

## 5. Raréfaction du thuya

par

Catherine LAROUCHE, ing.f., M.Sc.

Doctorante en sylviculture

Faculté de foresterie et de géomatique

Université Laval

LAROUCHE, C., 2006. *Raréfaction du thuya*. Chapitre 5 (addenda) du document : Les enjeux de biodiversité relatifs à la composition forestière, P. Grondin et A. Cimon, coordonnateurs. Ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs, Direction de la recherche forestière et Direction de l'environnement forestier, 32 p.

Ce document est disponible sur le site Internet du ministère des Ressources naturelles et de la Faune (MRNF) à l'adresse suivante :

<http://www.mrnf.gouv.qc.ca/forets/connaissances/connaissances-activites-diversite.jsp>

## Table des matières

### 5. Raréfaction du thuya

5.1 Introduction .....	1
5.2 Répartition géographique .....	2
5.3 Évidences de raréfaction du thuya .....	3
5.3.1 Au Québec .....	4
5.3.2 Aux États-Unis .....	9
5.4 Autécologie du thuya occidental.....	12
5.5 Dynamique du thuya dans les peuplements naturels.....	14
5.5.1 Cédrières pures .....	14
5.5.2 Peuplements mélangés .....	14
5.6 Dynamique du thuya dans les peuplements aménagés .....	16
5.6.1 Coupes totales .....	17
5.6.2 Coupes par bandes .....	18
5.6.3 Coupes progressives .....	19
5.6.4 Jardinage .....	19
5.6.4.1 Coupes de jardinage par pied d'arbre .....	20
5.6.4.2 Coupes de jardinage par trouées .....	20
5.6.5 Éclaircies précommerciales et commerciales.....	21
5.7 Pistes de solution afin de limiter la raréfaction du thuya .....	22
5.8 Acquisition de connaissances .....	23
5.8.1 Besoins de connaissances supplémentaires.....	23
5.8.2 Recherches en cours .....	24
5.9 Conclusion .....	25
5.10 Références .....	26

## Liste des tableaux et des figures

Tableau 1.	Volume marchand brut de thuya (m <sup>3</sup> ) lors du 3 <sup>e</sup> inventaire décennal et pourcentage (%) par sous-domaine bioclimatique. Adapté des tableaux d'inventaire (MRNF) .....	3
Tableau 2.	Volume marchand brut de thuya (m <sup>3</sup> ) par inventaire décennal et évolution (%) du volume depuis le premier inventaire. Adapté des tableaux d'inventaire décennal (MRNF).....	5
Tableau 3.	Nombre total de placettes-échantillons permanentes (PEP) par sous-domaine bioclimatique; nombre de PEP par sous-domaine utilisé pour la figure 2; pourcentage de PEP contenant au moins une tige de thuya .....	6
Figure 1.	Répartition et importance relative du thuya occidental dans les sous-régions écologiques du Québec méridional. Source : MRNF.....	2
Figure 2.	Évolution du nombre de tiges à l'hectare par classe de diamètre mesurée dans les placettes-échantillons permanentes. Source : MRNF. ....	7
Figure 3.	Mesure indirecte de la densité de cerf de Virginie basée sur le nombre de prises en 2004 au Québec. Source : MRNF.....	8
Figure 4.	Distribution des tiges de thuya (ti/ha) par classe de diamètre (cm); a) aire commune 071-01; b) réserve faunique Papineau-Labelle.....	9
Figure 5.	Moyenne annuelle des volumes sur pied de thuya au Maine (millier de m <sup>3</sup> ). Source : McWILLIAMS <i>et al.</i> 2005. ....	10
Figure 6.	Évolution du nombre de tiges par hectare par classe de diamètre mesurée à tous les dix ans à la forêt expérimentale de Penobscot (Maine, USA); les lettres différentes représentent des différences significatives entre chaque année de mesure pour une même classe de diamètre à un niveau $\alpha = 0,05$ . Source : LAROUCHE et KENEFIC, <i>en préparation</i> . ....	11
Figure 7.	Pourcentage de la surface terrière totale en thuya dans la forêt expérimentale de Penobscot (Maine, USA) entre 1955 et 2005. Source : LAROUCHE et KENEFIC, <i>en préparation</i> .....	11

## 5.1 Introduction

Le thuya (*Thuja occidentalis* L.) forme des cédrières sur des stations mal drainées ou sur les falaises (ROBITAILLE et SAUCIER 1998), mais il abonde aussi dans divers types de peuplements où il se retrouve en mélange avec d'autres essences tant résineuses que feuillues (JOHNSTON 1990). Malgré le fait que le thuya soit une essence de seconde importance dans plusieurs peuplements où il est présent, il est d'un grand intérêt dans le maintien de la biodiversité (MILLER 1990). Des inventaires fauniques au Michigan ont démontré que 84 espèces différentes de mammifères et d'oiseaux habitent des peuplements ayant une composante de thuya (MILLER 1990).

L'exploitation du thuya est en expansion dans plusieurs régions du Québec (MRN 2002; MAIBEC 2005). Il s'agit d'un bois de grande valeur (ROONEY *et al.* 2002) ayant des usages multiples et surprenants. Ce bois résistant est utilisé en construction, en ornementation, pour la fabrication de papier Kraft, etc. (JOHNSTON 1990; FORTIN 2002). Ce sont les peuplements mélangés contenant une composante secondaire de thuya qui alimentent le plus l'industrie en tiges de qualité (JOHNSTON 1990; MILLER 1990) et c'est dans ces peuplements que la situation du thuya est la plus critique. Par exemple, dans les travaux d'éclaircie précommerciale, la présence d'une tige de thuya est tolérée là où le sapin et l'épinette sont absents (MRN 2002). En d'autres mots, l'aménagement des peuplements mélangés accorde un intérêt mitigé au maintien et au renouvellement de cette essence.

L'enjeu de ce chapitre porte sur la raréfaction du thuya en tant qu'espèce compagne dans les peuplements aménagés, comparativement aux peuplements primitifs. Le maintien du thuya constitue un élément reconnu comme prioritaire (MRN 2002), car la diminution de la présence de cette essence dans les forêts québécoises pourrait avoir des conséquences non négligeables dans un contexte d'aménagement forestier durable. Plus spécifiquement, cet enjeu peut se définir comme suit :

- en tant qu'essence compagne, le thuya est souvent négligé lors de l'exécution de traitements sylvicoles;
- le stock de thuya en provenance des strates mélangées sapin-épinette-thuya ne se renouvelle pratiquement pas;
- la protection des milieux aquatiques (bandes riveraines) et la mise en valeur d'une autre ressource (habitat faunique) monopolisent un volume important de thuyas, ce qui a un impact majeur sur la possibilité forestière de cette essence.

Lorsqu'il est question de la dynamique du thuya, nous faisons souvent face à la rareté d'information, aux conditions expérimentales différentes et aux opinions divergentes des auteurs. Le but de ce chapitre

est de répondre aux deux questions suivantes : (1) la raréfaction du thuya comme essence secondaire est-elle réellement un problème? (2) s'il y a effectivement une diminution du thuya, quelles sont les pistes de solution pour la contrer? Pour y arriver, l'état actuel des connaissances sur l'autécologie du thuya, la comparaison de sa dynamique en peuplements mélangés naturels et aménagés, ainsi que des pistes de solution basées sur la littérature provenant du Québec et des environs seront présentés.

## 5.2 Répartition géographique

Le thuya est une espèce communément rencontrée dans les forêts du sud-est du Canada et du nord-est des États-Unis (JOHNSTON 1990; MILLER 1990; HEITZMAN *et al.* 1997). Dans la province de Québec, le thuya se retrouve principalement au sud du 48° parallèle (figure 1). Les concentrations élevées de thuya sont plutôt rares et ne constituent qu'un faible pourcentage du territoire. Par contre, le fait qu'il soit en présence sur la majorité de son aire de distribution confirme qu'il est principalement une essence secondaire dans les peuplements mélangés (JOHNSTON 1990) (figure 1).

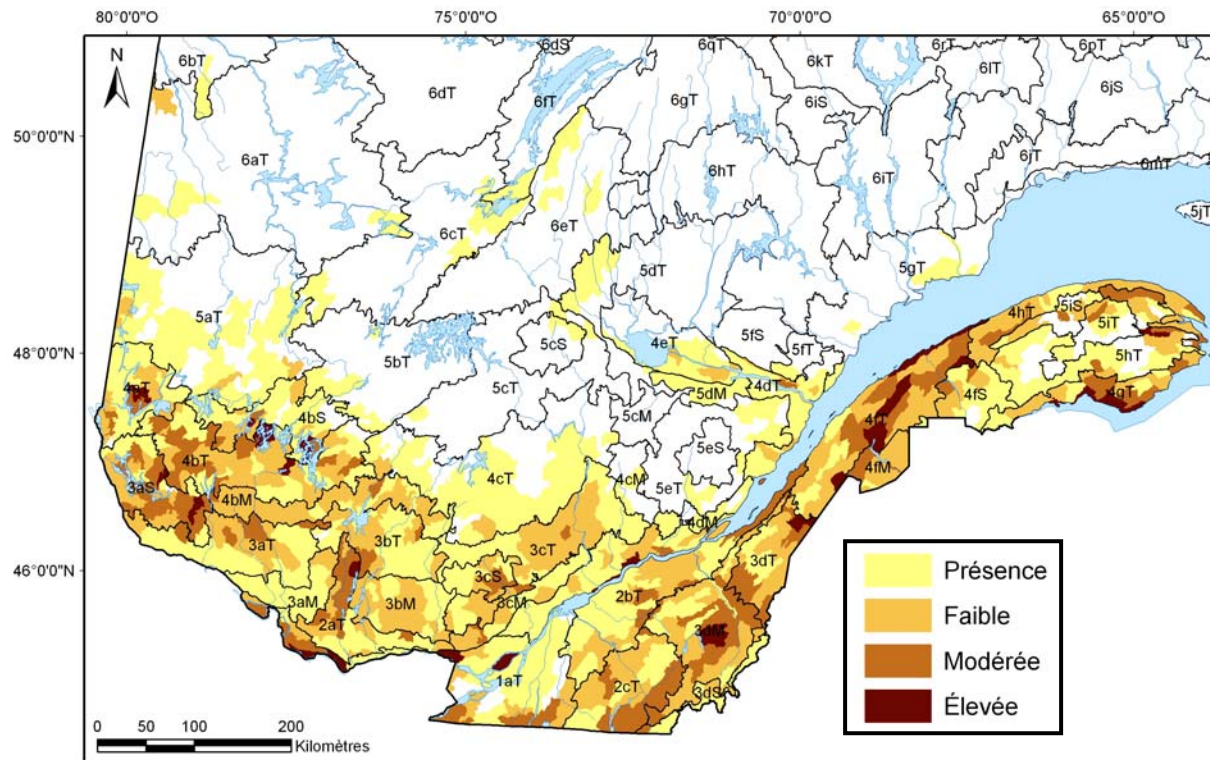


Figure 1. Répartition et importance relative du thuya occidental dans les sous-régions écologiques du Québec méridional. Source : MNRF.

Note : L'importance relative a été déterminée grâce à la surface terrière des peuplements. À partir de l'ensemble des placettes d'échantillonnage réalisées lors de l'inventaire écologique du MRNF, un recouvrement total de thuya a été calculé par district écologique. Par la suite, ce recouvrement a été divisé par la superficie forestière productive du district. Les résultats obtenus ont été transformés en classes (Présence = 0,01 à 4,53 %, Faible = 4,54 à 11,07 %, Modérée = 11,08 à 21,50 % et Élevée = 21,51 à 45,77 %).

Selon l'inventaire québécois du troisième décennal, le thuya totalise quelque 58,5 Mm<sup>3</sup> dans l'ensemble du Québec. C'est dans les sous-domaines de la sapinière à bouleau jaune de l'Ouest (33,51 %) et de l'érablière à bouleau jaune de l'Ouest (32,71 %) qu'on retrouve les plus grands volumes de thuyas (tableau 1). Ce territoire correspond aux régions écologiques des Plaines et coteaux du lac Simard (4a), des Coteaux du réservoir Cabonga (4b), des Collines du moyen Saint-Maurice (4c), des Collines de l'Outaouais et du Témiscamingue (3a) et des Collines du lac Nominingue (3b) (figure 1).

Tableau 1. Volume marchand brut de thuya (m<sup>3</sup>) lors du 3<sup>e</sup> inventaire décennal et pourcentage (%) par sous-domaine bioclimatique. Adapté des tableaux d'inventaire (MRNF).

