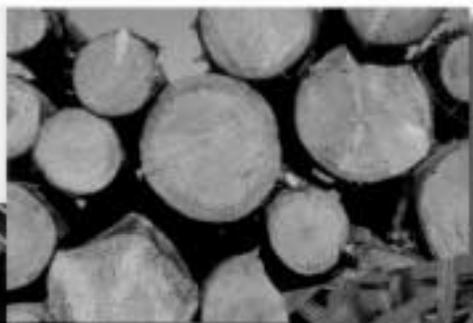


Comité consultatif scientifique du manuel d'aménagement forestier

Éclaircie commerciale
pour le groupe de production
prioritaire SEPM

Avis scientifique



**Éclaircie commerciale
pour le groupe de production prioritaire
SEPM**

Avis scientifique

par

le Comité consultatif scientifique
du Manuel d'aménagement forestier

composé de

Steve BÉDARD, ing.f., M.Sc. (MRN - DRF)
Louis DE GRANDPRÉ, biol., *Ph.D.* (SCF - CFL)
Louis DUCHESNE, ing.f., M.Sc. (MRN - DRF)
Pierre GRONDIN, ing.f., M.Sc. (MRN - DRF)
Jean-Pierre JETTÉ, ing.f. (MRN - DEF)
Robert JOBIDON, ing.f., M.Sc., *Ph.D.* (MRN - DRF) *
Jean-Martin LUSSIER, ing.f., M.Sc., *Ph.D.* (SCF - CFL)
David POTHIER, ing.f., M.Sc., *Ph.D.* (MRN - DRF)
Guy PRÉGENT, ing.f., M.Sc. (MRN - DRF)
Jean-Claude RUEL, ing.f., M.Sc., *Ph.D.* (UL - FFG)

* Président du Comité

Gouvernement du Québec
Forêt Québec
Ministère des Ressources naturelles
Direction de la recherche forestière
Janvier 2003

Préface

Le Comité consultatif scientifique du Manuel d'aménagement forestier a été constitué à la demande du Comité permanent du Manuel d'aménagement forestier, pour répondre aux interrogations soulevées par celui-ci en matière d'état des connaissances scientifiques. Pour ce faire, le Comité fournit un avis scientifique qui remplit le mandat précis qui lui est confié. Dans la mesure du possible, l'avis produit comporte deux préoccupations prépondérantes, l'une concernant la production forestière, l'autre concernant la biodiversité et la fertilité des stations. La composition du Comité reflète ces préoccupations.

Un avis scientifique est formulé d'abord sur la base de l'état actuel des connaissances scientifiques, puis sur la base de l'opinion des experts. L'état des connaissances est fondé sur la littérature scientifique, les thèses universitaires, la littérature technique et enfin sur les connaissances ou le savoir-faire acquis de spécialistes ou praticiens.

Pour la production de ses avis, le Comité a adopté un fonctionnement de type réseau. Normalement, deux cellules de travail sont constituées pour documenter et produire un avis concernant chacune des deux préoccupations. Chaque cellule regroupe des membres du Comité où chacun met à profit la collaboration de son réseau scientifique.

Les versions préliminaires sont discutées et critiquées en Comité pour convenir d'une position commune. Le cas échéant, l'avis pourrait énoncer plus d'une position au sein du Comité, en rapport avec une question particulière; les motifs qui justifient de présenter plus d'une position seraient alors exposés.

Le mandat confié au Comité a été préparé par le Comité permanent. Il a pour sujet l'application du traitement d'éclaircie commerciale (ÉC). Le libellé en est le suivant, mais modifié pour ne tenir compte que de la production prioritaire SEPM :

« Dans le cadre de la mise à jour du Manuel d'aménagement forestier, le Comité doit réévaluer les hypothèses utilisées pour évaluer le rendement de l'éclaircie commerciale.

Par conséquent, le Comité permanent sollicite un avis documenté sur les questions suivantes selon la production prioritaire SEPM :

1. Est-ce que les rendements actuellement prévus pour l'éclaircie commerciale pratiquée selon les règles de l'art sont adéquats?
2. Quels sont les paramètres minimaux (éclaircie retardée, âge, IQS, augmentation technique du dhp moyen, opérationnels ou autre) à respecter pour atteindre les rendements prévus ou à prévoir au Manuel d'aménagement forestier?
3. Quel pourcentage de la mortalité peut-on récupérer à l'aide de l'éclaircie commerciale?
4. Dans quel type de peuplements (naturel, naturel et éclaircie précommerciale ou plantation) devrait-on utiliser l'éclaircie commerciale?
5. Est-ce justifié d'appliquer une seule éclaircie commerciale au cours de la révolution d'un peuplement forestier ou est-ce qu'on devrait accepter l'utilisation de ce traitement dans le cadre de scénarios d'aménagement intensif où on prévoit une série d'éclaircies commerciales suivie d'une coupe finale?
6. Quels gains peut-on anticiper d'une éclaircie commerciale, tant en quantité (m^3/ha) qu'en qualité (augmentation de dhp moyen)? »

À ces questions, le Comité consultatif scientifique en a ajouté deux, qui permettent de mieux élaborer certaines des réponses aux questions précédentes :

7. Quel est l'impact des sentiers de débardage sur la production des peuplements éclaircis?
8. Quels sont les impacts du chablis dans les peuplements éclaircis et quels sont les moyens pour le prévenir?

Pour formuler le présent avis scientifique, le comité a débuté ses travaux par une présentation de monsieur Jacques Savard, ing.f. (MRN – DPF), intitulée : « Rendement de l'éclaircie commerciale ».

Les travaux se sont poursuivis en cellules de travail et en comité. Plusieurs personnes ont apporté une contribution importante et fort appréciée, qui apparaît en page titre des annexes. Il convient

notamment de souligner les contributions de madame Mireille Despons, *Ph.D.* (MRN – DRF) et de messieurs Jean-Marie Binot, *Ph.D.* (Université de Moncton), Guy Larocque, *Ph.D.* (SCF – CFL) et Tony Zhang, *Ph.D.* (Forintek). Le comité est redevable à ces personnes et les remercie sincèrement pour l'enthousiasme qu'elles ont manifesté et la qualité de la collaboration accordée.

Le présent avis comporte un sommaire qui résume succinctement l'avis scientifique. Celui-ci est partagé en deux chapitres, l'un sur les critères et la production forestière, l'autre sur la biodiversité et les impacts environnementaux du traitement d'éclaircie commerciale. Le lecteur trouvera en plus deux annexes qui abordent plus en détail, soit les réponses aux questions soulevées par le Comité du Manuel, soit des questions qui méritaient un développement davantage élaboré en relation avec le traitement.

Enfin, le comité remercie sincèrement M. Pierre Bélanger pour la révision linguistique des textes et l'édition de l'avis, de même que Mmes Sylvie Bourassa et Nathalie Langlois pour la mise en page des textes.

Robert Jobidon
Président du Comité

Sommaire

Cet avis scientifique traite de l'éclaircie commerciale pour le groupe de production prioritaire SEPM. Il expose quelques principes sylvicoles reconnus, précise les avantages et inconvénients du traitement et recommande des critères d'admissibilité, d'application et des hypothèses de rendement pour ce groupe de production. Il aborde aussi les avantages et les impacts probables ou envisageables de ce traitement dans une perspective d'aménagement durable. Il importe de mentionner que ce traitement ne devrait pas s'appliquer à un peuplement de structure irrégulière; il ne s'applique qu'aux peuplements réguliers.

L'éclaircie commerciale est un traitement sylvicole qui vise à améliorer la croissance en diamètre des arbres, de même que la qualité et, par conséquent, la valeur du peuplement résiduel. D'autres avantages sont possibles : meilleure résistance aux agents abiotiques ou biotiques, récolte et création d'un revenu au cours de la rotation, meilleure régénération des espèces végétales, etc. Les éclaircies ont généralement un impact négligeable ou nul sur la production en volume lorsque le scénario d'éclaircie(s) est bien appliqué. Les conditions à satisfaire pour atteindre une augmentation de la production en volume marchand sont la conjugaison de très faibles intensités de prélèvement, d'un allongement de la période de rotation et d'éclaircies réalisées sur des qualités de station très élevées. Toutefois, des pertes de volume peuvent survenir dans les conditions suivantes : 1) éclaircie tardive, 2) éclaircie de forte intensité, 3) éclaircie avec de larges sentiers de débardage, 4) éclaircie de peuplements peu productifs, et 5) éclaircie avec la coupe d'arbres dominants (écrémage). Pour tenir compte adéquatement de ces impacts, le Comité propose deux objectifs distincts de production, chacun comportant des critères d'admissibilité, des critères d'application et des hypothèses de rendement.

Une pratique bien encadrée de l'éclaircie, réalisée dans le but d'améliorer la qualité des peuplements et de maintenir leur productivité, correspond à l'objectif A de l'avis. Une sélection des peuplements les plus productifs et de meilleure qualité ainsi qu'un scénario d'éclaircie(s) adapté aux caractéristiques du peuplement permettront de satisfaire aux conditions de cet objectif de production et de maximiser les effets escomptés du traitement.

Dans un autre contexte, l'éclaircie pourrait éventuellement servir à anticiper une partie de la récolte finale afin, par exemple, de régler un problème local d'approvisionnement; ceci correspond à l'objectif B de l'avis. Dans ces cas, il s'agit le plus souvent d'éclaircies tardives, de fortes intensités, combinées avec de larges sentiers de débardage, soit autant de conditions susceptibles de mener à des pertes de production en volume. Ces pertes varieront selon la qualité de la station et la hauteur du peuplement. L'avis présente deux hypothèses de rendement pour ces cas. Toutefois, on devrait limiter le recours à cet objectif compte tenu des faibles gains en diamètre, des pertes de production en volume et des dangers de chablis.

Dans un objectif d'amélioration des peuplements, le bois récolté à la première éclaircie est constitué en grande partie de petites tiges ou de tiges déformées de peu de valeur. Néanmoins, la réussite du scénario sylvicole repose en grande partie sur cette première éclaircie. Sa rentabilité doit être évaluée pour ses effets à long terme sur le peuplement résiduel et non pas uniquement pour la récolte de bois à cette étape seulement. L'éclaircie, et particulièrement la première, doit être perçue comme une coupe servant à améliorer le peuplement plutôt qu'une récolte. Si les éclaircies ne peuvent augmenter la production en volume, elles ont un impact important sur la valeur d'un peuplement puisqu'elles permettent de produire des tiges de plus fortes dimensions et de faire croître les tiges de meilleure qualité.

En plus des quelques avantages mentionnés précédemment, il appert que l'éclaircie commerciale trouve des justifications sur le plan environnemental. L'éclaircie permet de modeler certains éléments relatifs à la structure et à la composition des peuplements. Ainsi, ce traitement peut contribuer à résoudre certains problèmes de composition tels que l'enfeuillage, l'ensapinage, la raréfaction de certaines espèces ainsi que la gestion de la végétation compétitive. De plus, l'éclaircie est un outil qui permet d'accroître la résistance de certains peuplements à la TBE lorsque utilisée dans un cadre préventif en période endémique.

Toutefois, le traitement ne semble pas présenter que des avantages sur le plan environnemental. En ce qui a trait à la fertilité des sols, la principale appréhension est liée à l'augmentation de la fréquence des interventions qui risque de produire des effets de compactage supérieurs (distribution et intensité) au terme d'une rotation comparativement à un système préconisant uniquement une CPRS. Parce qu'elle façonne des peuplements de densité optimale et spatialement homogènes, l'éclaircie commerciale a pour effet de minimiser la variabilité de la taille et de l'état des arbres. Les stratégies d'aménagement devraient inclure des mesures visant à limiter la simplification de la structure des peuplements à l'échelle du paysage.

Le potentiel et les contraintes des peuplements forestiers relativement à l'éclaircie commerciale peuvent être déterminés à partir de la compréhension de leur dynamique ainsi que des conditions du site (milieu physique) sur lequel ils se développent. Malheureusement, les études sur ce sujet sont insuffisantes. Afin de remédier à cette situation, nous suggérons que la réalisation des prochains travaux d'éclaircie soit encadrée par un processus de suivi permettant d'acquérir des connaissances en fonction du potentiel et des contraintes identifiés.

Table des matières

	page
Préface	iii
Sommaire	vii
Chapitre premier - Critères et production forestière	1
1.1 Introduction	1
1.2 Principes sylvicoles	1
1.3 Peuplements visés par l'éclaircie commerciale.....	3
1.4 Avantages de l'éclaircie commerciale	3
1.5 Désavantages de l'éclaircie commerciale	4
1.6 Scénarios d'éclaircies.....	5
1.7 Production en volume et gains en dhp.....	6
1.8 De nouveaux objectifs sylvicoles et de nouvelles hypothèses de rendement	12
1.8.1 OBJECTIF A. AUGMENTATION DE LA VALEUR DES PLANTATIONS OU DES PEUPEMENTS ÉDUQUÉS PRODUCTIFS	14
1.8.1.1 Critères d'admissibilité – Objectif A.....	14
1.8.1.2 Critères d'application - Objectif A	15
1.8.1.3. Hypothèse de rendement - Objectif A	16
1.8.2 OBJECTIF B. RÉCOLTE ANTICIPÉE DES PEUPEMENTS PEU PRODUCTIFS OU NON ÉDUQUÉS.....	16
1.8.2.1 Critères d'admissibilité – Objectif B.....	16
1.8.2.2 Critères d'application - Objectif B	17
1.8.2.3 Hypothèses de rendement 1 – Objectif B.....	18
1.8.2.4 Hypothèses de rendement 2 – Objectif B.....	19
Chapitre deux - Biodiversité et impacts environnementaux	21
2.1 Introduction	21
2.2 Gestion de la composition	22
2.2.1 Enfeuillement	22
2.2.2 Ensapinage.....	23
2.2.3 Composition forestière et TBE.....	23
2.2.4 Raréfaction de certaines espèces	23
2.2.5 Végétation compétitive	24

	page
2.3 Gestion de la structure	24
2.3.1 Structure du couvert forestier	25
2.3.2 Végétation en sous-étage.....	25
2.3.3 Chicots et gros débris ligneux	26
2.4 Effet du traitement à l'échelle du paysage	26
2.5 Diversité génétique.....	27
2.6 Fertilité des sols.....	28
2.7 Insectes et maladies.....	29
Conclusion	31
Références bibliographiques	33
Annexe 1 - Réponse aux questions posées par le Comité du Manuel d'aménagement forestier au sujet de l'éclaircie commerciale	47
Annexe 2 - Gain mathématique en dhp à la première éclaircie commerciale des plantations résineuses.....	73

Chapitre premier

Critères et production forestière

1.1 Introduction

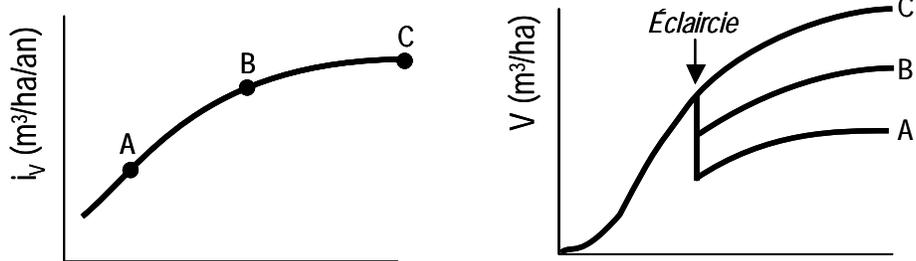
Ce document vise à donner un avis scientifique sur l'éclaircie commerciale. À la lumière des données publiées dans la littérature scientifique et de l'expertise acquise sur le sujet, nous traiterons des principes sylvicoles, des peuplements visés par ce traitement, des avantages et des désavantages de l'éclaircie, des scénarios d'éclaircie, des gains et des pertes potentielles de production en volume et nous proposerons des hypothèses de rendement et des critères d'admissibilité et d'application pour ce traitement. L'annexe 1 contient les réponses du Comité consultatif scientifique aux questions formulées par le Comité du Manuel d'aménagement forestier.

1.2 Principes sylvicoles

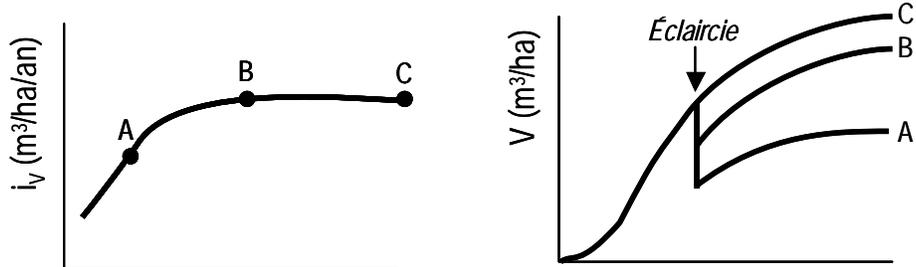
Se basant sur les travaux de MAR:MOLLER (1947), SMITH (1962) a formulé la théorie suivante : « La production totale en volume d'un peuplement, sur un site donné est, pour toutes considérations pratiques, constante et optimale pour une large gamme de densité ou *stocking*. Elle peut être inférieure, mais pas augmentée, par une manipulation de la quantité d'individus à des niveaux hors de cette gamme. »

Ce principe est également connu sous le nom d'hypothèse de Langsaeter, laquelle est exprimée graphiquement à la figure 1 par la relation de type « **Plateau** » (SMITH 1962, SMITH *et al.* 1997). Toutefois, cette relation n'est pas vérifiée pour plusieurs espèces résineuses (CURTIS et MARSHALL 1997), de sorte qu'une relation de type « **Proportionnel** » est plus généralement la règle (SEYMOUR 1999).

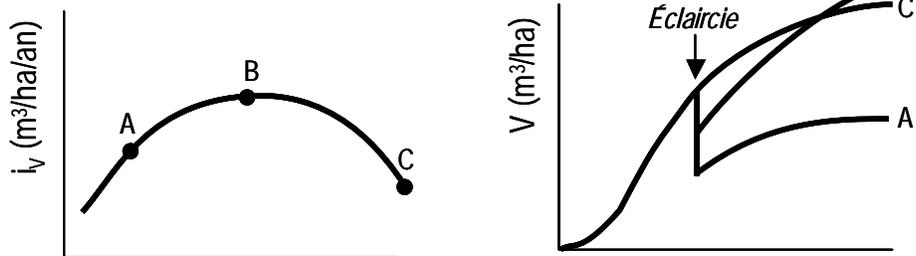
(a) Patron de type « Proportionnel »



(b) Patron de type « Plateau »



(c) Patron de type « Optimum »



Surface terrière relative (G%)

Âge du peuplement

Figure 1. Relations-types entre la production (i_v , en $m^3/ha/an$) et la densité du peuplement (exprimée en surface terrière relative par rapport à un peuplement de densité maximale), pour un IQS et un âge donné. Trois types sont identifiés (a) Type « **Proportionnel** », (b) Type « **Plateau** » et (c) Type « **Optimum** » (d'après SMITH *et al.* 1997). La seconde série de graphiques illustre le comportement probable des peuplements à une éclaircie selon trois scénarios : (A) éclaircie très forte, (B) éclaircie modérée et (C) aucune éclaircie (selon MITCHELL et GOUDIE 1997).

De cette théorie, on peut déduire que le diamètre moyen obtenu, peu importe l'âge, varie directement avec le régime d'espacement (SJOLTE-JORGENSEN 1967). Ainsi, un aménagiste ne peut faire croître qu'un volume maximum donné sur une station donnée, mais ce volume peut être constitué d'un nombre élevé de petites tiges ou d'une faible quantité de grosses tiges.

BASKERVILLE (1962) a émis l'hypothèse que la production annuelle s'accroît avec une augmentation de la densité jusqu'à un point où le peuplement atteint une occupation maximale de la station. Ceci signifie que, pour une station donnée, les peuplements établis avec une grande variété de régimes d'espacement produisent des volumes similaires lorsqu'ils ont atteint l'occupation maximale de la station.

1.3 Peuplements visés par l'éclaircie commerciale

L'éclaircie commerciale est un traitement sylvicole pratiqué dans un peuplement forestier régulier d'une seule strate, de couvert fermé et de stade de prématurité. Bien que l'éclaircie puisse avoir un effet bénéfique sur le développement des semis établis sous couvert, ce n'est pas une intervention de régénération, de sorte que ce traitement doit être distingué de la coupe progressive d'ensemencement. La coupe partielle de peuplements étagés, formés d'une espèce dominante et d'une espèce dominée (exemple des peuplements mixtes de pin gris et d'épinette noire), qui consiste à récolter l'étage dominant et à réduire la densité du peuplement sous-jacent, constitue également un traitement différent.

L'éclaircie est dite commerciale lorsque les bois abattus ont des dimensions marchandes, et dont la valeur permet de compenser une partie ou la totalité des frais de récolte (OIFQ 1996). C'est une composante du système sylvicole de la futaie régulière.

1.4 Avantages de l'éclaircie commerciale

L'éclaircie vise à augmenter l'accroissement du diamètre des arbres restants, et aussi, par une sélection convenable, à améliorer la qualité du peuplement résiduel (MÉTRO 1975). Les autres avantages possibles de l'éclaircie sont les suivants : sélection des tiges avec le meilleur potentiel de croissance; réduction du temps nécessaire pour atteindre les dimensions marchandes prédéfinies; report de l'âge d'exploitabilité absolu, en haussant l'âge auquel l'accroissement annuel moyen culmine (CURTIS et MARSHALL 2002); maintien de la vigueur des tiges résiduelles, modification de la composition du peuplement et hausse potentielle de sa résistance à la TBE (BAUCE 1996); amélioration potentielle de la source de graines pour la prochaine rotation en favorisant les bons phénotypes; augmentation de la résistance des arbres aux stress hydriques (TIMBAL 2002); création de revenus au cours de la rotation, de

manière à rembourser une partie des investissements consentis pour l'établissement et l'éducation du peuplement; augmentation de la production utile du peuplement en récoltant une partie des tiges qui autrement mourraient à cause de la compétition interindividuelle; réduction des risques de bris et de chablis causés par le vent, le verglas et la neige, en renforçant les tiges résiduelles (DAY et NANANG 1996, NYLAND 2002). Dans le cas des deux derniers avantages mentionnés, les éclaircies peuvent avoir les effets inverses dans certaines situations que nous discuterons dans la prochaine section et plus en détail dans l'annexe 1.

Dans un contexte d'aménagement plus extensif, l'éclaircie pourrait également servir à régulariser les approvisionnements de bois en devançant une partie de la récolte prévue à la coupe finale.

1.5 Désavantages de l'éclaircie commerciale

L'éclaircie accentue le défilement de la tige au cours des premières années. Toutefois, cet effet s'atténue avec le temps (BERRY 1971, ANDRÉ *et al.* 1994) de sorte qu'à maturité, l'éclaircie n'influence pas significativement la forme de la tige (BASTIEN 1986, PAPE 1999, VIENS 2001). Les effets sur la densité du bois ou sur la formation de bois de compression seraient également négligeables (ANDRÉ *et al.* 1994, READER et KURMES 1996, TASSISSA et BURKHART 1998, PAPE 1999).

L'ouverture du couvert peut favoriser la croissance des branches et retarder l'élague naturel. Cependant, dans le cas des plantations, l'élague naturel est très faible même en l'absence d'éclaircie et pour des densités de reboisement élevées. Par conséquent, il faut recourir nécessairement à l'élague artificiel pour obtenir du bois sans nœud. Dans ces circonstances, l'éclaircie est bénéfique puisque l'élague peut être réalisé sur un plus faible nombre d'arbres. De plus, la croissance individuelle des tiges élaguées est stimulée par un espace de croissance accru. Les résultats obtenus en Finlande par MAKINEN (1999) confirment qu'il est peu efficace de retarder les éclaircies dans le but de réduire l'importance des nœuds dans les sciages et que l'élague artificiel est nécessaire pour produire des sciages de haute qualité.

De mauvaises pratiques d'éclaircies peuvent procurer des effets négatifs. Des pertes de production en volume peuvent survenir dans les peuplements éclaircis trop intensément et surtout trop tardivement¹ ou encore, dans les peuplements où les tiges dominantes sont récoltées (REUKEMA et BRUCE 1977, SAVILL *et al.* 1997, BOWLING et TOWILL 1998). De même, les éclaircies systématiques (ou avec de larges sentiers) peuvent réduire la production en volume par rapport aux éclaircies sélectives par le bas (DAY et

¹ Une éclaircie est considérée tardive lorsqu'elle est réalisée dans un peuplement où la compétition perdure depuis trop longtemps pour permettre un gain important de croissance en diamètre.

RUDOLPH 1972, HAMILTON 1976, BALDWIN *et al.* 1989), et plus particulièrement lors d'éclaircies retardées. De plus, dans ces conditions, les peuplements sont plus vulnérables au vent, au verglas ou à la neige (CREMER *et al.* 1982). Des pertes en volume peuvent aussi survenir lorsque l'éclaircie est pratiquée dans des peuplements où la fertilité de la station est faible (VALINGER *et al.* 2000).

La mise en marché des bois de la première éclaircie peut constituer un problème. Il est difficile d'approvisionner les usines de sciage à partir des bois de la première éclaircie puisque cette récolte est peu volumineuse et elle est composée en grande partie de tiges de faibles dimensions, d'arbres déformés ou de peu de valeur. Cette particularité incite souvent, à tort, le report de la première éclaircie afin d'obtenir de plus gros bois. Dans ces circonstances, les avantages s'amenuisent et les inconvénients deviennent plus importants. De plus, si cette pratique permet d'obtenir de plus gros bois au moment de cette coupe, elle produit l'effet inverse pour toutes les coupes subséquentes, soit sur la portion du peuplement qui aura la plus grande valeur monétaire (PRÉGENT 1998). Les risques économiques qui découlent de la transformation des bois de la première éclaircie devraient être analysés soigneusement avant de déployer une stratégie d'approvisionnement trop dépendante du traitement d'éclaircie commerciale.

