

**Sylviculture des peuplements
à dominance de feuillus nobles
au Québec**

Hors-série

par

François GUILLEMETTE, ing. f., M. Sc.

et

Steve BÉDARD, ing. f., M. Sc.

Gouvernement du Québec
Ministère des Ressources naturelles
et de la Faune
Direction de la recherche forestière
2006

Avant-propos

Ce document a d'abord été rédigé dans le but de répondre aux questions formulées par des gestionnaires du MRNF au cours de l'hiver 2006. Le chapitre 3 sur la futaie inéquienne est une version bonifiée du chapitre traitant des aspects sylvicoles de l'Avis scientifique sur l'aménagement de peuplements de structure inéquienne pour la production du bouleau jaune (COMITÉ CONSULTATIF DU MANUEL D'AMÉNAGEMENT FORESTIER 2003). Hormis les trois premiers chapitres, la revue de la littérature, la plus exhaustive de ce document, est celle qui se rapporte aux deux derniers chapitres afférents à la coupe à diamètre limite. Cependant, le document a été rédigé de façon à en faire un document de travail essentiellement plus complet de manière à répondre à l'ensemble des questions.

Version du 15 août 2006

Résumé

En 2005, l'industrie québécoise de transformation des feuillus nobles a réduit considérablement ses activités affirmant par le fait même la non-rentabilité des coupes partielles (principalement le jardinage) et de l'imposition d'un cadre normatif trop rigide. Une entente est intervenue à l'automne 2005 entre le Ministère et l'industrie pour favoriser la reprise des activités notamment par l'autorisation, à l'intérieur d'un certain cadre, de l'application de traitements dits « alternatifs¹ ». Ainsi, des demandes ont été déposées dans le but d'effectuer des traitements sylvicoles autres que la coupe de jardinage. Ces demandes ont soulevé de nombreuses questions de la part des gestionnaires sur les aspects scientifiques de la sylviculture des feuillus nobles. Ce rapport a donc comme principal objectif de faire une synthèse de la littérature des principaux régimes sylvicoles en forêt de feuillus et des principaux traitements qui leur sont associés.

Les forêts de feuillus nobles couvrent l'extrême sud de l'est du Canada et la portion nordique du centre et de l'est des États-Unis. Les érablières représentent les principaux types de peuplements de cette zone, ainsi que les bétulaies jaunes. Ces peuplements ont souvent une structure naturelle inéquienne, tant au Québec, qu'aux États-Unis et qu'en Ontario. Au cours du XX^e siècle, ces peuplements ont, pour la plupart, subi au moins une coupe partielle associée à la coupe à diamètre limite ou à la coupe totale.

La sylviculture occupe une place majeure de l'aménagement forestier puisqu'elle en constitue l'une des applications les plus concrètes. Elle comprend le contrôle de l'établissement, de la croissance, de la composition, de la santé et de la qualité des forêts et des terrains forestiers; elle consiste notamment à prévoir les incidences de son action sur les ressources de la forêt et est l'un des fondements de l'aménagement forestier durable.

¹ Selon le Grand dictionnaire terminologique de l'Office québécois de la langue française : « Contrairement au terme anglais *alternative* qui désigne chacune des possibilités, le terme français *alternative* ne désigne qu'une situation dans laquelle il faut choisir entre deux possibilités opposées ».

Une des méthodes préconisées pour faciliter la prévision des incidences des interventions sur l'évolution du peuplement est d'inscrire les actions de coupe à l'intérieur d'un régime sylvicole, soit un programme planifié de traitements sylvicoles sur toute la vie d'un peuplement. Tous les régimes sylvicoles comprennent trois fonctions de base, soit l'éducation, la récolte et la régénération des peuplements forestiers; cette dernière fonction est sans aucun doute la plus critique. Le choix d'un régime sylvicole est l'une des décisions les plus importantes que doit prendre l'aménagiste forestier. Ce choix est surtout basé sur les objectifs du propriétaire, la capacité du site à les atteindre, l'autécologie des espèces et les conditions du peuplement. Dans le contexte législatif d'aménagement forestier durable (Loi sur les forêts), le régime sylvicole choisi doit atteindre un degré de justesse acceptable sur les plans écologique, économique et social. Les principaux régimes sylvicoles applicables aux peuplements à l'étude (érablières et bétulaies jaunes) ont été révisés : la futaie inéquienne, la futaie équienne, la futaie biétagée et la futaie par groupes.

Futaie inéquienne

Le régime de la futaie inéquienne est fondé sur le principe qu'un peuplement peut être maintenu en se régénérant de façon continue ou périodique et que le développement des jeunes tiges se produit sous la domination des plus anciennes. Pour atteindre cet objectif, on fait appel à la coupe de jardinage; celle-ci se définit comme la coupe périodique d'arbres choisis individuellement, ou par petits groupes, dans un peuplement de structure inéquienne, pour en récolter la production et l'amener à une structure inéquienne régulière tout en assurant les soins culturels nécessaires aux arbres en croissance et l'installation de semis. La variante la plus répandue est la coupe de **jardinage par pieds d'arbres**; elle consiste à prélever en priorité les tiges par pieds d'arbres de façon plus ou moins uniforme dans l'ensemble du peuplement et à favoriser la régénération des essences les plus tolérantes à l'ombre. La variante de **jardinage par pieds d'arbres et groupes d'arbres** vise à créer des ouvertures afin de satisfaire les exigences de lumière d'espèces moins tolérantes à l'ombre, bien que le prélèvement soit effectué principalement par pieds d'arbres entre les groupes.

Le jardinage stimule surtout l'accroissement net du peuplement parce qu'il minimise la mortalité en prélevant en priorité les tiges les plus susceptibles de mourir, tout en assurant un espacement adéquat entre les tiges résiduelles. Il accentue ensuite la qualité du peuplement en éliminant les tiges de moindre qualité. Le prélèvement doit être restreint, à moins de 35 % de la surface terrière initiale en général, cela afin de limiter les risques de dégradation de la qualité des tiges ou de perte du peuplement causés par des ouvertures excessives. Pour stimuler l'accroissement et la production de bois de qualité, la surface terrière résiduelle devrait se situer aux environs de 18 à 20 m²/ha, mais pourrait être réduite jusqu'à 16 m²/ha au besoin. D'un point de vue de la production de bois, il est préférable d'intervenir avant

l'atteinte d'une surface terrière excédant 23 à 27 m²/ha pour éviter une baisse d'accroissement annuel net provoquée par l'augmentation de la mortalité. Il est recommandé d'intervenir sur des rotations assez courtes pour récolter la mortalité éventuelle, soit environ quinze ans. Toutefois, une période de rotation atteignant 20-25 ans pourra être appliquée si l'on souhaite récolter un volume plus élevé à chaque rotation. De telles modalités d'application du jardinage dans les peuplements à l'étude sont réalistes puisqu'elles ont été expérimentées avec succès au Québec depuis plus de 20 ans.

Le régime du jardinage s'inscrit bien dans un cadre d'aménagement écosystémique puisqu'il se rapproche de la dynamique des microtrouées par le prélèvement partiel de tiges par pieds d'arbres et par petits groupes d'arbres. Des modalités doivent cependant être mises en place pour satisfaire ces préoccupations particulières.

Futaie équienne

Le régime de la futaie équienne est basé sur le principe que tous les arbres appartiennent à la même classe d'âge, ce qui est identifié par un âge semblable (différence maximale de 20 % de l'âge de la révolution) et une hauteur semblable. Ainsi, une même intervention d'éducation ou de régénération du peuplement peut être appliquée sur toute la superficie à un même moment puisque toutes les tiges sont au même stade de développement. Dans le régime de la futaie équienne, les fonctions d'éducation et de régénération du peuplement sont normalement effectuées lors d'interventions distinctes. Pour les fins du présent avis, seuls les traitements ayant une fonction de régénération ont été révisés puisque c'est la partie la plus critique de la sylviculture, tout particulièrement dans le régime de la futaie équienne. L'éducation du peuplement n'est toutefois pas à négliger et peut constituer une part importante des coûts du régime de la futaie équienne.

Les principaux procédés de régénération naturelle (semis) reconnus dans ce régime sylvicole sont la coupe à blanc et ses variantes (par bandes alternes, bandes progressives ou par trouées), la coupe avec réserve de semenciers et les coupes progressives (uniforme ou par groupes – bouquets, trouées, bandes). En ce qui concerne la coupe à blanc et la coupe avec réserve de semenciers, les conditions environnementales créées sont favorables à la régénération des espèces les plus intolérantes à l'ombre et tolérantes à une forte exposition à la lumière étant donné l'atteinte d'une température élevée du sol et de l'air et le bas taux d'humidité du sol en sa surface. Ainsi, ces procédés ne créent pas les conditions les plus favorables aux exigences de régénération naturelle de l'érable à sucre et du bouleau jaune. La coupe progressive d'ensemencement permet cependant de conserver un couvert de protection plus favorable à la plupart des espèces des peuplements à l'étude. C'est pourquoi nous avons décidé d'examiner davantage ce procédé de régénération plutôt que ceux de la coupe à blanc et de la coupe avec réserve de semenciers.

Le procédé de régénération par coupes progressives se caractérise surtout par la création d'un abri destiné à protéger la régénération des conditions adverses. Ce procédé de régénération est normalement appliqué en une à trois étapes (coupes). Le procédé en une étape est applicable aux peuplements qui ont régénéré, sous leur couvert, une cohorte dense de régénération caractérisée par un même stade de développement (généralement au stade semis ou gaulis) et donc une hauteur semblable. La densité minimale de tiges d'essences marchandes devrait atteindre environ 12 000 à l'hectare au stade semis (60-120 cm de hauteur) ou 5 000 au stade de jeune gaulis (1-3 cm de diamètre) ou 2 500 avec des gaules et perches de 4 à 11 cm de diamètre. La seule coupe dans ce procédé est la **coupe finale**. Elle consiste à couper toutes les tiges qui n'appartiennent pas à cette nouvelle cohorte de régénération tout en protégeant la régénération établie de façon à la libérer complètement. En l'absence de cette régénération, ou lorsqu'elle est insuffisante, alors le procédé en deux étapes peut être appliqué avant la coupe finale de façon à créer d'abord des conditions plus propices à l'ensemencement. Cette **coupe d'ensemencement** (ou **de régénération**) consiste à ouvrir partiellement le couvert en pratiquant une forte éclaircie par le bas, c'est-à-dire en enlevant d'abord les tiges des stades inférieurs de développement (gaules, perches, petit bois). Elle permettra l'atteinte du taux ciblé de recouvrement au sol des cimes selon l'espèce (généralement 40 à 60 %; 60 % pour l'érable à sucre et 50 à 60 % pour le bouleau jaune) et de maintenir suffisamment de semenciers des espèces recherchées. Selon les espèces recherchées et les conditions de site, des interventions de préparation de terrain peuvent être nécessaires pour stimuler la germination ou réduire la compétition. Lorsque la régénération est installée et que la lumière est insuffisante pour atteindre les conditions souhaitées pour la coupe finale, une **coupe secondaire** peut être appliquée avant la coupe finale dans le but d'augmenter la lumière disponible pour la régénération, tout en conservant des semenciers. Lorsqu'il est préférable de concentrer la production de semences sur des espèces ou des phénotypes en particulier, alors une **coupe préparatoire** peut être appliquée avant la coupe d'ensemencement dans un procédé en trois étapes.

Lorsque le nouveau peuplement est libre de croître et qu'il occupe tout le site, alors son rendement et la durée de sa période de révolution peuvent être associés à ceux prévus dans les tables de rendement pour des peuplements de structure équiennne d'âge et de composition comparables. L'aspect le plus incertain est la composition du peuplement. L'atteinte de la composition ciblée nécessite des suivis réguliers et l'application des travaux correctifs au besoin. De plus, l'absence d'arbres à maturité sur le site après la coupe finale réduit la capacité de rétablir naturellement un nouveau peuplement advenant sa perte provoquée par des conditions environnementales extrêmes, comme un verglas, un gel, une sécheresse, une tempête de vent ou une épidémie.

La coupe à blanc, la coupe avec réserve de semenciers et les coupes progressives décrites précédemment ne permettent pas de conserver les caractéristiques structurales des peuplements d'avant coupe. Des modifications pourraient être apportées afin d'incorporer un minimum de tiges à vocation faunique, de chicots et de billes au sol. Les régimes de la futaie biétagée et de la futaie par groupes pourraient être des avenues d'amélioration du régime de la futaie équienne dans le but de satisfaire les exigences d'un aménagement écosystémique.

