

- Chimner, R.A., Hart, J.B., 1996. Hydrology and microtopography effects on northern white-cedar regeneration in Michigan's Upper Peninsula. *Canadian journal of forest research*. **26**: 389-393.
- Cornett, M. W., Puettmann, K. J., Frelich, L. E., Reich, P. B., 2001. Comparing the importance of seedbed and canopy type in the restoration of upland *Thuja occidentalis* forest Northeastern Minnesota. *Restoration ecology* Vol.9 No.4, pp.386-396.
- 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. *Journal of 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, 34p.

- 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, *Canadian journal of forest research*. **27**: 1452-1457.
- Duchesneau, R., Morin, H., 1999. Early seedling demography in balsam fir seedling banks. *Canadian journal of forest research*. **29**: 1502-1509.
- Environnement Canada, 2002. 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.
- Heitzman, E., Pregitzer, K. S., Miller, R. O., 1997. Origin and early development of northern white-cedar stands in northern Michigan. *Canadian journal of forest research*. **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 Forest Service, General technical report. NC-35, 18p
- 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.
- Lanasa M., Zuidema, M., 1991. Site preparation for northern white cedar, cedar-note #2, Cedar evaluation development information and research, Action group, 6p.
- Larson, D. W., Kelly, P. E., 1991. The extent of old-growth *Thuja occidentalis* on cliffs of the Niagara Escarpment. Canadian journal of botany. 69: 1628-1636.
- Lee, P., Sturgess, K., 2001. Effect of logs, stumps, and root throws on understory communities within 28-years-old aspen dominated boreal forests. Canadian journal of botany. 79: 905-916.
- Matthes-Sears, U., Larson, D.W., 1999. Limitations to seedling growth and survival by the quantity and quality of rooting space: Implications for the establishment of *Thuja occidentalis* on cliff faces. International Journal of plant science. 160(1)122-128.
- 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, 6p.

- 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. 245p.
- Ministère des Ressources naturelles du Québec, 1994. Le point d'observation écologique. Direction de la gestion des stocks forestiers. Service des inventaires forestiers. Gouvernement du Québec. Ministère des Ressources naturelles du Québec. 115p.
- Morin, H., Laprise, D., 1997. Seedling bank dynamics in boreal balsam fir forest. *Canadian journal of forest research*. **27**: 1442-1451.
- Nelson, T.C., 1951. A reproduction study of northern white cedar, Game division, Department of conservation, Lansing, MI, 100p.
- Parent, S., Morin, H., Messier, C., 2000. Effects of adventitious roots on age determination in Balsam fir (*Abies balsamea*) regeneration. *Canadian journal of forest research*. **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. *Canadian journal of forest research*. **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. *Canadian journal of forest research*. **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. 36p.
- Schaffer, W.W., 1996. Silvicultural guidelines for the eastern white cedar. Southern region science & technology transfer unit, Ontario Technical report RT-006 62p.
- Scott, M. L., 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. *Canadian journal of forest research*. **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. *Canadian journal of forest research*. **25**: 261-269.

- Thompson, P.W., 1963. The character of an ancient white cedar forest on South Manitou Island. Michigan. Paper of the Michigan academy of science, arts, and letterer, **47**:177-186.
- Villeneuve, N., Brisson, J., 2003. Old growth-forests in the temperate deciduous zone of Québec: Identification and evaluation for conservation and research purposes. Forestry chronicle. **79**: 559-569.
- 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. Canadian journal of forest research. **33**: 854-861.

Annexe : Tableaux descriptifs des données compilées pour l'étude dans les trouées

Compilation des données par trouée pour les tiges dominantes

No trouée	Dimension des trouées NS x EO	Surface des trouées ¹ (m ²)	Nb de tiges de thuya dominantes mesurées	% reproduction végétative identifiées	% semis identifiés	Hauteur moyenne (cm)
1	18m x 14m	198	4	25 %	0 %	571
2	16m x 13m	163	4	25 %	0 %	401
3	26m x 8m	163	4	50 %	0 %	474
4	16m x 28m	352	4	50 %	0 %	486
5	17m x 10m	134	4	25 %	0 %	338
6	12m x 11m	104	4	50 %	0 %	449
7	9m x 6m	42	2	100 %	0 %	295
8	8m x 6m	38	2	0 %	0 %	415
9	13m x 8m	82	4	75 %	0 %	477
10	7m x 8m	44	4	75 %	0 %	300
11	11m x 9m	78	4	75 %	0 %	358
12	11m x 8m	69	4	50 %	0 %	400
13	8m x 11m	69	2	0 %	0 %	365
14	6m x 7m	33	4	75 %	25 %	270
15	9m x 8m	57	2	0 %	0 %	243
Moyenne pondérée		108				400 cm

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

Compilation des données par trouée pour les tiges de plus de 30 cm de hauteur

No trouée	Thuya				Sapin		Épinette blanche	
	Nb ¹	% tiges issues de reproduction végétative identifiées	% semis identifiés	Hauteur moyenne (cm)	Nb ²	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		118,0 cm		126,0 cm

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

2 Les tiges de sapin sont toutes issues de semis

Compilation des données par trouée pour les petites tiges (<30 cm)

No trouée	Thuya		Sapin		Épinette blanche	
	Nb ¹	Hauteur moyenne (cm)	Nb ²	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 trouée 7,8, 13 et 15 qui avaient seulement 2 x 1m²

² Les tiges de sapin sont toutes issues de semis