Sous-domaines bioclimatiques	3 <sup>e</sup> inventaire décennal (m <sup>3</sup> )	Pourcentage (%)
Érablière à caryer cordiforme (1)		
Érablière à tilleul de l'Est (2 est)	436 626	0,74
Érablière à tilleul de l'Ouest (2 ouest)		
Érablière à bouleau jaune de l'Ouest (3 ouest)	19 156 281	32,71
Érablière à bouleau jaune de l'Est (3 est)	5 708 494	9,75
Sapinière à bouleau jaune de l'Ouest (4 ouest)	19 626 462	33,51
Sapinière à bouleau jaune de l'Est (4 est)	7 845 342	13,40
Sapinière à bouleau blanc de l'Ouest (5 ouest)	748 315	1,28
Sapinière à bouleau blanc de l'Est (5 est)	4 981 287	8,51
Pessière à mousses de l'Ouest (6 ouest)	61 111	0,10
Pessière à mousses de l'Est (6 est)	429	0,00
<b>Ensemble du Québec</b>	<b>58 564 347</b>	<b>100,00</b>

### 5.3 Évidences de raréfaction du thuya

Selon plusieurs auteurs, la présence du thuya semble avoir diminué dans le temps sur la majorité de son aire de distribution (SICCAMA 1971; LORIMER 1977; SMITH et BORCZON 1981; MILLER *et al.* 1991; SCHAFFER 1996; HEITZMAN *et al.* 1997, 1999; CORNETT *et al.* 2000a, 2000b; COGBILL *et al.* 2002; ETHERIDGE *et al.* 2005; BOUCHER *et al.* 2006). Selon toute vraisemblance, la raréfaction du thuya pourrait découler non seulement d'une exploitation inadaptée due au manque de connaissances, mais aussi de l'accroissement et du déplacement vers le nord des populations de cervidés (GRIGAL et OHMANN 1975; CHIMNER et HART 1996). L'expansion des populations de cerfs de Virginie (*Odocoileus virginianus*) et la succession plus hâtive dans les forêts exploitées commercialement peuvent avoir des implications à moyen et long terme sur les processus de régénération et de croissance (CORNETT *et al.* 2000a). De plus, la régénération des peuplements purs et mélangés actuels semble très problématique (CORNETT *et al.* 2000a, GRONDIN 2006).

Le problème de la raréfaction du thuya et du changement de composition des peuplements mélangés contenant du thuya est peu connu et étudié au Québec, mais il a été amplement décrit aux États-Unis

(SICCAMA 1971; LORIMER 1977; HEITZMAN *et al.* 1997, 1999; MILLER *et al.* 1991; CORNETT *et al.* 2000a), au Nouveau-Brunswick (ETHERIDGE *et al.* 2005) et en Ontario (SMITH et BORCZON 1981; SCHAFFER 1996; JACKSON *et al.* 2000; COGBILL *et al.* 2002). Les changements de latitude et de longitude entraînent des variations dans les caractéristiques forestières et fauniques, mais certaines conditions écologiques demeurent similaires permettant des comparaisons avec le Québec. De plus, par principe de précaution, il faut essayer de prévenir l'avènement des situations problématiques des provinces et pays voisins sur le territoire québécois.

### 5.3.1 Au Québec

La raréfaction du thuya est un sujet préoccupant dans plusieurs régions du Québec (Bas-Saint-Laurent (01), Capitale-Nationale (03), Montréal (06), Outaouais (07), Abitibi-Témiscamingue (08) et Nord-du-Québec (10)) (MRN 2002). Dans ces régions, les forestiers ont observé des diminutions de la quantité de régénération, des gaules et des tiges marchandes dans les peuplements aménagés (MRN 2002). Or, les inventaires décennaux montrent une augmentation du volume marchand brut de thuya (23,4 %) sur l'ensemble du Québec entre le premier et le troisième inventaire décennal (tableau 2). En analysant ces données par sous-domaines bioclimatiques, trois d'entre eux, soit les pessières à mousses de l'Est et de l'Ouest, ainsi que la sapinière à bouleau blanc de l'Ouest, présentent des diminutions importantes du volume de thuyas de -94,4 % (-7 289 m<sup>3</sup>), -63,7 % (-107 395 m<sup>3</sup>) et -20,9 % (-197 589 m<sup>3</sup>) respectivement. Quatre autres sous-domaines présentent de faibles diminutions, soit l'érablière à caryer cordiforme, l'érablière à tilleul de l'Est et de l'Ouest (-3,2 % (-14 204 m<sup>3</sup>)) et la sapinière à bouleau blanc de l'Est (-0,9 % (-42 774 m<sup>3</sup>)) (tableau 2).

Une étude effectuée en Gaspésie, sur un territoire couvert par huit feuillets cartographiques, démontre que le volume de thuyas sur le terrain ne correspond pas aux données provenant des inventaires du troisième décennal (FORTIN 2002). Les inventaires ont été effectués dans des peuplements mélangés où le thuya ne fait pas partie de l'appellation. L'extrapolation des volumes de thuyas à partir des parcelles d'inventaire permanentes et temporaires induit une surestimation du volume dans les strates forestières (FORTIN 2002). Selon l'auteur, une proportion moyenne de 89 % du volume de thuyas dans ces huit feuillets est fondée sur des peuplements où la présence de thuya est incertaine (FORTIN 2002).



Tableau 2. Volume marchand brut de thuya (m<sup>3</sup>) par inventaire décennal et évolution (%) du volume depuis le premier inventaire. Adapté des tableaux d'inventaire décennal (MRNF).

Sous-domaines bioclimatiques	Inventaire décennal			Évolution (%)	
	1 <sup>er</sup>	2 <sup>e</sup>	3 <sup>e</sup>	(1 <sup>er</sup> - 2 <sup>e</sup> )	(1 <sup>er</sup> - 3 <sup>e</sup> )
1, 2 est, 2 ouest	450 830	401 521	436 626	-10,9	-3,2
3 ouest	14 456 544	18 730 906	19 156 281	29,6	32,5
3 est	3 956 574	4 525 407	5 708 494	14,4	44,3
4 ouest	15 296 664	18 108 005	19 626 462	18,4	28,3
4 est	7 138 890	7 761 554	7 845 342	8,7	9,9
5 ouest	945 904	728 043	748 315	-23,0	-20,9
5 est	5 024 061	4 722 636	4 981 287	-6,0	-0,9
6 ouest	168 506	18 959	61 111	-88,7	-63,7
6 est	7 718	2 970	429	-61,5	-94,4
<b>Ensemble du Québec</b>	47 445 691	55 000 001	58 564 347	15,9	23,4

Il faut aussi se questionner sur la disponibilité de ces volumes de thuyas pour l'exploitation forestière. Étant donné la protection des bandes riveraines et des habitats fauniques lors des opérations forestières, les volumes qui ne sont pas disponibles doivent être soustraits de la possibilité. Le tableau 2 présente le volume marchand brut de thuya sur les territoires accessibles ayant des pentes de moins de 40 % sans égard à la protection. Lors des calculs de possibilité, un facteur de correction est appliqué. Ce facteur est-il réellement adapté à la disponibilité effective du thuya?

Les informations du tableau 2 ne permettent pas de tracer un portrait complet de la situation du thuya au Québec. En effet, une interruption du processus de régénération pourrait être critique pour le maintien à long terme de l'espèce, sans toutefois être détectable au niveau des tiges marchandes à l'intérieur d'un horizon de 30 ans. Pour savoir si la raréfaction du thuya est réellement problématique, il est nécessaire de regarder à la fois le volume par essence, l'abondance de la régénération, ainsi que le nombre de tiges par classe de diamètre. L'évolution de ce dernier peut être analysée grâce aux placettes-échantillons permanentes (PEP) réparties dans tous les domaines bioclimatiques de la forêt publique sous aménagement (tableau 3). La figure 2 présente la distribution du nombre de tiges de thuya en fonction des classes de diamètre dans les PEP où il y a présence d'au moins une tige de thuya, soit 846 sur les 7 181 PEP du réseau de base (11,8 % des PEP) (MRNF 2003).

Tableau 3. Nombre total de placettes-échantillons permanentes (PEP) par sous-domaine bioclimatique; nombre de PEP par sous-domaine utilisé pour la figure 2; pourcentage de PEP contenant au moins une tige de thuya.

Sous-domaines	Nombre de PEP	
	Total	Contenant du thuya
1	124	29 (23,4 %)
2 est	231	86 (37,2 %)
2 ouest	212	42 (19,8 %)
3 est	907	216 (23,8 %)
3 ouest	1 111	233 (21,0 %)
4 est	372	67 (18,0 %)
4 ouest	1 507	151 (10,0 %)
5 est	528	14 (2,7 %)
5 ouest	703	5 (0,7 %)
6 est	841	0 (0 %)
6 ouest	601	3 (0,5 %)
7 est	36	0 (0 %)
<b>Ensemble du Québec</b>	<b>7 181</b>	<b>846 (11,8 %)</b>

Les résultats d'inventaire des PEP peuvent être utilisés pour suivre l'évolution dans le temps de la composition en essences de la forêt (MRNF 2003). La figure 2 démontre que la dynamique du thuya n'est pas uniforme sur l'ensemble du Québec. Ainsi, dans le sous-domaine de l'érablière à tilleul de l'Est (2 est), il y a une diminution significative du nombre de gaules entre 1985 et 2001. Cette diminution est aussi observée dans les sous-domaines de l'érablière à tilleul de l'Ouest (2 ouest) et de l'érablière à bouleau jaune de l'Est (3 est) depuis 1979. Par contre, une augmentation du nombre de gaules par hectare est significative au cours de cette même période dans les sous-domaines de l'érablière à bouleau jaune de l'Ouest (3 ouest), ainsi que de la sapinière à bouleau jaune de l'Est (4 est) et de l'Ouest (4 ouest). Quant aux autres classes de diamètre, le nombre de tiges par hectare demeure plutôt constant dans le temps entre 1970 et 2001. Or, le nombre de tiges marchandes pourrait commencer à diminuer à moyen terme dans les sous-domaines où la régénération est déjà déficiente (figure 2).

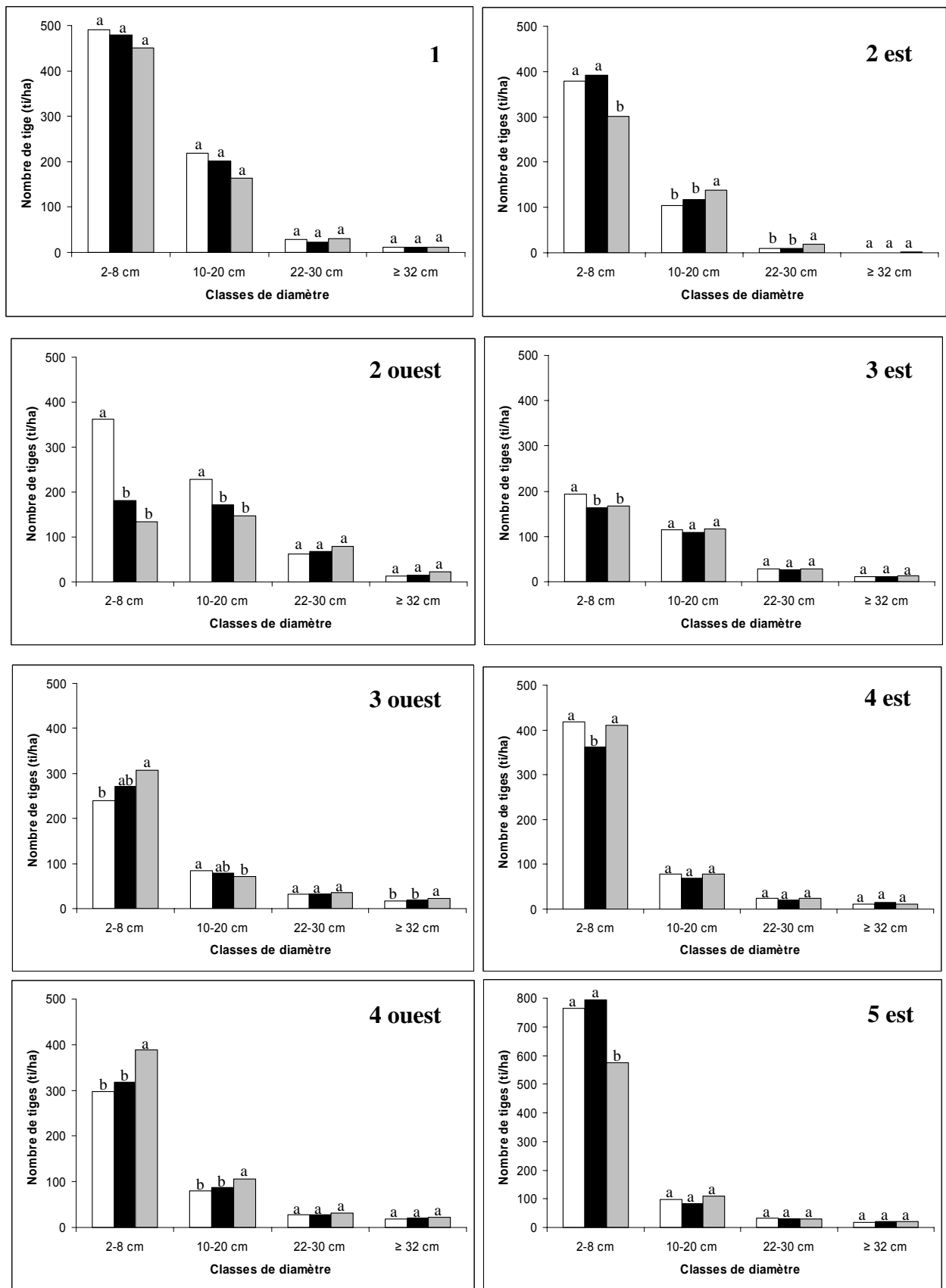


Figure 2. Évolution du nombre de tiges à l'hectare par classe de diamètre mesurée dans les placettes-échantillons permanentes; □ 1970-1977, ■ 1978-1989, ▒ 1985-2001; les lettres différentes représentent des différences significatives entre chaque année de mesure pour une même classe de diamètre à un niveau  $\alpha = 0,05$ . Source : MRNF.