Futaie biétagée

Le régime de la futaie biétagée s'apparente à celui de la futaie équienne régénérée par coupe avec réserve de semenciers ou par coupes progressives, à la différence que des tiges semencières sont maintenues sur pied sur une période plus longue qu'un cinquième de la période de la révolution. Le procédé de régénération est alors normalement appelé **coupe progressive irrégulière uniforme**. Lorsque la régénération est bien établie, le peuplement résiduel est maintenu suffisamment ouvert pour stimuler la croissance de la régénération. Le maintien de ce couvert peut être justifié pour diverses raisons, notamment celles du maintien des fonctions écologiques, des sources de semences en cas de perte de régénération, d'un couvert protecteur, etc. Les tiges résiduelles de ces peuplements sont encore en mesure de fournir un bon accroissement si elles sont bien adaptées à l'isolement et à l'exposition en pleine lumière. L'érable à sucre et le pin blanc constituent des essences peu susceptibles de mourir ou de se dégrader, contrairement au bouleau jaune, au bouleau à papier, au cerisier tardif ou à l'érable rouge. L'application de ce régime sylvicole aux feuillus nobles à l'étude est plutôt rare et peu rapportée dans la littérature, toutefois elle est recommandée en Ontario pour le pin blanc. Il faut souligner que de nombreux aspects du régime de la futaie équienne sont applicables aussi à la futaie biétagée, particulièrement en ce qui a trait aux modalités d'application. À titre d'exemple, soulignons l'importance d'assurer un suivi de la régénération afin d'identifier le besoin d'appliquer des mesures correctrices en cas d'échec, ainsi que l'application de ces mesures (préparation de terrain, regarni, dégagement, etc.).

Futaie par groupes

Le régime de la futaie par groupes ou par trouées ou par bouquets est basé sur le principe qu'un peuplement est régénéré et éduqué selon un ensemble de petits peuplements de structure équienne, d'âges ou de stades de développement différents (écart d'âges d'au moins 20 % de l'âge de révolution). La compétition entre les arbres d'un groupe de même âge se manifeste surtout quand l'ensemble des tiges atteint une même hauteur. À ce moment, le degré de compétition influence fortement l'éducation des tiges. Par contre, la futaie par groupes se distingue de la futaie équienne. En effet, la hauteur des groupes adjacents est différente l'une de l'autre, ce qui influence leur développement réciproque,

notamment lors du stade de régénération. Ainsi, la largeur ou le diamètre des groupes est d'au plus équivalente à deux fois la hauteur des arbres dominants, selon les exigences des essences désirées et de la compétition.

Le maintien de groupes d'arbres sur une longue période peut se justifier pour diverses raisons, notamment celles du maintien des fonctions écologiques (ex. : habitats), du maintien des sources de semences en cas de perte de régénération, du maintien d'un effet de bordure, de l'avantage de bénéficier de la structure en groupes du peuplement, etc. D'ailleurs, ce régime a un potentiel intéressant dans un contexte d'aménagement écosystémique pour les peuplements mixtes dominés ou sous-dominés par le bouleau jaune. En effet, ces peuplements seraient régis par une dynamique de petites trouées endogènes (mortalité d'un arbre ou d'une groupe d'arbres) lesquelles peuvent s'agrandir grâce à l'effet de facteurs exogènes comme le vent ou les épidémies d'insectes. Cette dynamique pourrait inspirer des modalités de futaie par groupes.

Les traitements sylvicoles applicables dans ce régime sont principalement dérivés de ceux de la futaie équienne, mais chaque traitement ne peut être appliqué sur toute la superficie à un même moment puisque le peuplement est composé de groupes à des stades de développement différents. Deux variantes sont généralement associées à la futaie par groupes en fonction de l'étendue de la période de régénération et du nombre de classes d'âge (ou stades de développement). La **coupe progressive irrégulière par groupes** s'apparente à la coupe progressive par groupes du régime de la futaie équienne, à la différence que la coupe finale des groupes résiduels est effectuée sur plus d'un cinquième de la période de révolution. La **coupe de jardinage par trouées** est semblable, mais elle se distingue par la présence d'un équilibre des classes d'âge, lesquelles couvrent des superficies équivalentes. Les trouées sont créées à chaque rotation et s'ajoutent ou s'agrandissent, jusqu'à ce que la surface soit complètement couverte, sur une période équivalente à la révolution d'un peuplement de structure équienne de composition semblable. Ces coupes peuvent s'appliquer en prélevant des tiges uniquement par trouées. Par contre, il est souvent recommandé d'effectuer un prélèvement entre les trouées (éclaircie commerciale) afin d'augmenter la production du peuplement résiduel ou de promouvoir l'installation d'espèces tolérantes à l'ombre (coupe préparatoire ou d'ensemencement).

Coupe à diamètre limite

La coupe à diamètre limite a aussi été abordée étant donné qu'elle fait partie de l'historique des peuplements à l'étude et que son utilisation est facilement envisagée par temps de crise financière, surtout pour réduire les coûts d'approvisionnement en gros bois. En effet, elle est fondée sur le principe de la maximisation de la rentabilité immédiate de l'intervention en récoltant un volume élevé concentré

sur les plus gros arbres. Par conséquent, le prélèvement est fonction de la distribution des tiges des diamètres supérieurs au diamètre ciblé. Le résultat du prélèvement peut donc varier considérablement en fonction des caractéristiques de chaque peuplement. De plus, cette coupe est peu compatible avec un objectif de production soutenue et elle s'apparente davantage à une coupe d'écémage qu'à un traitement sylvicole puisqu'il n'y a pas d'efforts pour régénérer les arbres à maturité ou éduquer les arbres en phase juvénile. Elle n'est pas orientée vers la création d'un peuplement résiduel pour assurer un rendement soutenu et produire des arbres de haute qualité.

Les résultats observés dans la littérature consultée indiquent que la coupe à diamètre limite permet de conserver sensiblement la même composition des espèces lorsque ces dernières sont présentes dans toutes les classes de diamètre (structure inéquienne) et que les régénérer ne constitue pas un enjeu. Si des espèces particulières et plus difficiles à régénérer sont recherchées (ex. : pin blanc) ou si les espèces compétitives sont très présentes et agressives (ex. : *viburnum alnifolium* dans la bétulaie jaune), alors la coupe à diamètre limite ne crée pas nécessairement des conditions favorables à la régénération. De plus, la récolte des tiges de plus gros diamètre, en priorité, aurait un potentiel d'effet dégradant sur la génétique des espèces, entre autres dans les peuplements de structure équienne.

Les résultats observés de la coupe à diamètre limite diffèrent d'une étude à l'autre et les effets à long terme sont imprévisibles en raison de la très grande variabilité des conditions environnementales et de la diversité structurale créées dans les peuplements. Les meilleurs résultats d'accroissements nets peuvent être observés dans des coupes à diamètre limite pratiquées avec un diamètre minimum de 39 à 45 cm dans des peuplements de belle qualité et vigoureux, dont le recrutement est abondant, et qui n'ont pas été l'objet de coupes à diamètre limite successives. De plus, le peuplement résiduel doit être suffisamment dense pour occuper tout l'espace et empêcher la mortalité causée par l'exposition soudaine des tiges à la lumière ou par le chablis. Cependant, la coupe à diamètre limite n'a pas comme objectif de maximiser la qualité des tiges sur pied. Elle augmente souvent la proportion d'arbres de rebut (*cull trees*) des peuplements, surtout si elle est exécutée à plusieurs reprises dans un même peuplement ou si la surface terrière résiduelle est faible.

Certains auteurs ont proposé des modifications à la coupe à diamètre limite dans le but de la rendre plus acceptable : récolter ou abattre en priorité les tiges susceptibles de mourir, conserver partout une surface terrière résiduelle minimale de 15 à 20 m²/ha, appliquer un diamètre limite d'au moins 39 à 45 cm et appliquer une période de rotation inférieure à 20 ans de manière à récolter la mortalité anticipée et les arbres blessés par la coupe. Ces modifications ont pour effets d'en faire un traitement qui se rapproche beaucoup du jardinage, tant par rapport aux modalités d'intervention, de peuplement résiduel que de coûts. Ainsi, de telles coupes à diamètre limite ont pratiquement les mêmes avantages et inconvénients

que le jardinage sur un horizon à court terme, mais sans nécessairement atteindre un avantage à long terme du jardinage, soit de régulariser la structure de manière à faciliter la prévision des rendements.

Les seules applications réellement sylvicoles de la coupe à diamètre limite seraient dans les cas où cette dernière viserait à récolter les vieilles tiges rémanentes de jeunes peuplements de structure équiennne ou dans le cas d'une coupe de succession. Dans ces deux situations, la coupe à diamètre limite ne serait appliquée qu'une seule fois (et non pas en régime sylvicole) dans le but d'amener le peuplement d'une structure biétagée à équiennne.

La coupe à diamètre limite procure normalement une rentabilité financière immédiate élevée à sa première application. Le volume récolté est élevé, il est composé de tiges de gros diamètre, les besoins techniques sont relativement faibles et il n'y a généralement pas d'amélioration de peuplement. Par contre, la valeur du peuplement résiduel est généralement diminuée de façon notable, d'autant plus si cette intervention est exécutée à plusieurs reprises. De plus, des changements de composition en essences peuvent avoir des effets très importants sur la valeur du peuplement résiduel. Or, la coupe à diamètre limite n'a pas d'objectif propre à la régénération des essences, ni d'objectifs d'amélioration du peuplement ou du maintien de sa qualité si celle-ci est élevée.

Comparaison des coupes de jardinage et à diamètre limite

Pour les fins du présent rapport, les peuplements à l'étude ont été soumis à une analyse comparative de la coupe de jardinage et de la coupe à diamètre limite. Premièrement, ces deux régimes de coupes se distinguent par leurs objectifs : alors que la coupe à diamètre limite vise les profits immédiats, le jardinage vise la production de bois de haute qualité en éduquant le peuplement par des prélèvements judicieux. Deuxièmement, les moyens sont tout aussi différents : la coupe à diamètre limite est axée seulement sur le prélèvement alors que la coupe de jardinage se concentre sur la création d'un peuplement résiduel favorable à la régénération, à l'éducation et à la production de bois de haute qualité. Troisièmement, les effets sylvicoles de ces deux « régimes » sont tout aussi contrastants : la coupe à diamètre limite réduit généralement le potentiel à long terme de production du peuplement alors que la coupe de jardinage l'augmente lors des premières applications dans un peuplement non aménagé. Quatrièmement, la récolte de bois d'œuvre et les revenus provenant de ces deux coupes diffèrent de par leur répartition dans le temps et le cumul de leurs valeurs. La coupe à diamètre limite permet généralement d'obtenir un gain financier à court terme supérieur à la coupe de jardinage, surtout lors de sa première application. Par contre, les revenus et la valeur des bois sur pied diminuent en général avec la dégradation du peuplement coupé à diamètre limite de façon répétitive et s'accroissent avec l'amélioration du peuplement jardiné. Finalement, la coupe de jardinage est beaucoup plus près de la dynamique naturelle

des perturbations dans les peuplements à l'étude que ne l'est la coupe à diamètre limite. En effet, la coupe de jardinage se rapproche davantage de la dynamique des microtrouées et elle permet plus aisément de conserver des attributs retrouvés dans les vieilles forêts.

Table des matières

Avant-propos	iii
Résumé	v
Introduction	1
Chapitre premier - Peuplements à l'étude	3
Chapitre deux - Fondements sylvicoles	7
2.1 Choix d'un régime sylvicole	7
2.2 Régimes sylvicoles	8
Chapitre trois - Régime de la futaie inéquienne	13
3.1 Principes de base	13
3.2 Traitements sylvicoles	15
3.2.1 Coupe de jardinage par pieds d'arbres	15
3.2.2 Coupe de jardinage par pieds d'arbres et groupes d'arbres	15
3.3 Conditions favorables	18
3.3.1 Régénération	18
3.3.2 Composition et structure	19
3.3.3 Accroissement du peuplement résiduel	20
3.3.4 Qualité des bois	22
3.4 Modalités d'application	23
3.4.1 Marquage des arbres	24
3.4.2 Vérification du marquage	27
3.5 Effets sylvicoles escomptés	27
3.5.1 Durée de la rotation	30
3.5.2 Régénération	31
3.6 Aspects financiers	32
3.7 Aspects relatifs à l'aménagement écosystémique	33
Chapitre quatre - Régime de la futaie équienne	35
4.1 Principe de base	35

	page
4.2 Traitements sylvicoles	36
4.2.1 Coupe à blanc	36
4.2.2 Coupe avec réserve de semenciers	37
4.2.3 Coupes progressives	38
4.3 Conditions favorables	40
4.3.1 Régénération	40
4.3.2 Composition	42
4.3.3 Accroissement du peuplement résiduel	42
4.3.4 Qualité des bois	42
4.4 Modalités d'application	43
4.4.1 Procédé de régénération en une étape	43
4.4.2 Procédé de régénération en deux étapes	44
4.5 Effets sylvicoles escomptés	45
4.6 Aspects financiers	45
4.7 Aspects relatifs à l'aménagement écosystémique	46
Chapitre cinq - Régime de la futaie biétagée	49
Chapitre six - Régime de la futaie par groupes	53
6.1 Principe de base	53
6.2 Traitements sylvicoles	54
6.2.1 Coupe progressive irrégulière par groupes	54
6.2.2 Coupe de jardinage par trouées ou par groupes d'arbres	56
6.3 Conditions favorables	57
6.3.1 Régénération	57
6.3.2 Composition et structure	58
6.3.3 Accroissement du peuplement résiduel	58
6.4 Aspects relatifs à l'aménagement écosystémique	59
Chapitre sept - Coupe à diamètre limite	61
7.1 Principe de base	61
7.2 Régénération	62
7.3 Composition	63
7.4 Accroissement du peuplement résiduel	63
7.5 Qualité des bois	65
7.6 Améliorations proposées	65
7.7 Effets escomptés	67
7.8 Aspects financiers	69
7.9 Aspects relatifs à l'aménagement écosystémique	69

	page
Chapitre huit - Comparaison des coupes de jardinage et à diamètre limite	71
8.1 Objectifs visés	71
8.2 Moyens retenus	72
8.3 Effets sylvicoles	73
8.4 Effets financiers	73
8.5 Aspects relatifs à l'aménagement écosystémique	76
Conclusion	77
Références bibliographiques	79