1.6 Scénarios d'éclaircies

Un scénario d'éclaircies se définit principalement selon le moment d'intervention, le type, l'intensité et la fréquence. Le choix d'un scénario optimal d'éclaircies commerciales est complexe puisqu'il dépend principalement des trois facteurs suivants : 1) les objectifs de production; 2) les moyens disponibles; 3) l'état du peuplement à traiter (essence, âge, IQS, structure verticale, densité avant traitement, qualité des tiges, etc.). Plusieurs paramètres sont associés à ces trois facteurs et puisque ces derniers peuvent varier considérablement, il ne peut y avoir de scénario unique, ni de réponse unique.

Tout d'abord, il est primordial de déterminer les types de bois désirés et les moments auxquels on veut les obtenir (RIOU-NIVERT 1982). Il est possible que l'éclaircie ne soit pas nécessaire pour la production de bois à pâte (LITTLE *et al.* 1968, BENNETT 1971) à moins que son prix soit élevé (HAIGHT 1993). Toutefois, les éclaircies sont nécessaires pour obtenir le maximum de bois de grandes dimensions et de bonne qualité dans un temps minimum (DAY et RUDOLPH 1972). Plus on visera l'obtention de gros bois en fin de rotation, plus les éclaircies devront être fréquentes et de fortes intensités et plus le nombre de tiges à conserver pour la coupe finale devra être faible (PRÉGENT 1998). Les caractéristiques du peuplement à traiter déterminent également les modalités optimales des éclaircies. Les espèces et les stations productives nécessitent des éclaircies plus fréquentes et plus hâtives. Les peuplements dont le nombre de tiges est élevé (densité de reboisement élevée ou peu de mortalité) nécessitent également

une première éclaircie plus hâtive (PRÉSENT 1998). Enfin, les éclaircies doivent être sélectives et de faible intensité pour les peuplements dont le moment d'éclaircie a été retardé ou dont l'état est instable (voir Annexe 1).

1.7 Production en volume et gains en dhp

La littérature scientifique contient peu d'études concernant les effets de l'éclaircie commerciale sur la production en volume de nos espèces. Le tableau 1 résume les résultats des onze études recensées portant sur l'épinette noire, le sapin baumier et le pin gris. Il est cependant difficile de tirer des conclusions générales à partir de ces études, en raison des nombreuses lacunes dans les méthodologies. On constate notamment que plusieurs de ces études ont été analysées sur de courtes périodes (BERTRAND et BOLGHARI 1970, BOLGHARI 1980, GROOT *et al.* 1984), avec une seule répétition ($n = 2$) (BERTRAND et BOLGHARI 1970, BOLGHARI 1980, WEETMAN *et al.* 1980) ou même aucune (BARBOUR *et al.* 1994). Les peuplements varient beaucoup et diffèrent parfois avant même l'application des traitements (BERTRAND et BOLGHARI 1970, WEETMAN *et al.* 1980). Ainsi, WEETMAN *et al.* (1980) rapportent une absence d'effet sur le dhp mais, fait étonnant, un gain en volume de 15,3 % après 15 ans; or, ces différences étaient observées avant même les éclaircies. L'étude de BERTRAND et BOLGHARI (1970) indique une meilleure croissance en surface terrière des parcelles éclaircies. Cette observation est contraire aux principes sylvicoles reconnus (voir Annexe 1, question 6) et elle pourrait s'expliquer par des différences de qualité de station en faveur des parcelles éclaircies avant même l'application des traitements. De plus, compte tenu que les éclaircies influencent la croissance en diamètre, et non pas celle en hauteur, il est important d'utiliser un tarif de cubage à deux entrées afin de ne pas surestimer la production en volume des parcelles éclaircies. Or, plusieurs de ces études ne précisent pas la méthode de cubage utilisée. Par surcroît, ces études ne contiennent aucun sentier de débardage, sous-estimant ainsi les pertes de production en volume, particulièrement dans le cas d'éclaircies retardées. À notre connaissance, aucune étude n'a porté sur l'effet d'une éclaircie avec sentier de débardage sur le rendement des peuplements dans l'est du Canada. On ne peut donc transposer directement les résultats existants aux peuplements éclaircis de manière opérationnelle, compte tenu du fait que présentement, l'intensité d'éclaircie correspond à l'ensemble de la récolte effectuée dans le peuplement, incluant celle effectuée dans les sentiers de débardage. L'effet de ces sentiers devrait varier selon : 1) la largeur du sentier, 2) la productivité de l'espèce et de la station, 3) le moment de l'éclaircie et 4) la qualité des travaux en relation avec les blessures à l'écorce ou aux racines des arbres et à l'orniérage. Les pertes de volume devraient être supérieures pour les sentiers larges en combinaison avec des stations et des essences peu productives (épinette noire par exemple) et en présence d'éclaircies tardives.

Tableau 1. Essais sylvicoles et expériences d'éclaircies sur le sapin baumier, le pin gris et l'épinette noire

EXPÉRIENCE		CONDITIONS INITIALES						TRAITEMENTS			RÉSULTATS							
Référence	Type d'expérience	Essence	Lieu	IQS	Âge	N	G	Type d'éclaircie	Nombre	Intensité	Diamètre minimal d'utilisation	Période d'évaluation	Volume final sur pied	Diff. avec témoin	Production utile	Diff. avec témoin	Dhp moyen	Diff. avec témoin
				m	ans	tiges/ha	m ² /ha			%	cm	ans	m ³ /ha	%	m ³ /ha	%	cm	%
Bowling et Towill 1998 (cas 3)	Essai sylvicole	PIG		14	40	n.d.	n.d.	Témoin		0	0	22	n.d.		n.d.	0	n.d.	
								Éclaircie par le bas	1	25		n.d.	-10	n.d.	8	n.d.	5	
								Éclaircie par le bas	1	50		n.d.	-7	n.d.	11	n.d.	23	
Groot et al. 1984	Dispositif expérimental	PIG	Chapleau, Ontario	17	45	3430	31	Témoin		0	0	10	231		230		n.d.	
								Éclaircie par le bas	1	20		225	-3	247	7	n.d.	n.d.	
Grenier et Harvey 2000	Analyse rétrospective	PIG	Montbrun, Québec	16	45	3254	25	Témoin		0	10	17	238		238		15,2	
								Éclaircie par le bas	1	25		238	0	271	14	15,5	2	
Bowling et Towill 1998 (cas 4)	Essai sylvicole	PIG	Sandilands Forest Reserve, Manitoba	17	40	1100	30-34	Témoin		0	10	15	257		257		16	
								Éclaircie par le bas	1	23		220	-15	252	-2	16,5	3	
								Éclaircie par le bas	1	35		182	-29	231	-10	17	3	
								Éclaircie par le haut	1	31		210	-18	278	8	16,7	-1	
								Éclaircie par le haut	1	44		173	-33	270	5	17,3	3	
Bowling et Towill 1998 (cas 6)	Essai sylvicole	PIG		21	18	n.d.	n.d.	Témoin		0	0	30	n.d.		n.d.		n.d.	
								Éclaircie par le bas	5	Faible		n.d.	-33	n.d.	31	n.d.	-6	
								Éclaircie par le bas	5	Moyenne		n.d.	-36	n.d.	42	n.d.	27	
								Éclaircie par le bas	5	Forte		n.d.	-56	n.d.	19	n.d.	36	
Barbour et al. 1994	Essai sylvicole	PIG	Espanola, Ontario	15	26	3935	14	Témoin		0	10	39	181		n.d.		15,5	
								Éclaircie par le bas	1	34		155	-14	n.d.		16,5	6	
								Éclaircie par le bas	1	63		147	-19	n.d.		18,8	21	
Corriveau 1971	Dispositif expérimental	SAB	Réserve faunique des Laurentides, Québec	15	43	1446,5	47	Témoin			0	10	385		385		16	
								Éclaircie par le bas	1	12		363	-6	388	1	16	0	
								Éclaircie par le bas	1	20		337	-12	390	1	18	13	
								Éclaircie par le bas	1	31		260	-32	332	-14	16	0	
Bolghari 1980	Essai sylvicole	SAB	Ste-Lucie de Beaugard, Québec	15	50	4109	45	Témoin			9	7	280		280		15,1	
								Éclaircie neutre	1	20		188	-33	235	-16	13,4	-11	
Baldwin 1977		SAB			45			Témoin					176		176		14	
									1	20		150	-15	192	9	14	0	
									1	40		115	-35	169	-4	13	-7	
Bertrand et Bolghari 1970	Essai sylvicole	SAB	Daqaam, Québec	> 15	45	4250	38	Témoin			9	10	273		273		14	
								Éclaircie par le bas	1	20		252	-8	285	4	13,2	-6	
Weetman et al. 1980	Dispositif expérimental	EPN	Baie Comeau, Québec	Classe II Linteau 1955	65	6900	42	Témoin			0	15	216		196		11,2	
								Éclaircie neutre	1	25		194	-10	226	15	11,4	2	
								Éclaircie neutre	1	50		135	-38	206	5	11,3	1	

N.B. : L'interprétation des différences observées entre le volume final sur pied et la production utile doit tenir compte des variations du diamètre minimal d'utilisation. La majorité de ces études comportent des lacunes au plan statistique, que ce soit la nature du dispositif ou des analyses effectuées.

La production en volume total d'un peuplement varie peu en fonction de l'éclaircie (PARDÉ 1964, CLUTTER *et al.* 1983, CURTIS *et al.* 1997, MONTERO *et al.* 2001, PENNER *et al.* 2001, ZEIDE 2001). MITCHELL et GOUDIE (1997) rapportent que pour certains conifères de la Colombie-Britannique, de légers gains en volume sont possibles uniquement avec des éclaircies par le bas de faibles intensités et que des baisses de production en volume surviennent avec des éclaircies d'intensités moyenne à forte. De plus, de légers gains ne sont possibles que si la première éclaircie est réalisée assez tôt dans la vie du peuplement. Un trop grand retard de la première éclaircie peut alors se traduire par un très faible gain en dhp, voire même une absence de gain, des risques de volis et de chablis et surtout, par des pertes de production en volume.

En contrepartie, LOFTUS (1996) a constaté à partir du suivi de 180 parcelles permanentes, qu'il n'y a pas d'augmentation de la production en volume liée aux éclaircies en Colombie-Britannique. Au Québec, ce même constat a été fait par RAULIER *et al.* (2003) à partir des résultats d'un modèle semi-fonctionnel dont l'étalonnage a été effectué dans la Réserve faunique des Laurentides. Cette étude a aussi permis d'établir qu'une éclaircie par le bas faite dans une sapinière de 64 ans pouvait améliorer la croissance en diamètre des plus petits arbres résiduels, mais pas celle des arbres dominants. Pour la Suède, VALINGER *et al.* (2000) soulignent que l'éclaircie conduit presque toujours à une réduction de la croissance en volume, ceci en raison principalement de la fertilité des stations. Parce que la majorité des stations forestières en Suède sont limitées en azote, la fertilisation doit être combinée à l'éclaircie pour obtenir un accroissement en volume ou pour éviter une perte (VALINGER *et al.* 2000).

La forêt de Libin en Belgique, constitue un exemple particulier de forêt très productive. L'épinette de Norvège est une essence productive et, selon nos calculs, la qualité de station y est supérieure à la plupart des plantations connues de cette espèce au Québec (IQS de plus de 14 m à 25 ans) (ANDRÉ *et al.* 1994). Malgré la très grande productivité de cette forêt et le nombre élevé d'éclaircies, soit 8 en 12 ans, ANDRÉ *et al.* (1994) concluent de leur étude, qui comportait au total cinq stations forestières traitées, y compris celle de Libin : « L'analyse globale des résultats indique qu'il n'est pas prudent d'avancer un effet positif sur la production en volume. » Les autres conclusions de cette étude sont à l'effet que : 1) la production en surface terrière et son accroissement sont indépendants de l'intensité de l'éclaircie; 2) la hauteur dominante des peuplements n'est pas modifiée par l'éclaircie alors que la hauteur de cime vivante s'accroît avec son intensité; 3) l'éclaircie précoce et de forte intensité permet d'améliorer la stabilité des peuplements; 4) si la production en volume n'est pas altérée par l'intensité du traitement, les volumes moyens de l'arbre sur pied et de ceux récoltés augmentent avec son intensité; et 5) la valeur marchande du peuplement se réduit par l'absence de sylviculture mais s'accroît sensiblement avec son intensité.

Une étude d'envergure a été amorcée au début des années 1960 dans l'Ouest américain et canadien pour connaître les effets de divers régimes d'éclaircies sur la croissance et la production de peuplements naturels et de plantations de sapin Douglas (CURTIS et MARSHALL 2002, MARSHALL et CURTIS 2002; KING *et al.* 2002). Elle est établie à neuf endroits et elle comprend huit intensités d'éclaircie et un traitement témoin avec trois répétitions à chacune des stations. De plus, les données couvrent une période de plus de 30 ans. Les auteurs rapportent généralement des pertes de production en volume marchand et en volume total à la suite des éclaircies. Néanmoins, des gains en volume marchand sont parfois notés sous les conditions simultanées suivantes :

- 1) très faible intensité de prélèvement;
- 2) allongement de la période de rotation;
- 3) éclaircies sur les meilleures stations.

Une éventuelle hypothèse de rendement comportant un gain en volume marchand devrait tenir compte de ces trois facteurs.

Il importe de noter que la production de ces stations (IQS₅₀ de l'ordre de 40 m) est de loin supérieure aux nôtres. Ainsi, pour une station jugée moins fertile, aucun scénario d'éclaircie ne permet d'obtenir un gain en volume total ou marchand (CURTIS et MARSHALL 2002). Or, les parcelles témoins de cette station moins fertile ont tout de même produit 729 m³/ha en 63 ans, soit une production annuelle de 11,6 m³/ha. Cette productivité jugée trop faible pour obtenir un gain en volume est supérieure à toutes nos forêts naturelles et presque toutes nos plantations.

L'intensité de prélèvement à laquelle une hausse de la production en volume marchand est observée (MARSHALL et CURTIS 2002), correspond à des récoltes moyennes en surface terrière de 2,5 m²/ha, soit un prélèvement moyen de 6,8 % pour les quatre éclaircies (varie de 4,4 à 10,7 %). Il s'agit d'un taux de prélèvement de nature expérimentale qui est toutefois difficile à réaliser et à rentabiliser au point de vue opérationnel. De plus, compte tenu que le prélèvement doit être uniformément réparti sur l'ensemble de la superficie, il est presque impossible de faire des sentiers à de tels seuils de prélèvement. D'ailleurs, ces études n'en contiennent aucun. Aucune hausse ne survient à de plus fortes intensités de prélèvement, même pour le traitement 5 où le seuil de prélèvement est aussi faible que 4,2 m²/ha ou 12,8 % de la surface terrière. Des baisses de production en volume marchand sont notées, principalement pour des taux de prélèvement supérieurs au traitement 5.

Les auteurs de ces études concluent que le bénéfice de l'éclaircie ne peut pas s'exprimer par une augmentation du volume, mais par l'obtention d'individus de plus grosses dimensions, par une possibilité

de réaliser des approvisionnements répartis dans le temps et par une amélioration de la qualité visuelle et de la valeur faunique.

Par rapport à un peuplement non éclairci, un peuplement éclairci permet une récolte plus grande de petits bois ainsi que de gros bois et une plus faible récolte de moyens bois. Une baisse du diamètre minimal d'utilisation tend à augmenter la contribution des petits bois dans la production en volume marchand et par conséquent à avantager la production en volume marchand des peuplements éclaircis. De même, si un « volume sciage » comportant un diamètre minimal d'utilisation assez élevé (ex. : 18 cm) était considéré, les avantages de l'éclaircie sur la production en volume de gros bois seraient mieux quantifiés et les objectifs véritables de l'éclaircie seraient mieux évalués. La croissance en diamètre est favorisée par l'éclaircie de sorte que la production en « volume sciage » (p. ex. : *board feet* de bois de sciage)¹ est généralement augmentée (WILEY et ZEIDE 1989). Par exemple, ces auteurs ont noté, 30 ans après éclaircies de plantations de *Pinus taeda* dans le sud des États-Unis, une augmentation pouvant atteindre environ 35 % (selon le régime d'éclaircies) en « volume sciage », comparativement au témoin. Un grand nombre d'études soulignent l'obtention d'un « volume sciage » qui dépasse largement le témoin à la suite d'éclaircies réalisées correctement, tout en précisant un effet négligeable, voire négatif, sur le volume total ou sur le volume marchand. L'avantage de l'éclaircie commerciale se mesure le plus souvent, aux États-Unis ou en Europe, en « volume sciage », comparativement à une évaluation en volume de pâte, telle qu'effectuée au Québec. Alors que la première mesure conduit effectivement à dégager un bénéfice net important à la suite du traitement, la seconde ne permet d'observer que des gains faibles ou nuls, puisqu'elle concerne majoritairement, pour ce traitement, les plus petites tiges. Toutefois, nous ne possédons pas le système voulu pour évaluer ces bénéfices sous l'angle du « volume sciage », de sorte que le présent avis scientifique s'en tient au volume total ou au volume marchand. Le lecteur est invité à tenir compte de cette importante distinction pour une compréhension et une évaluation juste des effets du traitement d'éclaircie.

Les résultats obtenus dans le dispositif de la forêt de Libin (ANDRÉ *et al.* 1994) s'apparentent en certains points à ceux de l'Ouest américain décrits précédemment. Les gains en volume marchand sont observés pour une forêt très productive avec des éclaircies fréquentes et de faibles intensités. À l'exception de la première éclaircie où le taux de prélèvement varie de 14,7 à 62,4 %, selon les divers traitements, les sept autres éclaircies espacées de seulement trois ans ne prélèvent généralement que moins de 3 m²/ha, soit des intensités de prélèvement de nature expérimentale, difficiles à réaliser de façon opérationnelle. Il faut souligner que les gains en volume résultent en grande partie de la première

¹ Volume net de bois sur pied apte à être utilisé en scierie calculé en *board feet* d'après le Barème international « ¼ Inch Log Rule », pour les arbres vifs des essences commerciales, pouvant fournir au moins une grume de sciage marchande mesurant à hauteur d'homme les diamètres minima suivants : résineux de l'Est, 9 *inches* (22,9 centimètres), résineux de l'Ouest et tous les feuillus, 11 *inches* (27,9 centimètres). Source : FAO.

éclaircie, éclaircie au cours de laquelle le diamètre moyen des arbres récoltés varie de 8,1 à 9,8 cm selon les traitements. Une forte proportion de ces arbres ne seraient pas marchands sous nos conditions alors que les standards européens sont à 7 cm. La productivité de cette forêt n'est d'ailleurs que très peu représentative de nos plantations d'épinette de Norvège puisque nous ne retrouvons que 1,2 % des parcelles du réseau de la DRF avec un IQS₂₅ supérieur à 14 m. Compte tenu de l'effet majeur de la qualité de la station sur les gains potentiels en volume observés dans l'étude de l'Ouest américain, les gains observés à la forêt de Libin sont très difficilement transposables à nos conditions et encore moins à d'autres espèces moins productives.

L'expérience acquise au Nouveau-Brunswick confirme que la rencontre des trois conditions mentionnées plus haut constitue un prérequis pour l'obtention d'une augmentation du volume marchand. Toutefois, le temps écoulé depuis l'expérience en cours sur l'épinette blanche dans cette province ne permet pas de quantifier précisément une telle augmentation (Jean-Marie Binot, *Ph.D.*, communication personnelle). Cette expérience a été réalisée en 1989 dans une plantation établie en 1968 (IQS₅₀ = 21 m; station d'érablière convertie) et comportait une surface terrière de 28,2 m²/ha. Le dispositif renferme deux intensités d'éclaircies (éclaircie neutre), soit 20 et 35 % en surface terrière et le témoin non éclairci. Une proportion importante était constituée de tiges marchandes lors de l'éclaircie. Sachant que le volume résiduel est sensiblement égal, en 2000, dans les témoins et les parcelles faiblement éclaircies, bien que non quantifié, l'auteur anticipe un gain en volume marchand qui, pour une révolution de 50 ans, pourrait être de 10 % dans les conditions de l'expérimentation (Jean-Marie-Binot, *Ph.D.*, communication personnelle).

Il est particulièrement difficile de rentabiliser la première éclaircie de plantations denses ou de peuplements naturels non éduqués (voir Annexe 4, dans GOUVERNEMENT DU QUÉBEC 2002a). Alors qu'il faudrait éclaircir ces peuplements plus tôt, la faible grosseur des tiges incite alors à retarder le traitement. La baisse des densités de reboisement survenue au cours des années 1990 et le recours à l'éclaircie précommerciale auront un effet positif à ce niveau. Néanmoins, même en présence de faibles densités de reboisement, la tendance de retarder la première éclaircie est encore observée, compromettant ainsi les avantages visés par le traitement. Le même phénomène pourrait être observé à l'avenir pour les peuplements naturels ayant bénéficié d'une éclaircie précommerciale.

Les gains en diamètre dépendent notamment de la productivité de l'espèce et de la station; les gains maximaux sont obtenus sur les stations les plus fertiles et les essences les plus productives. La littérature nord-américaine et européenne mentionne que des gains plus importants en diamètre sont réalisés à la suite d'éclaircies multiples, amorcées tôt au cours du développement du peuplement (BRAATHE 1957, ASSMAN 1970, CURTIS *et al.* 1997, BOWLING et TOWILL 1998).

La littérature rapporte également que les gains en diamètre à la suite d'une seule éclaircie dans un peuplement naturel non éduqué sont négligeables (CORRIVEAU 1971, BALDWIN 1977, BOLGHARI 1980, WEETMAN *et al.* 1980, GROOT *et al.* 1984, BOWLING et TOWILL 1998, GRENIER et HARVEY 2000, voir Annexe 1). Ces études portent le plus souvent sur des éclaircies tardives. Comme l'éclaircie est reconnue généralement pour ne pas avoir d'effet sur la croissance en hauteur (à moins de cas de stress hydriques importants au printemps [MCWILLIAMS et THÉRIEN 1996]), le potentiel de gain en volume ne peut résulter, dans ces cas, que de la récupération de la mortalité. Or, une étude des parcelles permanentes du nord de l'Ontario a montré que le volume de mortalité naturelle cumulé de 0 à 90 ans ne représente que 14 m³/ha pour l'épinette noire, 17 m³/ha pour le pin gris et 19 m³/ha pour les peuplements mixtes (EVERT 1976, tableau 2). Si toute la mortalité était récupérée, ces valeurs correspondraient à une augmentation de production utile de l'ordre de 8 %, ce qui est encore loin des hypothèses prévues par le Manuel d'aménagement forestier (GOUVERNEMENT DU QUÉBEC 1998). Toutefois, pour récupérer cette mortalité il serait nécessaire de recourir à une première éclaircie hâtive (voir question 3 [Annexe 1] et figure 2), et malgré tout, dans ces circonstances, une partie de la mortalité ne peut déjà plus être récupérée.

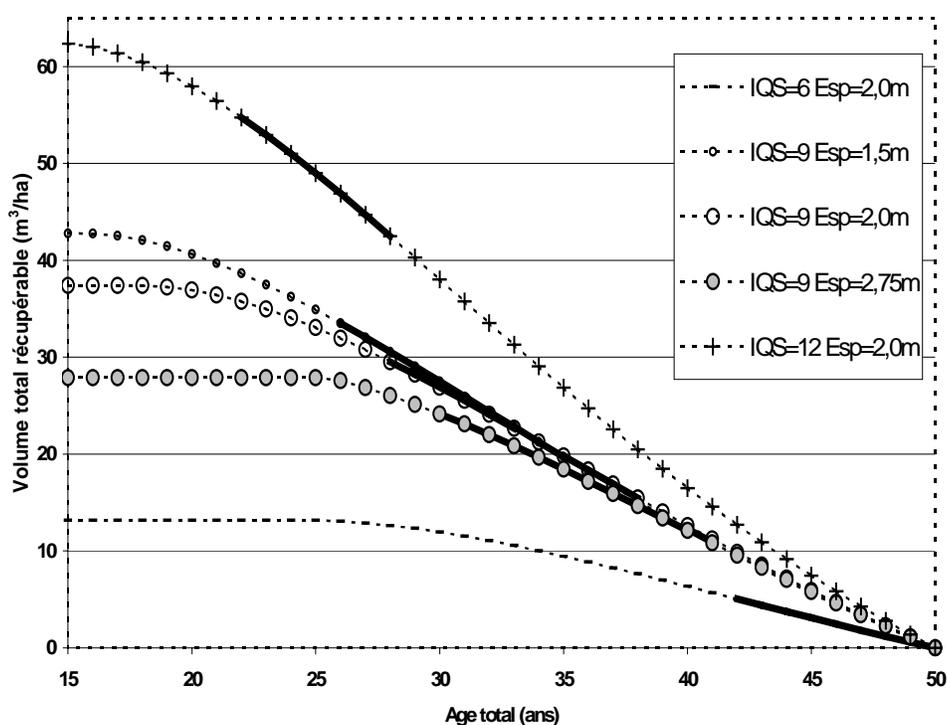
1.8 De nouveaux objectifs sylvicoles et de nouvelles hypothèses de rendement

Dans le cadre du présent avis, nous proposons deux nouveaux objectifs sylvicoles pour l'application de l'éclaircie commerciale, assortis de nouvelles hypothèses de rendement. Une première hypothèse de rendement concerne les éclaircies pour améliorer la qualité et la croissance en diamètre du peuplement résiduel tout en maintenant la production en volume (Objectif A). Dans le passé, les éclaircies commerciales réalisées au Québec, autant dans les plantations que dans les peuplements naturels, ont souvent été trop tardives, de forte intensité et comprenaient de larges sentiers de débardage. Ces trois conditions mènent à des pertes potentielles de production en volume. Des hypothèses de rendement seront décrites pour ces situations (Objectif B).