En outre, la dynamique du thuya est significativement différente selon les sous-domaines étudiés. Cette situation pourrait être attribuable à la répartition du cerf de Virginie dont les populations dans le nord-est des États-Unis et le sud du Québec sont particulièrement élevées (figure 3). Ainsi, leur rôle dans la dynamique de régénération pourrait être différent dans les régions où le cerf se retrouve plus près de la limite nord de son aire de distribution (figures 2 et 3) (Grondin 2006). Il reste à déterminer si les variations du nombre de tiges de thuya s'accroîtront avec le temps. Si tel est le cas, la régénération et le recrutement du thuya pourraient devenir très problématiques dans le sud de la province et le rendement de la ressource thuya pourrait être affecté sévèrement.

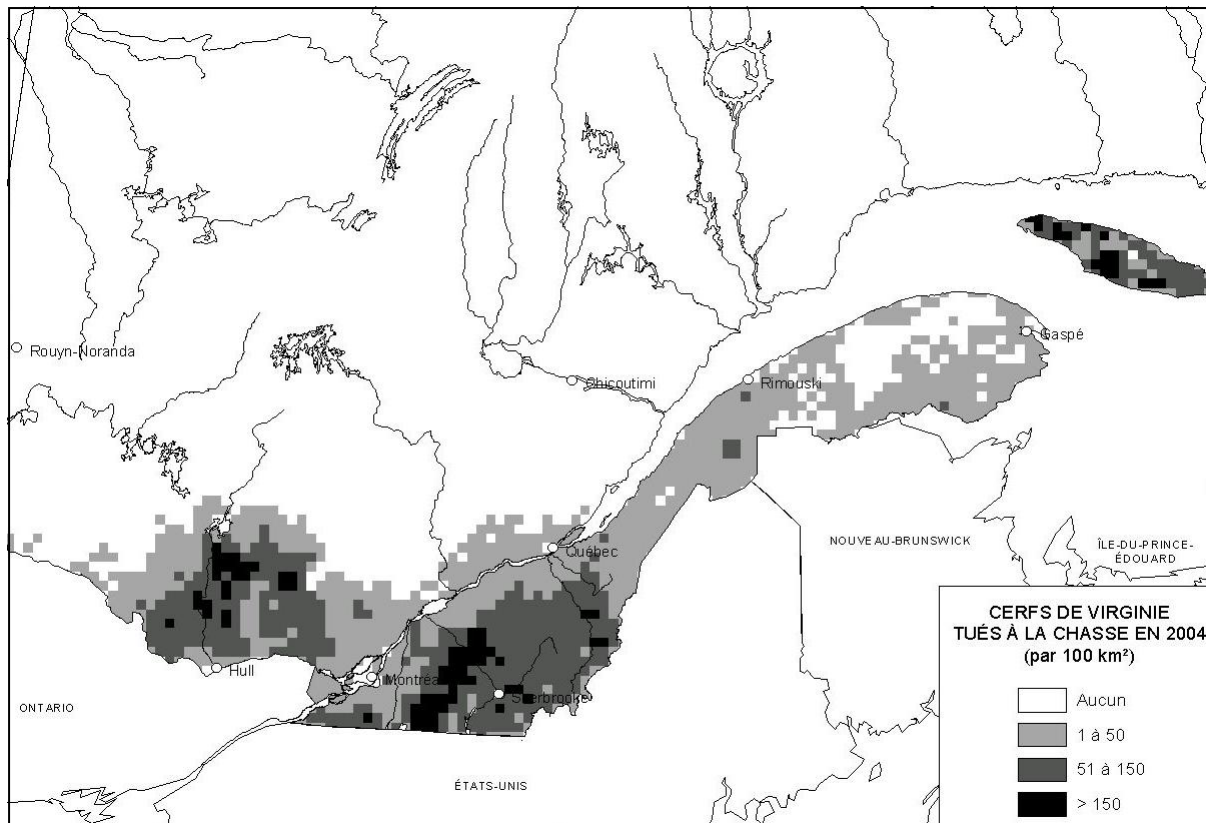


Figure 3. Mesure indirecte de la densité de cerf de Virginie basée sur le nombre de prises en 2004 au Québec. Source : MNRF.

Une étude menée en Outaouais dans l'érablière à bouleau jaune de l'Ouest démontre une dynamique des peuplements mélangés inéquiennes différente dans la Réserve faunique Papineau-Labelle (sous région écologique des Hautes collines du Lac Simon (3b-M)) comparativement à l'aire commune 071-01 (sous région écologique des Collines du lac Saint-Patrice (3a-T)) (GRONDIN 2006). Dans la réserve Papineau-Labelle, la distribution des tiges de thuya en fonction des classes de diamètre présente une forme de cloche, tandis qu'elle est en forme de J inversé sur l'aire commune (figure 4). Dans la réserve, une seule gaule de thuya a été trouvée sur une superficie de 1,5 ha, tandis qu'elles sont nombreuses dans l'aire commune. Les causes de la structure déséquilibrée du thuya dans la réserve pourraient être le

broutement par le cerf et la compétition féroce avec les espèces compétitrices (GRONDIN 2006). Si la situation persiste, le manque de recrutement de tiges de thuya pourrait mener à une pénurie de tiges marchandes et à une diminution de la possibilité forestière de thuya dans cette région.

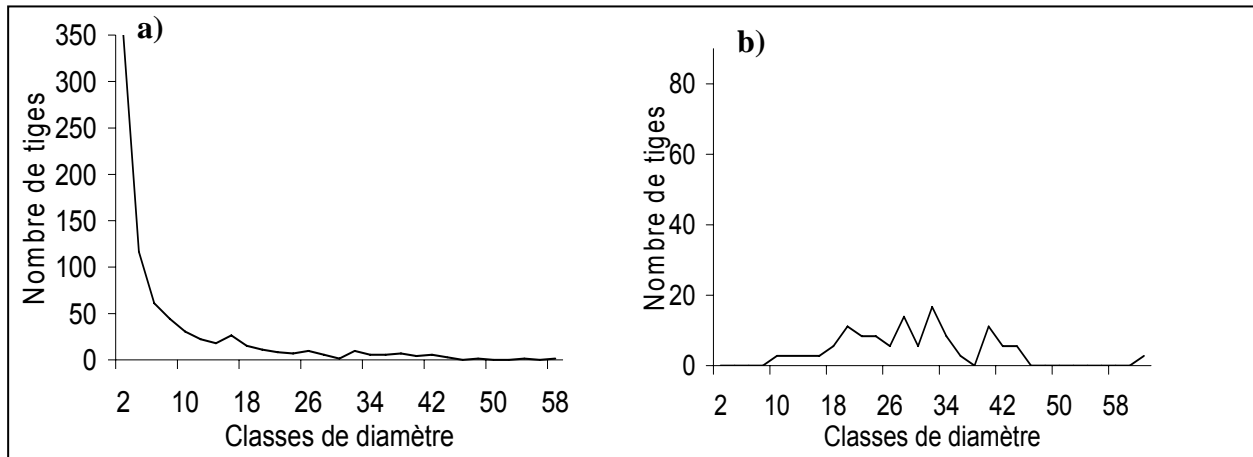


Figure 4. Distribution des tiges de thuya (ti/ha) par classe de diamètre (cm); a) aire commune 071-01; b) Réserve faunique Papineau-Labelle.

Une autre étude réalisée en Gaspésie présente l'évidence de la diminution de l'abondance du thuya entre 1930 et 2002 sur un territoire de 13 550 ha (BOUCHER *et al.* 2006). La comparaison des cartes de 1930 et 2002, ainsi que les inventaires des arbres vivants, des débris ligneux et des souches démontrent l'augmentation de l'érable à sucre (*Acer saccharum* Marsh.), de l'érable rouge (*Acer rubrum* L.), de l'érable de Pennsylvanie (*Acer pensylvanicum* L.) et du bouleau à papier (*Betula papyrifera* Marsh.) au détriment du thuya, du sapin baumier (*Abies balsamea* (L.) Mill.) et de l'épinette blanche (*Picea glauca* (Moench) Voss). De plus, la présence de bois mort de thuya dans plusieurs peuplements mélangés et résineux confirme qu'on le retrouvait ailleurs que sur les tourbières et les falaises où il est présent aujourd'hui (ROBITAILLE et SAUCIER 1998).

### 5.3.2 Aux États-Unis

La littérature concernant la raréfaction du thuya est plus abondante aux États-Unis qu'au Québec. Une étude rapporte une diminution du thuya dont la présence serait passée de 8 % du paysage à 4 % dans le nord-est du Minnesota depuis la colonisation (CORNETT *et al.* 2000a). La figure 5 démontre clairement que le volume récolté et la mortalité surpassent l'accroissement du thuya au Maine. Le volume net étant négatif, la diminution de la quantité de cette essence est évidente depuis 1995.

C'est en étudiant l'évolution du nombre de tiges à l'hectare que le problème de la raréfaction du thuya est le plus apparent. Il est manifeste que le recrutement des petites tiges vers les niveaux supérieurs ne

se produit pas (figure 6). Il en résulte donc une diminution exponentielle du nombre de gaules à l'hectare depuis 1965, tandis que le nombre de tiges marchandes à l'hectare diminue aussi progressivement depuis 1975 (figure 6). On observe aussi une diminution significative du pourcentage de la surface terrière à l'hectare des peuplements occupée par le thuya dès 1975 (figure 7).

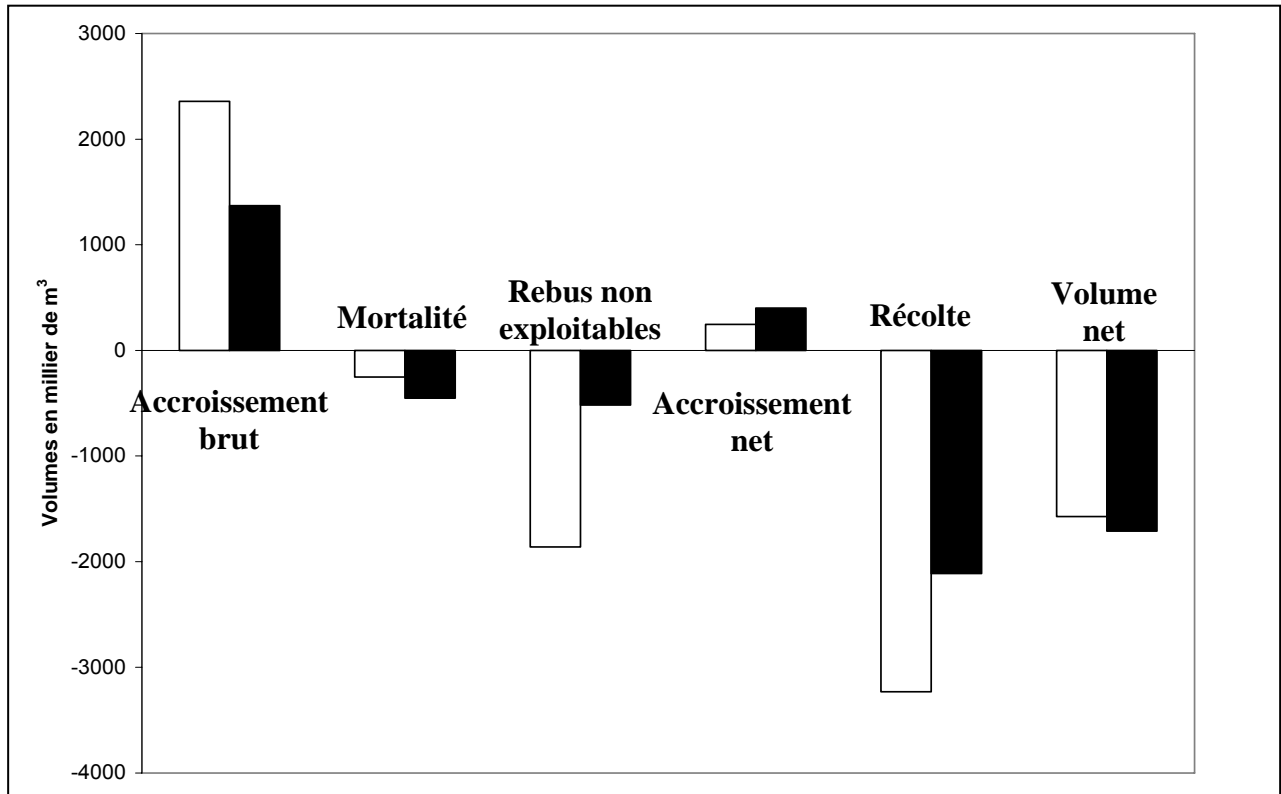


Figure 5. Moyenne annuelle des volumes sur pied de thuyas au Maine (millier de m<sup>3</sup>), □ 1995, ■ 2003. Source : McWILLIAMS *et al.* 2005.