Figure

Figure 1. Accroissements annuels périodiques moyen en surface terrière pour la période de quinze ans (Tiré de MAJCEN <i>et al.</i> 2005)	27
---	----

Introduction

Les forêts de feuillus nobles couvrent l'extrême sud de l'est du Canada et la portion nordique du centre et de l'est des États-Unis. Au Québec, elles s'étendent sur environ 110 000 km². Les érablières représentent les principaux types de peuplements de cette zone. L'érable à sucre est l'espèce dominante et elle est accompagnée de plusieurs autres espèces comme le bouleau jaune, le hêtre à grandes feuilles, le chêne rouge, le pin blanc, le sapin baumier, les épinettes blanche et rouge. La grande majorité de ces peuplements ont une structure naturelle inéquienne, tant au Québec (LEMIEUX 1963, BROWN 1981, MAJCEN *et al.* 1985), qu'aux États-Unis (FROTHINGHAM 1915; ARBOGAST 1957; TRIMBLE *et al.* 1974; CROW *et al.* 1981; SMITH et LAMSON 1982; LEAK et GOTTSACKER 1985; NYLAND 1987, 1988) et qu'en Ontario (ONDRO et LOVE 1979, OMNR 1998, ANDERSON *et al.* 2001).

Jusqu'aux années 1980, ces forêts du domaine de l'état québécois ont été traitées par coupe à diamètre limite, ce qui constituait fréquemment un écrémage de par la récolte ciblée des tiges de belle qualité d'essences convoitées. Au début des années 1980, la réduction des volumes disponibles en bois de qualité a suscité l'application de la coupe de jardinage dans ces peuplements afin de maintenir leur productivité et d'assurer le rendement soutenu en bois de haute qualité. L'introduction de cette pratique s'est faite de façon graduelle en s'inspirant des expériences nord-américaines¹ dans des forêts comparables, par le développement d'un réseau provincial de sites d'expérimentations à la Direction de la recherche forestière (DRF) et d'un guide de marquage des arbres (MAJCEN *et al.* 1990). Les résultats observés dans ce réseau expérimental ont servi à élaborer les hypothèses de rendement appliquées aux coupes de jardinage effectuées de façon opérationnelle en forêt publique.

En 1995, le ministère des Ressources naturelles (MRN) du Québec a débuté l'établissement d'un réseau de placettes-échantillons afin de suivre l'effet réel des coupes de jardinage appliquées sur les forêts publiques. Ces coupes ont été pratiquées dans un contexte opérationnel pour lequel le marquage des

¹ Fait intéressant à noter, les études les plus anciennes sur la pratique de la coupe de jardinage dans les forêts de feuillus des États-Unis ont été amorcées dans un contexte de pénurie de bois de haute qualité durant les années 1920, résultant de la surexploitation des ressources par des coupes totales et des coupes d'écrémage (EYRE et ZILLGITT 1953). Ces études ont recommandé l'application du jardinage dans ces peuplements et la publication du guide de marquage des arbres de ARBOGAST (1957).

arbres était effectué par les bénéficiaires de CAAF¹, selon les instructions du MRN. Le premier suivi quinquennal des placettes traitées en 1995 et 1996 a démontré que l'accroissement annuel net observé en milieu opérationnel était significativement moindre qu'en milieu expérimental (BÉDARD et BRASSARD 2002). Cet écart s'expliquait surtout par un choix différent de tiges, lequel avait pour effet de ne pas améliorer suffisamment le capital forestier après coupe. Ce constat était prévisible étant donné que des vérifications, amorcées dès 1998, indiquaient que les coupes de jardinage n'étaient pas appliquées selon les normes prévues (MRNFP 2002).

En 2002, le Ministère s'est alors doté d'un plan d'action pour améliorer l'aménagement des forêts de feuillus, notamment par le resserrement des modalités d'intervention et des contrôles (MRNFP 2002). Ainsi, la pratique de coupes de jardinage visait davantage l'amélioration du peuplement que la coupe de bois de haute qualité. Cette pratique a eu comme effet de réduire de façon significative le volume récolté en bois de haute qualité et d'augmenter les coûts d'approvisionnement (COMITÉ MRNF-CIFQ-MDEIE SUR LES FEUILLUS 2005). Sur cette même période, la valeur du dollar canadien s'est considérablement accrue et la concurrence asiatique est entrée sur les marchés avec des prix très inférieurs à ceux de l'industrie québécoise. En 2005, l'industrie forestière a alors réduit considérablement les activités de récolte et de transformation des bois de feuillus en évoquant le prétexte de la non-rentabilité des coupes partielles (principalement le jardinage) et de l'imposition d'un cadre normatif trop rigide. Une entente est intervenue à l'automne 2005 entre le Ministère et l'industrie pour favoriser la reprise des activités notamment par l'autorisation, à l'intérieur d'un certain cadre, de l'application de traitements dits « alternatifs² ». Ainsi, des demandes ont été déposées dans le but d'effectuer des traitements sylvicoles autres que le jardinage. Ces demandes ont soulevé de nombreuses questions de la part des gestionnaires sur les aspects scientifiques de la sylviculture des feuillus nobles, ce qui a conduit à la rédaction du présent avis.

Le but de cet avis est donc de réviser les fondements sylvicoles appliqués aux principaux peuplements à dominance de feuillus nobles du Québec (principalement les érablières et bétulaies jaunes), puis de comparer brièvement la coupe de jardinage et la coupe à diamètre limite dans ce contexte. L'accent est porté sur les aspects sylvicoles, mais des références à d'autres aspects écologiques, économiques ou sociaux sont effectuées de façon sommaire.

¹ Contrat d'approvisionnement et d'aménagement forestier.

² Selon le Grand dictionnaire terminologique de l'Office québécois de la langue française : « Contrairement au terme anglais *alternative* qui désigne chacune des possibilités, le terme français *alternative* ne désigne qu'une situation dans laquelle il faut choisir entre deux possibilités opposées ».

Chapitre premier

Peuplements à l'étude

Les peuplements à l'étude sont principalement ceux dominés par des feuillus nobles sur les terres publiques du Québec, plus particulièrement l'érable à sucre et le bouleau jaune. Les principales espèces commerciales qui les accompagnent sont le hêtre à grandes feuilles, l'érable rouge, le bouleau à papier, le chêne rouge, le sapin baumier, les épinettes blanche et rouge, le pin blanc, la pruche et le thuya. La grande majorité de ces peuplements a déjà été traitée au moins une fois par coupe à diamètre limite durant les années 1960 à 1980. Une partie importante de la littérature révisée provient de peuplements comparables du nord et de l'est des États-Unis, puisque mise à part la coupe de jardinage, peu d'études à moyen ou long terme ont été réalisées dans le contexte québécois.

Ces types de peuplements ont généralement une distribution diamétrale qui se rapproche de la courbe en « J inversé » autant dans les érablières (FROTHINGHAM 1915; ARBOGAST 1957; LEMIEUX 1963; TRIMBLE *et al.* 1974; ONDRO et LOVE 1979; BROWN 1981; CROW *et al.* 1981; SMITH et LAMSON 1982; MAJCEN *et al.* 1984, 1985, 1990; LEAK et GOTTSACKER 1985; NYLAND 1987, 1988; OMNR 1998; ANDERSON *et al.* 2001; COMITÉ CONSULTATIF DU MANUEL D'AMÉNAGEMENT FORESTIER 2003) que dans les bétulaies jaunes résineuses (MAJCEN *et al.* 1987, LUSSIER *et al.* 2000). Cette caractéristique est le résultat de la dynamique naturelle et des coupes. Dans les érablières inéquienues, la régénération s'établit de façon naturelle et ininterrompue sous le couvert et dans les petites trouées (microtrouées) créées par la chute d'un arbre ou encore d'un petit groupe d'arbres (RUNKLE 1981, 1982, 1990; PAYETTE *et al.* 1990; COMITÉ CONSULTATIF SCIENTIFIQUE DU MANUEL D'AMÉNAGEMENT FORESTIER 2003). Les essences tolérantes à l'ombre se perpétuent généralement sous le couvert et profitent des petites ouvertures pour se développer. Les essences semi-tolérantes, tel le bouleau jaune, profitent davantage du renversement d'arbres lequel crée

des ouvertures tout en exposant le sol minéral. L'atteinte d'une densité élevée de cerfs de Virginie peut limiter la capacité de régénérer certaines essences à cause du broutement qu'il cause notamment sur le bouleau jaune et la pruche de l'Est (HORSLEY et MARQUIS 1983, STRONG 1995, KELTY et NYLAND 1981, BÉDARD et MAJCEN 2000).

La dynamique des bétulaies jaunes à sapin est peu relatée dans la littérature, mais la dynamique de trouées occuperait une place importante de la dynamique naturelle (MESSIER *et al.* 2005). La présence du sapin baumier viendrait modifier de façon plus régulière la composition et la structure diamétrale de ces peuplements en raison de la courte longévité et de la vulnérabilité de cette espèce aux chablis et aux épidémies de la tordeuse des bourgeons de l'épinette (COMITÉ CONSULTATIF SCIENTIFIQUE DU MANUEL D'AMÉNAGEMENT FORESTIER 2003). Bien que les pratiques sylvicoles ne visent pas le maintien ou l'atteinte d'une structure diamétrale équilibrée, les coupes partielles pratiquées permettent tout de même de conserver une structure irrégulière pour laquelle la forme de la courbe se rapproche plus ou moins de celle en forme de « J inversé ».

Dans la situation où les tiges de petits et moyens diamètres sont vigoureuses et présentent un potentiel intéressant pour le bois d'œuvre, il peut être souhaitable d'éduquer ces peuplements selon le régime de la futaie inéquienne. En effet, il serait inutile de sacrifier ce potentiel dans le but de n'utiliser qu'une proportion des tiges d'une certaine dimension (EYRE et ZILLGITT 1953). Plusieurs travaux recommandent de perpétuer la structure et la composition des peuplements de structure inéquienne en appliquant des traitements appropriés comme la coupe de jardinage dans les érablières (EYRE et ZILLGITT 1953; CROW *et al.* 1981; MADER et NYLAND 1984; NYLAND 1987, 2002; MAJCEN et RICHARD 1992; MAJCEN 1997; MAJCEN et BÉDARD 2000; BÉDARD et MAJCEN 2001; BÉDARD et MAJCEN 2003; MAJCEN *et al.* 2005). Dans le cas des bétulaies jaunes et des bétulaies jaunes à sapin, la structure des peuplements laisse supposer que la pratique de cette coupe puisse se faire, mais l'expérimentation doit se poursuivre ou s'intensifier. Toutefois, elle est recommandée pour les peuplements mixtes¹ (LEAK *et al.* 1987; MAJCEN *et al.* 1987, 1990; PRÉVOST 2006) et pour les peuplements résineux de sapin et d'épinette (FRANK et BJORKBOM 1973, FRANK et BLUM 1978, FORTIN *et al.* 2003, KENEFIC *et al.* 2005).

Certains de ces peuplements sont composés de tiges de même âge, malgré l'observation d'une structure diamétrale qui peut se rapprocher de la courbe en forme de « J inversé » (NYLAND 2003). La présence d'une variété de diamètres dans ces peuplements de structure équienne serait plutôt attribuable au fait que certaines tiges survivent longtemps dans un état d'oppression qu'à des âges différents. Ces peuplements auraient normalement une origine anthropique puisque les perturbations naturelles fortes

¹ On entend par peuplement *mixte* un peuplement composé de tiges de feuillus et de tiges de résineux (ex. : bétulaie jaune à sapin), alors qu'un peuplement *mélangé* serait composé de tiges de différentes essences de feuillus (ex. : érablière à bouleau jaune) ou de différentes essences de résineux (ex. : sapinière à épinette rouge).

sur de grandes surfaces, comme le feu, sont peu fréquemment associées aux peuplements à l'étude (LORIMER et FRELICH 1994, DOYON et SOUGAVINSKI 2002, COMITÉ CONSULTATIF SCIENTIFIQUE DU MANUEL D'AMÉNAGEMENT FORESTIER 2003). Il est possible de convertir la structure d'un peuplement d'équienne à inéquienne (ERDMANN et OBERG 1973), mais cela peut nécessiter plusieurs rotations, en particulier si le peuplement est à maturité et que la régénération établie sous couvert n'a pas la capacité de réagir aux coupes (NYLAND 2003).