Aucune des hypothèses de rendement proposées dans ce qui suit n'a été validée expérimentalement sur le terrain. À notre avis, il s'agit des estimations les plus plausibles compte tenu de l'expertise et des connaissances rapportées dans la littérature scientifique actuelle. Un suivi rigoureux des peuplements traités est nécessaire pour valider ces hypothèses. De plus, compte tenu de l'effet des éclaircies sur l'âge auquel l'accroissement annuel moyen culmine, il faudrait retarder l'âge d'exploitabilité (CURTIS et MARSHALL 2002), de sorte que le gain potentiel de l'éclaircie puisse s'accroître avec une augmentation de la durée de la rotation (CURTIS *et al.* 1997). Cet effet devrait être plus important pour l'objectif A que pour l'objectif B. Toutefois, nous ne disposons pas de données permettant de quantifier cet effet sous nos conditions.

Tableau 2. Volume de mortalité naturelle cumulé pour les peuplements d'épinette noire, de pin gris et mélangés du nord de l'Ontario (d'après EVERT 1976). Le ratio de la production brute sur la production nette indique l'augmentation potentielle de production utile que permettrait la récupération de la mortalité anticipée

AGE	Pessières noires		Pinèdes grises		Peuplements mixtes	
	Mortalité cumulative	Production Brute/Nette	Mortalité cumulative	Production Brute/Nette	Mortalité cumulative	Production Brute/Nette
<i>ans</i>	m^3/ha	%	m^3/ha	%	m^3/ha	%
60	0,95	101	3,39	102	1,31	101
90	13,92	108	17,07	108	19,03	108
120	48,30	122	51,57	121	72,74	125



* calculé à partir de la mortalité périodique prédite selon Bolghari et Bertrand (1984)

* les traits plus foncés indiquent la période probable de la première éclaircie (surface terrière totale varie de 25 à 35 m²/ha)

Figure 2. Mortalité en volume total récupérable par l'éclaircie en fonction de l'âge total selon divers indices de qualité de station et espacements initiaux pour l'épinette blanche.

1.8.1 OBJECTIF A. AUGMENTATION DE LA VALEUR DES PLANTATIONS OU DES PEUPEMENTS ÉDUQUÉS PRODUCTIFS

L'éclaircie appliquée dans certaines conditions permettrait de faire une ou plusieurs récoltes sans diminuer la production utile du peuplement. Un tel régime cherche principalement à stimuler la croissance diamétrale des peuplements. A priori, cet objectif ne peut être atteint que pour les peuplements les plus aptes à réagir à l'éclaircie afin de rentabiliser l'opération, soit ceux qui se retrouvent sur les meilleures qualités de station. Les éclaircies tardives ou de fortes intensités devront être évitées pour atteindre cet objectif. De même, il faudra restreindre la largeur des sentiers de débardage afin de ne pas réduire la production en volume.

1.8.1.1 *Critères d'admissibilité – Objectif A*

Ce scénario d'éclaircies est réservé aux plantations et aux peuplements éduqués (c'est-à-dire ayant subi une éclaircie précommerciale), de productivité élevée et dont l'éclaircie commerciale est effectuée tôt dans la vie du peuplement.

- 1) Le traitement s'applique à des peuplements résineux réguliers, purs ou en mélange. La surface terrière des vétérans, reconnus sur la base de leur dimension en hauteur en fonction de celle du peuplement, doit être inférieure à 20 % de la surface terrière marchande, sinon le peuplement est considéré étagé.
- 2) Les peuplements naturels qui ont déjà bénéficié d'une éclaircie précommerciale, ou ayant une structure s'y apparentant, de même que les plantations sont visés par cet objectif.
- 3) La surface terrière totale avant traitement est d'au moins 25 m²/ha et d'au plus 35 m²/ha.
- 4) Les stations les plus productives doivent être privilégiées; ces stations ont un IQS supérieur à 15 m à 50 ans. De plus, les peuplements sont suffisamment vigoureux pour réagir; ils ont, par conséquent, une hauteur relative inférieure à 90 % de celle du peuplement à 50 ans.
- 5) Pour obtenir une réaction suffisante des tiges, la longueur moyenne de la cime vivante des tiges dominantes doit être supérieure ou égale au tiers de la hauteur totale des tiges (LAROCQUE et MARSHALL 1994). Ces résultats, pour le pin rouge, montrent bien que la densité du peuplement a un effet très significatif sur le développement des cimes, donc, sur le développement des tiges.

1.8.1.2 Critères d'application - Objectif A

Nous recommandons l'application d'une éclaircie sélective par le bas ou neutre¹ dans certains cas, selon les modalités suivantes :

- 1) Entre les sentiers de débardage, le traitement correspond à une récolte sélective de 15 à 24 % de la surface terrière totale, bien répartie sur l'ensemble de la superficie.
- 2) Sont récoltées en priorité, les tiges défectueuses, ou peu vigoureuses², ou celles d'essences de moindre valeur, dans les étages intermédiaires, codominants et dominants. Par la suite, le prélèvement se fait par le bas. La surface terrière totale résiduelle, incluant les sentiers, est d'au moins 16 m²/ha. Nous recommandons fortement d'effectuer au préalable un martelage, afin de s'assurer d'un choix judicieux des tiges à couper.
- 3) La superficie des sentiers ne doit pas excéder 15 % de la surface du peuplement (la largeur des sentiers étant mesurée par la distance moyenne entre les troncs des arbres situés en lisière du sentier). En considérant le taux de prélèvement entre les sentiers, le taux de prélèvement global se situe entre 28 et 35 % de la surface terrière lorsque la superficie des sentiers atteint la limite maximale.
- 4) Pour les peuplements naturels, la largeur des sentiers ne devrait pas excéder 3,5 m. Pour les plantations, une ligne peut être coupée à moins que l'espacement entre les lignes excède 2,5 m.
- 5) La récolte des vétérans est permise à condition qu'ils soient de faible qualité et qu'ils ne soient pas d'une essence rare ou difficile à régénérer (ex. : épinette blanche, pin blanc).
- 6) Le diamètre moyen du peuplement après le traitement variera selon le taux et la grosseur des tiges défectueuses. Si celles-ci sont peu nombreuses, le rapport entre le dhp des arbres résiduels et le dhp du peuplement avant l'éclaircie devrait être égal ou supérieur à 1,05.
- 7) La dernière éclaircie est réalisée au moins 15 ans avant la coupe finale.

¹ Éclaircie neutre : récolte d'une proportion constante de la surface terrière dans toutes les classes de dhp, tout en éliminant les tiges de faible vigueur ou déformées dans toutes les strates du peuplement.

² Pour les arbres résineux, nous proposons le critère suivant pour évaluer la vigueur d'une tige. Un arbre non vigoureux dispose d'une cime dont la longueur correspond à moins du tiers de la hauteur totale de l'arbre ou qui est comprimée latéralement sur plus de 50 % de sa circonférence. Dans le cas contraire, l'arbre est considéré vigoureux.

1.8.1.3 Hypothèse de rendement – Objectif A

Conformément à l'hypothèse d'un comportement de type « **Plateau** » (voir Figure 1 et Annexe 1), la production utile marchande (dhp > 9 cm) après traitement est maintenue au même niveau que celle d'un peuplement équivalent non traité, soit celui qui correspond aux tables de production empiriques en vigueur. Autrement dit, le volume marchand obtenu à maturité après éclaircie ($V_{\text{résiduel}}$) est égal à celui d'un peuplement non traité (V_{table}), moins le volume cumulé des éclaircies réalisées ($V_{\text{éclaircie}}$) :

$$V_{\text{résiduel}} = (V_{\text{table}} - V_{\text{éclaircie}}).$$

Nous posons ici l'hypothèse que les trouées produites par les sentiers de débardage seront comblées rapidement par la croissance latérale des houppiers et rendront négligeables les pertes de production causées par les sentiers de débardage.

1.8.2 OBJECTIF B. RÉCOLTE ANTICIPÉE DES PEUPELEMENTS PEU PRODUCTIFS OU NON ÉDUQUÉS

L'éclaircie pourrait aussi être pratiquée dans des conditions où la production utile ne peut être maintenue (éclaircie tardive, intense, systématique). Cette intervention pourrait servir, par exemple, à combler un déficit local temporaire de matière ligneuse et régler ainsi des problèmes urgents d'approvisionnement (OMULE 1988). Toutefois, cette coupe partielle réduira la production des peuplements traités et il faudrait en tenir compte dans le calcul de la possibilité forestière. Cette pratique serait acceptable dans la mesure où elle régulariserait l'approvisionnement, en comblant un déficit appréhendé pendant une certaine période de temps. C'est une opération d'autant plus risquée que les éclaircies seront tardives, de fortes intensités et pratiquées dans des peuplements instables. Cette approche exige une analyse précise du territoire forestier et l'utilisation d'hypothèses de rendement prudentes et conservatrices. Ainsi, il faudra limiter les superficies ainsi traitées et conserver un contrôle rigoureux de ce type d'intervention, notamment en ce qui concerne les enjeux de maintien de forêts mûres et surannées (voir chapitre 2).

Deux hypothèses de rendement sont proposées, selon les caractéristiques du peuplement traité.

1.8.2.1 Critères d'admissibilité – Objectif B

Ce scénario d'éclaircie s'applique aux peuplements naturels non éduqués, aux plantations peu productives et aux plantations éclaircies à un âge avancé :

1. Le traitement s'applique à des peuplements résineux réguliers, purs ou en mélange. La surface terrière des vétérans, reconnus sur la base de leur dimension en hauteur en fonction de celle du peuplement, doit être inférieure à 20 % de la surface terrière marchande, sinon le peuplement est considéré étagé.
2. La surface terrière marchande avant traitement est d'au moins 25 m²/ha.
3. Pour assurer une réaction suffisante des tiges, la longueur de la cime vivante moyenne des tiges dominantes est supérieure ou égale au tiers de la hauteur totale des tiges (LAROCQUE et MARSHALL 1994).
4. Nous ne suggérons pas de critère limitant l'utilisation de l'éclaircie commerciale en regard de l'âge ou de la productivité des peuplements. Cependant, nous recommandons deux hypothèses de rendement distinctes en fonction de l'indice de qualité de station, l'âge et la densité du peuplement (voir la section « Hypothèses de rendement » ci-dessous).

1.8.2.2 Critères d'application - Objectif B

Nous recommandons l'application d'une éclaircie sélective neutre, suivant les modalités suivantes :

1. Entre les sentiers de débardage, le traitement correspond à une récolte sélective de 20 à 30 % de la surface terrière marchande, distribuée régulièrement sur l'ensemble de la superficie.
2. Sont récoltées en priorité les tiges défectueuses ou peu vigoureuses ou celles d'essences de moindre valeur, dans les étages intermédiaires, codominants et dominants. La surface terrière marchande résiduelle, incluant les sentiers, est d'au moins 15 m²/ha. Nous recommandons fortement d'effectuer au préalable un martelage, afin de s'assurer d'un choix judicieux des tiges à couper.
3. La superficie des sentiers ne doit pas excéder 15 % de la surface du peuplement (la largeur des sentiers étant mesurée par la distance moyenne entre les troncs des arbres situés en lisière du sentier).
4. Pour les peuplements naturels, la largeur des sentiers ne devrait pas excéder 3,5 m. Pour les plantations, une ligne peut être coupée à moins que l'espacement entre les lignes excède 2,5 m.

5. La récolte des vétérans est permise à condition qu'ils soient de faible qualité et qu'ils ne soient pas d'une essence rare ou difficile à régénérer (ex. : épinette blanche, pin blanc).
6. Le rapport entre le dhp des arbres résiduels et le dhp du peuplement avant l'éclaircie est égal ou supérieur à 1,0.
7. La dernière éclaircie est réalisée au moins 15 ans avant la coupe finale.

1.8.2.3 Hypothèses de rendement 1 – Objectif B

La première hypothèse de rendement de l'objectif B suppose un maintien de la production utile après une éclaircie entre les sentiers de débardage (soit une réaction de type « **plateau** ») et une réduction du rendement du peuplement en raison des trouées improductives causées par les sentiers. Cette hypothèse s'applique aux peuplements naturels non éduqués et répond aux deux critères suivants :

- a) **peuplement de forte productivité**, c'est-à-dire dont l'IQS à 50 ans est supérieur à 15 m. Cette limite a été établie selon le principe suivant lequel un peuplement jugé productif devrait être apte à produire des tiges de plus de 18 m de hauteur à maturité pour permettre une production significative de bois de sciage. Selon POTHIER et SAVARD (1998), cette situation correspondrait à des valeurs minimales d'IQS₅₀ de 15 m pour les productions SEPM;
- b) **peuplement d'âge optimal** : pour avoir une réaction optimale à l'éclaircie, les peuplements doivent avoir une croissance en hauteur vigoureuse. Un peuplement est considéré comme tel lorsque sa hauteur dominante varie de 90 à 100 % de la hauteur du peuplement prévue à 50 ans. La hauteur dominante est le paramètre proposé pour estimer l'âge relatif ou le stade de développement du peuplement (voir Annexe 1, question 1).

Afin de prendre en compte les trouées improductives générées par les sentiers de débardage, un facteur d'improductivité est appliqué au volume résiduel estimé précédemment, lorsque la largeur moyenne des sentiers (LMS) excède l'espacement moyen des tiges résiduelles entre les sentiers (EMT). Dans ce cas, le volume marchand sur pied est multiplié par un facteur d'improductivité (FI) (voir Annexe 1, question 7).

Par conséquent, l'hypothèse de rendement B1 correspond à la formule suivante :

$$V_{\text{résiduel}} = (V_{\text{table}} - V_{\text{éclaircie}}) \times FI$$

où

$$FI = 1 - \frac{LMS - EMT}{EMS + LMS}$$

$$EMT = \sqrt{\frac{\left(\frac{EMS}{EMS + LMS}\right) \times 10000}{N}}$$

EMS = espacement moyen entre les sentiers

Si $LMS < EMT$, alors $FI = 1$

1.8.2.4 Hypothèses de rendement 2 – Objectif B

Pour les peuplements de faible productivité (IQS inférieur ou égal à 15 m à 50 ans) ou ceux dont la hauteur dominante est : $H_{\text{dom}} > 100 \% H_{50\text{ans}}$

L'hypothèse d'un comportement de type « **Proportionnel** » est la plus appropriée pour ces cas. Conséquemment, le volume marchand sur pied d'un peuplement traité demeure proportionnel à celui d'un peuplement non traité, le facteur de proportionnalité est établi à partir de l'intensité d'éclaircie (% éclaircie, en proportion de la surface terrière récoltée). Ainsi :

1. $V_{\text{résiduel}} = V_{\text{table}} \times (1 - \% \text{ éclaircie entre les sentiers})$
2. Tout comme le cas précédent, un facteur d'improductivité (FI) est appliqué pour tenir compte des trouées générées par les sentiers de débardage :

$$V_{\text{résiduel}} = V_{\text{table}} \times (1 - \% \text{ éclaircie entre les sentiers}) \times FI$$

Chapitre deux

Biodiversité et impacts environnementaux

2.1 Introduction

Le traitement d'éclaircie commerciale s'effectue actuellement à une échelle réduite (près de 15 000 ha au cours des cinq dernières années). Cependant, étant donné l'importance des superficies actuellement régénérées par plantation (près de 950 000 ha au cours des vingt dernières années) ou régénérées naturellement puis éduquées par éclaircie précommerciale (près de 400 000 ha au cours des vingt dernières années), on peut présumer que la pratique de ce traitement s'accroîtra dans l'avenir. À cela s'ajoutent des peuplements naturels denses âgés actuellement de 30 ans (près de 125 000 ha) ou 50 ans (près de 275 000 ha) dont une partie pourrait éventuellement être orientée vers des travaux d'éclaircie commerciale.

Avant de bâtir des stratégies d'aménagement et des scénarios sylvicoles qui prennent en compte à la fois ce traitement et les attributions de matière ligneuse, il importe de bien connaître les enjeux environnementaux et forestiers qui lui sont potentiellement associés. La connaissance de ces enjeux aura une influence sur la place qu'occupera ce traitement dans les scénarios sylvicoles à venir, autant du point de vue du potentiel et des contraintes des peuplements admissibles, que de l'ampleur des superficies traitées à l'échelle du paysage.

Malheureusement peu d'études ont examiné les relations entre le traitement d'éclaircie et la biodiversité et les résultats sont peu transposables aux écosystèmes forestiers du Québec. Cela fait en sorte qu'il nous apparaît difficile de définir des enjeux précis, relatifs à ce traitement. Nous croyons que

ce traitement se justifie sur le plan environnemental, mais nécessite l'étude de ses effets sur un certain nombre de variables. De telles études viendront préciser les enjeux environnementaux pour lesquels une attention particulière devrait être portée, au fur et à mesure que le traitement sera appliqué.

Déjà, le chapitre précédent portant sur le rendement a fixé certaines balises à l'intérieur desquelles le traitement devrait être réalisé. Dans le texte qui suit, nous nous proposons d'examiner d'autres éléments, mais cette fois-ci sur la base de la biodiversité et des enjeux environnementaux. Il s'agit essentiellement des mêmes enjeux que ceux évoqués aux avis scientifiques portant sur l'ÉPC (GOUVERNEMENT DU QUÉBEC 2002a) et la CPPTM (GOUVERNEMENT DU QUÉBEC 2002b), mais adaptés, dans la mesure du possible, à l'éclaircie. Les réflexions qui suivent s'appliquent autant aux superficies plantées que régénérées naturellement, éduquées ou non.

2.2 Gestion de la composition

La diversité et la richesse des espèces contribuent de façon importante aux diverses fonctions de l'écosystème (ex. : prélèvement, taux de décomposition, etc.), particulièrement lorsqu'il y a présence d'espèces d'autécologie diverses (FRANKLIN *et al.* 2002).

En prélevant une partie des tiges du couvert forestier, le sylviculteur pose un geste qui aura des conséquences sur la composition du peuplement. Bien que la gestion de la composition ne soit pas l'objectif principal du traitement d'éclaircie, il peut toutefois être pris en compte dans l'élaboration de stratégies d'aménagement. En effet, le traitement d'éclaircie peut contribuer à résoudre certains problèmes de composition tels l'enfeuillement, l'ensapinage, la susceptibilité à la TBE, la raréfaction de certaines espèces ainsi que la gestion de la végétation compétitive.

2.2.1 Enfeuillement

Il a été démontré que la dynamique forestière des territoires sous aménagement différerait sensiblement de celle liée aux perturbations naturelles tels le feu, les épidémies d'insectes et les maladies. Par exemple, la coupe forestière favorise, dans certaines situations, l'envahissement par des feuillus de lumière, notamment le peuplier faux-tremble, en particulier lorsque celui-ci est présent dans le peuplement avant la coupe (HARVEY et BERGERON 1989; CARLETON et MACLELLAN 1994; FORTIN et GAGNON 2000, 2001, 2002). Sur les sites propices à l'enfeuillement (sols de texture fine), l'éclaircie est un outil qui permettrait d'abaisser la présence du peuplier dans le couvert. D'autre part, en favorisant l'installation d'une régénération résineuse en sous-étage, dans certains cas, l'éclaircie atténuerait

probablement l'impact de l'envahissement d'une régénération de feuillus de lumière à la suite de la récolte finale (POTHIER et PRÉVOST 2002; PRÉVOST et POTHIER, sous-presse).

2.2.2 Ensapinage

Bien que le phénomène soit moins bien documenté que celui d'enfeuillage, on anticipe que les coupes forestières favorisent l'expansion du sapin dans certaines régions (GRONDIN et NOËL, en révision). Ce phénomène serait surtout lié à des coupes réalisées dans des pessières à sapin (strate ES) issues de feu et fortement régénérées en sapin. La régénération après la coupe est alors dominée par le sapin et sous-dominée par l'épinette noire. Selon cette composition, la prochaine forêt mature devrait être davantage pourvue en sapin que la forêt primitive. Cette essence agressive pourrait accroître sa dominance à la suite des prochaines récoltes de matière ligneuse. Certains posent cependant l'hypothèse que la surface terrière du sapin ne devrait pas supplanter celle de l'épinette noire en raison des épidémies de TBE (SARRAZIN 1991) et de sa croissance relativement faible sur ces stations (DOUCET et BLAIS 2000). Aux endroits où ce problème existe, le sylviculteur pourrait pratiquer une éclaircie qui permettra d'avantager l'épinette au détriment du sapin. Ce faisant, le sylviculteur modifie légèrement la composition du peuplement actuel.

2.2.3 Composition forestière et TBE

En l'absence d'intervention, les niveaux de défoliation par la TBE sont plus élevés pour le sapin que pour les épinettes (blanche et noire). Ceci est en accord avec le fait que les épinettes sont reconnues pour être plus résistantes que le sapin à la TBE (BAUCE *et al.* 2001). Ainsi, en favorisant l'épinette au détriment du sapin baumier, l'éclaircie contribue à augmenter la résistance des peuplements à la TBE. Par contre, des études portant sur l'influence de la composition sur la vulnérabilité à la TBE ont montré que le niveau de défoliation est positivement corrélé à la proportion d'individus hôtes et que la présence de feuillus intolérants tend à diminuer le taux de défoliation de ces mêmes individus (BLAIS 1958, VAN RAALTE 1972). De plus, certains auteurs observent que la mortalité des arbres causée par la TBE était supérieure pour les grandes étendues monospécifiques de sapin comparativement aux territoires de composition plus hétérogène (CAPPUCINO *et al.* 1998).

2.2.4 Raréfaction de certaines espèces

Il est reconnu que l'aménagement forestier peut causer la raréfaction de certaines espèces, par exemple les épinettes blanche et rouge et certains pins (blanc et rouge) (WRAY 1985, FORTIN et GAGNON 2001). Ceci s'explique souvent par le fait que certaines pratiques ne créent pas des conditions de

régénération qui satisfassent aux exigences de ces espèces. Par exemple, l'épinette blanche est une espèce dont le succès de régénération est liée à la présence d'un sol minéral nu ou de débris ligneux en décomposition (RAYMOND *et al.* 2000). Bon nombre de sapinières à bouleau blanc soumises à des coupes où les perturbations du sol étaient faibles (coupes en hiver, coupes avec chevaux...) sont aujourd'hui pratiquement démunies d'épinette blanche (CÔTÉ et BÉLANGER 1991). En pratiquant une éclaircie, il est possible de maintenir la présence des essences en problème. Ainsi, il est raisonnable d'avancer l'hypothèse qu'un scarifiage léger puisse créer des lits de germination propices, tout en s'assurant de ne pas endommager les racines des arbres résiduels.

2.2.5 Végétation compétitive

À la suite d'une récolte finale, plusieurs stations sont sujettes à un envahissement par une végétation compétitive, en raison des conditions environnementales qui prévalent à ce moment (JOBIDON 1995). Pour plusieurs stations, cette végétation occasionne un délai, parfois très important, de remise en production. (JOBIDON 1995, ARCHAMBAULT *et al.* 1998). En favorisant l'installation d'une régénération d'espèces désirées en sous-étage, l'éclaircie permettrait de minimiser l'effet de la végétation compétitive qui viendra après la récolte finale. Toutefois, l'ouverture du couvert peut aussi permettre l'installation d'une végétation compétitive en sous-étage (TAPPEINER et ZASADA 1993, HUFFMAN *et al.* 1994, O'DEA *et al.* 1995). Bien que ces essences soient moins vigoureuses qu'en situation de pleine luminosité, la réaction de cette végétation en sous-étage mérite une attention particulière étant donné qu'elle peut nuire aux semis d'essences désirables (DANIEL *et al.* 1979). En définitive, la réaction de la végétation compétitive à la suite d'une éclaircie commerciale sera fonction de la composition, de la structure, de la densité, de l'historique des peuplements, de la qualité des stations, de l'autoécologie des espèces en présence et des variables environnementales; ces jeux d'interactions restent à définir, et ce particulièrement pour les écosystèmes forestiers du Québec.

2.3 Gestion de la structure

La structure d'un peuplement inclut la variation de taille, d'âge et d'état (arbres, chicots ou débris ligneux) ainsi que la distribution spatiale de ces éléments (FRANKLIN *et al.* 2002). Dans les jeunes forêts denses de sapin Douglas de la côte du Pacifique issues de coupes totales, les coupes d'éclaircies commerciales répétées, jumelées à l'allongement de la rotation, ont généré une structure du couvert forestier similaire à celle des forêts anciennes (NEWTON et COLE 1987, DEBELL *et al.* 1996, TAPPEINER *et al.* 1996) et ont été bénéfiques pour les espèces compagnes (MCCOMB *et al.* 1993). De plus, les éclaircies successives permettraient la conservation des caractéristiques propres aux forêts anciennes, tout en stimulant la régénération en sous-étage. En outre, elles augmenteraient la survie et la croissance

des tiges opprimées, tout en stimulant le développement de strates herbacées (BAILEY et TAPPEINER 1998).

Le sapin Douglas est une espèce qui atteint un taux d'accroissement maximum entre 20 et 30 ans et qui le maintient pendant de nombreuses années (plus de 200 ans) (CURTIS *et al.* 1974). Ainsi, des éclaircies répétées du peuplement permettent de générer une structure verticale variée tout en réduisant la période associée à son stade d'autoéclaircie (FRANKLIN *et al.* 2002). Les résultats de ces études ne sont que partiellement transposables aux traitements d'éclaircie commerciale tels que pratiqué au Québec. En effet, la courte durée des rotations liée à la faible période de productivité des essences rend difficile l'application d'un régime d'éclaircies multiples, ce qui limite la possibilité d'utiliser ce traitement pour recréer des structures verticales complexes afférentes aux vieilles forêts. Les lignes qui suivent tenteront de préciser les effets de l'éclaircie sur la structure des peuplements en regard des caractéristiques des peuplements localisés sur le territoire québécois.