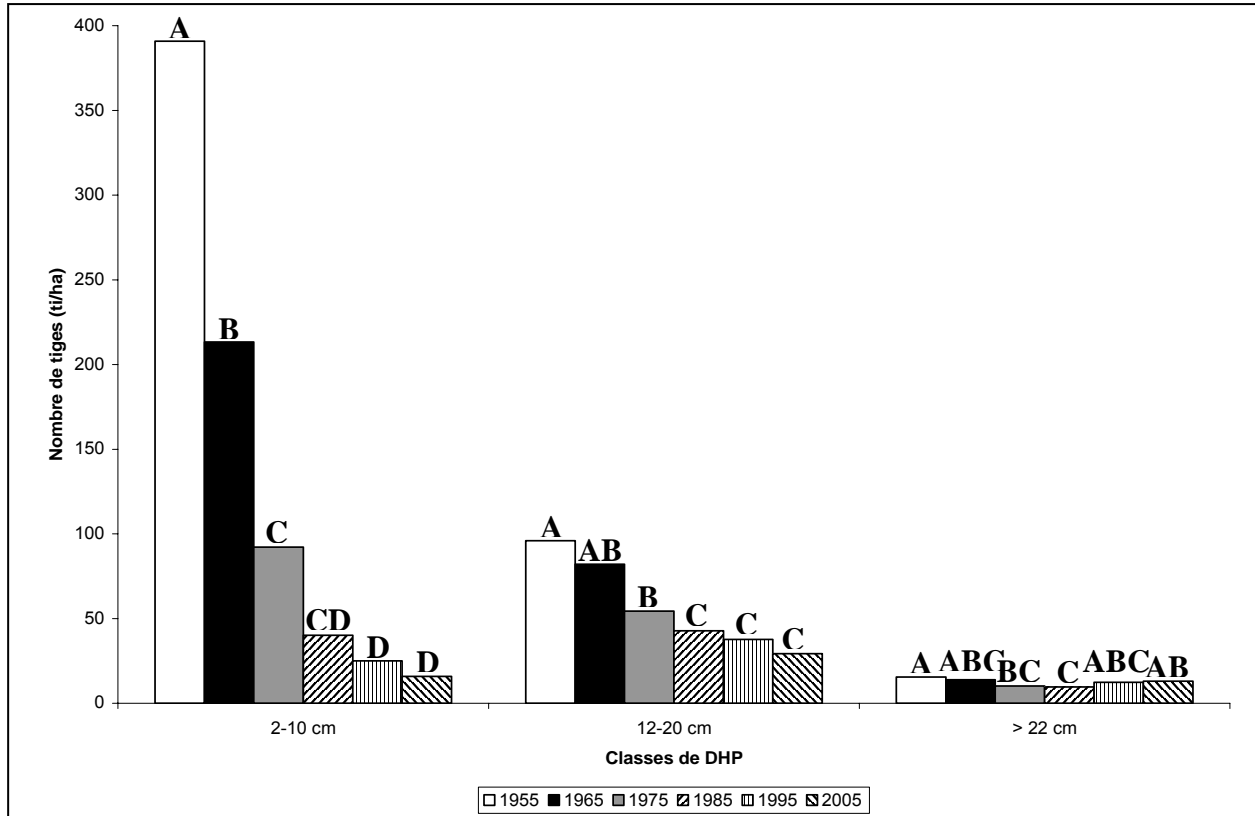


Figure 6. Évolution du nombre de tiges par hectare par classe de diamètre mesurée à tous les dix ans à la forêt expérimentale de Penobscot (Maine, USA); les lettres différentes représentent des différences significatives entre chaque année de mesure pour une même classe de diamètre à un niveau  $\alpha = 0,05$ . Source : LAROUCHE et KENEFIC, *en préparation*.

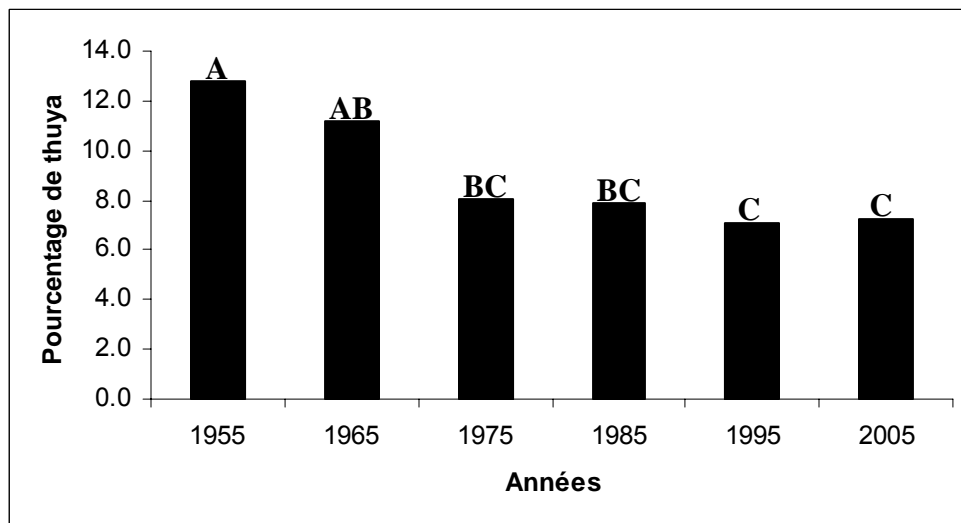


Figure 7. Pourcentage de la surface terrière totale en thuya dans la forêt expérimentale de Penobscot (Maine, USA) entre 1955 et 2005. Source : LAROUCHE et KENEFIC, *en préparation*.

#### 5.4 Autécologie du thuya occidental

Pour déterminer les traitements sylvicoles adéquats dans un peuplement donné, il faut préalablement connaître les caractéristiques des essences visées. Ainsi, pour assurer la pérennité du thuya dans les peuplements, il est essentiel de s'assurer d'une bonne régénération. Chez le thuya, elle peut être sexuée ou asexuée selon les types de peuplement et les conditions de croissance (JOHNSTON 1990; MILLER 1990).

Selon la littérature, la régénération asexuée est le principal mode de régénération utilisé par le thuya, surtout en milieu humide. Ainsi, VERME et JOHNSTON (1986), MILLER (1990) et BERGERON (2000) affirment que plus de la moitié des tiges sont d'origine végétative. Le succès du marcottage dépend à la fois de la présence de thuyas âgés de plus de 5 ans (JOHNSTON 1990; MILLER 1990), de la densité et de l'âge du peuplement.

Le succès de régénération du thuya par voie sexuée dépend simultanément de la production, de la dispersion et de la prédation des semences, de la disponibilité d'un substrat de germination adéquat, ainsi que de conditions favorables à l'établissement et à la survie des semis (JOHNSTON 1990). Chez le thuya, la production massive de cônes débute dès l'âge de 30 ans (JOHNSTON 1990; SCHAFFER 1996), mais elle est très variable selon les années (ROONEY *et al.* 2002). Lors des bonnes années semencières, se succédant aux 3 à 5 ans (JOHNSTON 1990; MILLER 1990), un thuya mature peut produire jusqu'à 260 000 semences (JOHNSTON 1990). Les distances de dissémination relativement courtes sont de l'ordre de deux à trois hauteurs d'arbres (JOHNSTON 1990; MILLER 1990). La prédation des semences de thuya par les petits mammifères est rarement observée (GASHWILER 1967, 1971; BARTLETT *et al.* 1991). Les meilleures conditions de germination et d'établissement semblent être les substrats forestiers perturbés (ZASADA *et al.* 1992; HEITZMAN *et al.* 1997; ROONEY *et al.* 2002) et le bois pourri (SCOTT et MURPHY 1987; JOHNSTON 1990; ROONEY *et al.* 2002).

L'établissement et le passage des semis et des marcottes au stade gaulis (recrutement) semblent critiques, mais les circonstances entourant leur réussite demeurent nébuleuses (HEITZMAN *et al.* 1997, 1999). Il semble que l'aménagement forestier inadapté à la reproduction de cette essence puisse accroître les problèmes de régénération et de recrutement (LAROCHE et KENEFIC, *en préparation*). En plus des facteurs limitatifs énumérés précédemment, il faut aussi considérer le broutement par les herbivores comme une cause importante du manque de recrutement (ALVERSON *et al.* 1988; PREGITZER 1991; CORNETT *et al.* 2000a).

Le cerf de Virginie, le lièvre d'Amérique (*Lepus americanus*) et l'orignal (*Alces alces*) sont les mammifères se nourrissant le plus fréquemment de thuya (JOHNSTON 1990). Le cerf est sans aucun doute le plus néfaste des trois (HEITZMAN *et al.* 1997). Le thuya est en effet une espèce de prédilection pour ce



mammifère en fournissant un excellent couvert thermal et une nourriture hivernale nutritive (VERME 1965; OZOGA 1968; VERME et JOHNSTON 1986; JOHNSTON 1990). Le broutement cause souvent des dommages sévères aux semis et aux gaules. Qu'il s'agisse de peuplements purs ou mixtes, de ravages ou d'aires d'alimentation occasionnelles, le broutement de la régénération de thuya n'est pas négligeable. Ce problème est assez important pour compromettre l'établissement suffisant à la reconstruction du peuplement après une perturbation naturelle ou anthropique (GRIGAL ET OHMANN 1975; JOHNSTON 1972, 1977, 1990). Selon des analyses de croissance, les thuyas sont susceptibles au broutement tant qu'ils n'ont pas une hauteur de plus de 3 m, soit pour une période entre 20 et 40 ans (VERME et JOHNSTON 1986; HEITZMAN *et al.* 1999; LAROUCHE *en préparation*).

Le thuya est généralement considéré comme tolérant à l'ombre, mais tout dépendant de son âge, il est souvent inséré dans trois classes : intermédiaire, tolérant et très tolérant (JOHNSTON 1990). Les semis ont besoin de lumière pour s'établir, tandis que les marcottes et les arbres matures ont la capacité de demeurer vigoureux à l'ombre des grands arbres durant de longues périodes de suppression (HEITZMAN *et al.* 1999). Bien sûr, la disponibilité de lumière, tout comme la richesse du sol, affectera le taux de croissance. C'est sous un couvert partiel sur des stations mésiques que les thuyas atteignent les meilleurs accroissements, à condition qu'ils ne soient pas supprimés par la compétition (JOHNSTON 1990). D'ailleurs, ces peuplements contribuent de façon importante à approvisionner l'industrie en tiges de qualité (MILLER 1990).

L'intervalle de temps avant que les tiges de thuya atteignent un diamètre marchand varie de 80 à 160 ans, tout dépendant de la qualité du site et des objectifs d'aménagement (JOHNSTON 1990). Selon une étude dans les cédrières en Gaspésie, les accroissements annuels du thuya oscillent entre 0,6 et 6,4 mm (HÉBERT et FORTIN 2003). Le taux annuel moyen d'accroissement diamétral est donc de l'ordre de 2,3 mm, ce qui signifie qu'il faut attendre environ 130 ans pour obtenir un thuya de 30 cm de diamètre (HÉBERT et FORTIN 2003). Cela correspond au résultat de BLANCHET (1982) qui estimait l'accroissement annuel moyen des thuyas sur les sites mésiques entre 2,0 et 2,2 mm. Les thuyas atteignent rarement plus de 20 m de hauteur (BLANCHET 1982; FARRAR 1996; BERGERON 2000). La longévité du thuya est surprenante, SCHAFFER (1996) a observé des thuyas de plus de 400 ans, tandis que FARRAR (1996) parle d'arbres rabougris de plus de 700 ans. Le record de longévité du thuya au Québec revient au Lac Duparquet (Abitibi) où un thuya de 908 ans a été observé (ARCHAMBAULT et BERGERON 1992).

La carie de cœur est un problème touchant plus de 90 % des thuyas matures (HOFMEYER *en préparation*). Généralement, la carie ne cause pas la mort de l'arbre, mais le rend plus vulnérable au chablis. Le thuya est relativement exempt d'attaque sérieuse par les insectes (CURTIS 1946; ROSE *et al.* 2000). Les fourmis charpentières et les mineuses attaquent communément le thuya (JOHNSTON 1990). Dans le sud du Canada, elles causent des dommages sévères au feuillage, aux branches et aux troncs et elles peuvent parfois causer la mortalité des arbres (ROSE *et al.* 2000). Seulement quelques maladies

attaquent le thuya, spécialement dans les peuplements immatures (JOHNSTON 1990). Au Québec, il faut souligner particulièrement les rouilles (*Phacidium sp.*) qui causent des dommages importants dans les pépinières et les haies (HEPTING 1971 dans JOHNSTON 1990).