Chapitre deux

Fondements sylvicoles

La sylviculture occupe une place majeure de l'aménagement forestier puisqu'elle en constitue l'une des applications les plus concrètes. La sylviculture comprend le contrôle de l'établissement, de la croissance, de la composition, de la santé et de la qualité des forêts et des terrains forestiers (HELMS 1998). Elle consiste notamment à prévoir les incidences de son action sur les ressources de la forêt (DOUCET *et al.* 1996, DAVIS *et al.* 2001) et est un des fondements de l'aménagement forestier durable (NYLAND 2002). En effet, les résultats d'une prescription sylvicole doivent être suffisamment prévisibles afin de convaincre l'aménagiste forestier de la capacité d'atteindre les objectifs fixés (DAVIS *et al.* 2001).

Une des méthodes préconisées pour faciliter la prévision des incidences des actions sur l'évolution du peuplement est d'inscrire les actions de coupe à l'intérieur d'un régime sylvicole, soit un programme planifié de traitements sylvicoles sur toute la vie d'un peuplement (SMITH *et al.* 1997, NYLAND 2002). Tous les régimes sylvicoles comprennent trois fonctions de base, soit l'éducation, la récolte et la régénération des peuplements forestiers; cette dernière fonction est sans aucun doute la plus critique (NYLAND 2002).

2.1 Choix d'un régime sylvicole

Le choix d'un régime sylvicole est l'une des décisions les plus importantes que doit prendre l'aménagiste forestier (DAVIS *et al.* 2001). Ce choix est surtout basé sur les objectifs du propriétaire, la capacité du site à les atteindre, l'autécologie des espèces et les conditions du peuplement (ERDMANN et OBERG 1973, LEAK *et al.* 1987, SMITH *et al.* 1997, OMNR 1998, NYLAND 2002). Évidemment, le propriétaire forestier doit assumer la cohérence entre ses objectifs et les rapports coûts/bénéfices afférents ou bien réviser ses

objectifs (NYLAND 2002). Ainsi, même la non-intervention est une option sylvicole valable (NYLAND 2002) et le choix final nécessite une analyse comparative des solutions possibles.

D'un point de vue de la production de bois, le régime choisi devrait être celui qui conjugue le plus haut rendement soutenu et les meilleures espèces (FROTHINGHAM 1915).

Dans le contexte législatif d'aménagement forestier durable (*Loi sur les forêts*), le régime sylvicole choisi doit atteindre un degré de justesse acceptable sur les plans écologique, économique et social. Les principales caractéristiques reconnues pour juger la justesse écologique d'un régime sylvicole sont la capacité de conserver (*intégrité*) ou de *rétablir* les caractéristiques, les fonctions et les processus de base de l'écosystème de façon à éviter la perte d'organismes à la suite d'un stress (*résilience*) et favoriser la *résistance* aux perturbations (NYLAND 2002). Cette justesse écologique est un élément clé de l'aménagement écosystémique¹ mis en œuvre au Québec de manière progressive à la suite des recommandations de la COMMISSION D'ÉTUDE SUR LA GESTION DE LA FORÊT PUBLIQUE QUÉBÉCOISE (2004). Le jugement de la justesse économique est principalement basé sur la capacité de renouveler les produits à un intervalle régulier et la capacité d'atteindre les exigences de régénération, d'éducation et de récolte avec un minimum de ressources (NYLAND 2002). Le jugement de la justesse sociale est principalement basé sur la capacité de satisfaire les principales attentes des utilisateurs de la forêt et des populations humaines, notamment en matière d'esthétique du paysage, d'habitats fauniques, d'accès au territoire, et aussi de justesse économique, comme les emplois, et de justesse écologique.

2.2 Régimes sylvicoles

Les deux principaux régimes sylvicoles reconnus et applicables aux peuplements à l'étude sont la futaie inéquienne et la futaie équienne (TUBBS 1977b, LEAK *et al.* 1987, NYLAND 2002).

La **futaie inéquienne** (ou futaie jardinée – SCHÜTZ 1997) est composée d'arbres d'au moins trois classes d'âge; ils sont donc à différents stades de développement (NYLAND 2002). Le mélange d'arbres de plusieurs âges, et de plusieurs stades de développement, crée des conditions pour lesquelles le développement en jeune âge se réalise sous la domination des plus anciens (SCHÜTZ 1997). Ces conditions d'éducation permettent alors une production davantage individualisée que sous la forme d'un collectif (SCHÜTZ 1997).

¹ La COMMISSION D'ÉTUDE SUR LA GESTION DE LA FORÊT PUBLIQUE QUÉBÉCOISE (2004) a retenu la définition suivante de l'aménagement écosystémique : « Un concept d'aménagement forestier ayant comme objectif de satisfaire un ensemble de valeurs et de besoins humains en s'appuyant sur les processus et les fonctions de l'écosystème et en maintenant son intégrité. »

Les arbres de la **futaie équiennne** (ou à alternance de générations – SCHÜTZ 1997) sont au même stade de développement, ils ont donc une hauteur semblable, et ils ont un âge semblable (NYLAND 2002). NYLAND (2002) précise que l'écart d'âge ne doit pas dépasser 20 % de la période de révolution, alors que CARMEAN (1978) restreint cet écart à dix ans pour des peuplements de feuillus nobles. Cependant, la décision de pratiquer un même traitement, au même moment, à toutes les tiges n'est pas fondée tant sur l'atteinte d'un âge semblable que sur celle d'un même stade de développement.

NYLAND (2002) reconnaît aussi la **futaie biétagée** (ou futaie irrégulière par pieds d'arbres – DUBOURDIEU 1997), soit un cas de sylviculture irrégulière, lequel se compose de tiges de deux classes d'âge ou deux stades de développement (deux cohortes). Chaque cohorte est traitée séparément en utilisant des méthodes de régénération ou d'éducation semblables à celles de la futaie équiennne traitée de façon uniforme. Ce régime peu commun est très difficilement concevable en présence de certaines essences, dont le bouleau jaune, étant donné qu'il nécessite le maintien de tiges très espacées dans la cohorte supérieure et crée ainsi des conditions favorables à l'apparition de branches adventives (EYRE et ZILLGITT 1953), aux chablis et au dépérissement résultant de l'exposition soudaine (BLUM et FILIP 1963). Cependant, ces problèmes seraient moins importants en présence d'érable à sucre (LEAK *et al.* 1987, NYLAND 2002) ou de pins (SMITH *et al.* 1997, OMNR 1998).

Un autre cas de sylviculture irrégulière est la **futaie par groupes** ou par trouées (ou futaie irrégulière par bouquets – DUBOURDIEU 1997) laquelle se compose de groupes de futaies équiennes adjacentes dont l'ensemble couvre au moins deux cohortes différentes, donc au moins deux stades de développement différents. La compétition entre les arbres d'un groupe de même âge se fait principalement à la même hauteur et le degré de cette compétition influence fortement l'éducation des tiges (NYLAND 2002). Cependant, la futaie par groupes se distingue de la futaie équiennne par le fait que les groupes adjacents, dont la hauteur est généralement différente, ont aussi un effet sur le développement d'un groupe. Cet effet est notamment observé au stade de régénération où les groupes résiduels peuvent fournir protection (ombrage partiel en bordure) et semences aux groupes en régénération. Ce régime sylvicole pourrait s'appliquer aux bétulaies jaunes afin d'entretenir une dynamique apparentée à celle de la dynamique naturelle (COMITÉ CONSULTATIF SCIENTIFIQUE DU MANUEL D'AMÉNAGEMENT FORESTIER 2003). Un des procédés de régénération de cette futaie est la coupe progressive irrégulière qui correspond à une coupe progressive par groupes (trouées, bandes, blocs) comme pour la futaie équiennne, mais dont la période de régénération est plus longue qu'un cinquième de la période de révolution (HANNAH 1988, SMITH *et al.* 1997, NYLAND 2002). Ainsi, les différents groupes créés auront des stades de développement différents. De plus, les groupes qui ne sont pas régénérés pourront être traités par coupe préparatoire ou par coupe d'amélioration. Dans le cas particulier où il y a au moins trois classes d'âge (trois stades de développement) dont la superficie de chacun couvre une étendue équivalente (notion d'équilibre), le

procédé de régénération se nomme coupe de jardinage par groupes (LEAK et FILIP 1977, LEAK et GOTTSACKER 1985, LEAK 1999). Selon SCHÜTZ (1997), l'attribution du terme « jardinage » à ce traitement ne fait « que semer une grande confusion dans les esprits » puisqu'il s'agit d'un type de développement collectif des arbres et non pas un mélange d'âges différents.

D'autres coupes partielles ne sont pas associées à la sylviculture puisqu'elles sont axées seulement sur la récolte efficace de bois et n'impliquent aucun effort pour régénérer des arbres à maturité ou éduquer des arbres en phase juvénile (NYLAND 2002, KENEFIC et NYLAND 2006). Les peuplements résiduels ainsi traités ont généralement une densité très variable d'arbres de faible valeur et dont la composition n'est pas contrôlée (ROBITAILLE et BOIVIN 1987, NYLAND 2002). Ainsi, la très grande variabilité des caractéristiques de ces peuplements résiduels rend leur évolution moins prévisible. La plus commune de ces coupes est la **coupe à diamètre limite** dont la pratique consiste à récolter toutes les tiges au-dessus d'un certain diamètre fixé pour tout le peuplement ou selon l'essence (MILLER et SMITH 1991, NYLAND 2002, KENEFIC *et al.* 2005). Au lieu d'être orientée sur la création d'une forêt résiduelle, elle est orientée seulement sur le prélèvement (NYLAND 2002, KENEFIC *et al.* 2005), d'où le qualificatif de coupe d'écérage qui lui est communément attribué (ROBITAILLE et BOIVIN 1987, NIESE et STRONG 1992, NIESE *et al.* 1995, NYLAND 2002, KENEFIC et NYLAND 2005). De nombreux auteurs de traités de sylviculture évitent tout simplement de la mentionner (TUBBS 1977b, LEAK *et al.* 1987, SMITH *et al.* 1997). Les seules applications réellement sylvicoles de la coupe à diamètre limite seraient dans les cas où elle servirait à récolter les vieilles tiges rémanentes dans de jeunes peuplements de structure équiennne (TRIMBLE 1971) ou dans le cas d'une coupe de succession (MAJCEN 1997). Dans ce dernier cas, l'intervention pourrait être appliquée dans des peuplements biétagés comme les tremblaies à bouleau jaune ou à érable à sucre afin de récolter le couvert d'essences intolérantes à l'ombre et libérer la strate d'essences plus tolérantes à l'ombre. Ainsi, dans ces deux situations, la coupe à diamètre limite ne serait appliquée qu'une seule fois (et non pas en régime sylvicole) dans le but d'amener le peuplement d'une structure biétagée à équiennne.

Finalement, il existe aussi le régime du **taillis** lequel consiste à profiter d'une régénération végétative (rejets et drageons) plutôt que d'origine de semences (NYLAND 2002). Cependant, ce régime a peu d'intérêts pour les essences recherchées dans les peuplements à l'étude. En effet, l'érable à sucre et le bouleau jaune drageonnent rarement (BURNS et HONKALA 1990). L'érable à sucre peut créer des rejets, mais cette capacité de rejeter diminue rapidement avec l'augmentation du diamètre (SOLOMON et BLUM 1967). Les rejets de bouleau jaune sont plutôt restreints aux semis et aux petites gaules (SOLOMON et BLUM 1967, BURNS et HONKALA 1990). Le tilleul d'Amérique et le chêne rouge ont le potentiel de se régénérer par rejets. Autrement, la reproduction végétative est davantage un problème qu'une avenue intéressante dans les peuplements à l'étude. En effet, de nombreuses espèces peu désirables sont

favorisées par ce type de régénération : hêtre à grandes feuilles, érable rouge, peupliers, espèces de compétition, etc.

Chapitre trois

Régime de la futaie inéquienne

3.1 Principes de base

Le régime de la futaie inéquienne est fondé sur le principe qu'un peuplement peut être maintenu en se régénérant de façon continue ou périodique (SMITH *et al.* 1997, NYLAND 2002) et que le développement en jeune âge se produit sous la domination des plus anciens (SCHÜTZ 1997). L'application de coupes partielles à des intervalles réguliers permet de conserver plusieurs classes d'âges ou de diamètres. Pour atteindre cet objectif, on fait appel à la coupe de jardinage; celle-ci se définit comme la coupe périodique d'arbres choisis individuellement, ou par petits groupes, dans un peuplement de structure inéquienne, pour en récolter la production et l'amener à une structure inéquienne régulière tout en assurant les soins cultureux nécessaires aux arbres en croissance et l'installation de semis (MÉTRO 1975). À chaque intervention, la coupe permet à la fois de récolter les tiges parvenues à maturité, d'améliorer la qualité du peuplement en récoltant les tiges de faible qualité, d'accroître la croissance des tiges résiduelles par l'effet de l'éclaircie, et finalement de régénérer une nouvelle cohorte de semis tout en stimulant la croissance de ceux déjà établis.