2.3.1 Structure du couvert forestier

L'éclaircie change la diversité structurale de la partie marchande des peuplements en modifiant la composition, la densité et la distribution diamétrale des tiges. L'éclaircie pourrait dans certains cas affaiblir la diversité structurale du couvert forestier. Ce niveau de risque est toutefois relativement faible si l'éclaircie est pratiquée dans les peuplements de structure régulière et dans les plantations, comme il est préconisé au chapitre précédent.

2.3.2 Végétation en sous-étage

Bien que l'éclaircie puisse réduire la diversité structurale des arbres par rapport au diamètre, à la densité et la composition, elle peut aussi diversifier la structure et la composition du peuplement en favorisant le développement de la végétation en sous-étage. En effet, par les perturbations du site ainsi que par la modification des conditions environnementales (lumière, compétition, nutrition), l'éclaircie peut engendrer une modification de la composition et de la structure de la végétation du sous-bois (THYSELL et CAREY 2000). Il a été démontré que l'éclaircie peut favoriser l'établissement d'une régénération de résineux (DEL RIO et BERG 1979), d'une régénération de feuillus (TAPPEINER et McDONALD 1984; FRIED *et al.* 1988), ou d'une végétation arbustive (TAPPEINER et ZASADA 1993, HUFMANN *et al.* 1994, O'DEA *et al.* 1995) selon les caractéristiques du peuplement. D'ailleurs, KRUEGER (1960) ainsi que ALABACK et HERMAN (1988) mentionnent que la réaction de la végétation en sous-étage à la suite de l'éclaircie est très variable et que, dans certains cas, aucune différence n'est observable entre les peuplements traités et témoins 6 et 17 ans après traitement.

Dans certains cas, l'installation d'une strate inférieure de la végétation pourrait être favorable à la faune en raison d'un nouvel apport de nourriture ou comme abri (MORGANTINI 1996, TELFER 1996). MACARTHUR et MACARTHUR (1961) ont démontré que la diversité des espèces d'oiseaux est reliée plus étroitement à la diversité verticale de la végétation qu'à la diversité des espèces. À la suite de traitement d'éclaircies commerciales de peuplements réguliers, la diversité de la structure verticale pourrait être améliorée, ce qui occasionnerait probablement une augmentation de la richesse spécifique d'oiseaux et de la disponibilité de brout pour les mammifères. Cependant, il n'existe pas de littérature pour appuyer ou réfuter cette hypothèse (HARRISON 1999).

2.3.3 Chicots et gros débris ligneux

Les gros débris ligneux sont une composante essentielle du fonctionnement des écosystèmes forestiers (SAVELY 1939, HARMON *et al.* 1986). Les chicots sur pied et les grosses billes au sol ont un impact sur les processus du sol, la fertilité du sol, l'hydrologie, et la disponibilité des microhabitats pour la faune (MCCARTHY et BAILEY 1993, TELFER 1996, MOORE *et al.* 2002). De plus, les débris ligneux ainsi que les amoncellements de sol minéral créés par le chablis des chicots constituent des lits de germination propices à plusieurs espèces, dont l'épinette blanche (RAYMOND *et al.* 2000, RUEL et PINEAU 2002), l'épinette rouge et le sapin (JOHNSON *et al.* en révision). Plusieurs reconnaissent que la plus grande différence entre les peuplements naturels de ceux aménagés consiste en un plus faible nombre et volume des arbres morts et des débris ligneux dans ces derniers (SPIES et CLINE 1988, SPIES *et al.* 1994, THYSELL et CAREY 2000).

Le prélèvement des arbres moribonds par l'éclaircie risque de modifier la quantité à venir de chicots de fort diamètre et de gros débris ligneux au sol et, conséquemment, de modifier certains processus qui régissent le fonctionnement des écosystèmes (WESTMAN 1990). Il s'agit d'un impact potentiellement négatif sur l'écosystème et pour lequel des mesures de mitigation devraient être élaborées.

2.4 Effet du traitement à l'échelle du paysage

La gestion forestière doit chercher à mettre en œuvre des stratégies d'aménagement qui assurent la conservation de la biodiversité à l'échelle du paysage. Ces stratégies doivent viser, entre autres, le maintien d'attributs de structure et de composition pour un territoire donné en fonction d'analyses réalisées à cette échelle de perception. Nous avons vu précédemment comment l'éclaircie commerciale peut agir sur la structure et la composition des peuplements. Il est donc possible que le traitement puisse satisfaire certains des enjeux de cette nature, lesquels découleraient des analyses réalisées à l'échelle du paysage. De plus, il faut considérer que le traitement puisse permettre la récolte de matière ligneuse

tout en assurant le maintien d'un couvert fermé qui, dans certaines conditions, contribuerait à satisfaire des enjeux d'organisation spatiale.

Le traitement d'éclaircie s'inscrit principalement dans un scénario sylvicole où il fera suite à une EPC. Le but poursuivi par ces traitements est alors de minimiser la variabilité des arbres en ce qui a trait à leur taille et à leur état afin de créer des peuplements de densité optimale, spatialement homogènes (FRANKLIN *et al.* 2002). Si la totalité des peuplements issus d'EPC était traitée, nous nous retrouverions avec le même problème que celui identifié dans l'avis scientifique sur l'EPC (GOUVERNEMENT DU QUÉBEC 2002a), c'est-à-dire une simplification de la structure des peuplements. Celle-ci se traduit par une uniformisation des paysages lorsque le traitement est appliqué sur une trop forte proportion des peuplements disponibles.

Nous avons vu, au chapitre 1, que le traitement pourrait être utilisé comme solution partielle à des problèmes d'approvisionnement (objectif B). En effet, dans la période où la structure d'âge d'une unité d'aménagement présente une disponibilité en volume mûr, à son minimum, l'utilisation de l'éclaircie commerciale peut servir à générer des volumes de bois supplémentaires qui permettent d'assurer une partie de l'approvisionnement des usines. On bénéficie ainsi d'un effet sur le calcul de la possibilité. Une utilisation systématique de cette approche nous semble une stratégie risquée. Du point de vue écologique, une telle stratégie pourrait exercer une trop forte pression sur les forêts mûres présentes dans les paysages. Il est donc essentiel que l'utilisation de l'éclaircie commerciale dans ce cadre demeure contrôlée et soit accompagnée de prescriptions rigoureuses concernant le maintien d'une proportion suffisante de forêts mûres et surannées dans toute l'unité d'aménagement.

2.5 Diversité génétique

Les populations répondent à des variations de leur environnement par les processus de sélection et d'adaptation. Ainsi, l'aspect le plus important de la variation génétique est le pouvoir tampon qu'il procure contre les fluctuations des conditions environnementales. Alors que l'adaptation fait appel à des considérations d'ordre physiologique et d'évolution, les individus réagissent à une perturbation par des processus d'adaptation physiologique, qui sont limités par le génotype. Ainsi, une réduction de la variabilité génétique au sein de l'individu et entre les individus peut avoir un effet sur la résistance et la résilience d'un écosystème, donc sur la stabilité (LARSEN 1995).

L'ensemble des études réalisées à ce jour sur la diversité génétique en forêt aménagée indiquent que les interventions humaines n'ont eu que peu d'effets sur la structure et la variabilité génétique des peuplements forestiers (Beaulieu *et al.* 2001). Les travaux, impliquant essentiellement les essences

conifériennes d'intérêt commercial, montrent qu'une réduction apparente du pool génétique causée par des coupes, des éclaircies, ou des sélections phénotypiques, n'ont dans les faits déterminé, parfois, que la perte de quelques allèles rares. Le phénomène n'est généralement pas considéré critique du point de vue de la diversité génétique de l'espèce, ces allèles peu fréquentes correspondent souvent à des mutations récentes ou des gènes délétères, bien que certaines auraient pu, peut-être, conférer à l'avenir une valeur adaptative aux populations (Müller-Stark 1995). La structure génétique des peuplements et les principaux indicateurs de diversité génétique tels que le taux de polymorphisme des loci et le pourcentage espéré d'hétérozygotie n'apparaissent généralement pas altérés significativement.

Une étude réalisée dans des plantations de sapin Douglas soumises à une éclaircie commerciale n'indique aucune différence significative des paramètres de diversité génétique entre les plantations d'avant et après l'application du traitement, si ce n'est la perte d'une seule allèle rare (El-Kassaby et Benowicz 2000), bien que la coupe commerciale ait conduit à une réduction de moitié des arbres dans les plantations.

2.6 Fertilité des sols

Les facteurs qui influencent la productivité forestière sont généralement méconnus et incontrôlables dans le cadre d'un aménagement intensif. De plus, le potentiel de la productivité sous un aménagement intensif est tout aussi méconnu (GRIGAL 2000). Malgré cette méconnaissance, les scientifiques s'accordent pour reconnaître que l'aménagement forestier modifie les propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol. Bien que l'intensité et la durée des changements varient selon les caractéristiques des écosystèmes, ces modifications sont généralement bien documentées. Certains corollaires peuvent être déduits par rapport aux effets de ces modifications sur la productivité à l'échelle du peuplement. Toutefois, les effets de ces modifications sur la productivité du territoire sont toutefois moins documentés et doivent donc être considérés comme des postulats (GRIGAL 2000).

Il est axiomatique d'avancer que le passage de la machinerie provoque des changements abrupts des propriétés physiques du sol notamment de structure, de porosité, de densité, et de conductivité hydraulique (STANDISH *et al.* 1988). Le corollaire est que le compactage ralentit la croissance des arbres en réduisant la perméabilité du sol, en limitant le développement des racines et en diminuant l'aération. Les preuves d'une baisse de croissance provoquée par les effets du compactage sont nombreuses. En effet, nombre d'études démontrent une diminution de croissance de plants mis en terre (SENYK et CRAIGDALLIE 1997), de semis naturels (SHEPPERD 1993, STONE et ELIOFF 1998) et de conifères à maturité (FROEHLICH 1976) à la suite des effets du compactage. Les dommages aux racines peuvent aussi affecter la productivité du peuplement résiduel (BRADLEY 1969, OLSON 1952). Pour la plupart des types de récolte,

une proportion importante de la superficie (15 à 35 %) est perturbée par le passage de la machinerie. Dans un système sylvicole qui comprend l'éclaircie commerciale, la principale appréhension concernant la fertilité des sols est liée à l'augmentation de la fréquence des interventions, lesquelles risquent de produire des effets de compactage supérieurs en regard de la distribution et de l'intensité en fin de rotation, comparativement à un système qui préconise uniquement une CPRS.

Il est tout aussi axiomatique que la récolte forestière modifie le microclimat du site. À la suite d'une éclaircie, la hausse de température du sol a comme conséquence d'augmenter le taux de décomposition de la matière organique (SMETHURST et NAMBIAR 1990). Selon les caractéristiques du sol et l'intensité du prélèvement, l'apport rapide d'éléments issus de ce mécanisme peut 1) augmenter temporairement la fertilité du site (BRIGGS *et al.* 2000), 2) augmenter les pertes d'éléments par lessivage (ADAMS *et al.* 2000) et 3) augmenter temporairement l'acidité de la solution du sol par la mise en disponibilité de l'aluminium issu de l'augmentation du processus de nitrification (JOHNSON et LINDBERG 1992). Une fois de plus, ces résultats montrent que l'influence du traitement sur la fertilité du sol dépend largement des conditions locales. Toutefois, les conséquences de ces changements sur la productivité forestière doivent être considérées comme des postulats, qu'il faut démontrer (GRIGAL *et al.* 2000). Pour plus de détails sur les impacts de la récolte forestière sur les propriétés du sol, le lecteur est invité à consulter l'annexe 3 de l'avis scientifique sur la CPPTM (GOUVERNEMENT DU QUÉBEC 2002b).

2.7 Insectes et maladies

À la suite d'un traitement d'éclaircie, les arbres hôtes deviennent plus vigoureux et alors plus résistants à la TBE (THIBAUT *et al.* 1995). Dans le cas de l'éclaircie, la résistance induite par le traitement est à son maximum cinq ans après le traitement et elle est encore observée huit ans après le traitement (BAUCE *et al.* 2001). Des études réalisées au Québec ont démontré que l'éclaircie engendre d'importants changements biochimiques à l'intérieur du feuillage (BAUCE 1996). Bien qu'ils ne soient pas à l'origine de périodes épidémiques, ces modifications chimiques se traduisent par des conditions favorables au développement de l'insecte, telle une augmentation de l'ingestion de feuillage, ce qui provoque des défoliations massives et une baisse de résistance des arbres hôtes. Cependant, deux ans après traitement, les arbres réagissent à l'éclaircie en augmentant considérablement leur production foliaire. Cette augmentation compense graduellement pour les pertes encourues précédemment.

L'éclaircie est un outil qui permet d'accroître la résistance de certains peuplements à la TBE lorsqu'elle est pratiquée dans un cadre préventif, soit en période endémique. En revanche, l'utilisation de cet outil en période épidémique, et surtout en phase ascendante des populations, peut avoir des effets

néfastes et contraires aux objectifs visés de protection si certaines précautions ne sont pas prises (voir annexe 2 de l'avis scientifique sur l'éclaircie précommerciale [GOUVERNEMENT DU QUÉBEC 2002a]).

D'autre part, les blessures causées aux arbres résiduels lors des activités de récolte présentent une porte d'entrée pour le développement de pathogènes (SIREN 1989, HESSBURG *et al.* 2001). Le choix de la machinerie et les techniques de récolte utilisées sont les principaux facteurs influençant la quantité et l'intensité des blessures. En effet, certaines techniques de travail permettent de minimiser ces effets (OSTROFSKY *et al.* 1986, MCNEEL et BALLARD 1992, LANFORD et STOKES 1995).

Conclusion

Un projet de recherche sur la sylviculture intensive des plantations initié par la Direction de la recherche forestière en 2002 pourra éventuellement répondre à plusieurs questions sur la conduite des peuplements. Néanmoins, les effets des éclaircies sur la production en volume seront toujours très difficiles à estimer puisque la production dépend peu des éclaircies alors que de nombreux facteurs ont une grande influence. Dans de telles situations, il faut un grand nombre de répétitions afin d'isoler le facteur étudié et pouvoir déceler un effet statistiquement significatif. Ce phénomène pourrait d'ailleurs expliquer la grande variabilité des résultats dans certaines études ou essais sylvicoles.

Les hypothèses de rendement du Manuel prévoyaient, à l'intérieur des critères spécifiés, un gain en volume quelle que soit la nature des éclaircies. De plus, ces gains pouvaient s'ajouter à chacune des éclaircies. Or, dans le meilleur des cas, soit lorsque les éclaircies sont pratiquées selon les règles sylvicoles reconnues, les gains en volume liés aux éclaircies seront presque nuls. Par surcroît, des pertes de production en volume surviendront dans plusieurs situations décrites précédemment.

L'absence d'effets positifs sur la production en volume pourrait freiner le recours à cette opération sylvicole. Néanmoins, il faudra rappeler la grande importance des éclaircies pour obtenir du bois de sciage de grosses dimensions, du bois de déroulage ou des poteaux. Si les éclaircies ne peuvent permettre d'augmenter la production en volume marchand, à moins de satisfaire certaines conditions particulières, elles sont nécessaires pour maximiser la croissance des plus belles tiges et augmenter la production de bois de grosses dimensions.

D'un point de vue écologique et dans l'état actuel des connaissances, nous recommandons que le traitement soit utilisé afin de modéliser certains éléments relatifs à la structure et à la composition des peuplements. Mis à part les effets anticipés de la machinerie sur les propriétés du sol, l'éclaircie ne semble pas engendrer d'effets négatifs sur la fertilité des sols et sur la diversité génétique. Par ailleurs, il serait important de mettre au point des stratégies qui permettent de conserver les chicots et les débris ligneux. À l'échelle du paysage, les superficies traitées ainsi que leur répartition dans le temps et dans

l'espace devraient être planifiées avec précaution afin d'éviter l'uniformisation des peuplements dans les paysages locaux.

Le potentiel et les contraintes des peuplements forestiers face à l'éclaircie peuvent être déterminés à partir de la compréhension de la dynamique interne du peuplement ainsi que des conditions du site sur lequel il se trouve. Par exemple, quel est le risque de chablis après traitement? Quels seront les effets sur la végétation en sous-étage? Pour bien planifier le traitement, le forestier aura besoin de construire une typologie des peuplements qui intègre à la fois les conditions de site et de groupement végétal, donc les informations relatives au type forestier. En même temps, il devra appuyer cette typologie sur les informations relatives au peuplement actuel, c'est-à-dire la structure interne du peuplement et les essences présentes (ex. : pinède grise sur sable, de structure équiennne et bien régénérée en épinette noire).

Cet exercice sera encore plus important lorsque des essais seront tentés en forêts naturelles, dans des peuplements qui n'auront pas préalablement été éduqués au moyen de l'ÉPC. La capacité de prévision des effets du traitement est un préalable à l'intégration de ce traitement dans les stratégies d'aménagement dont l'objectif est de répondre aux enjeux liés à la structure et à la composition des peuplements.

Les effets de l'éclaircie pour les forêts du Québec ont fait l'objet de peu d'études jusqu'à maintenant. C'est pourquoi, nous croyons justifié que des recherches et suivis soient menés de manière à préciser les appréhensions soulevées dans cet avis.

Finalement, afin de parfaire cette acquisition de connaissances, nous suggérons que la réalisation des prochaines éclaircies commerciales soit encadrée par un processus de suivi qui permet d'acquérir ces connaissances en fonction du potentiel et des contraintes identifiés (gestion adaptative).

Références bibliographiques

- ADAMS, M.B., J.A. BURGER, A.B. JENKINS et L. ZELAZNY, 2000. *Impact of harvesting and atmospheric pollution on nutrient depletion of eastern US hardwood forests*. For. Ecol. Manage. 138 : 301-319.
- ALABACK, P.B. et F.R. HERMAN, 1988. *Long-term response of understorey vegetation to stand density in Picea-Tsuga forests*. Can. J. For. Res. 18 : 1522-1530.
- ANDRÉ, P., V. BUCHET, E. DEFAYS, P. LHOIR et P. REGINSTER, 1994. *Éclaircie en futaie résineuse*. Ministère de la région Wallonne, Direction générale des ressources naturelles et de l'environnement, Division de la nature et des forêts, Service de l'aménagement et du génie forestier. Fiche technique n° 3. Université Catholique de Louvain, Belgique. 36 p.
- ARCHAMBAULT, L., M. BERNIER-CARDOU et J. MORISSETTE, 1998. *Forest succession over a 20-year period following clearcutting in balsam fir-yellow birch ecosystems of eastern Quebec, Canada*. For. Ecol. Manage. 102 : 61-74.
- ASSMAN, E., 1970. *The principles of yield study : Studies in the organic production, structure, increment and yield of forest stands*. Pergamon Press, Oxford.
- BAILEY, J.D. et J.C. TAPPEINER, 1998. *Effects of thinning on structural development in 40- to 100-year-old Douglas-fir stands in western Oregon*. For. Ecol Manage. 108 : 99-113.
- BALDWIN, V.C., 1977. *Regeneration following shelterwood cutting in a New Brunswick softwood stand*. Can. For. Serv., Maritimes For. Res. Cent., Inf. Rep. M-X-76.
- BALDWIN, V.C., Jr., D.P. FEDUCCIA et J.D. HAYWOOD, 1989. *Postthinning growth and yield of row-thinned and selectively thinned loblolly and slash pine plantations*. Can. J. For. Res. 19 : 247-256.

- BARBOUR, R.J., D.C.F. FAYLE, G. CHAURET, J. COOK, M.B. KARSH et S. RAN, 1994. *Breast-height relative density and radial growth in mature jack pine (Pinus banksiana) for 38 years after thinning*. Can. J. For. Res. 24 : 2439-2447.
- BASKERVILLE, G.L., 1962. *Production in forests*. Can. Dep. For., For. Res. Br., Fredericton, N.B., 83 p.
- BASTIEN, Y., 1986. *Plaidoyer pour les éclaircies en ligne dans les plantations d'épicéas denses*. Forêt-Entreprise 37 : 18-23.
- BAUCE, E., 1996. *One and two years impact of commercial thinning on spruce budworm feeding ecology and host tree foliage production and chemistry*. For. Chron. 72 : 393-398.
- BAUCE, E., N. CARISEY et A. DUPONT, 2001. *Implications des relations alimentaires plante-insecte dans la lutte contre la Tordeuse des bourgeons de l'épinette*. In Tordeuse des bourgeons de l'épinette : l'apprivoiser dans nos stratégies d'aménagement. Actes du colloque tenu à Shawinigan les 27, 28 et 29 mars 2001. Édité par le Service canadien des forêts, Centre de foresterie des Laurentides, Sainte-Foy (Québec). pp. 29-32.
- BEAULIEU, J., A. RAINVILLE, G. DAOUST et J. BOUSQUET, 2001. *La diversité génétique des espèces arborescentes de la forêt boréale*. Nat. Can. 125 : 193-202.
- BENNETT, F.A., 1971. *The role of thinning and some other problems in management of slash pine plantations*. U.S.D.A. Forest Service, Southeastern Forest Experiment Station. Research Paper SE-86. 14 p.
- BERRY, A.B., 1971. *Stem form and growth of plantation red pine 30 years after heavy thinning*. Canadian Forestry Service, Department of Fisheries and Forestry. Information Report PS-X-24. 13 p.
- BERTRAND, V. et H.A. BOLGHARI, 1970. *L'effet d'une coupe d'éclaircie dans un peuplement dense d'épinettes et de sapin baumier âgé de 45 ans au sud-est de Québec*. Ministère des Terres et Forêts, Service de la recherche (Terres et Forêts). Mémoire n° 1. 21 p.
- BLAIS, J.R., 1958. *The vulnerability of balsam fir to spruce budworm attack in northwestern Ontario, with special reference to the physiological age of tree*. For. Chron. 34 : 405-422.

- BOLGHARI, H.A., 1980. *Croissance d'un peuplement de sapin-épinette à la suite de l'éclaircie et de la fertilisation au sud-est de Québec*. Nat. Can. 107 :135-149.
- BOLGHARI, H.A. et V. BERTRAND, 1984. *Tables préliminaires de production des principales essences résineuses plantées dans la partie centrale du sud du Québec*. Ministère de l'Énergie et des Ressources, Service de la recherche (Terres et Forêts). Mémoire n° 79. 392 p.
- BOWLING, C. et B. TOWILL, 1998. *Response of jack pine to thinning - preliminary results*. In : Commercial thinning Workshop II : Does it pay? August 11-12, 1998, Miramichi, New Brunswick. Edited by the Canadian Woodlands Forum. pp. 7-78.
- BRAATHE, P., 1957. *Thinnings in even-aged stands : a summary of european litterature*. University of New Brunswick, Faculty of Forestry, Fredericton, N.B.
- BRADLEY, R.T., 1969. *Damage to trees, ground and roots*. In : Thinning and Mechanization, Proc. IUFRO meeting Stockholm, Sweden. p. 130.
- BRIGGS, R.D., J.W. HORNBECK, C.T. SMITH, R.C. LEMIN Jr. et M.L. MCCORMACK Jr., 2000. *Long-term effects of forest management on nutrient cycling in spruce-fir forests*. For. Ecol. Manage. 138 : 285-299.
- CAPPUCCINO, N., D. LAVERTU, Y. BERGERON et J. REGNIÈRE, 1998. *Spruce budworm impact, abundance and parasitism rate in a patchy landscape*. Oecologia-Berlin 114 : 236-242.
- CARLETON, T.J. et P. MACLELLAN, 1994. *Woody vegetation responses to fire versus clear-cutting logging : a comparative survey in the central Canadian boreal forest*. Ecoscience 1(2) : 141-152.
- CLUTTER, J.L., J.C. FORTSON, L.V. PIENAAR, G.H. BRISTER et R.L. BAILEY, 1983. *Timber Management. A quantitative approach*. Johh Wiley & Sons, New-York. 333 p.
- CORRIVEAU, A., 1971. *L'intensité de l'éclaircie, ses effets sur un peuplement de sapin baumier âgé de 40 ans*. Centre de recherches forestières des Laurentides. Rapport d'information Q-F-X-21. 43 p.
- CÔTÉ, S. et L. BÉLANGER, 1991. *Variations de la régénération préétablie dans les sapinières boréales en fonction de leurs caractéristiques écologiques*. Can. J. For. Res. 21 : 1779-1795.

- CREMER, K.W., C.J. BOROUGH, F.H. MCKINNEL et P.P. CARTER, 1982. *Effects of stocking and thinning on wind damage in plantations*. N. Z. J. For. Sci. 12 : 245-268.
- CURTIS, R.O., F.R. HERMAN et D.J. DEMARS, 1974. *Height growth and site index for Douglas-fir in high-elevation forests of the Oregon-Washington Cascades*. For. Sci. 20 : 307-316.
- CURTIS, R.O., D.D. MARSHALL et J.F. BELL, 1997. *Logs. A pioneering example of silvicultural research in Coastal Douglas-fir*. J. For. 95(7) : 19-25.
- CURTIS, R.O. et D.D. MARSHALL, 2002. *Levels-of-growing-stock cooperative study in Douglas-fir : Report no. 14- Stampede Creek : 30-year results*. USDA Forest Service. Pacific Northwest Research Station, Research Paper PNW-RP-543. 77 p.
- DANIEL, T.W., J.A. HELMS et F.S. BAKER, 1979. *Principles of silviculture*. McGraw-Hill, New York. 500 p.
- DAY, M.W. et V.J. RUDOLPH, 1972. *Thinning plantation red pine*. Michigan State University, Agricultural Experiment Station East Lansing, Research Report 151. 12 p.
- DAY, R.J. et D.M. NANANG, 1996. *Principles of thinning for improved growth, yield and economic profitability of lodgepole and jack pine*. In "Proceedings of a commercial thinning workshop", held at Whitecourt, Alberta, October 17-18, 1996. FERIC Special Report SR-122, FERIC Western Division, Vancouver.
- DEBELL, D., R.O. CURTIS, C.A. HARRINGTON et J.C. TAPPEINER, 1996. *Shaping stand development through silvicultural practices*. In Kohm, K.A. et J.F. Franklin, *Creating a forestry for the 21st Century*, chapitre 8 : 141-149.
- DEL RIO, E. et A.B. BERG, 1979. *Growth of Douglas-fir reproduction in the shade of a managed forest*. Forest Research Laboratory, Oregon state University, Corvallis, OR. Res. Pap. 40, 14 p.
- DOUCET, R. et L. BLAIS, 2000. *Comparative growth of balsam fir and black spruce advance regeneration after logging*. J. Sustain. For. 10 : 235-239.
- EL-KASSABY, Y.A. et A. BENOWICZ, 2000. *Effects of commercial thinning on genetic, plant species and structural diversity in second growth douglas-fir (Pseudotsuga menziesii [Mirb.] Franco) stands*. For. Genet. 7 : 193-203.