## 5.5 Dynamique du thuya dans les peuplements naturels

Le thuya est commun en peuplements équiennes et inéquiennes. Les peuplements équiennes se développent après des perturbations majeures comme des feux et des épidémies sévères. Sur les sites peu fertiles, ces perturbations contribuent à créer des cédrières pures. Par contre, ces peuplements sont mélangés quand la compétition est sévère et que les conditions de croissance sont bonnes (JOHNSTON 1990). Quant aux peuplements inéquiennes de thuya, ils sont généralement associés avec les stades de fin de succession en mélange avec d'autres essences intermédiaires et tolérantes (JOHNSTON 1990). Le développement du thuya se fait grâce aux petites ouvertures créées par la chute de branches, la mortalité individuelle et les épidémies légères (JOHNSTON 1990). La longévité du thuya lui permet de succéder graduellement aux autres essences qui lui sont associées (GRIGAL ET OHMANN 1975; JOHNSTON 1990; Bergeron 2000).

Selon GRIGAL et OHMANN (1975) et ASSELIN *et al.* (2001), la présence de la régénération et des communautés de thuya n'est pas déterminée par les conditions environnementales, mais plutôt par la végétation présente en interaction avec la présence ou l'absence de perturbations. Sous un régime de perturbations naturelles, le thuya se retrouve en cédrières pures ainsi qu'en peuplements mélangés à dominance feuillue ou résineuse.

### 5.5.1 Cédrières pures

De nos jours, la plupart des peuplements purs de thuya sont sur des sites humides (JOHNSTON 1990; ROBITAILLE et SAUCIER 1998; HEITZMAN *et al.* 1999) et c'est principalement dans ces peuplements que se déroulent les études tentant d'élucider l'impact de l'aménagement sur le thuya (HEITZMAN *et al.* 1997; CORNETT *et al.* 2000a; ROONEY *et al.* 2002). Lorsqu'il n'y a pas de perturbations naturelles majeures, par exemple un feu, les cédrières sont très stables (SCHAFFER 1996). Cela s'explique par la longévité du thuya et le fait que le sapin baumier soit la seule essence associée ayant une tolérance à l'ombre suffisante pour croître dans les cédrières denses (SCHAFFER 1996).

### 5.5.2 Peuplements mélangés

Un important volume de thuyas de qualité se retrouve comme essence secondaire dans les peuplements mélangés sur des stations mésiques (JOHNSTON 1990; MILLER 1990) (figure 1). Dans le sud du Québec, il cohabite en mélange hétérogène avec l'érable rouge, le bouleau jaune (*Betula*

*alleghaniensis* Britt.), le bouleau à papier, le peuplier faux-tremble (*Populus tremuloides* Michx.), le sapin baumier, l'épinette blanche, le peuplier baumier (*Populus balsamifera* L.) et le pin blanc (*Pinus strobus* L.) (JOHNSTON 1990; MILLER 1990).

Le thuya cohabite régulièrement avec le sapin baumier et l'épinette pour former des sapinières à thuya (RS1). Ces peuplements sont habituellement irréguliers et le mélange des espèces est hétérogène. Plus les sapinières à thuya sont vieilles, plus la composante de thuya a tendance à augmenter. Lorsque ces sapinières sont aménagées, la raréfaction du thuya devient préoccupante (MRN 2002).

L'information concernant la dynamique naturelle du thuya dans les peuplements mélangés est très limitée (COLLINS *et al.* 1979). Tant au stade de régénération que dans la canopée des peuplements mélangés inéquiennes, le thuya est souvent dominé par d'autres essences (JOHNSTON 1990; HEITZMAN *et al.* 1997; BERGERON 2000). À maturité, le thuya atteint des hauteurs plus faibles que les essences associées (JOHNSTON 1990). Selon l'étude de SCOTT et MURPHY (1987), environ 60 % des plus grandes tiges de thuya dans les parcelles ont été dépassées par d'autres essences. Ces compétiteurs ont généralement une croissance plus rapide et une vie plus courte que le thuya (HEITZMAN *et al.* 1997), ce dernier demeurant latent dans les classes inférieures (MILLER 1990; HEITZMAN *et al.* 1999). La mortalité individuelle des tiges crée des ouvertures dans le couvert permettant aux tiges opprimées de thuya d'atteindre la strate supérieure dans les vieux peuplements. Il s'installe alors une forte variabilité dans la succession des peuplements mélangés à mesure qu'ils avancent en âge (BERGERON 2000).

En règle générale, la régénération du thuya dans ces peuplements semble critique et c'est grâce à la longévité et à la tolérance à l'ombre de cette essence que l'abondance augmente à mesure que les peuplements vieillissent. Généralement, les semis et les marcottes de thuya sont plus abondants dans les vieux peuplements (BERGERON 2000) contenant une composante non négligeable de bois mort (SCOTT et MURPHY 1987; CORNETT *et al.* 2000*b*). Une étude sur l'abondance de la régénération en peuplements naturels en Abitibi démontre que les plus fortes densités de régénération de thuya de plus d'un mètre de hauteur se retrouvent dans les peuplements dominés par les conifères (KNEESHAW et BERGERON 1996). Si ceux-ci ne sont pas perturbés durant une longue période, l'abondance du thuya augmentera comme essence de fin de succession (KNEESHAW et BERGERON 1996).

Selon PREGITZER (1991), la dynamique actuelle du thuya pourrait être totalement différente de celle qui avait cours avant la colonisation. En effet, la population de cervidés était alors moins importante et une abondante régénération préétablie de thuya pouvait être présente, ce qui ne semble plus être le cas de nos jours. Toutefois, aucune étude ne nous permet d'être pleinement convaincus à cet égard malgré l'importance capitale que pourrait revêtir cette différence.

## 5.6 Dynamique du thuya dans les peuplements aménagés

L'aménagement des peuplements court-circuite l'évolution naturelle de ceux-ci et modifie les interactions interspécifiques entre les essences. Tout dépendant des objectifs de production, la stratégie d'aménagement des peuplements mélangés est généralement axée vers le maintien dans le temps et dans l'espace des essences commerciales prioritaires. Les essences secondaires sont souvent récoltées sans aucune stratégie particulière d'aménagement. Or, la présence de ces dernières n'est pas assurée dans l'avenir, car l'aménagement leur est fréquemment peu favorable (SCHAFFER 1996). La proportion de la surface terrière occupée par les essences principales est alors en hausse, tandis que celle des essences secondaires décroît. La composition des peuplements résultants est donc altérée par rapport à la forêt naturelle. Un système sylvicole bien adapté devrait considérer et recréer les caractéristiques écologiques du peuplement dans son ensemble (MILLER 1990). Les objectifs d'aménagement forestier ne doivent pas être limités à la régénération de quelques essences désirées, mais doivent plutôt aider à recréer le spectre total de la structure, de la répartition spatiale et de la composition du peuplement qui sont trouvées dans la nature (SCHAFFER 1996; COATES et al. 2005). Pour y arriver, il est nécessaire d'entreprendre des mesures particulières à très court terme. Dans le cas contraire, la composition des peuplements va continuer à se modifier au détriment du thuya.

Le maintien du thuya dans les peuplements est dépendant des interventions (SCOTT et MURPHY 1987). La composition et la structure du peuplement de succession seront dépendantes de la fréquence et du niveau de perturbation de la canopée, ainsi que de la régénération naturelle préétablie (DOUCET et GAGNON 1994; KNEESHAW et BERGERON 1996, 1998). Au Minnesota, le Département des Ressources Naturelles recommande de récolter les thuyas à un âge minimal compris entre 100 et 160 ans selon les qualités de sites et les objectifs d'aménagement (SANDO 1994). Selon HEITZMAN *et al.* (1999) et BERGERON (2000), si la période de rotation du système sylvicole laisse suffisamment de temps aux thuyas préétablis pour se développer, cette essence va augmenter sa dominance dans les peuplements avec le temps. De plus, la diminution de l'intervalle entre deux récoltes cause une importante baisse de la quantité de bois mort sur le sol forestier (HÉLY *et al.* 2000). Cette situation peut interférer avec l'établissement des conifères (SIMARD *et al.* 2003) et engendrer un enfeuillement des peuplements mélangés (DÉRY 1995; JACKSON *et al.* 2000). Plusieurs peuplements de thuya récoltés ne se sont pas régénérés en thuya, mais plutôt en essences compétitrices feuillues ou résineuses (NELSON 1951 *dans* CHIMNER et HART 1996; THORNTON 1957; BOUCHER *et al.* 2006). CHIMNER et HART (1996) ont d'ailleurs mesuré une diminution exponentielle du nombre de semis de thuya, lorsque celui de feuillus et d'arbustes augmente ( $r^2=0,70$ ,  $p<0,01$ ).

Le thuya est très efficace à coloniser les territoires récemment perturbés (HEITZMAN *et al.* 1997) et le bord des routes à la suite du creusage des fossés. Il arrive à s'installer facilement sur les superficies où le parterre a été perturbé par le feu et le scarifiage (HEITZMAN *et al.* 1997; DAVIS *et al.* 1998, CORNETT *et al.*

2000b). Dans le cas des superficies brûlées, les semis peuvent bénéficier de l'élimination de la régénération compétitrice et de la hausse de pH consécutives au feu (LANASA et ZUIDEMA 1991; PREGITZER 1991). Quant au scarifiage, il rend le lit de germination favorable à l'établissement des essences ayant de petites graines, en mélangeant la litière et en exposant le sol minéral (GODMAN et KREFTING 1960; MARQUIS 1965 dans RAYMOND *et al.* 2003; HATCHER 1966). Il a un effet positif sur la densité et le coefficient de distribution des conifères et réduit la densité de la compétition feuillue préétablie dès la première année après une coupe partielle (RAYMOND *et al.* 2003). Par contre, les effets bénéfiques du scarifiage sont perdus après deux ou trois saisons de croissance (ERDMANN 1990, GODMAN et TUBBS 1973, PERALA *et al.* 1990, ROBERTS et DONG 1993). La chute de feuilles provenant de la canopée diminue la réceptivité des lits de germination et la régénération nouvellement installée freine le recrutement de nouveaux semis (GODMAN et KREFTING 1960, PERALA *et al.* 1990). Pour pallier à ces problèmes, il est préférable d'effectuer le scarifiage après la chute des feuilles (HATCHER 1966) et de le synchroniser avec une bonne année semencière des essences désirées (GASTALDELLO 2005).

Au Michigan, un manque de régénération de thuya après des coupes a aussi été observé (GRIGAL et OHMANN 1975; JOHNSTON 1977; DAVIS *et al.* 1998). Cela est attribuable aux lits de germination inadéquats, à la compétition avec des essences à croissance plus rapide ou plus tolérantes à l'ombre (VERME et JOHNSTON 1986) et au broutement par le cerf et les autres herbivores (JOHNSTON 1990). Selon les techniques et les équipements de récolte, la microtopographie sera modifiée et cela pourrait également nuire à la régénération de thuya (CHIMNER et HART 1996). Généralement, le sapin baumier remplace le thuya dans les peuplements mélangés exploités, car celui-ci est moins exigeant en termes de lit de germination, plus tolérant à l'ombre et moins soumis au broutement (GRIGAL et OHMANN 1975; FRANK 1990; DAVIS *et al.* 1998; SIMARD *et al.* 2003).

Étant donné que le thuya est présent dans une vaste gamme de compositions du peuplement, de caractéristiques du sol et de pression par la faune, le type d'aménagement appliqué doit être adapté aux conditions locales de croissance (SCHAFFER 1996). Ainsi, la littérature rapporte que le thuya pourrait être régénéré par divers systèmes sylvicoles, dont la coupe totale, la coupe progressive et le jardinage.

#### 5.6.1 Coupes totales

Les études rapportant une régénération de thuya suffisante après des coupes totales étaient effectuées dans des peuplements purs jouissant d'une abondante régénération préétablie (THORNTON 1957; BENZIE 1963 dans HEITZMAN *et al.* 1999; VERME et JOHNSTON 1986). Pour assurer le retour du thuya, la régénération préétablie doit être assez haute et abondante pour supporter la pression du cerf et les dommages lors de la récolte doivent être minimisés (VERME et JOHNSTON 1986; SCHAFFER 1996). La mortalité de la régénération de thuya préétablie peut être élevée à cause de l'exposition soudaine et de la dessiccation lors de la coupe totale du couvert (THORNTON 1957; VERME et JOHNSTON 1986).

Lors des coupes totales, la régénération sexuée est efficace seulement si des thuyas rémanents sont laissés à proximité, car les distances de dispersion sont de moins de 60 m et les graines ne survivent qu'un an sur le parterre forestier (HEITZMAN *et al.* 1997; JOHNSTON 1990; MILLER 1990; HEITZMAN *et al.* 1999). S'il y a ni semencier de thuya, ni régénération préétablie, les coupes par bandes ou avec réserve de semenciers devraient être utilisées au lieu de la coupe totale (ASSELIN *et al.* 2001).