De par la faible intensité des coupes, le jardinage permet de conserver bon nombre de caractéristiques, fonctions et processus de base de l'écosystème de façon à éviter la perte d'organismes et favoriser la résistance aux perturbations (NYLAND 2002). Le régime de la structure inéquienne, pratiqué avec la coupe de jardinage, est celui le plus apparenté au régime de perturbations naturelles par microtrouées (environ 20 à 200 m²) qui domine la dynamique des érablières (DOYON et SOUGAVINSKI 2002, COMITÉ CONSULTATIF SCIENTIFIQUE DU MANUEL D'AMÉNAGEMENT FORESTIER 2003). C'est donc un régime qu'il faut

promouvoir pour l'aménagement écosystémique des érablières. Dans ce contexte, ce régime pourrait se pratiquer sur près de 99,5 % de la superficie des érablières (en milieu de pente dans l'ouest de la province) (DOYON et SOUGAVINSKI 2002).

La coupe de jardinage permet de façonner le peuplement résiduel en fonction des trois facteurs suivants (TUBBS 1977b, LEAK *et al.* 1987, MAJCEN *et al.* 1990, NYLAND 2002) :

1) densité du peuplement : la densité du peuplement résiduel, généralement exprimée en surface terrière ou en volume, doit être ajustée de façon à assurer une production adéquate eu égard à la quantité et la qualité des tiges et être suffisamment faible pour stimuler le développement des petites tiges et de la régénération. Il faut souligner que la densité ciblée doit être atteinte de façon relativement homogène à l'intérieur du peuplement; c'est-à-dire qu'il faut éviter la formation de portions trop ouvertes ou trop denses dans le peuplement. En effet, l'atteinte des objectifs d'éducation et de régénération du peuplement peut être compromise dans les portions trop ouvertes (ex. : formation de fourche basse, descente de cime, régénération d'espèces intolérantes à l'ombre) ou trop denses (ex. : mortalité par le phénomène de l'autoéclaircie, manque de régénération).

2) distribution diamétrale : le nombre de tiges par classe de diamètre à hauteur de poitrine (DHP) ou encore la surface terrière par catégorie de grosseurs (perches; petites, moyennes et grosses tiges) doit être déterminé pour qu'il y ait suffisamment de tiges dans chaque classe afin de viser une structure équilibrée dans le peuplement. Cet équilibre se définit comme la quantité de tiges d'une classe de DHP, laquelle permet de combler la perte engendrée par la coupe et la mortalité des tiges de la classe supérieure. La distribution des tiges permet également d'évaluer le stock en croissance et la proportion de tiges de dimension de bois d'œuvre. Les distributions théoriques de Liocourt (courbes en « J inversé ») servent généralement à établir la distribution résiduelle. La distribution de Liocourt est exprimée par le facteur q , une constante qui exprime le quotient entre le nombre de tiges d'une classe de diamètre et le nombre de tiges de la classe suivante.

3) diamètre maximum : le diamètre maximum représente en théorie le plus gros diamètre laissé dans le peuplement résiduel selon le potentiel de la station et la production désirée. Ce diamètre peut être plus élevé pour satisfaire à un objectif d'aménagement écosystémique plutôt qu'un objectif de production optimale de bois.

Il est essentiel de rappeler que, lors des premières coupes de jardinage appliquées dans un peuplement, le respect de la structure diamétrale et du diamètre maximum sont des objectifs secondaires par rapport à la conservation d'une surface terrière résiduelle minimale et à la priorité d'améliorer la qualité et la vigueur du peuplement (EYRE et ZILLGITT 1953, LEAK *et al.* 1987, MAJCEN *et al.* 1990).

3.2 Traitements sylvicoles

On reconnaît généralement trois variantes associées à la coupe de jardinage selon l'organisation spatiale des tiges d'un peuplement et du type de régénération recherchée (NYLAND 2002). La variante la plus répandue est la coupe de jardinage par pieds d'arbres; elle consiste à prélever majoritairement les tiges par pieds d'arbres de façon plus ou moins uniforme dans l'ensemble du peuplement. Une autre variante, appelée coupe de jardinage par trouées, ou jardinage par groupes ou encore jardinage par bouquets, consiste à prélever les tiges par petits groupes. Sur une période équivalente à une révolution d'un peuplement de structure équiennne de composition semblable (ex. : 120 ans pour des feuillus nobles), toute la superficie sera couverte par des coupes par groupes (ex. : un sixième par rotation de 20 ans sur 120 ans). Puisque cette variante de jardinage crée un peuplement composé d'un regroupement de petits groupes de même âge (SCHÜTZ 1997), elle est associée au régime de la futaie par groupes (voir Chapitre 6) et non pas à la futaie inéquiennne. Selon SCHÜTZ (1997), l'attribution du terme « jardinage » à ce traitement ne fait « que semer une grande confusion dans les esprits ». Par contre, la juxtaposition de ces deux variantes peut être désignée sous l'appellation de jardinage par pieds d'arbres et groupes d'arbres lorsque la superficie couverte par les coupes par groupes, sur une période équivalente à la révolution d'un peuplement de structure équiennne de composition comparable, est loin de couvrir toute la superficie. De plus, dans ce cas la coupe par groupes a comme objectif principal de régénérer ou de conserver des petits collectifs d'essences peu tolérantes à l'ombre dans un peuplement dont la structure inéquiennne est dominante et dont les essences tolérantes à l'ombre dominent la composition.

3.2.1 Coupe de jardinage par pieds d'arbres

Les ouvertures créées par cette coupe s'étendent généralement sur une surface équivalente à la dimension des cimes des tiges mûres prélevées (NYLAND 2002). Ces ouvertures augmentent la quantité de lumière au sol, ce qui favorise l'établissement d'une régénération et la croissance de celle déjà établie.

3.2.2 Coupe de jardinage par pieds d'arbres et groupes d'arbres

Afin d'éviter les inconvénients de la coupe de jardinage par trouées, entre autres la difficulté de régénérer des espèces moins tolérantes à l'ombre, plusieurs auteurs suggèrent la coupe de jardinage par pieds d'arbres et par groupes d'arbres (LEAK et FILIP 1977, LEAK et GOTTSACKER 1985, MAJCEN *et al.* 1990, LEAK 1999, NYLAND 2002). Ce traitement est généralement reconnu comme une variante de la coupe par pieds d'arbres. Il a comme but de régénérer à la fois les essences tolérantes à l'ombre et celles semi-tolérantes. Selon cette variante, le prélèvement est effectué par pieds d'arbres sur l'ensemble du

peuplement et les ouvertures sont créées en prélevant des groupes de tiges non vigoureuses ou parvenues à maturité (MILLER *et al.* 1995). La superficie coupée par groupes est loin de s'étendre à toute la superficie sur une période équivalente à la révolution d'un peuplement de structure équiennne de composition comparable (NYLAND 2002). Autrement, il s'agit de la coupe de jardinage par groupes laquelle est associée au régime de la futaie par groupes (voir Chapitre 6). La dimension des ouvertures peut varier selon les exigences des essences que l'on désire régénérer. Elle sera surtout tributaire de l'agencement des tiges parvenues à maturité, des tiges non vigoureuses ou d'essences non recherchées. Le résultat donnera donc des trouées de dimensions variables, mais un effort devra être consenti afin d'en créer un certain nombre pourvu des dimensions suffisantes pour régénérer l'essence recherchée. Toutefois, lors de la première intervention, la coupe des tiges défectueuses sera généralement plus importante et réduira la possibilité de créer des trouées de la dimension voulue, si cette intervention dépasse la dimension occupée par le groupe de tiges à marquer. Cependant, lors des interventions subséquentes, lorsque la qualité du peuplement sera améliorée, il sera plus facile de créer des trouées d'une dimension optimale, dont le diamètre avoisinera la hauteur d'arbre (au plus de deux hauteurs d'arbres), pour le développement des essences recherchées. Ce scénario sylvicole permettra d'optimiser la production nette du peuplement et de favoriser la régénération d'essences peu tolérantes, tel le bouleau jaune, tout en respectant les principes de base de la coupe de jardinage, soit le maintien de diamètres et d'âges différents sur une surface relativement restreinte.

La coupe de jardinage par pieds d'arbres et groupes d'arbres conjugue les avantages des coupes de jardinage par pieds d'arbres et celle de jardinage par groupes (trouées) tout en minimisant les inconvénients associés à ces deux variantes. Les éléments suivants résument les principaux avantages de ce traitement :

- il protège les petites et moyennes tiges de bonne qualité et stimule leur accroissement en dégageant leurs cimes lors de la coupe;
- il conserve une surface terrière résiduelle relativement élevée, ce qui favorise le maintien de la structure diamétrale propre aux peuplements de structure inéquienne;
- il assure un rendement soutenu tout en conservant un couvert forestier permanent. Effectué à des intervalles relativement courts, appelés rotations (près de 20 ans), ce traitement permet de prélever le volume s'approchant de l'accroissement périodique qui s'accumule entre deux coupes;
- il favorise la régénération et l'accroissement des essences recherchées sans passer par le stade des broussailles composées d'espèces non commerciales. Le choix des arbres à couper permet d'éduquer le peuplement tout en stimulant l'accroissement des tiges vigoureuses de bonne qualité.

La récolte des tiges les moins vigoureuses crée des ouvertures qui accélèrent l'établissement progressif et continu de la régénération et son développement;

- les ouvertures créées par la coupe de petits groupes d'arbres favorisent les essences peu tolérantes à l'ombre. Elles imitent, dans une certaine mesure, la dynamique naturelle des peuplements de structure inéquienne. Ces essences comme le bouleau jaune, le tilleul d'Amérique et l'orme d'Amérique composent des peuplements de fin de succession et se régénèrent par des cycles de microtrouées;
- les peuplements de structure inéquienne peuvent produire des arbres de grandes dimensions et leur structure permet aux aménagistes de laisser croître individuellement les plus belles tiges jusqu'aux dimensions voulues;
- les coupes de jardinage pratiquées à des intervalles réguliers augmentent la qualité du peuplement d'une façon graduelle et la production de bois d'œuvre;
- les coupes de jardinage contribuent à façonner la composition de manière à conserver ou à augmenter la proportion du bouleau jaune et de certaines espèces compagnes.

Les éléments suivants résument les principaux inconvénients ou contraintes associés à ce traitement :

- il nécessite un marquage préalable à la coupe et exige des équipes techniques qualifiées. La prescription du marquage doit être basée sur un inventaire intensif afin de bien connaître la structure, la vigueur et la qualité des tiges;
- il nécessite, lors des opérations de récolte, des précautions particulières afin de diminuer les blessures causées aux tiges résiduelles. De plus, une partie de la régénération préétablie est détruite lors des opérations de récolte. Les entrées fréquentes dans le peuplement doivent donc être planifiées avec précaution afin de minimiser le plus possible les dommages ou la destruction de la régénération établie. Les sentiers de débardage sont des endroits particulièrement propices à l'installation du bouleau jaune. Dans ce contexte, il faudrait éviter de les utiliser à chaque intervention;
- lors de l'exécution de ce traitement, la formation des trouées peut parfois être difficile puisque les tiges non vigoureuses et parvenues à maturité ne se retrouvent pas exclusivement en petits groupes. Il faut éviter le plus possible de sacrifier des tiges d'avenir d'essences recherchées dans le but de créer des trouées;
- il exige une préparation de terrain (scarifiage) parfois plus difficile pour les petites trouées.

- il peut générer une proportion importante de bois à pâte lors de la première intervention en raison de la récolte de tiges non vigoureuses, ce qui peut se traduire par une rentabilité moindre de l'intervention.

3.3 Conditions favorables

3.3.1 Régénération

Lorsque des espèces tolérantes à l'ombre sont recherchées et plus particulièrement lorsqu'elles sont préétablies, il devient plus facile de promouvoir le jardinage (SMITH *et al.* 1997, NYLAND 2002). La coupe par pieds d'arbres, avec des surfaces terrières résiduelles d'environ 17 m²/ha, favorise généralement les espèces tolérantes à l'ombre (LEAK et WILSON 1958, BLUM et FILIP 1963, CROW et METZGER 1987, LAMSON et SMITH 1991, ANDERSON *et al.* 2001). Les espèces les plus tolérantes à l'ombre au Québec sont l'érable à sucre, le hêtre à grandes feuilles, l'ostryer de Virginie, le sapin baumier, la pruche de l'Est et l'épinette rouge.