- EVERT, F., 1976. *Management implications of regular mortality in northern Ontario pulpwood stands*. Environment Canada, Forest Management Institute, Ottawa, Canada. Information Report FMR-X-91.
- FORTIN, S. et R. GAGNON, 2000. *Dynamique et aménagement de la forêt mixte boréale associée au tremble, en Gaspésie*. Rapport de recherche dans le cadre du programme de mise en valeur des ressources du milieu forestier, volet 1 (expérimentation), ministère des Ressources naturelles. 68 p.
- FORTIN, S. et R. GAGNON, 2001. *Dynamique et aménagement de la forêt mixte boréale associée au tremble, en Gaspésie : II Expansion du tremble après perturbation*. Rapport de recherche dans le cadre du programme de mise en valeur des ressources du milieu forestier, volet 1 (expérimentation), ministère des Ressources naturelles. 87 p.
- FORTIN, S. et R. GAGNON, 2002. *Risque d'envahissement de certaines strates par le tremble, après coupe, en Gaspésie*. Rapport de recherche dans le cadre du programme de mise en valeur des ressources du milieu forestier, volet 1 (expérimentation), ministère des Ressources naturelles. 51 p.
- FRANKLIN, J.F., T.A. SPIES, R. VAN PELT, A.B. CAREY, D.A. THORNBURGH, D.R. BERG, D.B. LINDENMAYER, M.E. HARMON, W.S. KEETON, D.C. SHAW, K. BIBLE et J. CHEN, 2002. *Disturbance and structural development of natural forest ecosystems with silvicultural implications, using Douglas-fir forests as an example*. For. Ecol. Manage. 155 : 399-423.
- FRIED, J.J., J.C. TAPPEINER et D. HIBBS, 1988. *Bigleaf maple seedling establishment and early growth in Douglas-fir forest*. Can. J. For. Res. 18 : 1226-1233.
- FROELICH, H.A. 1976. *The influence of different thinning systems on damage to soil and trees*. In : XVI IUFRO World Congress, Division IV. Norwegian Forest research Institute, Oslo, Norway. pp. 333-344.
- GOUVERNEMENT DU QUÉBEC, 1998. *Manuel d'aménagement forestier, 3^e Édition*. Ministère des Ressources naturelles du Québec, Québec. 122 p.
- GOUVERNEMENT DU QUÉBEC, 2002a. *Le traitement d'éclaircie précommerciale pour la production prioritaire SEPM*. Avis scientifique. Comité consultatif scientifique du Manuel d'aménagement forestier. Ministère des ressources naturelles du Québec, Direction de la recherche forestière. 125 p.

- GOUVERNEMENT DU QUÉBEC, 2002b. *Coupe avec protection des petites tiges marchandes (CPPTM)*. Avis scientifique. Comité consultatif scientifique du Manuel d'aménagement forestier. Ministère des ressources naturelles du Québec, Direction de la recherche forestière. 146 p.
- GRENIER, G. et B. HARVEY, 2000. *Évaluation des éclaircies commerciales en Abitibi*. Rapport final présenté au ministère des Ressources naturelles du Québec. Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue. Rouyn-Noranda. 148 p.
- GRIGAL, D.F., 2000. *Effects of extensive forest management on soil productivity*. For. Ecol. Manage. 138 : 167-185.
- GRONDIN, P. et J. NOËL, en révision. *Envahissement des parterres de coupe par le sapin (ensapinage)* In : Les enjeux de biodiversité relativement à la composition forestière. Ministère des Ressources naturelles, Direction de la recherche forestière. 19 p.
- GROOT, A., K.M. BROWN, I.K. MORRISON et J.E. BARKER, 1984. *A 10-year tree and stand response of jack pine to urea fertilization and low thinning*. Can. J. For. Res. 14 : 44-50.
- HAIGHT, R.G., 1993. *Optimal management of loblolly pine plantations with stochastic price trends*. Can. J. For. Res. 23(1) : 41-48.
- HAMILTON, G.J., 1976. *Effects of line thinning on increment*. In Aspects of thinning. Forestry Commission Bulletin 55 : 37-45.
- HARMON, M.E., J.F. FRANKLIN, F.J. SWANSON, P. SOLLINS, S.V. GREGORY, J.D. LATTIN, N.H. ANDERSON, S.P. CLINE, N.G. AUMEN, J.R. SEDELL, G.W. LIENKAEMPER, K. CROMACK Jr. et K.W. CUMMINS, 1986. *Ecology of coarse woody debris in temperate ecosystems*. Adv. Ecol. Res. 15 : 133-302.
- HARRISON, D., 1999. *Response of wildlife to thinning in forests of the northeastern U.S.* In : Proceedings Thinning in the Maine forest – Wagner, R.G., A.F. Egan, W.D. Ostrofsky et R.S. Seymour (eds). 15-16 novembre 1999, Augusta (Maine). pp. 35-40.
- HARVEY, B. et Y. BERGERON, 1989. *Site patterns of natural regeneration following clear-cutting in northwestern Québec*. Can. J. For. Res. 19 : 1458-1469.

- HESSBURG, P.F., D.J. GOHEEN et H. KOESTER, 2001. *Association of black stain root disease with roads, skid trails, and precommercial thinning in southwest*. West. J. Appl. For. 16 : 127-135.
- HUFFMAN, D.W., J.C. TAPPEINER II et J.C. ZASADA, 1994. *Regeneration of salal (Gaultheria shallon) in the central Coast Range forests of Oregon*. Can. J. Bot. 72 : 39-51.
- JOBIDON, R., 1995. *Autécologie de quelques espèces de compétition d'importance pour la régénération forestière au Québec*. Revue de littérature. Ministère des Ressources naturelles, Direction de la recherche forestière, Forêt Québec, Québec. Mémoire de recherche forestière n° 117. 180 p.
- JOHNSON, D.W. et S.E. LINDBERG (Ed.), 1992. *Atmospheric depositions and forest nutrient cycling*. Springer-Verlag, New-York. 707 p.
- JOHNSON, E.A., H. MORIN, K. MIYANISHI, R. GAGNON et D.F. GREENE, (en révision). *A process approach to disturbance and forest dynamics for sustainable forestry*. In : Towards Sustainable Management of the Boreal Forest, chapter 8. Edited by V. Adamowicz, P. Burton, C. Messier et D. Smith. Ottawa: NRC Press.
- KING, J.E., D.D. MARSHALL et J.F. BELL, 2002. *Levels-of-growing-stock cooperative study in Douglas-fir : Report No. 17 – The Skykomish Study, 1961-93; The Clemons Study, 1963-94*. USDA Forest Service. Pacific Northwest Research Station, Research Paper PNW-RP-548. 120 p.
- KRUEGER, K.W., 1960. *Behaviour of ground vegetation under a partially cut stand of Douglas-fir*. Res. Note Pacif. Northwest., For. Range Exp. Sta. No. 198.
- LANFORD, B.L. et B.J. STOKES, 1995. *Comparison of two thinning systems. 1. Stand and site impacts*. For. Product. J. 45 : 74-79.
- LAROCQUE, G.R. et P.L. MARSHALL, 1994. *Crown development in red pine stands. I. Absolute and relative growth measures*. Can. J. For. Res. 24 : 762-774.
- LARSEN, J.Bo., 1995. *Ecological stability of forests and sustainable silviculture*. For. Ecol. Manage. 73 : 85-96.

- LITTLE, S., J.J. MOHR et P.V. MOOK, 1968. *Ten-year effects from row thinnings in loblolly pine plantations of eastern Maryland*. U.S.D.A. Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station. Research Note NE-77. 8 p.
- LOFTUS, J., 1996. *Economics and biology of commercial thinning in Coastal British Columbia*. In Proceedings of a commercial thinning workshop, Whitecourt, Alberta, October 17-18 1996, FERIC Special Report SR-122. pp. 24-28.
- MACARTHUR, R.H. et J.W. MACARTHUR, 1961. *On bird species diversity*. Ecology 42 : 594-600.
- MAKINEN, H., 1999. *Growth, suppression, death, and self-pruning of branches of Scots pine in southern and central Finland*. Can. J. For. Res. 29 : 585-594.
- MARSHALL, D.D. et R.O. CURTIS, 2002. *Levels-of-growing-stock cooperative study in Douglas-fir : Report No. 15 – Hoskins : 1963-1998*. USDA Forest Service. Pacific Northwest Research Station, Research Paper PNW-RP-537. 80 p.
- MAR:MOLLER, C., 1947. *The effect of thinning, age, and site on foliage, increment, and loss of dry matter*. J. For. 45(6) : 393-404.
- MCCARTHY, B. et R. BAILEY, 1993. *Distribution and abundance of coarse woody debris in a managed forest landscape of central Appalachians*. Can. J. For. Res. 24 : 1317-1329.
- MCCOMB, W.C., T.A. SPIED et W.H. EMMINGHAM, 1993. *Douglas-fir forests : managing for timber and mature forest habitat*. J. For. 91 : 31-42.
- MCNEEL, J.F. et T.M. BALLARD, 1992. *Analysis of site stand impacts from thinning with a harvester-fowarder system*. J. For. Engin. 4 : 23-29.
- MCWILLIAMS, E.R.G. et G. THÉRIEN, 1996. *Fertilization and thinning effects on a Douglas-fir ecosystem at Shawnigan Lake : 24-year growth response*. For. Can. and B.C. Min. For., Victoria, B.C. FRDA Rep. No. 269.
- MÉTRO, A., 1975. *Dictionnaire forestier multilingue*. Association française des eaux et forêts, Conseil international de la langue française, Paris. 432 p.

- MITCHELL, K.J. et J.W. GOUDIE, 1997. *The Emperor's new clothes*. Dans : Stand density management: planning and implementation (Proceedings. Conference held in Edmonton, Alberta, November 6-7, 1997). Edité par C.R. Bamsey. Alberta Environmental Protection. pp. 34-44.
- MONTERO, G., I. CANELLAS, C. ORTEGA et M. DEL RIO, 2001. *Results from a thinning experiment in a Scots pine (Pinus sylvestris L.) natural regeneration stand in the Sistrina Iberico Mountain Range (Spain)*. For. Ecol. Manage 145 : 151-161.
- MOORE, J.-D., R. OUMET, C. CAMIRÉ et D. HOULE, 2002. *Effects of two silvicultural practices on soil fauna abundance in a northern hardwood forest, Québec, Canada*. Can. J. Soil Sci. 82 : 105-113.
- MORGANTINI, L., 1996. *Proceedings of a commercial thinning workshop. Whitecourt, Alberta*. Colloque organisé par FERIC (Forest Engineering Research Institute of Canada), Millar Western Industries LTD and Alberta Economic Development and Tourism. Feric special report sr-122. pp. 61-63.
- MÜLLER-STARK, G., 1995. *Protection of genetic variability in forest trees*. For. Genet. 2 : 121-124.
- NEWTON, M. et E.C. COLE, 1987. *A sustained yield scheme for old growth Douglas-fir*. West. J. Appl. For. 2 : 22-25.
- NYLAND, R., 2002. *Silviculture: principles and applications*. (Second Edition). McGraw-Hill, New York.
- O'DEA, M.E., J.C. ZASADA et J.C. TAPPEINER II, 1995. *Vine maple clone growth and reproduction in managed and unmanaged coastal Oregon Douglas-fir*. West. J. Appl. For. 2 : 22-25.
- OIFQ, 1996. *Manuel de foresterie*. Presses de l'Université Laval, Sainte-Foy.
- OLSON, D.S., 1952. *Underground damage from logging in the Western White pine type*. J. For. 50 : 460-462.
- OMULE, S.A.Y., 1988. *Growth and yield 35 years after commercially thinning 50-year-old Douglas-fir*. For. Can. and B.C. Min. For., Victoria, B.C. FRDA Rep. No. 21.
- OSTROFSKY, W.D., R.S. SEYMOUR et R.C. LEMIN, 1986. *Damage to northern hardwoods from thinning using whole-tree harvesting technology*. Can. J. For. Res. 16 : 1238-1244.

- PAPE, R., 1999. *Effects of thinning regime on the wood properties and stem quality of Picea abies*. Scan. J. For. Res. 14 : 38-50.
- PARDÉ, J., 1964. *Intensité des éclaircies et production ligneuse*. Revue forestière française 12 : 936-945.
- PENNER, M., C. ROBINSON et D. BURGESS, 2001. *Pinus resinosa product potential following initial spacing and subsequent thinning*. For. Chron. 77(1) : 129-139.
- POTHIER, D. et F. SAVARD, 1998. *Actualisation des tables de production pour les principales espèces forestières du Québec*. Ministère des Ressources naturelles, Forêt Québec, Direction de la recherche forestière. 183 p.
- POTHIER, D. et M. PRÉVOST, 2002. *Photosynthetic light response and growth analysis of competitive regeneration after partial cutting in a boreal mixed stand*. Trees (2002) 6 : 365-373.
- PRÉGENT, G., 1998. *L'éclaircie des plantations*. Québec, ministère des Ressources naturelles du Québec, Direction de la recherche forestière. Mémoire de recherche forestière n° 133. 38 p.
- PRÉVOST, M. et D. POTHIER, (sous presse). *Partial cuts in a trembling aspen/conifer stand : effects on micro-environmental conditions and regeneration dynamics*. Can. J. For. Res.
- RAULIER, F., D. POTHIER et P.Y. BERNIER, 2003. *Predicting the effect of thinning on growth of dense balsam fir (Abies balsamea [L.] Mil.) stands using a process-based tree growth model*. Can. J. For. Res. (sous presse).
- RAYMOND, P., J.-C. RUEL et M. PINEAU, 2000. *Effet d'une coupe d'ensemencement et du milieu de germination sur la régénération des sapinières boréales riches de seconde venue*. For. Chron. 76 : 643-652.
- READER, T.G. et E.A. KURMES, 1996. *The influence of thinning to different stocking levels on compression wood development in Ponderosa pine*. Forest Products Journal 46(11-12) : 92-100.
- REUKEMA, D.L. et D. BRUCE, 1977. *Effects of thinning on yield of Douglas-fir: Concepts and some estimates obtained by simulation*. USDA Forest Service, General Technical Report PNW-58. 36 p.

- RIOU-NIVERT, P., 1982. *Constatations et propositions pour un traitement énergétique des peuplements résineux artificiels. 2^e partie : Création de nouveaux peuplements*. Forêt-Entreprise 81(7) : 14-21.
- RUEL, J.-C. et M. PINEAU, 2002. *Windthrow as an important process for white spruce regeneration*. For. Chron. 78 : 732-738.
- SARRAZIN, R., 1991. *Dynamique de sapinières et de pessières boréales sur une période de 40 ans après la coupe*. Mémoire de maîtrise, Université du Québec à Chicoutimi, Chicoutimi, Québec.
- SAVELY, H.E., Jr., 1939. *Ecological relations of certain animals in dead pine and oak logs*. Ecol. Monogr. 9 : 321-385.
- SAVILL, P., J. EVANS, D. AUCLAIR et J. FALCK., 1997. *Plantation silviculture in Europe*. Oxford University Press, New York. 297 p.
- SENYK, J. et D. CRAIGDALLIE, 1997. *Effect of harvesting methods on soil properties and forest productivity in interior British Columbia*. Pacific Forestry Center, Canadian Forest Service. Information report BC-X-365.
- SEYMOUR, R.S., 1999. *Principles for developing and planning thinning prescriptions*. In Proceedings Thinning in the Maine forest. Wagner, R.G., A.F. Egan, W.D. Ostrofsky et R.S. Seymour (eds). 15-16 novembre 1999, Augusta (Maine). pp. 5-12.
- SHEPPERD, W.D., 1993. *The effect of forest harvesting on soil compaction, root damage, and suckering in Colorado aspen*. West. J. Appl. For. 8 : 62-66.
- SIREN, M., 1989. *Cost of mechanized thinning to stand – How to evaluate*. In Siren, M. (ed.). Machine desing and working methods in thinnings : Proceedings of IUFRO P4.02.01. Conference, Sept. 17-22. Hyttiala, Finland. p. 23-40.
- SJOLTE-JORGENSEN, J., 1967. *The influence of spacing on the growth and development of coniferous plantations*. Int. Rev. For. Res. 2 : 43-94.
- SMETHURST, P.J. et E.K.S. NAMBIAR, 1990. *Distribution of carbon and nutrients and fluxes of mineral nitrogen after clearfelling in a pinus radiata plantation*. Can. J. For. Res. 20 : 1490-1497.

- SMITH, M.J., 1962. *The practice of silviculture*. 7th edition. J. Wiley and Sons. New-York, 578 p.
- SMITH, D.M., B.C. LARSON, M.T. KELTY et P.M.S. ASHTON, 1997. *The practice of silviculture : applied forest ecology*. 9th Ed. John Wiley and Sons. New York. 537 p.
- SPIES, T.A. et S.P. CLINE, 1988. *Coarse woody debris in forests and plantations of coastal Oregon*. In : Maser, C., R.F. Tarrant, J.M. Trappe et J.F. Franklin, eds. *From the forest to the sea : a story of fallen trees*. U.S.D.A., Forest Service, Pacific Northwest Research Station. Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-229. 153 p.
- SPIES, T.A., W.J. RIPPLE et G.A. BRADSHAW, 1994. *Dynamics and pattern of a managed coniferous forest landscape in Oregon*. *Ecol. Appl.* 4 : 555-568.
- STANDISH, J.T., P.R. COMMANDEUR et R.B. SMITH, 1988. *Impacts of forest harvesting on physical properties of soils with reference to increased biomass recovery : a review*. Canadian Forestry Service, Information Report BC-X-301. 24 p.
- STONE, D.M. et J.D. ELIOFF, 1998. *Soil properties and aspen development five years after compaction and forest floor removal*. *Can. J. Soil Sci.* 78 : 51-58.
- TAPPEINER, J.C. et P.M. MACDONALD, 1984. *Development of tanoak understories in conifers stands*. *Can. J. For. Res.* 14 : 271-277.
- TAPPEINER, J.C. et J.C. ZASADA, 1993. *Establishment of salmonberry, salal, vine maple, and big leaf maple seedlings in the coastal forest of Oregon*. *Can. J. For. Res.* 23 : 1775-1780.
- TAPPEINER, J.C., D. LAVENDER, J. WALSTAD, R.O. CURTIS et D.S. DEBELL, 1996. *Silvicultural systems and regeneration methods : current practices and new alternatives*. In : Kohm, K.A. et J.F. Franklin, *Creating a forestry for the 21st century*, chapitre 9 : 151-164.
- TASSISSA, G. et H.E. Burkhart, 1998. *Modeling thinning effects on ring specific gravity of loblolly pine (Pinus taeda L.)*. *For. Sci.* 44(2) : 212-223.

- TELFER, E., 1996. *Commercial thinning, biodiversity and forest birds*. Proceedings of a commercial thinning workshop. Colloque organisé par FERIC (Forest Engineering Research Institute of Canada), Millar Western Industries LTD and Alberta Economic Development and Tourism. Feric special report sr-122. pp. 64-68.
- THIBAUT, D., J. BÉGIN et L. BÉLANGER, 1995. *Relations entre des indicateurs de croissance du sapin baumier en début d'épidémie et sa vulnérabilité à la tordeuse des bourgeons de l'épinette*. Can. J. For. Res. 25 : 1292-1302.
- THYSELL, D.R. et A.B. CAREY, 2000. *Effects of forest management on understory and overstory vegetation : A retrospective study*. U.S.D.A., For. Serv., Pacific Northwest Research Station. Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-448. 41 p.
- TIMBAL, J., 2002. *Retrospective analysis of radial growth in a Pinus pinaster thinning experiment in the Landes de Gascogne. Relationship with the water balance*. Ann. Sci. For. 59 : 205-217.
- VALINGER, E., B. ELFVING et T. MORLING, 2000. *Twelve-year growth response of Scots pine to thinning and nitrogen fertilisation*. For. Ecol. Manage. 134 : 45-53.
- VAN RAALTE, G.D., 1972. *Do I have a budworm susceptible forest?* For. Chron. 48 : 190-192.
- VIENS, E., 2001. *Effets de l'éclaircie commerciale sur la croissance et la forme de la tige du pin gris (Pinus banksiana Lamb). en Abitibi, Québec*. Mémoire de maîtrise. Université du Québec à Chicoutimi.
- WEETMAN, G.F., M.R. ROBERGE et C.H. MENG, 1980. *Black spruce : 15-year growth and microbiological responses to thinning and fertilization*. Can. J. For. Res. 10 : 502-509.
- WESTMAN, W.E., 1990. *Managing for biodiversity*. Bio. Sci. Am. Inst. Sci. 40 : 26-33.
- WILEY, S. et B. ZEIDE, 1988. *Thirty-year development of loblolly pine stands at various densities*. Dans : Proceedings of the Fifth Biennial Southern Silvicultural Research Conference. Compiled by J.H. MILER. Memphis, Tennessee, November 1-3, 1988. Southern Forest Experiment Station. pp. 199-204.
- WRAY, D.O., 1985. *Securing the future of white pine in Ontario*. Ent. Soc. Ont. No. 116 : 109-110.
- ZEIDE, B., 2001. *Thinning and growth : a full turnaround*. J. For. 99 : 20-25.

Annexe 1

Réponse aux questions posées par le Comité du Manuel d'aménagement forestier au sujet de l'éclaircie commerciale

par

Jean-Martin LUSSIER (SCF - CFL)

Guy PRÉGENT (MRN - DRF)

David POTHIER (MRN - DRF)

Jean-Claude RUEL (UL - FFG)

Guy LAROCQUE (SCF - CFL)

avec la collaboration de

Jean-Marie BINOT (Université de Moncton)

Tony ZHANG (Forintek)

Cette annexe répond aux questions soumises au Comité consultatif scientifique par le Comité du Manuel d'aménagement. Des six questions posées initialement, deux questions concernant les sentiers de débardage et les chablis ont été ajoutées par le Comité consultatif scientifique.

Question 1

« Est-ce que les rendements actuellement prévus pour l'éclaircie commerciale pratiquée selon les règles de l'art sont adéquats? »

Selon la présente version du Manuel d'aménagement forestier (GOUVERNEMENT DU QUÉBEC 1998), les objectifs de l'éclaircie commerciale sont d'augmenter la qualité des tiges du peuplement ainsi que la production en volume marchand. L'intervention consiste à effectuer une récolte partielle de 30 % du volume marchand, au moins 15 ans avant l'âge de maturité, le peuplement résiduel ayant immédiatement après le traitement au moins 15 m²/ha de surface terrière marchande ainsi qu'un diamètre marchand moyen augmenté d'au moins 5 % par rapport au même peuplement avant traitement. Le volume sur pied du peuplement traité rattraperait progressivement celui d'un peuplement non traité, et atteindrait 94 % du volume sur pied d'un peuplement non traité après 15 ans¹ (GOUVERNEMENT DU QUÉBEC 1998).

En appliquant ces hypothèses aux tables de production en vigueur pour les peuplements naturels non aménagés, on obtient une augmentation de la production utile de 9 à 23 % 15 années après la première éclaircie, selon la composition, la densité et la productivité du peuplement. Il faut souligner que cette hypothèse de rendement établit l'effet d'une seule intervention, et non pas celle d'un régime d'éclaircies multiples. De manière implicite, on peut supposer que lors d'un régime d'éclaircies comprenant plusieurs interventions, la même réaction est anticipée pour chacune des éclaircies.

Le tableau 1 (voir chapitre 1) présente des résultats à la suite d'éclaircies de peuplements naturels de pin gris, de sapin baumier et d'épinette noire. Il est important de mentionner qu'à l'exception de trois cas, il s'agit d'essais sylvicoles sans répétition. Il faut également noter la période d'évaluation relativement courte dans certains cas, le manque de précision de certains dispositifs ou de certaines analyses statistiques et plus particulièrement l'absence de sentiers de débardage. De plus, la grande variabilité des résultats traduit la forte incertitude de la valeur moyenne estimée. L'incertitude est telle qu'il nous semble hasardeux de conclure, à partir de ces études, à une augmentation de la production utile telle que stipulée actuellement, et ce, même pour un régime d'éclaircies multiples.

¹ En détails, le Manuel stipule que le volume du peuplement éclairci correspondrait aux proportions suivantes de la production d'un peuplement non éclairci : 75 % 5 ans après l'éclaircie, 91 % après 10 ans, 94 % après 15 ans, 96 % après 20 ans, 97,5 % après 25 ans et 0,5 % tous les 5 ans subséquents pour atteindre 100 % après 50 ans.