Dans les peuplements mélangés, la coupe à blanc fournit généralement des résultats plutôt décevants pour la régénération du thuya (HEITZMAN *et al.* 1997). Dans le contexte de la forêt mélangée sur station mésique, la structure irrégulière ou inéquienne des peuplements ainsi que la pluralité d'essences ne justifient pas ce type de traitement favorisant l'établissement d'une seule cohorte de régénération. Cette intervention n'est donc pas adéquate.

Selon une étude effectuée au Wisconsin en 1980 dans une cédrière à sapin sur station hydrique, les sites ayant subi des coupes totales se sont régénérés principalement en sapin baumier (DAVIS *et al.* 1998). Cinq ans après coupe, les régénérations de sapin baumier, d'épinette noire (*Picea mariana* Mill.) et de thuya occupent respectivement 66,3 %, 19,3 % et 14,4 % des parterres. C'est dans les sites brûlés après coupe où la régénération de thuya est la plus présente, mais elle demeure très inférieure à celle du sapin ou de l'épinette. Par contre, sur les sites non traités, la régénération est composée principalement de thuya (61,4 %), de sapin (37,1 %) et d'épinette noire (1,5 %) (DAVIS *et al.* 1998).

### 5.6.2 Coupes par bandes

Les principaux avantages de cette variante de la coupe totale sont la pluie de semences provenant des arbres adjacents non coupés (MILLER 1990; MILLER *et al.* 1991) et la diminution provisoire de l'intérêt du peuplement pour le cerf qui ne peut plus jouir d'un couvert de protection hivernal adéquat (HEITZMAN *et al.* 1997). En théorie, la coupe par bandes permet d'attendre que la régénération de thuya soit bien établie avant de couper les bandes rémanentes. En pratique, celle-ci produit un niveau inadéquat de régénération de thuya et contribue à convertir les peuplements de thuya en peuplements mélangés à dominance feuillue ou résineuse (ZASADA 1952 et DOEPKER *et al.* 1996 dans HEITZMAN *et al.* 1997; THORNTON 1957; MILLER *et al.* 1991).

De 1964 à 1994, une étude a été menée sur des stations humides au Michigan pour connaître l'établissement et le développement de la régénération de thuya dans les coupes par bandes dans des peuplements mélangés à dominance résineuse (HEITZMAN *et al.* 1999). Les résultats suggèrent que la régénération de thuya après coupe par bandes prend jusqu'à 20 ans pour s'installer et qu'elle sera un succès seulement sur les parterres où il n'y a pas de compétition avec des espèces à croissance rapide et où les herbivores sont absents pendant plusieurs dizaines d'années (HEITZMAN *et al.* 1999). Dès le retour des cerfs sur le territoire dans les années 90, les semis et le feuillage de thuya plus bas que 2 m ont été

totallement broutés (HEITZMAN *et al.* 1999). Les thuyas affectés par le broutement ne survivront probablement pas à cette pression (CORNETT *et al.* 2000a).

### 5.6.3 Coupes progressives

Le but de la première étape d'une coupe progressive est d'ouvrir le couvert pour permettre l'établissement de la régénération naturelle des espèces intermédiaires et tolérantes tout en limitant l'envahissement par la végétation compétitrice (MILLER *et al.* 1991; CÔTÉ et BÉLANGER 1991). La proximité des thuyas semenciers assure un apport de graines viables (JOHNSTON et BOOKER 1983 *dans* SCHAFFER 1996; ASSELIN *et al.* 2001). Ce type de coupe peut donc favoriser l'établissement des semis de thuya avant la coupe finale (MILLER *et al.* 1991).

Puisque la teneur en humidité du substrat est inversement proportionnelle à l'ouverture de la canopée, un couvert partiel favorisera la germination en évitant la dessiccation de la plantule (JOHNSTON 1990; SCHAFFER 1996). De plus, l'ombrage partiel augmente les taux de germination et d'établissement chez les semis de thuya (SHOPMEYER 1974 *dans* MILLER 1990). Si le couvert résiduel est peu dense, les conditions d'établissement et de survie des semis s'apparentent plutôt à un milieu ouvert. Ainsi, une mortalité sévère des semis et des marcottes peut être causée par la dessiccation à la suite de l'augmentation de la luminosité et de la diminution de l'humidité du sol (THORNTON 1957; VERME et JOHNSTON 1986).

Aucune étude mettant la coupe progressive en application dans des peuplements purs ou mélangés de thuya n'a été trouvée dans la littérature. Une étude sur ce traitement est présentement en cours dans des peuplements mélangés sur stations mésiques en Outaouais. Les résultats seront disponibles en 2007 (LAROCHE *en préparation*).

### 5.6.4 Jardinage

De la même manière que pour les coupes progressives, le jardinage permet la conservation d'un couvert partiel pour filtrer la lumière et réduire les pertes de régénération dues à la compétition par les feuillus à croissance rapide demandant plus de luminosité que le thuya (JOHNSTON 1990; MILLER 1990). Par contre, la conservation d'un couvert forestier à perpétuité pourrait avantager grandement le thuya ayant une bonne tolérance à l'ombre. Par contre, ce type de coupe favorise les déplacements du cerf, ce qui pourrait désavantager le thuya de manière indirecte.

La longueur de l'intervalle de temps entre deux jardinages consécutifs dans un peuplement influence grandement la régénération des essences. Comme cela a déjà été dit, les rotations longues et la

présence de gros débris au sol favorisent grandement le thuya (SCOTT et MURPHY 1987; CORNETT *et al.* 2000b). Dans la littérature, aucune longueur idéale de rotation n'a été avancée.

Dans la région de la Capitale-Nationale (03), le thuya est en diminution lorsque le sapin et l'épinette sont des productions prioritaires lors des opérations jardinatoires (MRN 2002). Or, peu d'études offrent des résultats concrets sur l'utilisation du jardinage dans les peuplements contenant du thuya. Les avantages et les inconvénients présumés des variantes de ce traitement sont plutôt basés sur l'autécologie du thuya. LAROUCHE (*en préparation*) tente de comparer l'impact sur la régénération des différentes coupes jardinatoires en Outaouais.

#### 5.6.4.1 Coupes de jardinage par pied d'arbre

Généralement, les coupes partielles de faible intensité ont un effet sur la régénération préétablie, plutôt que sur l'établissement de nouveaux semis (FARMER 1997). La reproduction végétative abondante du thuya est donc un avantage lui permettant de profiter des petites ouvertures créées par les coupes partielles (JOHNSTON 1990; MILLER *et al.* 1991). La régénération de thuya pouvant supporter une longue période de suppression sévère, l'ouverture partielle du couvert pourrait lui permettre de croître sans favoriser la croissance des espèces intolérantes compétitrices (JOHNSTON 1990; MILLER 1990; HEITZMAN *et al.* 1997).

Selon JOHNSTON (1990), la reproduction sexuée du thuya est meilleure dans les coupes par pied d'arbre que dans les coupes par trouées ou par bandes. En enlevant une proportion de 25 à 35 % de la surface terrière des tiges marchandes (MRN 1997), la proximité des thuyas semenciers permet un apport constant de graines et l'ombrage du parterre crée des conditions de germination adéquates (JOHNSTON 1990).

#### 5.6.4.2 Coupes de jardinage par trouées

Le système de régénération par trouées est un processus fréquemment utilisé pour la régénération dans les peuplements mélangés (BREWER et MERRITT 1978, BARDEN 1979; RUNKLE 1981; SCOTT et MURPHY 1987). Contrairement au traitement précédent, le prélèvement de 25 à 35 % de la surface terrière est effectué principalement dans des trouées de 500 à 1 500 m<sup>2</sup> (MRN 1997). L'impact majeur du traitement sur la régénération est donc concentré dans les ouvertures.

La taille des trouées influence généralement l'établissement des essences, mais le rôle de cette taille dans l'établissement et la croissance des tiges de thuya n'a pas été spécifiquement examiné (SCOTT et MURPHY 1987). Des petites trouées pourraient réduire la compétition des espèces intolérantes, tandis que des grandes trouées sont fréquemment envahies par les essences pionnières (CANHAM 1988; MCCLURE et



LEE 1993; HANNAH 1999). Dans les grandes trouées, la densité de régénération préétablie est négativement corrélée avec la compétition arbustive (KNEESHAW et BERGERON 1996; DAVIS *et al.* 1998). Pour favoriser la régénération du thuya, il est donc préférable d'effectuer des trouées de petite dimension (VERME et JOHNSTON 1986). Les plus nombreux et les plus grands thuyas sont d'ailleurs régulièrement observés le long des bordures plutôt qu'au centre des ouvertures (VERME et JOHNSTON 1986; SCOTT et MURPHY 1987).

À l'intérieur des trouées, les fluctuations de température du sol, les faibles taux d'humidité et les conditions de pleine lumière pourraient freiner l'établissement et la survie des semis enracinés superficiellement (RAYMOND *et al.* 2003). Le thuya pourrait donc être défavorisé par les grandes trouées s'il n'est pas préétabli. Par contre, l'intensité lumineuse supérieure dans les grandes trouées pourrait augmenter la croissance de la haute régénération en l'absence de broutement et de compétition (CORNETT *et al.* 2000a, Larouche *en préparation*).

#### 5.6.5 Éclaircies précommerciales et commerciales

Même si le thuya est tolérant à l'ombre, il croît plus rapidement avec une luminosité de plus de 50 % (SCHAFFER 1996; CORNETT *et al.* 2000a). Les éclaircies précommerciales dans les peuplements purs améliorent le taux de croissance et aident à la reproduction végétative en diminuant la densité de tiges (MILLER 1990). Dans les peuplements mélangés, les éclaircies précommerciales favorisant le thuya permettent de limiter la compétition et d'atteindre les objectifs multiusages (MILLER 1990; SCHAFFER 1996). Par contre, si la sélection des tiges d'avenir favorise d'autres espèces, elle peut contribuer à la raréfaction du thuya (SCHAFFER 1996).

Les éclaircies commerciales et les coupes de succession dans les peuplements mélangés permettent de récolter les arbres matures des essences à croissance rapide tout en maintenant la croissance en hauteur et en améliorant la croissance en diamètre des thuyas (JOHNSTON 1972; SCHAFFER 1996). Ceux-ci pourront atteindre les étages dominant et codominant du peuplement (SCHAFFER 1996) et produire des tiges de meilleure qualité (JOHNSTON 1972). Dans les cédrières pures, le thuya réagit bien aux éclaircies en augmentant son taux de croissance en diamètre (JOHNSTON 1972; DREVER et LERTZMAN 2001; HÉBERT 2005). Selon une étude en Gaspésie, l'augmentation de la croissance radiale des tiges de thuya est plus marquée sur les sites mésiques que sur les sites humiques et la réaction des petites tiges est plus marquée que celle des grosses tiges (HÉBERT 2005).

Dans les cédrières et les peuplements mélangés ayant une valeur faunique, les éclaircies facilitent les déplacements du cerf (JOHNSTON 1972; SCHAFFER 1996; CORNETT *et al.* 2000a). Or, ceux-ci ont alors plus facilement accès à la régénération préétablie de thuya comme source de nourriture et limitent significativement le recrutement (JOHNSTON 1972). Qu'il s'agisse de peuplements purs ou mélangés, cette

pression sur la régénération de thuya favorisera le sapin baumier et les autres essences non broutées et tolérantes au broutement (JOHNSTON 1972; DAVIS *et al.* 1998; CORNETT *et al.* 2000a). Par contre, si l'objectif d'aménagement est d'augmenter les attraits fauniques, les éclaircies commerciales permettent la mise en valeur des ressources fauniques.

### **5.7 Pistes de solution afin de limiter la raréfaction du thuya**

Deux questions persistent quant à l'évolution du thuya dans les peuplements aménagés : (1) est-il possible de favoriser le thuya tout en aménageant pour d'autres essences prioritaires dans les peuplements mélangés? (2) la raréfaction du thuya se fait au profit de quelle(s) essence(s)? En se basant sur l'état actuel des connaissances, les coupes totales, par bandes et progressives n'assurent pas de bons résultats pour le retour du thuya s'il n'est pas préétabli. Pour ce qui est du jardinage, les résultats dépendent du pourcentage de prélèvement, du patron de récolte, de la rotation et des objectifs d'aménagement. Le thuya semble être remplacé par une vaste gamme d'essences, tout dépendant de la composition initiale du peuplement. Il est souvent question de l'érable à sucre, de l'érable rouge, de l'érable de Pennsylvanie, du bouleau à papier, du sapin baumier, du peuplier et de la pruche (JACKSON *et al.* 2000; BOUCHER *et al.* 2006).