Lorsque les conditions de station le permettent, les coupes par pieds d'arbres, pratiquées à des surfaces terrières résiduelles allant jusqu'à 14 m²/ha, augmenteraient les possibilités de régénérer les essences semi-tolérantes à l'ombre (LEAK et SOLOMON 1975, CROW et METZGER 1987, NYLAND 1997). Néanmoins, de bons résultats de régénération du bouleau jaune ont été observés au Québec dans des coupes de jardinage par pieds d'arbres avec des surfaces terrières résiduelles de 17 à 21 m²/ha (MAJCEN et RICHARD 1992, BÉDARD et MAJCEN 2001). La création d'ouvertures dans le peuplement favoriserait les essences peu tolérantes à l'ombre, comme le bouleau jaune, le chêne rouge et le pin blanc (EYRE et ZILLGITT 1953, ARBOGAST 1957, LEAK *et al.* 1987, ROBITAILLE et MAJCEN 1991, LESSARD *et al.* 1999, ANDERSON *et al.* 2001, RAYMOND *et al.* 2003). Cependant, des observations dans nos dispositifs de recherche indiquent que les semis et gaules de bouleau jaune présents dans des trouées seraient plus susceptibles d'être endommagés par le verglas ou par une chute de neige lourde que ceux observés dans le jardinage par pieds d'arbres et groupes d'arbres.

Le fait de maintenir un ombrage partiel crée des conditions moins propices au développement des essences les plus intolérantes à l'ombre.

Certaines érablières, mal régénérées en érable à sucre, sont envahies par le hêtre à grandes feuilles, une espèce tolérante à l'ombre peu recherchée. Un jardinage dont l'objectif est de produire de l'érable à sucre dans ces conditions doit donc intervenir aussi sur la régénération (ex. : petit jardinage, SCHÜTZ [1997]) pour réprimer le hêtre et promouvoir la régénération de l'érable à sucre. JONES *et al.* (1989) ont

proposé d'éliminer la régénération préétablie de hêtre et de couper ou empoisonner les gros hêtres lors du jardinage dans le but de réduire sa compétitivité après coupe.

3.3.2 Composition et structure

Les résultats observés sur 10 à 45 ans indiquent que la coupe de jardinage permet de maintenir sensiblement la même composition lorsque les espèces sont présentes dans toutes les classes de diamètre (EYRE et ZILLGITT 1953, ERDMANN et OBERG 1973, TUBBS 1977b, BERRY 1981, BODINE 2000, KENEFIC *et al.* 2005). Cependant, en l'absence de trouées appropriées, elle favorise la conversion des peuplements dominés par des espèces peu tolérantes ou intolérantes à l'ombre en peuplements d'espèces tolérantes à l'ombre (SMITH et MILLER 1987, MILLER et SMITH 1991, SENDAK *et al.* 2000, SCHULER 2004). Ce dernier constat a même été observé à une surface terrière¹ résiduelle aussi faible que 10,8 m²/ha à Fernow, puisque l'érable à sucre était bien établi dans le gaulis (MILLER et SMITH 1991).

La structure la plus favorable au jardinage est l'inéquienne où le recrutement est suffisamment abondant pour maintenir le peuplement par sa régénération continue, ce qui est théoriquement représenté par une distribution diamétrale en forme de « J inversé » (ARBOGAST 1957, TRIMBLE *et al.* 1974, CROW *et al.* 1981, SMITH et LAMSON 1982, LEAK et GOTTSACKER 1985, NYLAND 1987, MAJCEN *et al.* 1990, SMITH *et al.* 1997). Un sylviculteur peut voir une agrégation de très petits peuplements de structure équienne dans ces peuplements, alors qu'un aménagiste peut voir dans ces mêmes peuplements une homogénéité caractérisée par toute cette variation interne (SMITH *et al.* 1997). Cette extrême variabilité dans les peuplements de feuillus nobles du nord-est de l'Amérique du Nord exige du sylviculteur la capacité d'adapter sa prescription (de jardinage) en fonction des différentes conditions rencontrées dans chaque peuplement (ARBOGAST 1957, OMNR 2004). La première intervention aura comme principal objectif l'amélioration du peuplement. L'objectif secondaire sera la régularisation de la structure diamétrale, laquelle permet d'établir un état d'équilibre dans le peuplement. Toutefois, la satisfaction de cet objectif peut nécessiter plusieurs (deux à cinq) rotations (ARBOGAST 1957, BERRY 1981, NYLAND 1998, ANDERSON *et al.* 2001). D'ailleurs, le volume récolté en bois de haute qualité a tendance à s'accroître au cours des premières rotations (FROTHINGHAM 1915, ERDMANN et OBERG 1973, ERICKSON *et al.* 1990, STRONG *et al.* 1995, BODINE 2000, KENEFIC *et al.* 2005). Il y aura toujours de légères variations d'une période à l'autre (ex. : SCHULER 2004) et c'est sur un ensemble de peuplements que le rendement le plus soutenu possible pourra être atteint (SMITH *et al.* 1997). Cependant, TUBBS (1977a) a observé pour l'érable à sucre qu'il était possible d'atteindre une structure équilibrée dans des placettes de 0,4 ha (1 acre) après environ 50 ans de jardinage.

¹ Tiges de la classe 5 pouces et plus, soit plus de 11,4 cm (4,5 pouces) de DHP.

De nombreuses structures cibles ont été proposées pour le jardinage des feuillus nobles (ARBOGAST 1957, TUBBS 1977b, CROW *et al.* 1981, LEAK *et al.* 1987, MAJCEN *et al.* 1990, LEAK 2003, OMNR 2004). Celles faisant appel à relativement plus de petites tiges que de grosses tiges (facteur q élevé) seraient mieux appropriées pour produire davantage de petits bois ou pour les sites ou peuplements de moindre qualité (LEAK 2003, OMNR 2004). CROW *et al.* (1981) ont observé que la structure proposée par EYRE et ZILLGITT (1953) et ARBOGAST (1957) était optimale pour la production de bois d'œuvre au Michigan en effectuant des simulations de croissance dans des érablières de belle qualité. Leurs recommandations ont été retenues pour le sud de l'Ontario (ANDERSON *et al.* 2001). MAJCEN *et al.* (1990) proposent de maintenir la structure observée des peuplements. Les distributions théoriques qu'ils présentent peuvent servir de guide pour fixer avec plus de précision la distribution résiduelle des tiges après coupe. Pour des raisons pratiques, ces distributions pourraient être regroupées selon des classes de DHP supérieures à 2 cm. Par exemple MAJCEN *et al.* (1990) ont retenu des classes de 10 cm alors qu'en Ontario les classes suivantes ont été définies : 10 à 24 cm (perches), 26 à 36 cm (petits bois), 38 à 48 cm (moyens bois) et 50 à 60 cm (gros bois) et supérieure à 60 cm (très gros bois). L'état de santé et la qualité des tiges retrouvées dans chaque classe de diamètre influenceront également la distribution diamétrale des tiges après la coupe. De cette façon, la distribution diamétrale résiduelle des tiges sera ajustée dans le but d'éliminer le plus possible les tiges non vigoureuses.

En ce qui concerne la structure, plusieurs approches peuvent être utilisées et d'autres sont en cours d'élaboration. Cependant, il semble que la plupart des peuplements à dominance d'érable à sucre se rapprochent d'une courbe exponentielle négative (J inversé) à l'équilibre (MEYER 1952; LEAK 1964, 1996). Néanmoins, certains peuplements pourraient présenter une forme sigmoïde inversée (PARKER *et al.* 1985 dans LORIMER et FRELICH 1994, GOODBURN et LORIMER 1999, ZHANG *et al.* 2001, LEAK 2002, RUBIN *et al.* 2006).

3.3.3 Accroissement du peuplement résiduel

Le jardinage stimule davantage l'accroissement net du peuplement lorsqu'il permet :

- de prélever en priorité les tiges les plus sujettes à mourir et ainsi minimiser la mortalité, puis celles de mauvaise qualité de manière à minimiser les pertes de qualité, tout en assurant un espacement adéquat (EYRE et ZILLGITT 1953; ARBOGAST 1957; ERDMANN et OBERG 1973; TUBBS 1977b; ONDRO et LOVE 1979; CROW *et al.* 1981; LEAK *et al.* 1987; MAJCEN *et al.* 1990, 2005; OMNR 2004; KENEFIC *et al.* 2005). Sur quatorze sites au Québec, 75 % des tiges mortes sur pieds en quinze ans avaient à l'origine des défauts majeurs, ce qui indiquait leur susceptibilité de mourir prochainement (MAJCEN *et al.* 2005).

- de laisser sur pieds les tiges les plus vigoureuses et les plus aptes à réagir positivement à l'éclaircie (EYRE et ZILLGITT 1953, CROW *et al.* 1981). Lorsque la surface terrière initiale (tiges de 5 pouces et plus; > 11,4 cm) de tiges composant le capital forestier en croissance (*acceptable growing stock*¹) est inférieure à 9 m²/ha, LEAK *et al.* (1987) recommandent d'envisager l'éventualité d'un aménagement de structure équiennne ou d'accepter une longue série de coupes d'amélioration ou de jardinage pour améliorer graduellement le peuplement. Cette recommandation a été reprise en Ontario, mais en précisant qu'il était préférable de jardiner avec une surface terrière minimale de 7 m²/ha concentrée dans les perches et les petits bois (OMNR 2004).
- de restreindre le prélèvement à chaque intervention, même s'il faut conserver des tiges non vigoureuses sur pieds et ainsi limiter les risques de dégradation ou de perte du peuplement causés par des ouvertures excessives (FROTHINGHAM 1915, EYRE et ZILLGITT 1953, ARBOGAST 1957, OMNR 2004). Ce seuil serait variable d'un endroit à l'autre et selon les espèces. FROTHINGHAM (1915) a recommandé un prélèvement maximal d'un tiers pour les feuillus nobles. Des prélèvements forts jusqu'à 23 m²/ha (70 %) n'ont pas causé de problèmes dans des érablières sur des sites assez plats et des sols profonds bien drainés au Michigan (EYRE et ZILLGITT 1953, CROW *et al.* 1981). Par contre, ARBOGAST (1957) recommande une surface terrière résiduelle de 23 à 25 m²/ha après la première intervention dans les peuplements dominés par la pruche et le bouleau jaune afin de limiter la mortalité des deux espèces, ce qui équivaut à un prélèvement maximal d'environ un tiers. Il recommande ensuite une seconde intervention 3 à 5 ans plus tard pour atteindre la surface terrière visée (19,3 m²/ha) et récolter les tiges en perdition. BLUM et FILIP (1963) ont aussi observé au New Hampshire une forte mortalité du bouleau jaune, qu'ils associent à son exposition soudaine, à la suite de coupes de jardinage de 26 et 33 % (7,7 et 9,4 m²/ha, respectivement). LEAK *et al.* (1969) recommandent pour le nord-est des États-Unis de ne pas couper plus de 9 m²/ha par intervention alors que MARQUIS *et al.* (1992) recommandent de ne pas dépasser 35 % de prélèvement. Lors de la première intervention dans les peuplements très denses, TRIMBLE *et al.* (1974) recommandent, pour les feuillus de Fernow, de viser la limite supérieure de l'intervalle de surface terrière résiduelle recommandée, soit 20 m²/ha au lieu de 16 m²/ha sur les bons sites. LEAK et GOTTSACKER (1985) recommandent un prélèvement faible (non précisé) sur les sols humides ou minces afin de limiter les risques de chablis en Nouvelle-Angleterre.
- d'intervenir avant l'atteinte d'une surface terrière élevée pour laquelle la mortalité peut s'accroître rapidement et réduire ainsi l'accroissement net, soit autour de 23 à 27 m²/ha (ERDMANN et OBERG 1973). EYRE et ZILLGITT (1953) ont observé un taux de mortalité de 0,28 m²/ha/an dans le témoin à 30,8 m²/ha comparativement à 0,02–0,08 m²/ha/an dans des coupes d'amélioration. À une surface

¹ Arbres ayant le potentiel de produire du bois d'oeuvre, maintenant ou dans l'avenir, et qui sont vigoureux (LEAK *et al.* 1987), ce qui correspond à la classe de vigueur I (MAJCEN *et al.* 1990) ou aux classes C et R (BOULET 2005), mais en ajoutant une notion de bois d'oeuvre.

terrière d'environ 25 m²/ha, CROW *et al.* (1981) ont observé un taux de mortalité deux fois plus élevé (0,06 m²/ha/an) qu'à 16–21 m²/ha. Le taux de mortalité a augmenté rapidement avec l'augmentation de la surface terrière résiduelle autour de 23 à 27 m²/ha à Argonne, passant d'environ 0,09 à 0,23 m²/ha (ERDMANN et OBERG 1973). LEAK *et al.* (1987) recommandent d'intervenir en jardinage dès 23 m²/ha.