Si l'on se rapporte à l'ensemble de la littérature européenne et nord-américaine sur l'éclaircie, on peut constater un consensus sur le fait que l'éclaircie ne permet pas d'accroître de façon importante la productivité totale ou marchande des peuplements (PARDÉ 1964, OSWALD et PARDÉ 1984, ANDRÉ *et al.* 1994, CURTIS *et al.* 1997, SAVILL *et al.* 1997, OMULE 1988, McWilliams et THÉRIEN 1996, VALINGER *et al.* 2000, MONTERO *et al.* 2001, PENNER *et al.* 2001, ZEIDE 2001, CURTIS et MARSHALL 2002). De plus, il faut prévoir des pertes de production pour des éclaircies tardives, de forte intensité, qui s'accompagnent de la coupe d'arbres dominants ou pour des éclaircies tardives systématiques (avec des sentiers) ou encore pour des éclaircies pratiquées sur des stations peu productives (DAY et RUDOLPH 1972, HAMILTON 1976, REUKEMA et BRUCE 1977, BALDWIN *et al.* 1989, SAVILL *et al.* 1997, VALINGER *et al.* 2000).

L'analyse de la relation entre la production ligneuse et la densité d'un peuplement permet de mieux comprendre la réaction d'un peuplement soumis à un régime d'éclaircie. À la lumière des résultats des suivis à long terme, la réaction des peuplements soumis à différents régimes d'éclaircie, semble suivre l'un ou l'autre des comportements suivants.

- a) Dans le premier cas, la productivité totale brute d'un peuplement varie peu en fonction de l'intensité de l'éclaircie (PARDÉ 1964, ZEIDE 2001), ce qui confirme l'existence d'un plateau dans la relation entre la production d'un peuplement et sa densité (Figure 1b, voir chapitre 1). Dans ce cas, pour la gamme de densité correspondant au plateau, la croissance des tiges résiduelles permet de compenser les pertes de production occasionnées par la récolte partielle et la mortalité naturelle. Ce comportement de type « **Plateau** » correspond à ce qui est le plus souvent rapporté dans la littérature. Il correspond à un parallélisme des courbes de production en volume issues de peuplements éclaircis et témoins (LOFTUS 1996, MITCHELL et GOUDIE 1997, CURTIS et MARSHALL 2002).
- b) Des résultats récents montrent qu'il est aussi possible d'observer une relation quasi proportionnelle entre la productivité totale brute et la densité d'un peuplement, sans « **Plateau** » (Curtis *et al.* 1997, figure 1a, voir chapitre 1). Ce comportement de type « **Proportionnel** » correspondrait à la situation où la récolte partielle du peuplement ne serait pas compensée par la croissance des tiges résiduelles, une situation commune selon Smith *et al.* (1997) et Seymour (1999). Dans le contexte de l'évolution du volume marchand, cette relation proportionnelle correspond à un écart croissant entre le volume d'un peuplement traité et d'un autre témoin.
- c) Lorsqu'on examine la productivité marchande nette, caractérisée par un diamètre minimal d'exploitation arbitrairement établi, un troisième patron se dégage dans certaines études. En effet, la relation entre la productivité et la densité prend alors une forme curvilinéaire, comportant une densité

optimale où la production est maximale (Figure 1c, voir chapitre 1). De part et d'autre de cette densité optimale, la production décroît. Dans le cas d'un comportement de type « **Optimum** », on observe une production ligneuse supérieure pour les peuplements traités de façon à respecter la densité optimale par rapport aux peuplements non traités (CURTIS *et al.* 1997). Une éclaircie trop forte produit cependant une réduction de la production ligneuse, comme dans les deux types de comportement précédents. La valeur du diamètre minimal d'exploitation influence grandement la possibilité d'obtenir un patron de type optimum et par conséquent, un gain potentiel en production marchande. Sous les conditions québécoises, le patron de type « **Optimum** » ne semble pas pouvoir être atteint en définissant le volume marchand comme étant composé d'arbres de dhp supérieur à 9 cm. Toutefois, il est possible que ce patron soit atteint en retenant un diamètre minimal d'utilisation supérieur à celui actuellement utilisé.

Nous tenons à souligner que les données rapportées dans la littérature sont basés sur des parcelles expérimentales sans sentiers de débardage et que la transposition de ces résultats aux éclaircies effectuées dans un cadre d'opération est à notre avis erronée. En effet, les sentiers peuvent créer des trouées improductives dans le couvert forestier, ce qui peut réduire la production escomptée d'une éclaircie. LOFTUS (1996) rapporte que lorsque des sentiers de débardage sont considérés dans l'évaluation de la réaction des peuplements à l'éclaircie, une réponse du type « **Proportionnel** » serait observée plutôt qu'une réponse du type « **Plateau** ». Pour plus de détails, le lecteur est invité à se référer à la question 7 de la présente annexe.

Question 2

« Quels sont les paramètres minimaux (éclaircie retardée, âge, IQS, augmentation technique du dhp moyen, opérationnels ou autre) à respecter pour atteindre les rendements prévus ou à prévoir au Manuel d'aménagement forestier. »

Les rendements prévus à la version actuelle du Manuel ne pourront pas être atteints. Ces derniers sont en effet de loin supérieurs aux rendements rapportés dans l'ensemble de la littérature. Des pertes de production en volume sont mêmes à prévoir dans certains cas après le traitement.

La définition des conditions optimales pour la réalisation des éclaircies commerciales dépend des objectifs visés. Dans le cas de l'objectif A, qui consiste à effectuer une récolte partielle tout en maintenant la production utile du peuplement, les conditions à remplir sont beaucoup plus contraignantes que pour l'objectif B qui consiste davantage à encadrer le traitement de manière à atténuer les effets négatifs sur le rendement des peuplement à l'intérieur de limites raisonnables.

Le succès d'un scénario d'éclaircie repose principalement sur une bonne sélection des peuplements à traiter, un moment et une intensité d'intervention adéquats ainsi qu'un choix judicieux des tiges à couper (ou à conserver). Les normes devraient prendre en compte les facteurs suivants :

a) production : l'éclaircie devrait être pratiquée en priorité dans les peuplements les plus productifs. L'indice de qualité de station pourrait servir de critère à cet effet. À notre avis, pour être éligible à un régime intensif d'éclaircies, le peuplement devrait être apte à produire des tiges de plus de 18 m de hauteur (pour permettre une production intéressante de bois de sciage). Selon POTHIER et SAVARD (1998), cette situation correspondrait à des valeurs minimales d'IQS₅₀ de 15 m pour les productions SEPM.

b) instabilité des peuplements : il faut éviter de traiter les peuplements instables ou en sérieux retard d'éclaircies. Il s'agit dans les deux cas de peuplements dont la densité excessive a considérablement réduit la longueur du houppier. Dans une telle situation, une éclaircie augmente les risques de chablis, tout en procurant peu de possibilités de gains en dhp. En Europe, le rapport H/D des dominants est utilisé pour déterminer le degré de vulnérabilité des peuplements au chablis. Un rapport H/D inférieur à 80 représente un peuplement stable pour lequel les éclaircies peuvent être relativement intenses et systématiques. Un rapport H/D entre 80 et 100 indique un peuplement légèrement instable; les éclaircies devraient y être moins intenses et sélectives (aucun sentier). Enfin, les éclaircies devraient être évitées lorsque le rapport H/D est supérieur à 100. Des recommandations similaires ont été formulées par Won et O'Hara (2001) pour quatre espèces résineuses de l'ouest américain. Pour plus de détails, le lecteur est invité à se référer à la question 8 de la présente annexe.

c) qualité des tiges : les peuplements à éclaircir doivent contenir un nombre suffisant de tiges de belle qualité. Les tiges déformées ou celles qui n'auront aucune valeur pour le sciage doivent être coupées le plus tôt possible dans la vie du peuplement, surtout si elles font partie de l'étage dominant.

d) accessibilité : si un peuplement est susceptible de bénéficier de plusieurs éclaircies, il doit être suffisamment accessible afin d'éviter des coûts qui diminueraient la rentabilité du traitement.

e) importance de la première éclaircie : le moment d'intervention, particulièrement celui de la première éclaircie, revêt une très grande importance dans la réussite du scénario d'éclaircie. Idéalement, la première éclaircie doit avoir lieu avant que la compétition interindividuelle n'ait causé un ralentissement trop important de la croissance diamétrale des arbres. Les retards de croissance qui ont lieu lorsque les tiges sont relativement jeunes sont en effet irrécupérables. L'âge n'est cependant pas un bon repère pour

déterminer le moment propice de l'éclaircie puisqu'il ne peut à lui seul, refléter adéquatement le niveau de compétition entre les tiges. Le degré de compétition varie selon l'essence, la qualité de station, et le nombre de tiges (densité de reboisement et taux de survie dans le cas des plantations). L'éclaircie doit être plus hâtive pour les essences et les stations les plus productives ainsi que pour un nombre de tiges élevé (PRÉGENT 1998). Des éclaircies réalisées hâtivement au cours du développement du peuplement permettent de tirer profit de la phase active de la croissance, pendant laquelle les arbres résiduels ont la capacité d'augmenter leur surface foliaire en réaction à une augmentation de l'espacement. Pour les plantations, la surface terrière totale permet d'intégrer l'ensemble de ces facteurs et elle représente une bonne mesure de degré de compétition. Une surface terrière totale variant entre 25 et 35 m²/ha pourrait servir de norme. On devrait tendre vers la limite inférieure dans les cas suivants : objectifs de production de plus gros bois en fin de rotation, essence de lumière, peuplement jeune. La surface terrière marchande n'est pas un bon indicateur du degré de compétition dans le cas d'un nombre élevé de tiges. Dans ces conditions, la surface terrière marchande peut être faible puisque plusieurs tiges sont non marchandes; toutefois, la compétition peut y être très forte et l'éclaircie pourrait être nécessaire. Des éclaircies précommerciales ou intermédiaires pourraient alors être envisagées comme premières éclaircies, au lieu d'attendre les conditions favorables à une éclaircie commerciale.

f) type d'éclaircie : l'éclaircie par le bas a été jusqu'à maintenant la modalité retenue par le Manuel d'aménagement forestier. Cette pratique est bien adaptée aux plantations moyennement denses ou peu denses (nombre de tiges inférieur à 2 500/ha). Toutefois, pour les peuplements naturels ou les plantations denses (2 500 tiges/ha et plus), l'éclaircie sélective par le bas a l'inconvénient de concentrer la récolte sur de petites tiges, dont la valeur marchande est faible, voire négative, et dont l'élimination a souvent peu d'impact sur la croissance des tiges dominantes. En pratique, la faible valeur économique des produits de l'éclaircie est le principal frein à la pratique de ce traitement. Ainsi, à la place de l'éclaircie par le bas, nous recommandons, pour l'objectif B, l'utilisation d'une éclaircie neutre sélective, qui se définit comme la récolte d'une proportion constante de la surface terrière dans toutes les classes de dhp, tout en éliminant les tiges de faible vigueur ou déformées dans toutes les strates du peuplement. En plus de diminuer les contraintes économiques et de créer davantage d'occasions de pratiquer ce traitement, nous croyons qu'une éclaircie neutre sélective permettra d'augmenter la valeur du peuplement résiduel en comparaison de l'éclaircie par le bas. Une validation expérimentale de cette affirmation demeure cependant à faire. Nous ne recommandons pas la pratique de l'éclaircie par le haut, en raison d'une mauvaise interprétation possible du traitement pouvant mener à un écrémage du peuplement et à une baisse de sa productivité.

g) intensité de l'éclaircie : en principe, des éclaircies légères et fréquentes sont préférables pour éviter la création de trouées improductives et pour récolter graduellement des individus moins bien

conformés. Cependant, en pratique, l'intensité d'éclaircie doit être assez forte afin d'éviter ou retarder le plus possible le recours à une autre éclaircie, compte tenu des coûts d'intervention. En plantation, une intensité de prélèvement de 30 à 35 % de la surface terrière totale est possible si l'intervention est réalisée au bon moment (si le repère de surface terrière totale est respecté, PRÉGENT 1998). Dans le cas des peuplements naturels non éduqués, il n'est pas recommandé d'excéder une récolte de 30 % de la surface terrière si on désire maintenir la production utile du peuplement (voir question 1). La même limite s'applique aux peuplements instables ou en retard d'éclaircie, quelle que soit leur origine (RIOU-NIVERT 1986).

Il faut cependant noter qu'une part d'incertitude demeure quant à la réaction des peuplements à l'éclaircie. La réalisation d'expériences de terrain et de suivi des travaux opérationnels dans des conditions qui couvrent toute la gamme de station et de type de peuplement sont à notre avis impératifs pour s'assurer de la justesse de nos hypothèses.

Question 3

« Quel pourcentage de la mortalité peut-on récupérer à l'aide de l'éclaircie commerciale? »

Un régime d'éclaircies permettrait en théorie d'augmenter la production utile d'un peuplement en récoltant le volume de bois destiné à mourir à cause de la compétition interindividuelle. C'est la logique dont est issue l'une des plus vieilles techniques d'éclaircie, l'éclaircie par le bas, qui consiste à récolter les tiges opprimées et intermédiaires destinées à mourir par autoéclaircie. Des éclaircies légères et fréquentes, commencées tôt dans la vie du peuplement, conjuguées au choix judicieux des tiges à abattre, permettraient de transformer en volume utilisable ce qui, autrement, serait naturellement décomposé. La mortalité peut théoriquement être toute récupérée à partir de la réalisation de la première éclaircie (BRUCE *et al.* 1977). Cette hypothèse a été utilisée pour prédire, à l'aide de simulations et des tables de rendement existantes, la production en volume total de l'épinette de Norvège par PRÉGENT (1998) à la suite d'éclaircies neutres.

Deux données soulèvent un doute sérieux sur la validité de cette approche avec les conifères boréaux du Québec. Tout d'abord, une étude portant sur la dynamique des pessières noires boréale confirme l'existence d'une autoéclaircie lorsque ces peuplements atteignent la maturité (LUSSIER *et al.* 2002). Cependant, l'autoéclaircie affecte principalement les tiges de dimensions non marchandes, ce qui limite la portée et l'intérêt d'une éclaircie par le bas. À partir des inventaires de plantations d'épinette de Norvège ayant servi à construire les tables de rendement de BOLGHARI ET Bertrand (1984) et par conséquent, les simulations de PRÉGENT (1998), nous avons trouvé que plus de 80 % des tiges mortes

étaient non marchandes lorsque la surface terrière totale était supérieure à 35 m²/ha; cette valeur était de 92 % lorsqu'elle variait entre 25 et 35 m²/ha, soit les seuils recommandés pour réaliser la première éclaircie. De plus, la mortalité des tiges marchandes ne peut être entièrement attribuée à la compétition intraspécifique; qu'il suffise de mentionner les dégâts occasionnels des porcs-épics pour comprendre que la mortalité des tiges marchandes ne peut être entièrement récupérée par les éclaircies. Une autre étude confirme qu'il y aurait probablement des gains limités à la récolte anticipée de l'autoéclaircie : l'analyse de parcelles permanentes du nord de l'Ontario a en effet montré que le volume de mortalité naturelle cumulé de 0 à 90 ans ne représente que 14 m³/ha pour l'épinette noire, 17 m³/ha pour le pin gris et 19 m³/ha pour les peuplements mixtes (EVERT 1976, tableau 2, voir chapitre 1). Si toute la mortalité était récupérée, ces valeurs correspondraient à une augmentation de production utile de l'ordre de 8 %, ce qui est encore loin des hypothèses énoncées par le Manuel d'aménagement forestier. D'ailleurs, l'étude de CURTIS et MARSHALL (2002) confirme que la mortalité chez le témoin est survenue principalement chez les individus de petite dimension, ce qui a eu un impact négligeable sur la production en volume.

Lorsque les peuplements atteignent 120 ans, la mortalité naturelle augmente de manière sensible (EVERT 1976). Tout porte à croire cependant qu'une partie importante de cette mortalité est en fait associée au phénomène de sénescence, qui correspond à la mort progressive des arbres dominants, de manière indépendante de la densité du peuplement, plutôt qu'à l'autoéclaircie, qui affecte les plus petites tiges du peuplement de manière proportionnelle à la densité. La récupération de la mortalité par sénescence dépasse le cadre d'application de l'éclaircie commerciale qui s'adresse aux peuplements prématures, de structure régulière.

Le volume de mortalité causée par la compétition varie principalement selon l'essence, la qualité de station et le nombre de tiges (densité de reboisement et taux de survie juvénile dans le cas des plantations) (REUKEMA et BRUCE 1977, RIOU-NIVERT 1986).

L'éclaircie de plantations effectuées sur des stations riches ou avec des essences à forte croissance, comme l'épinette de Norvège, permettrait potentiellement la récupération d'un plus grand volume d'autoéclaircie (Figure 2, chapitre 1). La figure 2 illustre le volume total théoriquement récupérable en fonction de l'âge de l'éclaircie, de l'indice de qualité de station et de l'espacement initial pour les plantations d'épinette blanche (calculé à partir des tables de BOLGHARI et BERTRAND 1984). Le volume total récupérable varie principalement selon la qualité de station; plus elle est fertile, plus le volume est élevé. Le gain en volume total dépend peu de l'espacement initial. Des espacements plus rapprochés permettent des gains en volume total légèrement supérieurs à condition toutefois de réaliser les éclaircies très rapidement. Néanmoins, pour un espacement plus rapproché, une forte proportion de la mortalité est composée de bois non marchands.

Les traits plus foncés sur la figure 2 (voir chapitre 1) indiquent les périodes probables de la première éclaircie, soit lorsque la surface terrière totale varie de 25 à 35 m²/ha. On remarque que le potentiel de gain en volume lié à l'éclaircie dépend presque uniquement de la qualité de la station. En outre, une partie de la mortalité ne peut être récupérée puisqu'elle est déjà survenue avant même l'exécution de la première éclaircie.

Le volume potentiellement récupérable pour des peuplements d'IQS égal à 6, 9 et 12 mètres à 25 ans est estimé respectivement à 5, 30 et 55 m³/ha. Toutefois, une forte proportion de ce volume est non marchand, en particulier pour les plus fortes densités de reboisement.

Des études réalisées en Colombie-Britannique dans des peuplements de sapin Douglas ont considéré la production en volume en fonction de l'éclaircie, en tenant compte de la mortalité. À terme, la production totale en volume du témoin (arbres debout et mortalité) est sensiblement égale à celle du traitement d'éclaircies (arbres debout, produits de l'éclaircie et mortalité) (OMULE 1988, MCWILLIAMS et THÉRIEN 1996).

La faisabilité d'un régime d'éclaircie dont l'objectif vise la récupération de la mortalité est remise en question, notamment par MITCHELL et GOUDIE (1997). En effet, il faut rappeler que les régimes d'éclaircies pratiqués en Europe qui permettent de récupérer un volume de mortalité, comportent des éclaircies fréquentes et de faible intensité avec un faible diamètre minimal d'utilisation.

Question 4

« Dans quel type de peuplements (naturel, naturel et éclaircie précommerciale ou plantation) devrait-on utiliser l'éclaircie commerciale? »

Lorsque l'éclaircie commerciale est appliquée dans le but d'augmenter la valeur du peuplement (par l'augmentation du dhp moyen des tiges résiduelles), ce traitement devrait se pratiquer en priorité dans les peuplements les plus productifs, capables des meilleures réactions de croissance (PRÉSENT 1998). En conséquence, on devrait privilégier les essences les plus productives et les stations les plus fertiles peu importe l'origine du peuplement (naturelle ou plantation). Les plantations, principalement celles issues de plants améliorés génétiquement, devraient constituer les cibles prioritaires. Toutefois, les plantations et les peuplements naturels de mauvaise qualité ou établis sur des stations de faible fertilité ne devraient pas bénéficier d'une éclaircie.

Les jeunes peuplements qui ont fait l'objet d'une éclaircie précommerciale sont également susceptibles de bénéficier de l'éclaircie commerciale, en autant qu'ils soient établis sur des stations fertiles. En effet, les éclaircies précommerciales faites à ce jour n'ont pas nécessairement été réalisées sur les stations les plus productives. Certains de ces peuplements situés sur des stations peu fertiles ne devraient pas avoir besoin d'éclaircie commerciale ou du moins, leur faible réaction au traitement ne le justifierait pas. Toutefois, pour des peuplements de même productivité, il sera plus facile et plus rentable d'exécuter l'éclaircie commerciale dans les peuplements ayant déjà bénéficié d'une éclaircie précommerciale.

Il est pour l'instant difficile de fournir des balises plus précises pour la réalisation d'éclaircie en conditions optimales, (essence, IQS, espacement souhaitable aux stades de semis, de gaulis et de perchis, etc.). De tels paramètres exigent une plus grande quantité des données empiriques ainsi qu'une analyse économique solide.

Question 5

« Est-il justifié d'appliquer une seule éclaircie commerciale au cours de la révolution d'un peuplement forestier ou devrait-on accepter l'utilisation de ce traitement seulement dans le cadre de scénarios d'aménagement intensif où on prévoit une série d'éclaircies commerciales suivie d'une coupe finale? »

La réponse à cette question dépend des objectifs visés. Si l'on vise l'objectif B, l'éclaircie commerciale pourrait être appliquée comme traitement unique. Par contre, pour l'objectif A, il est probable que les gains les plus intéressants seront obtenus par des éclaircies multiples, qui débutent tôt dans la vie du peuplement. Il faut souligner qu'il n'est pas possible de rattraper un retard de croissance en pratiquant tardivement une première éclaircie. Les conditions suivantes conduisent à un nombre élevé d'éclaircies : objectif de production de gros bois en fin de rotation, faible intensité de prélèvement, nombre élevé de tiges au départ (densité de reboisement et taux de survie élevé dans le cas des plantations), station fertile, essence productive, rotation longue (PRÉGENT 1998). Le nombre d'éclaircies peut varier beaucoup. En fait, dans le cas des peuplements les plus productifs, la question ne sera pas de savoir si une seule éclaircie sera nécessaire mais bien de savoir si l'on pourra en réaliser trois, quatre ou peut-être plus. Il faut souligner que les récoltes sont de plus en plus intéressantes à partir de la deuxième éclaircie, surtout si la première éclaircie s'est faite au moment opportun et avec une bonne sélection. En fait, la première éclaircie détermine en grande partie le succès du scénario d'éclaircies multiples. L'importance de la première éclaircie ne doit pas être évaluée en fonction de la récolte qui en est faite mais bien pour ses effets sur le peuplement résiduel et ce, pour toutes les coupes subséquentes et jusqu'à la coupe finale.

Question 6

« *Quels gains peut-on anticiper d'une éclaircie commerciale, tant en quantité (m^3/ha) qu'en qualité (augmentation de dhp moyen)?* »

L'augmentation de la taille moyenne des tiges est le principal bénéfice de l'éclaircie plutôt que l'augmentation de la production utile selon la littérature exposée précédemment. Cette augmentation est attribuable, d'une part, à l'effet technique instantané résultant de la récolte sélective des petites tiges du peuplement (lorsqu'il s'agit d'une éclaircie par le bas) et d'autre part, à l'accélération subséquente de la croissance en diamètre des tiges résiduelles. L'éclaircie a pour effet d'augmenter la biomasse de toutes les parties de l'arbre, y compris des racines, mais elle n'influence pas la croissance en hauteur (VALINGER *et al.* 2000).

Les simulations réalisées à partir des données de plantation montrent que le gain technique instantané en dhp moyen dépend de l'espèce, de l'intensité du prélèvement, du nombre de tiges et de la surface terrière au moment de l'éclaircie (PRÉGENT 2003). Pour l'épinette blanche, ces gains varient de 2,3 à 4,4 cm soit d'environ 13 à 32 % (Annexe 2) selon les valeurs des différents paramètres analysés. Il est plus difficile d'obtenir un gain technique important avec des espèces (tels les pins) ou des peuplements plus homogènes. Le gain technique peut servir de repère pour s'assurer d'une bonne sélection des tiges au moment de l'éclaircie. Toutefois, il ne faudrait pas qu'une telle norme retarde l'éclaircie ou empêche de couper de grosses tiges défectueuses dont la valeur ultérieure sera pratiquement nulle.

Il n'existe pas présentement de données qui permettent d'évaluer les gains techniques d'une éclaircie commerciale par le bas pour les peuplements naturels non aménagés du Québec.

Une étude rétrospective menée en Abitibi sur des pinèdes grises éclaircies dans les années 1970 et 1980 a démontré, dans trois cas sur quatre, une accélération de l'accroissement du volume des tiges résiduelles (VIENS 2001). Après une éclaircie par le bas de 20 à 40 %, l'accroissement du volume par tige s'est accru jusqu'à 3,5 fois par rapport aux arbres non traités ($n = 4$). BARBOUR *et al.* (1994) ont rapporté une augmentation de l'accroissement du dhp de 47 et 94 % à la suite d'éclaircies équivalant à 34 % et 63 % de la surface terrière, respectivement. Pour le sapin baumier, une analyse réalisée à la suite d'une coupe partielle effectuée dans le cadre d'une expérience sur le système des coupes progressives a révélé que la croissance du sapin était stimulée par l'éclaircie seulement lorsque l'intensité du prélèvement était supérieure à 25-30 % de la surface terrière (ZARNOVICAN *et al.* 2001). Au-delà de ce

seuil, la réaction des tiges était proportionnelle à l'intensité de l'éclaircie, jusqu'à un maximum de 50 %. Ces résultats sont comparables à ceux obtenus pour l'épinette noire : en effet, seule une éclaircie de 50 % a provoqué une accélération sensible de la croissance du volume. En revanche, les tiges ne montraient aucune réaction significative après une éclaircie de 25 % (WEETMAN *et al.* 1980, SOUCY 2003). Les résultats obtenus dans ces études pourraient résulter d'éclaircies trop tardives.