Concernant la récolte, certaines tiges de thuya devraient être préservées comme arbres semenciers dans les peuplements après coupe. Les longueurs de rotation devraient aussi être allongées considérablement. De plus, il paraît important de conserver des gros débris au sol comme milieu de germination idéal pour le thuya. La protection accentuée de la régénération préétablie fait aussi partie de la solution, car il s'agit de la principale source de thuyas matures.

Pour favoriser la présence du thuya dans les peuplements aménagés, une autre solution à envisager serait l'augmentation des superficies destinées à la production du thuya en peuplement mélangé. Pour ce faire, il faudrait augmenter la représentativité du groupe prioritaire SEPM-Tho afin d'accroître l'importance relative du thuya par rapport aux autres essences (sapin et épinette). Le respect de ce groupement permettrait de régulariser la récolte du thuya dans le temps et de créer l'obligation d'atteindre, après coupe, un coefficient de distribution de la régénération de thuya suffisant pour reconstituer la partie thuya dans le prochain peuplement.

Dans le groupe de production prioritaire SEPM-Tho, l'âge d'exploitabilité pour la coupe totale devrait être fixé selon la notion « d'âge d'exploitabilité technique », afin de maximiser la croissance en diamètre des tiges de thuya avant la récolte. Dans les autres vocations prioritaires (exemple : SEPM) où il y a présence de thuya, il est recommandé, lors des travaux de dégagement et d'éclaircie, de conserver la même proportion en thuya que dans le peuplement initial. Cette pratique est déjà appliquée dans plusieurs unités de gestion.

Dans les régions où les cédrières sont plutôt rares et généralement de faible superficie, il conviendrait de procéder à une planification opérationnelle plus rigoureuse de sorte que toutes les cédrières de 2 ha et plus pourraient être assujetties aux traitements sylvicoles propres au groupe prioritaire Tho, et ce, même si ces îlots sont intégrés à une production prioritaire autre que le thuya.

Finalement, la précision des inventaires forestiers pose problème. Il paraît essentiel de raffiner les données d'inventaire pour accroître la fiabilité des calculs de possibilité forestière pour la ressource « thuya » dans chaque région. Dans les peuplements mélangés en Gaspésie, la quantité de thuya est surestimée (FORTIN 2002). Par contre, il est possible qu'elle soit sous-estimée dans d'autres régions du Québec.

Les pistes de solution seront bonifiées au cours des années en fonction des connaissances acquises lors des projets de recherche et des bancs d'essai.

## **5.8 Acquisition de connaissances**

### **5.8.1 Besoins de connaissances supplémentaires**

Le thuya est fréquemment considéré comme le conifère commercial le moins étudié des États-Unis (SCOTT et MURPHY 1987; HEITZMAN *et al.* 1999). Malgré son importance écologique et économique (HEITZMAN *et al.* 1999), le thuya est une espèce très peu connue, non seulement au Québec, mais sur l'ensemble de son aire de distribution. La situation du thuya mérite donc une attention particulière afin d'en assurer le maintien, tant en qualité qu'en quantité.

Une information limitée est disponible en lien avec les peuplements sur stations humides, mais l'information concernant la sylviculture du thuya en peuplements mélangés sur stations mésiques est encore plus rare (SCOTT et MURPHY 1987; CORNETT *et al.* 2000*b*). Peu d'études ont été menées sur les processus de régénération, la croissance et l'aménagement et les résultats disponibles dans la littérature sont contradictoires. Le fait est que les mesures actuelles d'aménagement ne semblent pas permettre le maintien du thuya dans le paysage. Des recherches additionnelles sont donc nécessaires pour déterminer les meilleures pratiques sylvicoles en fonction des différents climats, des qualités de station, ainsi que des compositions et des densités des peuplements présents sur le territoire (VERME et JOHNSTON 1986).

L'aménagement du thuya est extrêmement difficile et déroutant (MILLER *et al.* 1991). Après la récolte, la régénération de thuya est souvent inadéquate, ce qui résulte en une conversion de peuplement (MILLER *et al.* 1991). Or, le manque d'études sur une longue période ne permet pas de statuer sur le rétablissement du thuya grâce à la régénération à long terme. Les principes permettant le meilleur

aménagement des forêts contenant du thuya n'ont pas encore été établis (VERME et JOHNSTON 1986) et les tentatives pour régénérer le thuya semblent échouer la plupart du temps (MILLER 1990).

### 5.8.2 Recherches en cours

Les recherches sur le thuya visent principalement à comprendre les facteurs limitatifs à sa régénération, sa croissance et son interaction avec les autres essences en peuplements mixtes. Une fois ces connaissances de base acquises, il sera possible d'offrir des solutions précises d'aménagement selon les différentes conditions de croissance et les types de peuplement.

Deux doctorats sont présentement en cours sur le thuya. Premièrement, Catherine Larouche (Université Laval) travaille sur la régénération du thuya en peuplements mélangés sur stations mésiques. Le but de son doctorat est de connaître les contraintes à l'établissement et à la croissance de la régénération du thuya à court, moyen et long terme à la suite de l'utilisation de divers types de coupes partielles dans les peuplements mélangés du sud-ouest québécois et du nord-est américain. Le dépôt de sa thèse de doctorat est prévu en 2007. Les travaux sont effectués avec la collaboration de l'Université Laval, du Centre de recherche canadien sur la fibre du bois, du Service canadien des forêts (SCF), The University of Maine, du Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada (CRSNG), du Fond québécois de recherche sur la nature et les technologies (FQRNT), du United States Department of Agriculture (USDA) et des Industries Maibec inc.

Deuxièmement, Philip Hofmeyer (The University of Maine) s'intéresse à l'écologie et la sylviculture du thuya pour assurer un rendement soutenu dans le nord du Maine et le sud du Québec. Il compare la croissance du thuya avec celle des espèces associées dans le peuplement pour connaître les différences dans les réactions de croissance et la qualité des tiges. Ses travaux s'échelonnent de 2004 à 2007 avec la collaboration de The University of Maine, du USDA, de la Cooperative Forestry Research Unit, de l'Université Laval et des Industries Maibec inc.

Deux maîtrises sont également en cours. Premièrement, Sabrina Morissette (Université Laval) vise l'obtention d'informations sur la sylviculture du thuya en peuplements mixtes. Le projet comprend trois parties visant à analyser et modéliser la réponse de tiges de thuya rémanentes à moyen et long termes à la suite des coupes partielles dans le sud-ouest du Québec et le nord-est du Maine. Sa maîtrise s'échelonne de 2005 à 2007 avec la collaboration de l'Université Laval, du Centre de recherche canadien sur la fibre du bois, du SCF, The University of Maine, du FQRNT et des Industries Maibec inc.

Finalement, Barbara Hébert (Université du Québec à Chicoutimi) s'interroge sur la dynamique de la régénération du thuya dans des vieilles cédrières de la Gaspésie. Ses travaux portent simultanément sur

l'aménagement des cédrières, la réaction de la régénération à la suite des traitements et les conditions d'établissement. La fin de sa maîtrise est prévue en décembre 2007.

## **5.9 Conclusion**

La diminution de l'importance du thuya a été démontrée dans plusieurs parties de son aire de distribution. Dans les peuplements aménagés où le thuya est une espèce compagne, la composition de la régénération est différente de celle des peuplements naturels. Le thuya semble négligé et désavantagé lors des interventions sylvicoles et le renouvellement du stock de thuya n'est pas assuré.

Le manque de connaissances spécifiques sur le thuya empêche de statuer sur les causes exactes de cette diminution. Le broutement par les herbivores et les méthodes d'aménagement sont des causes probables, mais non confirmées. Or, c'est par l'aménagement adapté au thuya qu'il sera possible de rectifier la situation. Tout dépendant des ouvrages consultés, le succès de régénération à la suite des interventions s'avère variable et mitigé. Aucun système sylvicole ne semble avoir fait ses preuves et pouvoir être utilisé hors de tout doute.

En attendant les résultats des recherches en cours sur le thuya, voici quelques règles générales d'aménagement. Lors des interventions, il importe de garder à l'esprit l'allongement des rotations, la conservation d'un grand nombre de semenciers, la présence de gros bois mort comme lit de germination, l'établissement de la régénération avant la coupe finale et la protection de la régénération préétablie. S'il n'y a pas de thuyas préétablis, la préparation de terrain est importante pour favoriser la germination des graines. Finalement, il faudrait soustraire les volumes de thuyas dans les zones de protection des milieux aquatiques et de mise en valeur de la faune lors des calculs de possibilité forestière. Si la pression de broutement par le cerf de Virginie devient insoutenable, il faudra penser à clôturer certaines parties de territoire pour assurer la régénération en quantité suffisante.

## 5.10 Références

- ALVERSON, W.S., D.M. WALLER et S.L. SOLHEIM, 1988. Forests too deer: edge effects in northern Wisconsin. *Conservation Biology*, 2 : 348-358.
- ARCHAMBAULT, S. et Y. BERGERON, 1992. Discovery of a living 900 year-old Northern White Cedar, *Thuja occidentalis*, in Northwestern Québec. *Canadian Field-Naturalist* 106 : 192-195.
- ASSELIN, H., M.-J. FORTIN et Y. BERGERON, 2001. Spatial distribution of late-successional coniferous species regeneration following disturbance in southwestern Québec boreal forest. *Forest Ecology and Management*, 140 : 29-37.
- BARDEN, L.S., 1979. Tree replacement in small canopy gaps of a *Tsuga Canadensis* of rest in the southern Appalachians, Tennessee. *Oecologia*, 44 : 141-142.
- BARTLETT, R.M., R.J. READER et D.W. LARSON, 1991. Multiple controls of cliff-edge distribution patterns of *Thuja occidentalis* and *Acer saccharum* at the stage of seedling recruitment. *Journal of Ecology*, 79 : 183-197.
- BENZIE, J.W., 1963. Cutting methods in mixed conifer swamps, Upper Michigan. U.S. Forest Service Research Paper Ls-4. 24 p.
- BERGERON, Y., 2000. Species and stand dynamics in the mixed woods of Quebec's southern boreal forest. *Ecology*, 81 : 1500-1516.
- BLANCHET, B., 1982. Les cédrières du Québec. M. Grandtner (Éds), Université Laval, Québec, 166 p.
- BOUCHER, Y., D. ARSENEAULT et L. SIROIS, 2006. Logging-induced change (1930-2002) of a preindustrial landscape at the northern range limit of northern hardwoods, eastern Canada. *Canadian Journal of Forest Research*, 36 : 505-517.
- BREWER, R et P.G. MERRITT, 1978. Windthrow and tree replacement in a climax beech-maple forest. *Oikos*, 30 : 149-152.
- CANHAM, C.D., 1988. Growth and canopy architecture of shade-tolerant trees : response to canopy gaps. *Ecology*, 69 : 786-795.
- CHIMNER, R.A. et J.B. HART, 1996. Hydrology and microtopography effects on northern white cedar regeneration on Michigan's Upper Peninsula. *Canadian Journal of Forest Research*, 26 : 389-393.
- COATES, K.D., C.D. CANHAM, M. BEAUDET, D.L. SACHS et C. MESSIER, 2005. Use of a spatially explicit individual-tree model (SORTIE/BC) to explore the implications of patchiness in structurally complex forest. *Forest Ecology and Management*, 186 : 297-310.
- COGBILL, C.V., J. BURK et G. MOTZKIN, 2002. The forests of presettlement New England, USA: spatial and composition patterns based on town proprietor surveys. *Journal of Biogeography*, 29 : 1279-1304.

- COLLINS, S.L., J.L. VANKAT et J.V. PERINO, 1979. Potential Tree Species Dynamics in the *Arbor Vitea* Association of Cedar Bog, a West-Central Ohio Fen. *Bulletin of the Torrey Botanical Club*, 106 : 290-298.
- CORNETT, M.W., L.E. FRELICH, K.J. PUETTMANN et P.B. REICH, 2000a. Conservation implications of browsing by *Odocoileus virginianus* in remnant upland *Thuja occidentalis* forests. *Biological Conservation*, 93 : 359-369.
- CORNETT, M.W., P.B. REICH, K.L. PUETTMANN et L.E. FRELICH, 2000b. Seedbed and moisture availability determine safe sites for early *Thuja occidentalis* (*Cupressaceae*) regeneration. *American Journal of Botany*, 87 : 1807-1814.
- CÔTÉ, S. et L. BÉLANGER, 1991. Variations de la régénération préétablie dans les sapinières boréales en fonction de leurs caractéristiques écologiques. *Canadian Journal of Forest Research*, 21 : 1779-1795.
- CURTIS, J.D., 1946. Preliminary observations on northern white cedar in Maine. *Ecology*, 27 : 23-36.
- DAVIS, A., K. PUETTMANN et D. PERALA, 1998. Site Preparation Treatments and Browse Protection Affect Establishment and Growth of Northern White-Cedar. Research Paper NC-330. St. Paul, MN U.S. Department of Agriculture, Forest Service, 9 p.
- DÉRY, S., 1995. Dynamique de l'enfeuillage après coupe de la sapinière boréale de seconde venue. Mémoire de maîtrise, Université Laval, Québec, Canada. 67 p.
- DOEPKER, R.V., D.E. BEYER, L.J. VISSER, F.C. SHORT et F.M. SHORT, 1996. Northern white-cedar regeneration in Menominee Country, Michigan. Michigan Department of Natural Resources, Lansing. Wildlife Division Rep. no 3255.
- DOUCET, R. et R. GAGNON, 1994. La régénération préétablie. *Dans* La régénération de la zone de la forêt mixte, compte rendu du Colloque no 112 de l'ACFAS. André L. D'Aoust et René Doucet (Éds). Ressources naturelles Canada, Canada. p. 17-30.
- DREVER, C.R. et K.P. LERTZMAN, 2001. Light growth responses of coastal Douglas-fir and western red cedar saplings under different regimes of soil moisture and nutrients, *Canadian Journal of Forest Research*, 31 : 2124-2133.
- ERDMANN, G.G., 1990. *Betula alleghaniensis* Britton - Yellow Birch. *Dans*: Burns R.M. et B.H. Honkala, éditeurs. *Silvics of North America. Volume 2. Hardwoods*. USDA Forest Service, p.133-147.
- ETHERIDGE, D.A., D.A. MACLEAN, R.G. WAGNER et J.S. WILSON, 2005. Changes in landscape composition from 1945-2002 on an industrial forest in New Brunswick, Canada, *Canadian Journal of Forest Research*, 35 : 1965-1977.