- de viser une surface terrière résiduelle généralement autour de 14 à 22 m²/ha en tiges de plus de 9-11 cm (EYRE et ZILLGITT 1953, ARBOGAST 1957, TRIMBLE 1968, ERDMANN et OBERG 1973, TRIMBLE *et al.* 1974, TUBBS 1977b, CROW *et al.* 1981, LEAK *et al.* 1987, LEAK 2003, OMNR 2004). Cependant, lorsque d'autres facteurs que la densité influencent fortement la mortalité (maladies ou défauts majeurs), alors définir l'intervalle optimal de la surface terrière résiduelle n'est pas évident (SOLOMON 1977, MAJCEN *et al.* 2005). Il faut noter que l'accroissement en bois de haute qualité nécessite normalement le maintien d'une surface terrière résiduelle d'au moins 16 m²/ha dans des érablières (voir Section 3.3.4).
- d'effectuer des rotations assez courtes (5-15 ans) pour récolter la mortalité éventuelle (EYRE et ZILLGITT 1953, ARBOGAST 1957, BERRY 1981, CROW *et al.* 1981). Cependant, LEAK *et al.* (1987) proposent une période de rotation allant jusqu'à 20 ans lorsqu'il est nécessaire d'augmenter le prélèvement. MARQUIS (1978) précise qu'une rotation de 15 à 25 ans est normalement appropriée pour la plupart des types forestiers; c'est ce qui est recommandé en Ontario (OMNR 2004) et ce qui sert d'hypothèse pour le Manuel d'aménagement forestier au Québec.
- de mettre en place une structure diamétrale assurant un recrutement suffisant de chaque classe de diamètre. En théorie, cette structure est représentée par une courbe en forme de « J inversé », de manière à assurer un rendement soutenu à long terme (MAJCEN *et al.* 1990, SMITH *et al.* 1997, NYLAND 2002, SCHULER 2004). Il n'est pas nécessaire que cette structure soit atteinte au départ puisqu'il est possible de convertir la structure des peuplements (ERDMANN et OBERG 1973; SCHÜTZ 1997; NYLAND, 2002, 2003).

3.3.4 Qualité des bois

Le jardinage favorise l'atteinte d'une qualité élevée de bois lorsque la densité conservée est suffisamment élevée pour promouvoir l'éducation des tiges. La surface terrière minimale recommandée pour maintenir la qualité est de 16 m²/ha pour les érablières (EYRE et ZILLGITT 1953, TRIMBLE 1968, GODMAN et BOOKS 1971, LEAK *et al.* 1987, STRONG *et al.* 1995, BODINE 2000). Cependant, ces études indiquent qu'une qualité plus élevée peut être atteinte avec une surface terrière résiduelle d'environ 18-20 m²/ha.

Dans des suivis d'expérimentations sur 15-20 ans à Upper Peninsula au Michigan, EYRE et ZILLGITT (1953), GODMAN et BOOKS (1971) et CROW *et al.* (1981) ont recommandé une surface terrière résiduelle de 19-20 m²/ha comme compromis entre l'accroissement et la qualité dans des érablières, alors que STRONG *et al.* (1995) ont recommandé 17,2 m²/ha à la suite d'un suivi de 40 ans. EYRE et ZILLGITT (1953) ont observé que le bouleau jaune était plus enclin à former des branches adventives que l'érable à sucre. LEAK *et al.* (1987) mentionnent que le frêne d'Amérique et le bouleau à papier sont peu enclins à la formation de branches adventives.

Au Centre forestier Ford au Michigan, après 42 ans, le nombre moyen de billots (16 pieds – 4,9 m) par tige (d'au moins 12 pouces – 30 cm) était inférieur dans le jardinage à une surface terrière résiduelle de 11,5 m²/ha (1,35 billot/tige) en comparaison des coupes de jardinage qui ont maintenu une surface terrière résiduelle de 16 à 21 m²/ha (1,58 à 1,61 billot/tige; BODINE 2000).

TRIMBLE (1968) a recommandé 18,4 m²/ha (tiges de 11,4 cm et plus) sur les meilleurs sites et 10,4 m²/ha sur les bons sites pour produire des bois d'œuvre pour des peuplements dominés par les chênes (rouge, blanc et *Q. prinus* L.) et le tulipier de Virginie (*Liriodendron tulipifera* L., une espèce intolérante à l'ombre) à Fernow. Cependant, il précise que le maintien de la qualité des deux premiers billots de 16 pieds en présence d'une surface terrière aussi faible que 10,4 m²/ha nécessite au moins 3,4 à 4,6 m²/ha de gaules et de petites perches (1 à 14 cm), pour un total de 14-15 m²/ha. Les essences produites ont eu un effet important sur la qualité obtenue de la coupe de jardinage à Fernow (WIEMANN *et al.* 2004) et ont pu avoir un effet sur la surface terrière résiduelle recommandée. En effet, une évaluation de plusieurs coupes de jardinage appliquées sur une rotation d'environ 10 ans, après environ 40 ans, a démontré que la proportion de tiges de plus de 40,5 cm atteignant la classe de qualité 1 variait de 44 % pour l'érable à sucre à 80 % pour le chêne rouge et 91 % pour le tulipier de Virginie.

3.4 Modalités d'application

Sur la base de la littérature révisée et selon un objectif de production de bois dans les forêts à dominance de feuillus nobles du Québec, les modalités d'application sont proposées dans ce qui suit pour l'application du jardinage. Il est important de signaler que toutes ces modalités doivent être respectées simultanément et que des ajustements peuvent être apportés pour satisfaire les exigences de l'aménagement écosystémique (voir Section 3.7).

1. L'intensité de la coupe ne devrait pas dépasser 35 % de la surface terrière avant la coupe (comprenant les sentiers et les pertes occasionnées par la coupe).

2. La surface terrière recommandée après la coupe est de 18-20 m²/ha, en particulier celle de la première coupe de jardinage dans un peuplement dense, mais elle peut être ramenée jusqu'à 16 m²/ha, le cas échéant. Cette surface terrière résiduelle doit être atteinte de la façon la plus uniforme possible dans le peuplement.
3. Il n'y a pas de prélèvement minimal, mais selon LEAK *et al.* (1987) une récolte dite « opérationnelle » du point de vue économique peut être effectuée à environ 7 m²/ha.
4. Le prélèvement doit être réparti entre les classes de diamètre de façon à atteindre une structure résiduelle qui s'approche de celle ciblée. Cependant, cet aspect est moins important que les autres lors de la première intervention, mais il doit permettre d'orienter le peuplement vers une structure équilibrée à moyen terme.
5. La surface terrière maximale à atteindre avant l'application de la coupe doit être d'environ 23-27 m²/ha.
6. La période de rotation ciblée est d'environ quinze ans, mais elle peut être prolongée jusqu'à 20-25 ans pour permettre la récolte d'un volume plus élevé. Ce prolongement est surtout justifiable après la première coupe dont l'objectif est d'obtenir une forte amélioration du peuplement, tout en prenant en compte les taux d'accroissements observés dans les conditions du Québec.

3.4.1 Marquage des arbres

Les forêts inéquiennes sont parfois perturbées au point qu'il est impossible d'établir une structure idéale et parfaitement équilibrée dès les premières interventions. Comme elles ont subi des coupes d'écrémage par le passé, on ne peut pas enlever tous les arbres non vigoureux lors de la coupe initiale et équilibrer le nombre de tiges selon la classe de diamètre tout en créant, au besoin, des trouées propices à la régénération d'espèces peu tolérantes à l'ombre. C'est pourquoi, il est important que l'inventaire fournisse des données sur la qualité du peuplement. Cela aidera le marqueur à trouver le meilleur compromis qui soit entre la structure de la forêt¹ et le marquage qu'impose l'état de santé des arbres, cela dans l'optique d'atteindre après la coupe la surface terrière résiduelle choisie.

Il est impossible de produire un guide strict de toutes les situations pouvant être rencontrées lors du marquage (ARBOGAST 1957). Néanmoins, voici quelques conseils pour les situations les plus fréquentes :

- le marquage vise d'abord les tiges susceptibles de mourir et, en second lieu, celles dont la qualité diminuera durant la prochaine rotation en prenant en compte leur répartition spatiale (ARBOGAST 1957, TRIMBLE *et al.* 1974, TUBBS 1977b, LEAK *et al.* 1987, MAJCEN *et al.* 1990, OMNR 2004). Ce sont généralement les arbres pourvus de pourriture causée par des chancres et des champignons, les

¹ Il est ici question autant de la distribution verticale qu'horizontale des tiges.

arbres en voie de dépérissement, les arbres blessés et les arbres âgés d'essences peu longévives. Les arbres les moins vigoureux doivent donc être marqués en priorité en prenant en compte la structure du peuplement (distribution diamétrale et répartition spatiale) et la surface terrière résiduelle. En pratique, le marqueur effectuera son travail de façon à ce que le peuplement soit composé d'une majorité d'arbres vigoureux et d'essences ayant un potentiel de transformation en bois d'œuvre après la coupe. De plus, le marqueur pourra marquer pour la coupe un peu plus d'arbres (groupe d'arbres) dans les portions plus denses du peuplement et où il y a une concentration de tiges non vigoureuses. Il pourra aussi conserver une densité un peu plus forte dans les portions composées de nombreuses tiges d'avenir pour compenser le prélèvement plus fort effectué dans d'autres portions du peuplement. Néanmoins, il pourra quand même marquer des tiges dans ces portions afin de réguler le couvert. Lors de la première intervention, il est généralement impossible d'enlever toutes les tiges non vigoureuses. Le marqueur doit donc prendre en compte ces priorités afin d'améliorer la qualité du peuplement tout en régularisant le couvert. L'idée de régulariser le couvert consiste à éviter de créer des portions trop ouvertes dans lesquelles la qualité des tiges sera diminuée et des portions trop denses dans lesquelles la mortalité sera élevée et les recrues moins nombreuses.

- le marquage des tiges dont le diamètre est inférieur à 20 cm doit être proscrit, sauf si ces tiges sont de faible vigueur et à proximité de gros arbres marqués ou s'il s'agit d'essences non recherchées (ex. : hêtre à grandes feuilles). Les petites tiges sont les plus sujettes au renversement lors de la coupe. Celles de belle qualité doivent être maintenues sur pied, dans la mesure du possible, en utilisant des techniques d'abattage directionnel. Dans le cadre d'un aménagement plus intensif, une intervention antérieure ou postérieure à la coupe du peuplement principal pourrait être envisagée sur les tiges de moins de 20 cm afin de contrôler la composition ou de promouvoir le développement de certaines tiges.
- si la structure du peuplement, l'état de santé des arbres et les besoins de régénération sont propices à une coupe par groupes d'arbres, le diamètre des trouées devrait être égal ou inférieur à la hauteur des arbres dominants. Le jardinage par pieds d'arbres et par groupes d'arbres est recommandé dans les bétulaies jaunes à sapin où le sapin a tendance à former de petits groupes de tiges de même âge. Dans de tels peuplements, le marquage visera les groupes de sapins à maturité. Les bouleaux jaunes de faible vigueur seront marqués par pieds d'arbres dans toutes les classes de diamètre. Dans les érablières, les ouvertures peuvent favoriser le bouleau jaune et les autres essences peu tolérantes à l'ombre. Il ne faut cependant pas bouleverser une structure près de l'équilibre dans le but de former de grandes trouées, mais il faut pratiquer des ouvertures en prélevant les arbres de faible vigueur. Si l'on veut perpétuer la structure inéquienne naturelle des érablières, on appliquera la coupe par pieds d'arbres avec des groupes d'arbres de petites dimensions dispersés dans le peuplement.

- le marquage sera effectué de façon à éviter la formation de peuplements monospécifiques plus vulnérables aux maladies et aux insectes nuisibles (NYLAND 2002). Il est très important de laisser sur pied et de bien répartir les semenciers des essences rares ou surexploitées. C'est le cas notamment du bouleau jaune et du chêne rouge dans les érablières, des épinettes rouge et blanche dans les bétulaies jaunes résineuses et du pin blanc dans les deux types de peuplement.
- le hêtre est une essence envahissante et peu recherchée actuellement, surtout près de la limite septentrionale de sa distribution où sa qualité est déficiente. Il faut le marquer plus intensivement que l'érable à sucre, surtout lorsqu'il occupe plus de 20 % de la surface terrière du peuplement. La présence d'un groupe de tiges de cette essence peut constituer une occasion de créer une trouée propice aux essences semi-tolérantes comme le bouleau jaune. La répression du hêtre après la coupe du peuplement principal peut être nécessaire car cette essence se régénère de façon très agressive par des drageons. Il faut créer des conditions qui favorisent le développement des essences plus recherchées.
- le marqueur évitera toujours de marquer une grosse tige d'une essence de feuillus en bon état sous prétexte qu'elle a atteint sa maturité, pour laisser sur pied des tiges moins grosses et peu vigoureuses (ARBOGAST 1957, TRIMBLE *et al.* 1974, MAJCEN *et al.* 1990). Par exemple, une grosse tige vigoureuse de 60 cm peut très bien vivre encore 20 ans et produire alors une quantité supplémentaire et recherchée de bois d'œuvre. Par contre, un arbre voisin non vigoureux de 40 cm peut présentement procurer du sciage, mais il y a une forte probabilité qu'il se dégrade et meurt si on le laisse sur pied. Il est important de rappeler que cette indication s'applique localement (arbres à proximité l'un de l'autre) et non pas à l'échelle du peuplement ou de l'unité d'échantillonnage.
- l'objectif de régularisation de la structure est généralement secondaire lors de la première coupe de jardinage à cause du nombre élevé de tiges non vigoureuses et de la nécessité d'améliorer le peuplement. Cependant, il faut avoir en tête la structure résiduelle cible lors du marquage. En effet, l'objectif d'atteindre une structure équilibrée à moyen terme est un des fondements de la coupe de jardinage. Bien qu'il faille définir la structure équilibrée plus précisément, il semble tout de même qu'une distribution diamétrale en forme de « J inversé » puisse mener à cet équilibre (voir Section 3.3.2). MAJCEN *et al.* (1990) ont suggéré de retenir la distribution diamétrale initiale comme cible, alors que d'autres auteurs fixent des distributions cibles selon les objectifs ou les conditions de site. Par exemple, dans le guide de martelage ontarien (OMNR 2004), cinq principales distributions diamétrales cibles ont été définies pour les différentes régions de l'Ontario. Ces distributions sont basées sur un facteur q, une surface terrière résiduelle et un diamètre maximum. NYLAND (2002) a proposé l'utilisation de différents facteurs q selon les classes de diamètre.