On peut simuler les gains en diamètre moyen à partir de la croissance en surface terrière. En effet, cette dernière est constante sur une station donnée pour une large gamme de nombre de tiges, en présence ou non d'éclaircie, (COOLEY 1969, BERRY 1974, AUSSENAC *et al.* 1984, SNOWDON et WARING 1990). Selon ce principe, le dhp obtenu quelques années après l'éclaircie peut être calculé à l'aide de la formule suivante :

$$D_2 = \sqrt{(((40000 * Ag) / \Pi) + (D_1^2 * N_1)) / N_2}$$

où

D_2 = dhp au moment 2 (cm)

Ag = accroissement en surface terrière totale
entre les moments 1 et 2 (m²/ha)

D_1 = dhp au moment 1 (cm)

N_1 = nombre de tiges au moment 1 (/ha)

N_2 = nombre de tiges au moment 2 (/ha)

Cette formule n'est pas valable pour les éclaircies tardives, les éclaircies de trop fortes intensités, pour les stations peu fertiles et également lorsque les tiges dominantes sont prélevées puisque des pertes de production peuvent survenir. En outre, en Suède, VALINGER *et al.* (2000) ont montré que l'éclaircie de peuplements de pin sylvestre (*Pinus sylvestris* L.) a conduit après 12 ans, à une réduction de 25 % de la croissance en surface terrière et de 33 % de celle en volume sur les stations où la croissance est limitée par la disponibilité en azote. Cet exemple illustre, une fois de plus, l'importance de considérer la qualité de la station pour évaluer les gains potentiels que l'on peut anticiper du traitement d'éclaircie.

Pour un peuplement donné, le gain en dhp consécutif à l'éclaircie est proportionnel à la croissance subséquente en surface terrière et inversement proportionnel au nombre de tiges laissées sur pied après l'éclaircie. En conséquence, les gains en diamètre seront élevés pour les stations et les espèces les plus productives ainsi qu'à un âge où le potentiel de croissance en surface terrière est élevé. La croissance en dhp sera également favorisée par une forte intensité d'éclaircie (jusqu'à un certain seuil toutefois). Ces

paramètres étant très variables, les gains en dhp le seront également. Comme le soulignent MITCHELL et GOUDIE (1997), l'augmentation du dhp moyen ou la comparaison des structures diamétrales n'est pas la meilleure façon d'évaluer les gains dans la taille des tiges à la suite de l'éclaircie. En effet, les différences observées sur l'un ou l'autre de ces indicateurs sont souvent décevantes et trompeuses. Ceux-ci proposent plutôt d'utiliser les distributions de volume par classe de dhp, ce qui permet d'utiliser des paramètres dendrométriques plus proches de la valeur économique du peuplement résiduel.

L'évaluation des bénéfices réels de l'augmentation des dimensions moyennes des arbres après éclaircie nécessite une analyse économique qui dépasse le cadre du présent travail.

Question 7

« Quel est l'impact des sentiers de débardage sur la production des peuplements éclaircis? »

La presque totalité des résultats publiés sur l'effet des éclaircies sur la production ligneuse sont basés sur des essais expérimentaux dépourvus de sentiers de débardage. Or, les procédés de récolte mécanisée génèrent des sentiers dont la largeur varie dans la pratique de 3 à 5 m, selon la taille et la conformation des machines employées, la difficulté du terrain et l'habileté des opérateurs. Ces sentiers produisent généralement des trouées dans le couvert encore visibles 10 ans après l'éclaircie, dont l'impact sur la production ligneuse n'a pas encore été mesuré de manière rigoureuse.

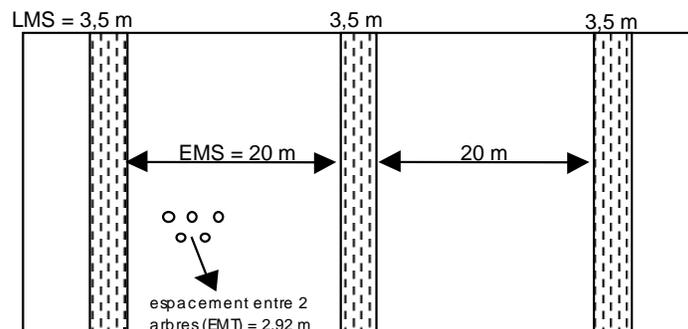
Il nous semble extrêmement hasardeux de transposer directement les résultats des éclaircies faites sur une base expérimentale à ceux réalisés selon l'approche opérationnelle. Dans la pratique, une éclaircie de 30 % de la surface terrière n'est pas équivalente à une éclaircie de 30 % réalisée dans une parcelle expérimentale. En effet, toute la récolte est sélective dans les parcelles expérimentales dépourvues de sentier. Par contre, dans la pratique, seulement la moitié de la récolte se fait de manière sélective, l'autre moitié étant consacrée à la confection des sentiers de débardage. Par conséquent, pour une éclaircie de 30 %, uniquement 15 % de la récolte est sélective, soit de manière comparable aux éclaircies expérimentales. Or, les résultats d'éclaircies réalisées dans la pessière noire et dans la sapinière montrent qu'une éclaircie de 15 % est insuffisante pour stimuler la croissance des tiges résiduelles (ZARNOVICAN *et al.* 2001, SOUCY 2003). Pour que la portion éclaircie des peuplements traités de manière opérationnelle fournisse des résultats comparables aux parcelles expérimentales, il faudrait prescrire une éclaircie de 25 à 35 % entre les sentiers de débardage. Or, les risques de réduire la production en volume ou de provoquer des chablis augmentent avec de telles intensités de prélèvement, particulièrement dans le cas d'éclaircies retardées.

Le cas exposé précédemment concerne bien sûr la première éclaircie commerciale du peuplement; si l'on suppose la réutilisation subséquente des sentiers, 100 % de l'éclaircie subséquente sera alors faite de manière sélective entre les sentiers. L'organisation de sentiers de manière raisonnée est à la base du principe de cloisonnement, qui facilite l'accès au peuplement tout au long de son développement pour la réalisation des éclaircies (LANIER 1994). Cependant, si ces sentiers permanents sont trop larges, il y a un risque important que les superficies ainsi occupées soient improductives, ce qui aurait pour effet de réduire la production à l'hectare.

Les instructions relatives au Manuel d'aménagement prévoient que les sentiers de débardage n'excèdent pas 15 % de la superficie du peuplement. Rappelons que la superficie des sentiers est estimée à partir de leur largeur moyenne. Cette dernière est délimitée par la lisière formée par des troncs qui bordent le sentier. Or, une partie de cet espace fait partie de l'espace vital exploité par les arbres en lisière; il est donc erroné à notre avis d'admettre que toute la largeur du sentier soit une superficie improductive. Connaissant l'espacement moyen des tiges du peuplement résiduel (estimé à partir du nombre de tiges à l'hectare), on peut poser l'hypothèse que la différence entre la largeur du sentier et l'espacement moyen, soit une estimation acceptable de la superficie reconnue improductive à moyen terme.

Par conséquent, pour les situations décrites à l'objectif B, nous proposons la procédure suivante pour calculer un facteur de réduction de la production d'un peuplement en raison de la présence de sentiers :

Prenons l'exemple suivant où la largeur moyenne des sentiers (LMS) est de 3,5 m et l'espacement moyen entre les sentiers (EMS) est de 20 m. Il est à remarquer qu'un tel scénario respecte les critères actuels d'application de l'éclaircie commerciale concernant les sentiers de débardage : (occupation des sentiers = $3,5 / (20 + 3,5) = 15 \%$).



De plus, posons l'hypothèse qu'il reste 1 000 tiges/ha après l'exécution d'une éclaircie (N). Le calcul de l'espacement moyen entre les tiges résiduelles (EMT) doit tenir compte du fait qu'elles se retrouvent toutes sur seulement 85 % de la superficie du peuplement puisque les sentiers occupent l'autre 15 %.

L'espacement moyen entre les tiges résiduelles peut donc se calculer de la façon suivante :

$$EMT = \sqrt{\frac{\left(\frac{EMS}{EMS + LMS}\right) \times 10000}{N}}$$

Dans notre exemple, EMT = 2,92 m.

La réduction du volume du peuplement en raison de la présence de sentiers doit tenir compte de l'espace improductif créé par de trop grandes trouées. Pour juger de l'improductivité d'une trouée, il faut la mettre en relation avec l'espacement moyen entre les arbres du peuplement résiduel. Ces valeurs se retrouvent donc dans le calcul d'un facteur d'improductivité (FI) qui sera utilisé pour ajuster la prévision de l'évolution du volume après une éclaircie commerciale.

Si $LMS < EMT$, alors $FI = 1$

Dans notre exemple, le facteur d'improductivité est égal à 0,98. Suivant l'hypothèse d'une relation de type « **Plateau** » (voir question 1), le volume marchand escompté après une éclaircie commerciale ($V_{\text{résiduel}}$) correspondra donc à 98 % du volume marchand indiqué dans les tables de production (V_{table}) après avoir soustrait le volume récolté au cours de l'éclaircie

$$FI = 1 - \frac{LMS - EMT}{EMS + LMS}$$

$$V_{\text{résiduel}} = (V_{\text{table}} - V_{\text{éclaircie}}) \times FI$$

Il est à noter que ce facteur d'improductivité ne considère pas les effets du passage de la machinerie sur le système racinaire des arbres résiduels ou encore des blessures occasionnées dont les effets peuvent se traduire par une baisse de la valeur marchande des tiges (HAN *et al.* 2000) ou une baisse de la croissance des tiges résiduelles (Wasterlund 1989). Une attention particulière devra être apportée pour utiliser une méthode de coupe d'éclaircie qui puisse minimiser ces effets négatifs (HEITZMAN et GRELL

2002). Il conviendrait de documenter ces effets qui peuvent avoir un impact sur les hypothèses présentées au chapitre 1.

Question 8

« *Quels sont les impacts du chablis dans les peuplements éclaircis et quels sont les moyens pour le prévenir? »*

Le risque de chablis dépend de l'interaction de nombreux facteurs liés au climat, à la topographie, aux caractéristiques du sol et du peuplement, ainsi qu'aux interventions sylvicoles. Différentes combinaisons de facteurs peuvent être associées à un niveau élevé de risques.

L'exposition au vent constitue un élément capital de la prévision des pertes par chablis. L'estimation de l'exposition doit tenir compte de deux composantes, soit les variations climatiques régionales et l'effet de la topographie locale. La vitesse moyenne du vent varie grandement entre les différentes régions du Québec. Ainsi, elle double en passant du sud-ouest du Québec à la périphérie de la péninsule gaspésienne (WALMSLEY et MORRIS 1994). La topographie locale exerce aussi une profonde influence sur le chablis. Elle peut en effet accélérer les vents ou encore procurer un abri. Dans le massif de la Réserve faunique des Laurentides, il a été constaté que la vitesse du vent sur les sommets était le double de celle observée au fond des vallées (RUEL *et al.* 1998). Des indices topographiques simples permettent de caractériser cet effet (RUEL *et al.* 1997).

Les caractéristiques du sol affectent la résistance au chablis en influençant le développement du système racinaire, la résistance du sol au cisaillement, de même que la cohésion entre le sol et les racines. Une faible épaisseur du sol, la présence d'une couche indurée ou d'une nappe phréatique élevée peuvent contribuer à un enracinement superficiel (MUELLER et CLINE 1959, LIEFFERS et ROTHWELL 1987). Certaines régions du Québec sont caractérisées par des sols qui présentent des limitations physiques à l'enracinement. Par exemple, des gleysols ou des sols organiques mal drainés dominent une bonne partie de la ceinture argileuse de l'ouest du Québec (ROBITAILLE et SAUCIER 1998). De même, les dépôts de moins de 25 cm constituent le principal dépôt pour une bonne partie de la Côte-Nord (ROBITAILLE et SAUCIER 1998).

Les espèces diffèrent quant à leur vulnérabilité au chablis mais la majorité de l'information quantitative provient de l'Europe. BURNS et HONKALA (1990) reconnaissent que les pins sont généralement plus résistants alors que les épinettes et les sapins seraient plus vulnérables, l'épinette blanche l'étant moins que le sapin ou l'épinette noire. McCLINTOCK (1954) considère le sapin plus

vulnérable que l'épinette rouge. RUEL *et al.* (2000a) ont constaté que l'épinette blanche avait subi moins de dommages que le sapin se retrouvant dans les mêmes peuplements en milieu riverain. MEUNIER *et al.* (2002) ont toutefois observé que la force nécessaire pour déraciner ces deux espèces était comparable pour une même masse de tige, de sorte que la plus grande stabilité de l'épinette blanche pourrait être liée à une forme de tige différente.

Les dommages causés par le vent augmentent généralement avec la hauteur du peuplement (CREMER *et al.* 1982, SAVILL 1983, SMITH *et al.* 1987, RUEL 1989, RUEL *et al.* 2000b). Cet accroissement des dommages s'explique en bonne partie par l'augmentation du moment de force exercé à la base de l'arbre par l'allongement du bras de levier que constitue le tronc. Un effet de l'âge pourrait aussi découler d'une détérioration de l'état de santé lorsqu'un peuplement dépasse le stade de maturité.

La forme des tiges a aussi souvent été reliée à leur résistance au renversement ou à la rupture (CREMER *et al.* 1982, BOUCHON 1987, DE CHAMPS 1987, MITCHELL 2000). Un faible élancement, estimé par le rapport entre la hauteur et le diamètre de la tige moyenne ou des 200 plus gros arbres à l'hectare, permettrait d'augmenter la résistance de l'arbre au bris de tiges (CREMER *et al.* 1982) mais pourrait aussi être associé à un meilleur enracinement (DE CHAMPS 1987). Ce faible élancement conduit à une augmentation de la masse de la tige pour une même hauteur et cette masse est très fortement corrélée à la résistance au renversement (RUEL *et al.* 2000b). L'importance du facteur d'élancement (H/D) sur la résistance au chablis a amené plusieurs auteurs à utiliser cette variable comme indice de vulnérabilité (CREMER *et al.* 1982, BECQUEY et RIOU-NIVERT 1987, BOUCHON 1987).

La densité du peuplement est reconnue aussi comme une variable importante. Elle influence en effet la forme des arbres et du système racinaire, de même que le mouvement de l'air à travers et au-dessus du peuplement (GARDINER *et al.* 2000). Dans un peuplement clair, la croissance en diamètre sera meilleure sans que la croissance en hauteur ne soit nécessairement affectée. Le facteur d'élancement sera alors plus faible (CREMER *et al.* 1982). La force exercée sur chacune des tiges d'un peuplement ouvert peut toutefois être supérieure à celle observée dans un peuplement dense. Des travaux en cours ont permis d'estimer que, 25 ans après une éclaircie précommerciale, la vitesse susceptible d'engendrer un chablis était augmentée de 10 à 20 % par rapport à un peuplement non traité.

L'augmentation du risque de chablis à la suite d'une éclaircie commerciale est un phénomène bien connu (SAVILL 1983). L'éclaircie permet au vent de pénétrer à l'intérieur du peuplement et augmente la rugosité du couvert et, par conséquent, la turbulence (CREMER *et al.* 1982). La pression exercée par le vent contre chaque tige peut alors doubler et les chances de dissiper cette énergie par le contact entre les cimes sont brutalement réduites (CREMER *et al.* 1982, SAVILL 1983). Cette augmentation de la

vulnérabilité pourrait durer de deux à cinq ans, jusqu'à ce que le couvert commence à se refermer (CREMER *et al.* 1982, SAVILL 1983), ou encore se poursuivre sur une quinzaine d'années, c'est-à-dire jusqu'à ce que les structures de soutien de l'arbre aient pu s'adapter aux nouvelles conditions (BUSBY 1965). La durée de la période de stabilisation dépendra du rythme de croissance, de l'âge et de l'état du peuplement au moment de l'éclaircie (CREMER *et al.* 1982).

Les modalités de l'éclaircie devront aussi être prises en compte. Des éclaircies tardives dans des peuplements âgés, impliquant des tiges hautes et élancées ont un effet particulièrement néfaste (SAVILL 1983). Pour une sapinière productive modérément exposée, le risque de dommages associé à une éclaircie pour laquelle 35 % des tiges à 50 ans sont récoltées, serait supérieur à 10 % annuellement (RUEL *et al.* 2000b). Sur ce type de station, une éclaircie de 45 % du nombre de tiges conduirait à un niveau de risques supérieur, même pour des peuplements de 40 ans. D'importantes pertes ont ainsi été observées à la suite d'éclaircies réalisées dans des sapinières, en particulier lorsque les peuplements avaient environ 70 ans ou que le prélèvement dépassait 40 % de la surface terrière (HATCHER 1961). HOLT *et al.* (1965) rapportent des dommages considérables à la suite d'éclaircies pratiquées dans des sapinières de la péninsule gaspésienne.

En France, BECQUEY et RIOU-NIVERT (1987) ont défini trois zones de stabilité pour l'épinette de Norvège et le sapin pectiné (*Abies alba* L.) en fonction de la hauteur et du facteur d'élancement (rapport H/D). Dans la zone de stabilité, une éclaircie forte est possible, sans trop encourir de risques. Elle correspond à des arbres trapus ou de faible hauteur. La résistance du peuplement au renversement est alors due à une bonne résistance des tiges individuelles. Dans la zone intermédiaire, les caractéristiques des tiges ne leur permettent pas de résister individuellement. La stabilité du peuplement est alors dépendante d'un « effet de bloc » lequel permet la dispersion de l'énergie du vent. Une éclaircie forte dans cette zone peut alors avoir un effet désastreux. Dans la zone d'instabilité, l'effet de bloc ne permet plus d'assurer la stabilité du peuplement. Si le vent est assez fort pour amorcer le chablis, c'est alors tout le peuplement qui peut être ravagé. Au fur et à mesure qu'augmente la hauteur du peuplement, les valeurs critiques de rapport H/D diminuent. Selon BECQUEY (1986), on devrait éviter d'éclaircir les plantations dont les arbres dominants présentent des rapports H/D supérieurs à 100. Il faudrait aussi être prudent lorsque ce rapport se situe entre 90 et 100.

Au cours de sa vie, le peuplement passe successivement de la zone de stabilité à la zone intermédiaire puis éventuellement à celle d'instabilité. Le rythme de progression entre ces zones peut toutefois être influencé par la sylviculture. BECQUEY et Riou-Nivert (1987) proposent ainsi deux types de sylviculture:

- une sylviculture très énergique avec des dépressages en jeune âge;
- une sylviculture sans éclaircie si on estime que le peuplement peut se maintenir dans la zone intermédiaire jusqu'à la récolte.

La réalisation de dépressage en jeune âge (éclaircie précommerciale) devrait permettre le maintien de faibles rapports H/D. Ce faisant, la stabilité des peuplements ayant poussé à de faibles densités en jeune âge devrait être supérieure (SAVILL 1983). Des travaux en cours à la Forêt Montmorency laissent entrevoir une augmentation de 10 à 20 % de la vitesse requise pour endommager les peuplements soumis en jeune âge à l'éclaircie précommerciale. Les peuplements ainsi traités devraient présenter moins de risques de chablis à la suite d'une éclaircie commerciale.

Références bibliographiques

- ANDRÉ, P., V. BUCHET, E. DEFAYS, P. LHOIR et P. REGINSTER, 1994. *Éclaircie en futaie résineuse*. Ministère de la région Wallonne, Direction générale des ressources naturelles et de l'environnement, Division de la nature et des forêts, Service de l'aménagement et du génie forestier. Fiche technique n° 3. Université Catholique de Louvain, Belgique. 36 p.
- AUSSENAC, G., A. GRANIER et R. NAUD, 1984. *Éclaircie systématique dans un jeune peuplement de Douglas. Modifications microclimatiques et influences sur la croissance*. Revue forestière française 36(4) : 279-288.
- BALDWIN, V.C., Jr., D.P. FEDUCCIA et J.D. HAYWOOD, 1989. *Postthinning growth and yield of row-thinned and selectively thinned loblolly and slash pine plantations*. Canadian Journal of Forest Research 19 : 247-256.
- BARBOUR, R.J., D.C.F. FAYLE, G. CHAURET, J. COOK, M.B. KARSH et S. RAN, 1994. *Breast-height relative density and radial growth in mature jack pine (Pinus banksiana) for 38 years after thinning*. Can. J. For. Res. 24 : 2439-2447.
- BECQUEY, J., 1986. *Hauteur et facteur d'élancement : un équilibre à respecter*. Forêt-Entreprise 34 : 14-21.
- BECQUEY, J. et P. RIOU-NIVERT, 1987. *L'existence de zones de stabilité des peuplements. Conséquences sur la gestion*. Revue forestière française 39 : 323-334.

- BERRY, A.B., 1974. *Crown thinning a 30-year-old white spruce plantation at Petawawa -- 10-year results*. Environment Canada, Forestry Service, Information report PS-X-49. 16 p.
- BOLGHARI, H.A. et V. BERTRAND, 1984. *Tables préliminaires de production des principales essences résineuses plantées dans la partie centrale du sud du Québec*. Ministère de l'Énergie et des Ressources, Service de la recherche (Terres et Forêts). Mémoire n° 79. 392 p.
- BOUCHON, T., 1987. *État de la recherche relative aux dégâts forestiers dus aux tempêtes*. Revue forestière française 39 : 301-312.
- BRUCE, D., D.J. DE MARS et D.L. REUKEMA, 1977. *Douglas-fir manages yield simulator -- DFIT User's guide*. USDA Forest Service, General Technical Report PNW-57. 26 p.
- BURNS, R.M. et B.H. HONKALA, 1990. *Silvics of North America*. USDA For. Serv., Agr. Handbook 654, Vol. 1 Conifers. 675 p.
- BUSBY, J.A., 1965. *Studies on the stability of conifer stands*. Scottish For. 19 : 86-102.
- COOLEY, J.H., 1969. *Initial thinning in red pine plantations*. USDA Forest Service, Research Paper NC-35. 6 p.
- CREMER, K.W., C.J. BOROUGH, F.H. MCKINNEL et P.P. CARTER, 1982. *Effects of stocking and thinning on wind damage in plantations*. N. Zeal. J. For. Sci. 12 : 245-268.
- CURTIS, R.O., D.D. MARSHALL et J.F. BELL, 1997. *Logs. A pioneering example of silvicultural research in Coast Douglas-fir*. Journal of Forestry 95(7) : 19-25.
- CURTIS, R.O. et D.D. MARSHALL, 2002. *Levels-of-growing-stock cooperative study in Douglas-fir : Report no. 14- Stampede Creek : 30-year results*. USDA Forest Service. Pacific Northwest Research Station, Research Paper PNW-RP-543. 77 p.
- DAY, M.W. et V.J. RUDOLPH, 1972. *Thinning plantation red pine*. Michigan State University, Agricultural Experiment Station East Lansing, Research Report 151. 12 p.
- DE CHAMPS, J., 1987. *Mesures sylvicoles préventives*. Revue forestière française 39 : 313-322.

- EVERT, F., 1976. *Management implications of regular mortality in northern Ontario pulpwood stands*. Environment Canada, Forest Management Institute, Ottawa, Canada. Information Report FMR-X-91.
- GARDINER, B., H. PELTOLA et S. KELLOMAKI, 2000. *The development and testing of models to predict the critical wind speeds required to damage coniferous trees*. Ecol. Model. 29 : 1-23.
- GOUVERNEMENT DU QUÉBEC, 1998. *Manuel d'aménagement forestier, 3^e Édition*. Ministère des Ressources naturelles du Québec, Québec. 122 p.
- HAMILTON, G.J., 1976. *Effects of line thinning on increment*. In Aspects of thinning. Forestry Commission Bulletin 55 : 37-45.
- HAN, H.S., L.D. KELLOGG, G.M. FILLIP et T.D. BROWN, 2000. *Scar closure and future timber value losses from thinning damage in western Oregon*. For. Product. J. 50 : 36-42.
- HATCHER, R.J., 1961. *Partial cutting balsam fir stands on the Epaule River watershed, Quebec*. Can. Dept. For., For. Res. Branch, Tech. Note No. 105. 29 p.
- HEITZMAN, E. et A.G. GRELL, 2002. *Residual tree damage along forwarder trails from cut-to-length thinning Maine spruce stands*. North. J. Appl. For. 19 : 161-167.
- HOLT, L., A. LINTEAU, P.H. TREMBLAY et W.L. JOHNSON, 1965. *Some aspects of balsam fir management*. Pulp and Paper Mag. Can. : WR322-WR338.
- LIEFFERS, V.J. et R.L. ROTHWELL, 1987. *Rooting of peatland black spruce and tamarack in relation to depth of water table*. Can. J. For. Res. 65 : 817-821.
- LOFTUS, J., 1996. *Economics and biology of commercial thinning in Coastal British Columbia*. In Proceedings of a commercial thinning workshop, Whitecourt, Alberta, October 17-18 1996, FERIC Special Report SR-122. pp. 24-28.
- LUSSIER, J.M., H. MORIN et R. GAGNON, 2002. *Mortality in black spruce stands of fire or clear-cut origin*. Can. J. For. Res. 32 : 526-538.

- MCCLINTOCK, T.F., 1954. *Factors affecting wind damage in selectively cut stands of spruce and fir in Maine and northern New Hampshire*. USDA For. Serv. North. For. Exp. Stn., Station Paper No. 70.
- MCWILLIAMS, E.R.G. et G. THÉRIEN, 1996. *Fertilization and thinning effects on a Douglas-fir ecosystem at Shawnigan Lake : 24-year growth response*. For. Can. and B.C. Min. For., Victoria, B.C. FRDA Rep. No. 269.
- MEUNIER, S., J.-C. RUEL, G. LAFLAMME et A. ACHIM, 2002. *Résistance comparée de l'épinette blanche et du sapin baumier au renversement*. Can. J. For. Res. 32 : 642-652.
- MITCHELL, K.J. et J.W. GOUDIE, 1997. *The Emperor's new clothes*. Dans Stand density management: planning and implementation (Proceedings. Conference held in Edmonton, Alberta, November 6-7, 1997). Edité par C.R. Bamsey. Alberta Environmental Protection. pp. 34-44.
- MITCHELL, S.J., 2000. *Stem growth responses in Douglas-fir and Sitka spruce following thinning : implications for assessing wind-firmness*. Forest Ecology and Management 135 : 105-114.
- MONTERO, G., I. CANELLAS, C. ORTEGA et M. DEL RIO, 2001. *Results from a thinning experiment in a Scots pine (Pinus sylvestris L.) natural regeneration stand in the Sistrina Iberico Mountain Range (Spain)*. For. Ecol. Manage 145 : 151-161.
- MUELLER, O.P. et M.G. CLINE, 1959. *Effects of mechanical soil barriers and soil wetness on rooting of trees and soil mixing by blowdown in central New York*. Soil Science 88 : 107-116.
- OMULE, S.A.Y., 1988. *Growth and yield 35 years after commercially thinning 50-year-old Douglas-fir*. For. Can. and B.C. Min. For., Victoria, B.C. FRDA rep. No. 21
- OSWALD, H. et J. PARDÉ, 1984. *Le Douglas en France : sylviculture et production*. Revue forestière française, XXXVI - numéro spécial : 56-68.
- PARDÉ, J., 1964. *Intensité des éclaircies et production ligneuse*. Revue forestière française 12 : 936-945.
- PENNER, M., C. ROBINSON et D. BURGESS, 2001. *Pinus resinosa product potential following initial spacing and subsequent thinning*. The Forestry Chronicle 77(1) : 129-139.