- FARMER, R.E. Jr., 1997. Seed ecophysiology of temperate and boreal zone forest trees. Delray Beach: St. Lucie Press.
- FARRAR, J.L., 1996. *Thuja occidental*. Dans Les arbres du Canada. Fides et le Service canadien des forêts (Éds), Ressources naturelles Canada. 502 pages. p. 26-27.
- FORTIN, S., 2002. Le thuya en Gaspésie. Ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec. Rapport d'étape, 90 p.
- FRANK, R.M., 1990. *Balsam fir*. Dans Burns, R.M.; Honkala, B.H. (Éds). Silvics of forest trees in the United States, Vol. 1, Conifers. Agric. Handb. 654. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service : 26-35.
- GASHWILER, J.S., 1967. Conifer Seed Survival in a Western Oregon Clearout. Ecology, 48 : 431-438.
- GASHWILER, J.S., 1971. Emergence and mortality of Douglas-fir, western hemlock, and western redcedar seedlings. Forest Science, 17 : 230-237.
- GASTALDELLO, P., 2005. Remise en production des bétulaies jaunes résineuses dégradées. Mémoire de maîtrise, Université Laval, 89 p.
- GODMAN, R.M. et C.H. TUBBS, 1973. Establishing even-age northern hardwood regeneration by the shelterwood method; a preliminary guide. USDA For. Serv., North Central Exp. Stn, St-Paul, MN, Res. Pap. NC-99, 9 p.
- GODMAN, R.M. et L.F. KREFTING, 1960. Factors important to yellow birch establishment in Upper Michigan. Ecology, 41: 18-28.
- GRIGAL, D.F. et L.F. OHMANN, 1975. Classification, description, and dynamics of upland plant communities within a Minnesota wilderness area. Ecological Monographs, 45 : 389-407.
- GRONDIN, M. 2006. Analyse de la structure des peuplements à composante mineure de *Thuja occidentalis* (L.) en Outaouais. Projet de fin d'études, Université Laval, Québec, 37 p.
- HANNAH, P.R., 1999. Species composition and dynamics in two hardwood stands in Vermont: a disturbance history. Forest Ecology and Management, 120 : 105-116.
- HATCHER, R.J., 1966. Yellow birch regeneration on scarified seedbeds under small canopy opening. The Forestry Chronicle, 42 : 350-358.
- HÉBERT, B. et S. FORTIN, 2003. Étude sur *Thuja occidentalis* dans des cédrières de la Gaspésie : Croissance de *Thuja occidentalis*, impact du feu sur la qualité des tiges de thuya, examen de la survie des thuyas résiduels isolés ou en petits groupes après coupe et essais d'assistance à la régénération du thuya. Rapport d'étape, 80 p.



- HÉBERT, B., 2005. Études sur *Thuja occidentalis* dans des cédrières de la Gaspésie : Mesure de la réaction du thuya à l'éclaircie commerciale et suivi, après 2 ans, d'essais de plantation et d'ensemencement. Rapport d'étape, 44 p.
- HEITZMAN, E., K.S. PREGITZER et R.O. MILLER, 1997. Origin and early development of northern white-cedar stands in northern Michigan. Canadian Journal of Forest Research, 27 : 1953-1961.
- HEITZMAN, E., K.S. PREGITZER, R.O. MILLER, M. LANASA et M. ZUIDEMA, 1999. Establishment and development of northern white-cedar following strip clearcutting. Forest Ecology and Management, 123 : 97-104.
- HÉLY, C., Y. BERGERON et M.D. FLANNIGAN, 2000. Coarse woody debris in the southeastern canadian boreal forest: composition and load variations in relation to stand replacement. Canadian Journal of Forest Research, 30 : 674-687.
- HEPTING, G.H., 1971. Diseases of forest and shade trees of the United States. USDA, Agriculture Handbook 386. Washington, DC. 658 p.
- HOFMEYER, P., *en préparation*. Ecology and silviculture of northern white-cedar (*Thuja occidentalis* L.) in northern Maine. Thèse de doctorat, The University of Maine, USA.
- JACKSON, S.M., F. PINTO, J.R. MALCOLM et E.R. WILSON, 2000. A comparison of pre-European settlement (1857) and current (1981-1995) forest composition in central Ontario. Canadian Journal of Forest Research, 30 : 605-612.
- JOHNSTON, W.F., 1972. *Balsam fir* dominant species under rethinned northern white-cedar. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Resources Note NC-133. 4 p.
- JOHNSTON, W.F., 1977. Manager's handbook for northern white-cedar in the North Central States. Gen. Tech. Rep. Nc-35. St. Paul, MN: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, North Central Forest Experiment Station. 18 p.
- JOHNSTON, W.F., 1990. *Thuja occidentalis* - northern white cedar. Dans Sylvics of North America. Vol. 1. Conifers. R.M. Burns and B.H. Honkala (Éds). U.S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook. 654, p. 580-589.
- KNEESHAW, D.D. et Y. BERGERON, 1996. Ecological factors affecting the abundance of advance regeneration in Quebec's southwestern boreal forest. Canadian journal of forest research, 26 : 888, 898.
- KNEESHAW, D.D. et Y. BERGERON, 1998. Canopy gap characteristics and tree replacement in the southeastern boreal forest. Ecology, 79 : 783-794.
- LANASA, M. et M. ZUIDEMA, 1991. Site preparation for northern White-cedar. Cedar Evaluation Development Information and Research. Cedar note 2 : 6 p.

- LAROUCHE, C. et L. KENEFIC, en préparation. Evolution of northern white-cedar at the Penobscot Experimental Forest in Maine, USA.
- LAROUCHE, C., en préparation. Regeneration of northern white-cedar in mixedwood stands on mesic sites. Thèse de doctorat, Université Laval, Québec.
- LORIMER, C.G., 1977. The presettlement forest and natural disturbance cycle of northeastern Maine. *Ecology*, 58 : 139-148.
- MAIBEC, 2005. Industrie Maibec inc. Site Internet: <http://www.maibec.com>.
- MARQUIS, D.A., 1965. Regeneration of birch and associated hardwoods after patch cutting. USDA Forest Service, Northeastern Forestry Experimental Station, Research Paper NE-32. 13 p.
- MCCLURE, J.W. et T.D. LEE, 1993. Small-scale disturbance in a northern hardwoods forest: effects on tree species abundance and distribution. *Canadian Journal of Forest Research*, 23 : 1347-1360.
- MCWILLIAMS, W.H. et collaborateurs, 2005. The forests of Maine: 2003. Resource Bulletin, NE-164. Newtown Square, PA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Research Station, 188 p.
- MILLER, D.R., D. ELSING, M. LANASA et M. ZUIDEMA, 1991. Northern white-cedar : stand assessment and management options. *Dans* Northern white-cedar in Michigan. D.O. Lantagne (Éds). Agriculture Experimental Station Research Paper, 512, p-54-67.
- MILLER, R.O., 1990. Ecology and management of northern White-Cedar. *Présenté à* "Regenerating Conifer Cover in Deer Yards" workshop, North Bay, Ontario, 13 p.
- MINISTÈRE DES RESSOURCES NATURELLES (MRN), 1997. Manuel d'aménagement forestier. Gouvernement du Québec, RN97-3102, 122 p.
- MINISTÈRE DES RESSOURCES NATURELLES (MRN), 2002. Comptes rendus des « focus groups » régionaux sur les enjeux de biodiversité. Gouvernement du Québec, Direction de l'environnement forestier, non paginés (documents non publiés).
- MINISTÈRE DES RESSOURCES NATURELLES ET DE LA FAUNE (MRNF), 2003. Croissance de la forêt publique du Québec sous aménagement : évolution mesurée à partir des placettes-échantillons permanentes. Gouvernement du Québec, rapport 3087, 8 p.
- NELSON, T.C., 1951. A reproduction study on northern white-cedar, Research Report for the Game Division of the Michigan Department of Conservation, Lansing, Michigan.
- OZOGA, J.J., 1968. Variations in microclimate in a conifer swamp deeryard in northern Michigan. *Journal of Wildlife Management*, 32 : 574-585.
- PERALA, D.A. et A.A. ALM, 1990. Regeneration silviculture of birch: a review. *Forest Ecology and Management*, 32: 39-76.

- PREGITZER, K.S., 1991. The ecology of northern white-cedar. *Dans Proc. of Northern White-Cedar in Michigan*. Sault Ste. Marie, Research Report 512, 108 p.
- RAYMOND, P., A.D. MUNSON, J.-C. RUEL et P. NOLET, 2003. Group and single-tree selection cutting in mixed tolerant hardwood-white pine stands : Early establishment dynamics of white pine and associated species. *The Forestry Chronicle*, 79 : 1093-1106.
- ROBERTS, M.R. et H. DONG, 1993. Effects of soil organic layer removal on regeneration after clear-cutting a northern hardwood stand in New Brunswick. *Canadian Journal of Forest Research*, 23 : 2093-2100.
- ROBITAILLE, A. et J.-P. SAUCIER, 1998. Paysages régionaux du Québec méridional. Direction de la gestion des stocks forestiers et Direction des relations publiques, MRNF du Québec. Les publications du Québec, Canada, 212 p.
- ROONEY, T.P., S.L. SOLHEIM et D.M. WALLER, 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.
- ROSE, A.H., O.H. LINDQUIST ET K.L. NYSTROM, 2000. Insectes du mélèze, du thuya et du genévrier de l'est du Canada. Ressources naturelles Canada, Ontario, Rapport technique de foresterie 28F, 97 p.
- RUNKLE, J.R., 1981. Gap Regeneration in Some Old-growth Forests of Eastern United States. *Ecology*, 62 : 1041-1051.
- SANDO, R.W., 1994. Extended rotation forest Guideline. Department of Natural Resources Minnesota, 11 p.
- SCHAFFER, W.W., 1996. Silvicultural Guidelines for the Eastern White Cedar. Ontario Ministry of Natural Resources, Southern Region Science & Technology Transfer Unit Technical Report TR-006, 62 p.
- SCOTT, M. L. et P.G. MURPHY, 1987. Regeneration Patterns of Northern White Cedar, an Oldgrowth Forest Dominant. *The American Midland Naturalist*, 117 : 10-16.
- SHOPMEYER, C.S., 1974. Seeds of woody plants in the United States. U.S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook 450 : 805-809.
- SICCAMA, T.G., 1971. Presettlement and present forest vegetation in northern Vermont with special reference to Chittenden County. *American Midland Naturalist*, 85 : 153-172.
- SIMARD, M.-J., Y. BERGERON et L. SIROIS, 2003. Substrate and litterfall effects on conifer seedling survivorship in southern boreal stands of Canada. *Canadian Journal of Forest Research*, 33 : 672-681.
- SMITH, P.C. et E.L. BORCZON, 1981. Cutting plans for deer and timber in cedar swamps. Ontario Ministry of Natural Resources, 33 p.

THORNTON, P.L., 1957. Problems of managing Upper Michigan's coniferous swamps. *Journal of Forestry*, 5 : 192-197.

VERME, L.J. et W.F. JOHNSTON, 1986. Regeneration of Northern White Cedar Deeryards in upper Michigan. *Journal of Wildland Management*, 50 : 307-313.

VERME, L.J., 1965. Swamp conifer deeryards in northern Michigan : their ecology and management. *Journal of Forestry*, 63 : 523-529.

ZASADA, J., T.L. SHARIK et M. NYGREN, 1992. The reproductive process in boreal forest trees. *Dans A systems analysis of the boreal forest*. H.H. Shugart, R. Leemans et G.B. Bonan (Éds). Cambridge University Press. Cambridge, UK., p. 85-125.