- POTHIER, D. et F. SAVARD, 1998. *Actualisation des tables de production pour les principales espèces forestières du Québec*. Ministère des Ressources naturelles, Forêt Québec, Direction de la recherche forestière. 183 p.
- PRÉSENT, G., 1998. *L'éclaircie des plantations*. Québec, Ministère des Ressources naturelles du Québec, Service de l'amélioration des arbres. Mémoire de recherche forestière n° 133. 38 p.
- PRÉSENT, G., 2003. *Caractéristiques du bois coupé et du peuplement résiduel à la première éclaircie commerciale de plantations résineuses*. Québec, Ministère des Ressources naturelles du Québec, Service de la sylviculture et du rendement des forêts. Mémoire de recherche forestière (à paraître).
- REUKEMA, D.L. et D. BRUCE, 1977. *Effects of thinning on yield of Douglas-fir: Concepts and some estimates* obtained by simulation. USDA Forest Service, General Technical Report PNW-58. 36 p.
- RIOU-NIVERT, P., 1986. *Bilan et perspectives du programme résineux de l'IDF*. Forêt-Entreprise 37 : 24-43.
- ROBITAILLE, A. et J.-P. SAUCIER, 1998. *Paysages régionaux du Québec méridional*. Publications du Québec. 213 p.
- RUEL, J.-C., 1989. *Mortalité du bois laissé sur pied à la suite d'une coupe par bandes dans trois régions du Québec*. For. Chron. 65 : 107-113.
- RUEL, J.-C., D. PIN, L. SPACEK, K. COOPER et R. BENOIT, 1997. *The estimation of wind exposure for windthrow hazard rating : comparison between Strongblow, MC2, Topex and a wind tunnel study*. Forestry 70 : 253-265.
- RUEL, J.-C., D. PIN et K. COOPER, 1998. *Effect of topography on wind behaviour in a complex terrain*. Forestry 71 : 261-265.
- RUEL, J.-C., D. PIN et K. COOPER, 2000a. *Windthrow in riparian buffer strips : effect of wind exposure, thinning and strip width*. For. Ecol. Manage. 143 : 105-113.
- RUEL, J.-C., C.P. QUINE, S. MEUNIER et J. SUAREZ, 2000b. *Estimating windthrow risk in balsam fir stands with the ForestGales model*. For. Chron. 76 : 329-337.

- SAVILL, P., J. EVANS, D. AUCLAIR et J. FALCK., 1997. *Plantation silviculture in Europe*. Oxford University Press, New York. 297 p.
- SAVILL, P.S., 1983. *Silviculture in windy climate*. For. Abstracts, review article 44 : 473-488.
- SEYMOUR, R.S., 1999. *Principles for developing and planning thinning prescriptions*. In Proceedings Thinning in the Maine forest. Wagner, R.G., A.F. Egan, W.D. Ostrofsky et R.S. Seymour (eds). 15-16 novembre 1999, Augusta (Maine). pp. 5-12.
- SMITH, D.M., B.C. LARSON, M.J. KELTY et P.M.S. ASHTON, 1997. *The practice of silviculture. Applied forest ecology*. 9th edition. J. Wiley and sons, New York. 537 p.
- SMITH, V.G., M. WATTS et D.F. JAMES, 1987. *Mechanical stability of black spruce in the Clay Belt of northern Ontario*. Can. J. For. Res. 17 : 1080-1091.
- SNOWDON, P. et H.D. WARING., 1990. *Growth responses by Pinus radiata to combinations of superphosphate, urea and thinning type*. For. Ecol. and Manage. 30 : 313-325.
- SOUCY, M., 2003. *Résultats 40 ans après traitements : Effets de l'éclaircie et de la fertilisation sur la croissance d'un peuplement d'épinette noire (Picea mariana Mill. BSP) âgé de 65 ans*. Mémoire de maîtrise en préparation. Université de Moncton.
- VALINGER, E., B. ELFVING et T. MORLING, 2000. *Twelve-year growth response of Scots pine to thinning and nitrogen fertilisation*. For. Ecol. Manage. 134 : 45-53.
- VIENS, E., 2001. *Effets de l'éclaircie commerciale sur la croissance et la forme de la tige du pin gris (Pinus banksiana Lamb), en Abitibi, Québec*. Mémoire de maîtrise. Université du Québec à Chicoutimi.
- WALMSLEY, J.L. et R. MORRIS, 1994. *Cartes des ressources en énergie éolienne au Canada*. Canada, Service de l'environnement atmosphérique, ARD-92-003-F.
- WASTERLUND, I., 1989. *Effects of damage on the newly thinned stand due to mechanized forest operations*. Dans : Siren, M. (ed.), Machine design and working methods in thinnings : Proceedings of IUFRO P4.02.01 Conference, Sept. 17-22, Hytticla, Finland. pp. 41-57.

WEETMAN, G.F., M.R. ROBERGE et C.H. MENG, 1980. *Black spruce : 15-year growth and microbiological responses to thinning and fertilization*. Can. J. For. Res. 10 : 502-509.

WONN, H.T. et K.L. O'HARA, 2001. *Height : Diameter ratios and stability relationships for four Northern Rock Mountain tree species*. West. J. Appl. for. 16 : 87-94.

ZARNOVICAN, R., J.M. LUSSIER et C. LABERGE, 2001. *Coupe préparatoire et croissance en surface terrière d'une sapinière de seconde venue à la forêt modèle du Bas-Saint-Laurent, Québec*. For. Chron. 77 : 685-695.

ZEIDE, B., 2001. *Thinning and growth : a full turnaround*. J. For. 99 : 20-25.

Annexe 2

Gain mathématique en dhp à la première éclaircie commerciale des plantations résineuses¹

par

Guy PRÉGENT (MRN - DRF)

¹ Extrait d'un mémoire de recherche forestière en préparation intitulé : « Caractéristiques du bois coupé et du peuplement résiduel à la première éclaircie commerciale de plantations résineuses ».

Le dhp des arbres coupés et des arbres laissés sur pied à la suite d'une éclaircie systématique sont théoriquement identiques. Pour l'éclaircie sélective par le bas, ces valeurs sont différentes de sorte qu'immédiatement après l'éclaircie, il y a un gain dû au fait qu'on a enlevé les petites tiges pour calculer la nouvelle moyenne de dhp; il s'agit d'un gain dit mathématique et non pas du gain à venir au cours des années futures qui résultera du plus grand espacement entre les tiges.

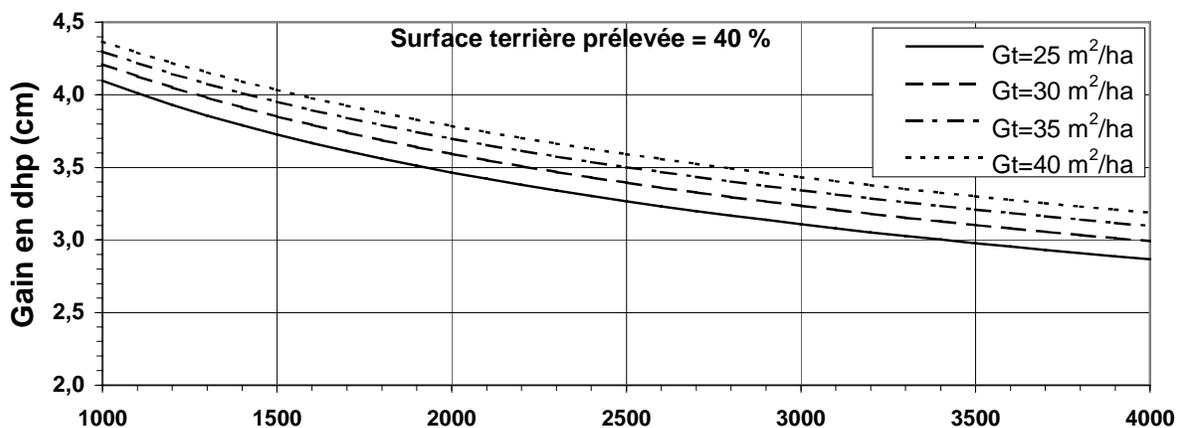
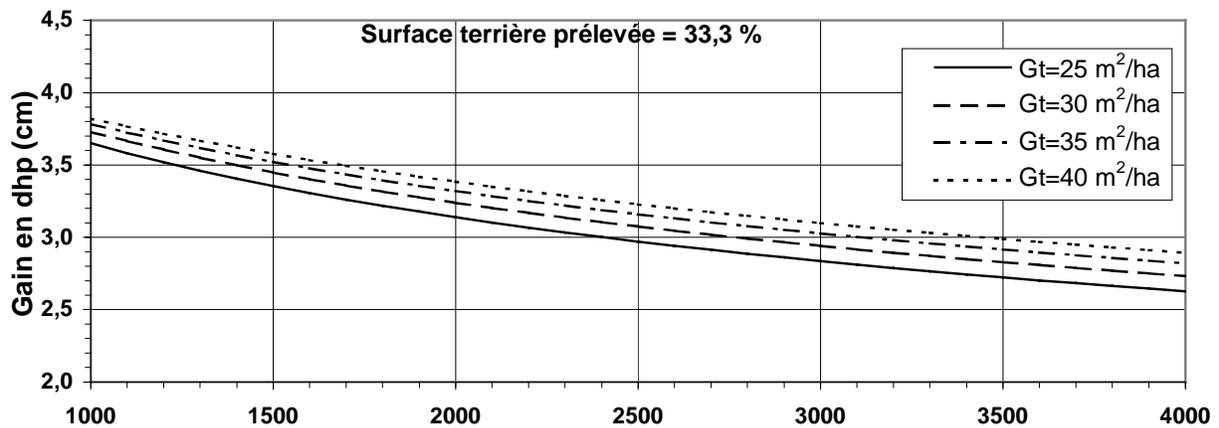
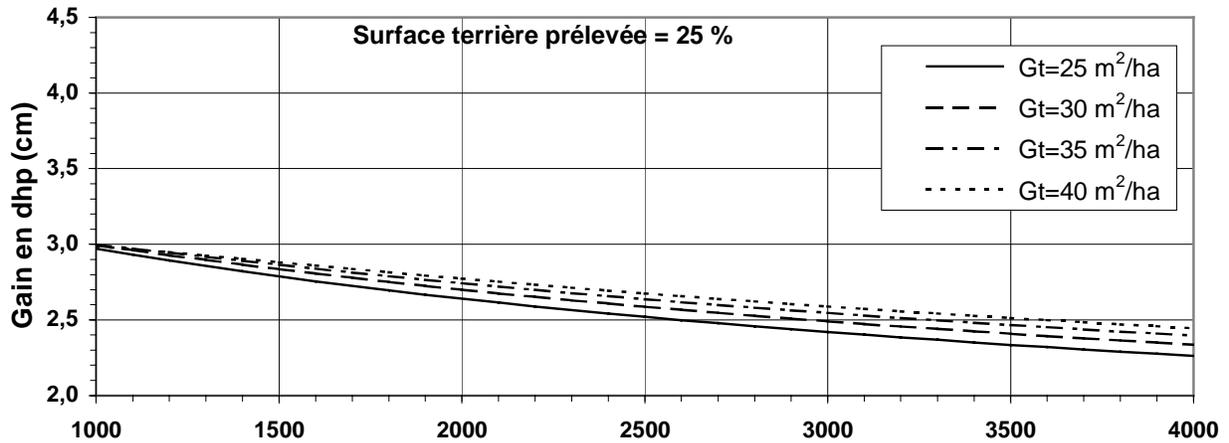
Selon les données de 617 inventaires de plantations provenant de 522 parcelles réparties dans la plupart des régions du Québec, nous avons simulé la première éclaircie commerciale pour diverses intensités, différents moments d'intervention et pour deux types d'éclaircie (systématique et sélective par le bas). Les espèces étudiées sont les épinettes blanche (*Picea glauca* [Moench] Voss) et de Norvège (*Picea abies* [L.] Karst), le mélèze laricin (*Larix laricina* [du Roi] K. Koch) ainsi que les pins gris (*Pinus banksiana* Lamb.) et rouge (*Pinus resinosa* Ait.).

Le gain mathématique en valeurs absolues pour l'épinette blanche est présenté à la figure 1. Le gain est plus important pour les fortes intensités de prélèvement, une surface terrière avant l'éclaircie plus élevée et un faible nombre de tiges avant l'éclaircie. Compte tenu que ces valeurs s'appliquent à des arbres de dimensions différentes, les gains exprimés en pourcentage se comportent différemment selon les paramètres précédemment énoncés (Figure 2). Contrairement aux gains en valeurs absolues, les gains en pourcentages sont plus élevés pour un nombre élevé de tiges et pour une surface terrière plus faible. Toutefois, les gains en pourcentage continuent d'être supérieurs dans le cas des fortes intensités de prélèvement. Pour l'épinette blanche, ces gains varient de 2,3 à 4,4 cm (Figure 1) soit d'environ 13 à 32 % (Figure 2) selon les valeurs des différents paramètres analysés.

Pour bien évaluer les effets de l'éclaircie, il faut éliminer ce gain mathématique qui résulte non pas d'un espacement accru entre les tiges mais bien de la suppression des petites tiges dans le calcul de la moyenne. D'ailleurs, la surface terrière la plus élevée procure un gain mathématique en valeurs absolues supérieur à celui des faibles surfaces terrières; à l'inverse toutefois, les gains à venir liés au nouvel espacement entre les tiges seront supérieurs pour les faibles surfaces terrières.

Les pourcentages de gains en dhp varient également selon les espèces. La figure 3 présente ces différences pour différents niveaux de surfaces terrières avant l'éclaircie pour des taux de prélèvement de 33,3 % de la surface terrière. Les pourcentages de gains les plus faibles sont obtenus pour les pins avec des surfaces terrières plus élevés; les épinettes ont les taux de gains mathématiques les plus élevés. Ces différences pourraient être causées par un étagement plus accentué et une plus grande variabilité de dimensions dans les plantations d'épinette blanche par rapport à celles de pin rouge. Le coefficient de variation moyen du dhp à l'intérieur d'une parcelle est de 29,5 % pour l'épinette blanche et 24,6 % pour le pin rouge. Les plantations de pin rouge étant généralement plus homogènes, il y est plus difficile d'obtenir un gain mathématique important en diamètre.

Le gain en dhp présenté aux figures 4 à 6 ne concerne que le gain mathématique lié à l'enlèvement des petites tiges dans le calcul de la moyenne, ce que certains appellent l'effet « scie mécanique » obtenu immédiatement après la coupe sélective. Il ne reflète pas le gain ultérieur en diamètre lié à l'augmentation de l'espace disponible pour les tiges résiduelles. Il faut d'ailleurs soustraire ce gain mathématique pour bien évaluer les effets véritables de l'éclaircie sélective. Le retard de l'éclaircie sélective permet d'accroître le gain mathématique en valeur absolue (Figure 1). Dans ces circonstances, ce gain mathématique est illusoire car le gain ultérieur lié à l'éclaircie sera inférieur et il en sera ainsi à toutes les éclaircies subséquentes. Le gain ultérieur en diamètre variera principalement selon l'espèce, la qualité de station, la surface terrière au moment de l'éclaircie et l'intensité de celle-ci. Les gains ultérieurs les plus forts devraient être observés pour les essences et les stations les plus productives avec des éclaircies hâtives, fréquentes et de bonne intensité (PRÉGENT 1998).



Nombre de tiges avant l'éclaircie (/ha)

Figure 1. Gain mathématique en dhp pour l'épinette blanche à la suite de la première éclaircie sélective par le bas en fonction de la surface terrière prélevée, de la surface terrière et du nombre de tiges avant l'éclaircie.

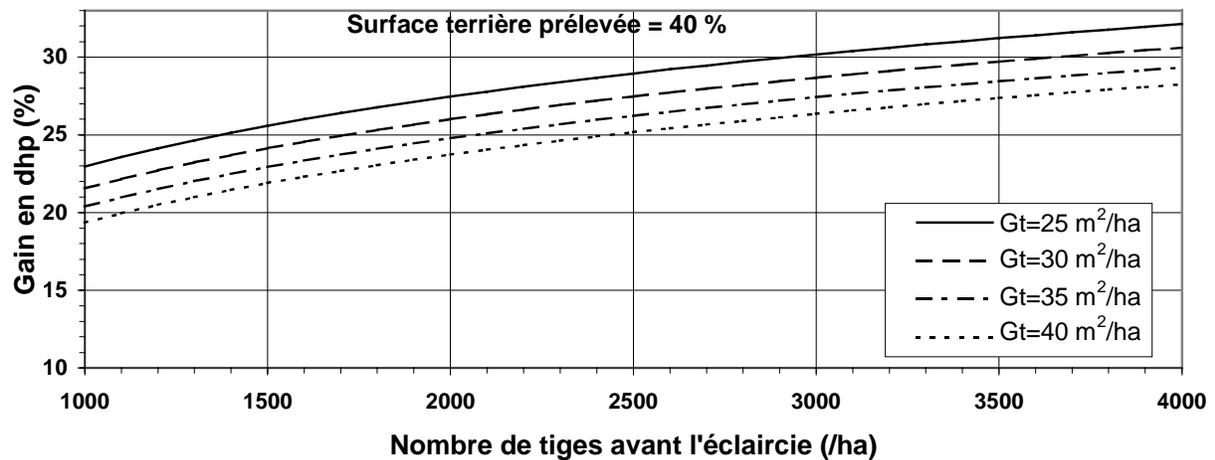
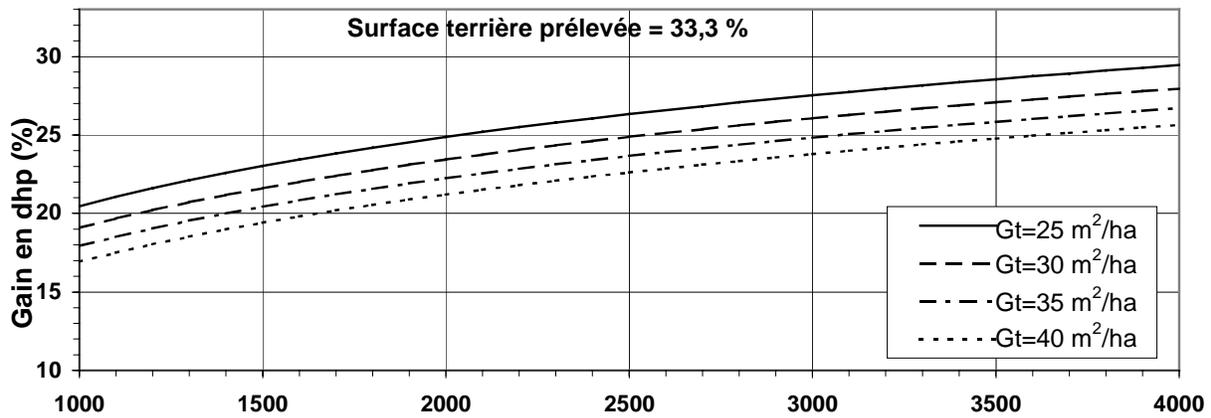
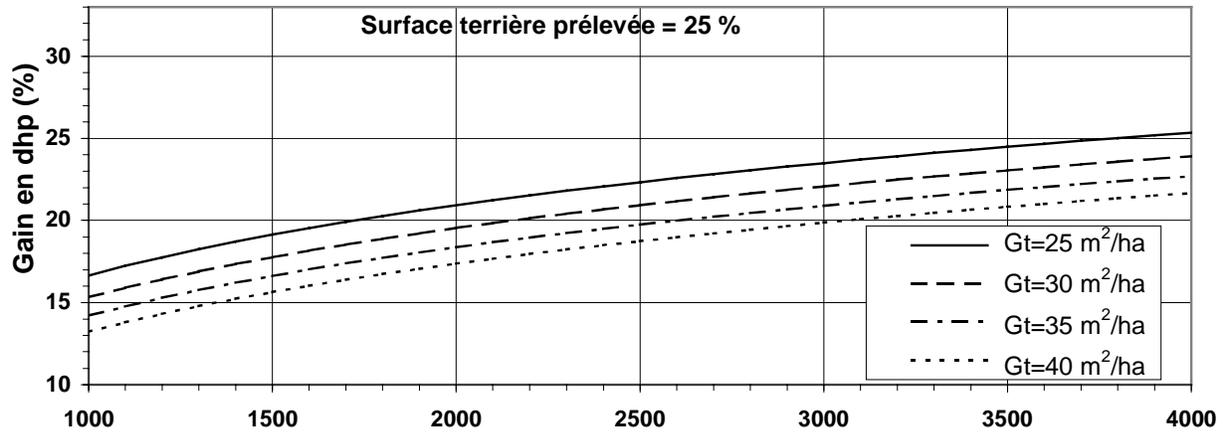


Figure 2. Pourcentage de gain mathématique en dhp pour l'épinette blanche à la suite de la première éclaircie sélective par le bas en fonction de la surface terrière prélevée, de la surface terrière et du nombre de tiges avant l'éclaircie.

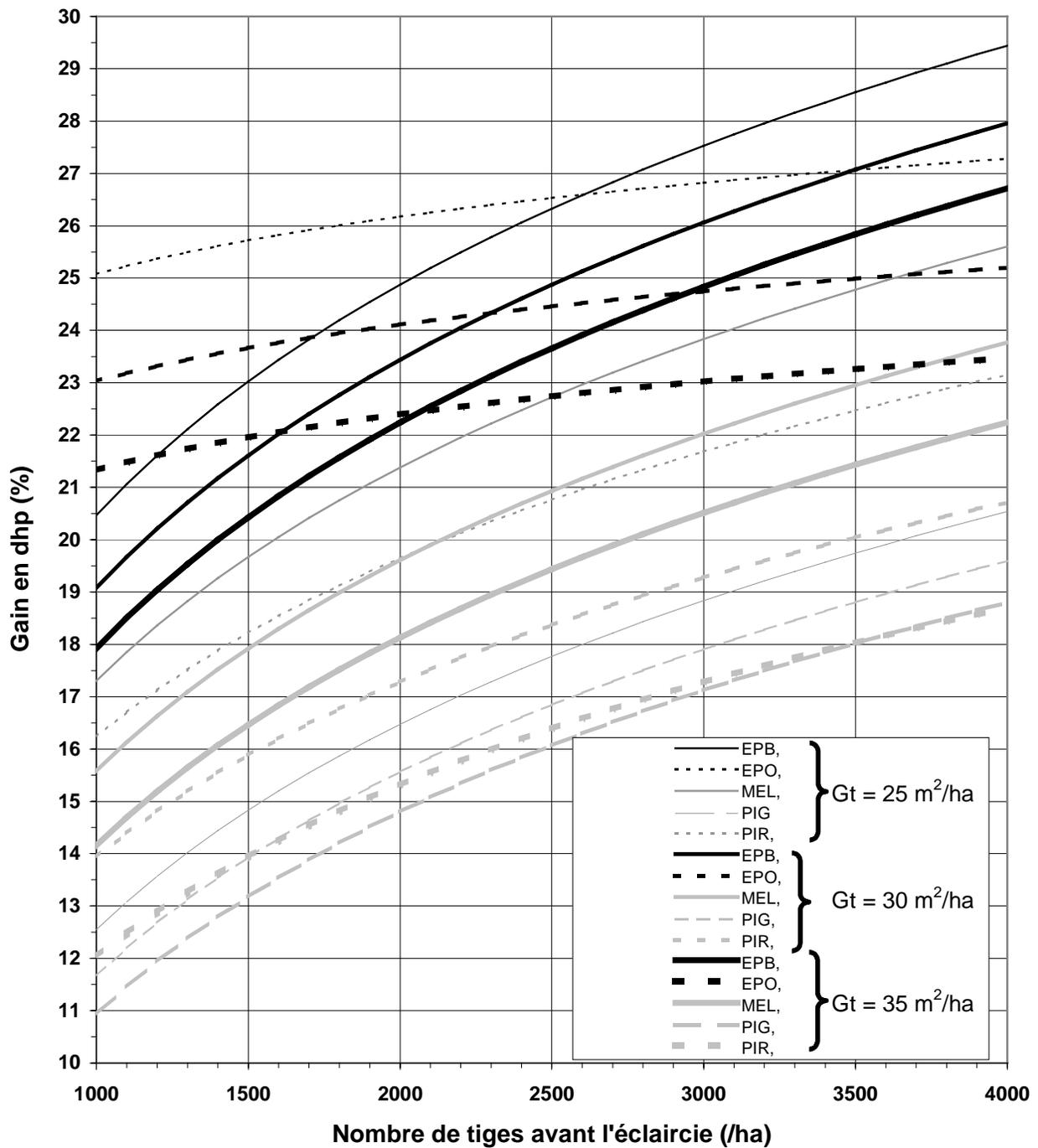


Figure 3. Pourcentage de gain mathématique en dhp à la suite de la première éclaircie sélective par le bas en fonction de l'essence, de la surface terrière et du nombre de tiges avant l'éclaircie pour un taux de prélèvement de 33,3 % de la surface terrière.