3.4.2 Vérification du marquage

La vérification du marquage des arbres est une activité qui ne peut se faire que sur le terrain par des gens qui ont une bonne connaissance de la forêt à traiter et une bonne expérience du métier. En effet, le choix de marquer ou de ne pas marquer un arbre demande du jugement et ce choix est indissociable des arbres qui l'entourent (ARBOGAST 1957, MAJCEN *et al.* 1990, NYLAND 2002, OMNR 2004).

3.5 Effets sylvicoles escomptés

Des auteurs (MAJCEN 1997; MAJCEN et BÉDARD 2000; BÉDARD et MAJCEN 2001, 2003; MAJCEN *et al.* 2005) ont démontré, pour les forêts québécoises, que les coupes de jardinage correctement appliquées (Voir Section 3.4) stimulent l'accroissement net du peuplement. L'accroissement net est fonction de l'accroissement brut et de la mortalité. L'accroissement brut est composé de l'accroissement des tiges survivantes durant une période donnée ainsi que des recrues obtenues durant cette même période.

Les résultats de quinze ans obtenus de la coupe de jardinage de quatorze érablières du Québec (MAJCEN *et al.* 2005), ont démontré que l'accroissement des survivants est semblable entre les peuplements témoins et traités (0,41 et 0,40 m²/ha/an, respectivement; Figure 1). Par contre, cet accroissement est concentré sur moins de tiges dans les peuplements traités, d'où l'augmentation de l'accroissement diamétral observée en particulier pour les tiges de moins de 50 cm de DHP. Ces tiges dans les peuplements traités étaient généralement mieux dégagées que celles observées dans les peuplements témoins et elles étaient plus fréquemment vigoureuses.

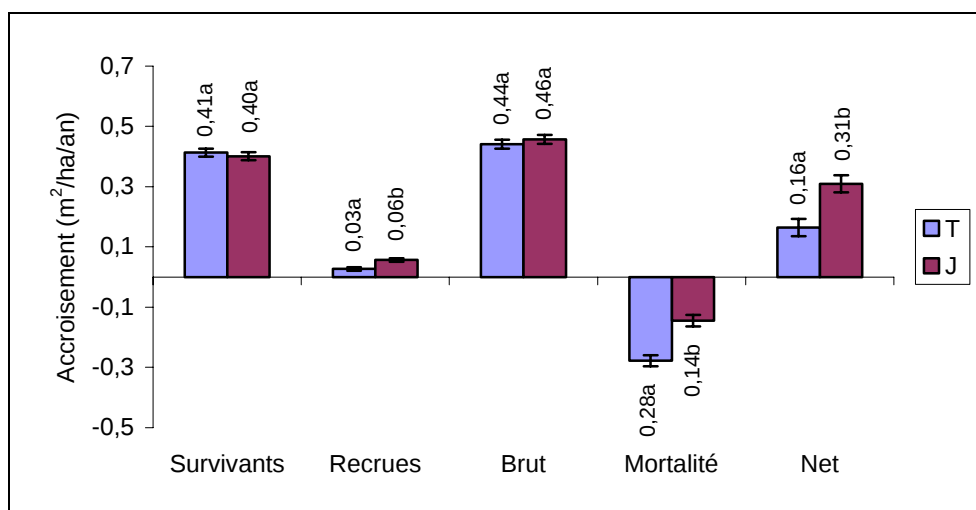


Figure 1. Accroissements annuels périodiques moyen en surface terrière pour la période de quinze ans (Tiré de MAJCEN *et al.* 2005).

Les ouvertures créées par la coupe ont stimulé la régénération dans des conditions semi-ombragées, ce qui a été favorable surtout à l'érable à sucre, et aussi au bouleau jaune. Le recrutement dans les peuplements traités ($0,06 \text{ m}^2/\text{ha}/\text{an}$) était le double de celui des peuplements témoins ($0,03 \text{ m}^2/\text{ha}/\text{an}$), mais cette composante ne représente qu'environ 10 % de l'accroissement brut. En conséquence, la différence de recrutement n'était pas suffisante pour se répercuter sur l'accroissement brut, lequel n'était pas significativement différent entre les peuplements traités ($0,46 \text{ m}^2/\text{ha}/\text{an}$) et témoins ($0,44 \text{ m}^2/\text{ha}/\text{an}$).

Le prélèvement des tiges les moins vigoureuses dans toutes les classes de diamètre a non seulement stimulé l'accroissement des tiges survivantes, il a aussi contribué à la diminution de la mortalité dans les peuplements traités ($0,14 \text{ m}^2/\text{ha}/\text{an}$) par rapport aux peuplements témoins ($0,28 \text{ m}^2/\text{ha}/\text{an}$). La mortalité des arbres sans défaut majeur (arbres vigoureux) était de $0,04 \text{ m}^2/\text{ha}/\text{an}$ autant dans les peuplements témoins que traités, soit respectivement 15 et 25 % de la mortalité totale. Les causes de mortalité pour ce groupe d'arbres sont le chablis ($0,01 \text{ m}^2/\text{ha}/\text{an}$) et des facteurs non identifiés comme probablement la compétition exercée par les tiges voisines ou l'âge de la tige. La majeure partie de la mortalité est survenue sur des tiges ayant des défauts majeurs (défauts multiples, chancre, champignons, carie, bris naturels et blessures naturelles) tant dans les peuplements témoins ($0,24 \text{ m}^2/\text{ha}/\text{an}$) que traités ($0,11 \text{ m}^2/\text{ha}/\text{an}$). C'est cette diminution de la mortalité associée à des tiges ayant des défauts majeurs, laquelle a contribué à l'augmentation significative de l'accroissement net dans les peuplements traités ($0,31 \text{ m}^2/\text{ha}/\text{an}$) par rapport aux peuplements témoins ($0,16 \text{ m}^2/\text{ha}/\text{an}$).

Il n'existe pas de données à long terme au Québec à propos des coupes de jardinage mixtes par pieds d'arbres et par groupes d'arbres. Cependant, si l'on respecte les critères d'application et si l'on se limite à former de petites trouées, d'un diamètre équivalent à la hauteur des arbres dominants, créées à partir de noyaux constitués d'arbres non vigoureux, nous pouvons poser l'hypothèse que la production de ces peuplements sera constante à chaque rotation. De plus, elle serait semblable à celle observée à la suite de la coupe de jardinage par pieds d'arbres dans les dispositifs expérimentaux.

Toutefois dans un objectif de production de bois, il est important de rappeler ici l'importance de viser une densité de peuplement résiduel relativement homogène lors de la coupe de jardinage; c'est-à-dire d'éviter la formation de portions trop ouvertes ou trop denses (Voir Section 3.4.1). En effet, aux endroits où la surface terrière sera trop réduite par la coupe, il faudra s'attendre localement à :

- une augmentation de l'accroissement en diamètre de chaque survivant pris individuellement, un peu comme dans les peuplements traités, et à une réduction de la production totale des survivants conséquence de la perte d'occupation de l'espace disponible. L'ampleur de cette perte d'accroissement des survivants sera variable selon l'ampleur de l'ouverture;

- une augmentation du recrutement, mais cette composante de l'accroissement brut est petite et son augmentation devrait avoir un effet minime sur l'accroissement net à moyen terme;
- une augmentation probable de la mortalité non associée à des défauts majeurs, associée plutôt au changement brusque des conditions environnementales dans lesquelles les tiges se sont développées (FROTHINGHAM 1915, EYRE et ZILLGITT 1953, ARBOGAST 1957, OMNR 2004).

Ces changements peuvent donc localement réduire l'accroissement net, réduire la qualité de l'éducation des tiges (fourches basses, branches basses, branches adventives) et stimuler une plus forte présence de régénération des espèces moins tolérantes à l'ombre, parfois non recherchées (ex. : cerisier de Pennsylvanie).

Quant aux endroits où la densité serait maintenue trop élevée, les effets seraient variables selon la vigueur (présence ou absence de défauts majeurs) des tiges qui les composent. Les endroits où la vigueur des tiges est comparable à celle des peuplements témoins devraient réagir comme ces derniers (voir ce qui a été dit précédemment). Par contre, aux endroits composés de nombreuses tiges vigoureuses, voir exclusivement de tiges vigoureuses, le rendement anticipé serait plus élevé. L'accroissement brut et l'accroissement diamétral des tiges survivantes devraient être semblables aux résultats observés dans les témoins. Cependant, la mortalité devrait être semblable à celle des peuplements traités (0,14 m²/ha/an) ou même semblable à la mortalité qui n'est pas associée à des défauts majeurs (0,04 m²/ha/an).

Dans ces portions denses et composées de tiges vigoureuses et afin d'atteindre la structure et la surface terrière résiduelle visées, la coupe de jardinage pourrait avoir localement les effets suivants :

- réduire légèrement la mortalité dans ces portions si la coupe permet de diminuer la mortalité des arbres sans défaut majeur qui meurent sur pied. La mortalité est possiblement causée par l'âge de la tige ou la compétition exercée par les arbres voisins. Cependant, le gain d'accroissement net serait faible puisque la mortalité pour cette catégorie d'arbres est faible (0,04 m²/ha/an) et qu'en intervenant dans ces portions, il y a un risque de causer des blessures mortelles (0,01 m²/ha/an);
- concentrer l'accroissement des survivants sur moins de tiges qui pourront avoir une croissance diamétrale plus élevée, en particulier pour les tiges de moins de 50 cm de DHP;
- augmenter le recrutement;
- maintenir ou augmenter très légèrement l'accroissement net;
- éduquer le peuplement en récoltant les essences moins désirées ou les tiges de moins belle qualité;

- régulariser la structure en récoltant des tiges dans les classes de diamètre pour lesquelles il y en a un surplus par rapport à la courbe théorique;
- récolter des bois.

3.5.1 Durée de la rotation

La durée de la rotation est fonction de l'écart entre la surface terrière résiduelle et celle ciblée, ainsi que de l'accroissement net. Il faut prendre en compte que l'accroissement net sera généralement plus faible dans la première période quinquennale (CROW *et al.* 1981, MAJCEN 1997) et plus élevé par la suite, jusqu'à une surface terrière d'environ 23 à 27 m²/ha moment où la mortalité commencera à augmenter de plus en plus rapidement (ERDMANN et OBERG 1973).

Selon les calculs basés sur les résultats décennaux publiés pour treize érablières du Québec (BÉDARD et MAJCEN 2001, 2003) et les résultats de quinze ans de quatorze érablières (MAJCEN *et al.* 2005), il faudrait en moyenne 23-24 ans pour que la surface terrière marchande initiale soit reconstituée. Ces résultats sont extrapolés à partir des accroissements annuels moyens nets de 0,34 et 0,31 m²/ha obtenu dix et quinze ans après la coupe, respectivement. La surface terrière moyenne prélevée était de 7-8 m²/ha, soit 27-29 % de la surface terrière initiale d'environ 27 m²/ha. En visant une surface terrière, avant la prochaine coupe, de 25 m²/ha au lieu de 27 m²/ha, il serait possible de réduire la durée de la première rotation d'environ six ans.

La reconstitution de la surface terrière initiale, ou de celle souhaitée, dépend du prélèvement et de l'accroissement net. Ainsi, la durée de la rotation devrait être définie à partir de ces deux variables; compte tenu que l'accroissement net n'est pas linéaire (variation selon la densité résiduelle et la vigueur des tiges), il devrait être mesuré environ dix ans après la coupe. Un prélèvement plus élevé entraînera une rotation plus longue et un risque de chablis plus grand. Comme il a été mentionné auparavant, l'accroissement net dépend de l'accroissement brut et de la mortalité. La récolte des tiges susceptibles de mourir au cours de la rotation est l'élément principal qu'il faut prendre en compte lors de l'application du traitement si l'on désire obtenir la production souhaitée. Toutefois, la mortalité peut également être causée par des chablis, en particulier sur les sols minces, et à la suite de coupes de forte intensité (prélèvement supérieur à 35 %). Il ne faut pas oublier les pertes éventuelles causées par les bris lors des opérations de récolte, le verglas, les tempêtes de vent et les insectes. Le rétablissement d'une surface terrière projetée au cours d'une rotation sera toujours approximatif et dépendra des facteurs énumérés ci-dessus. Comme les résultats présentés ont été obtenus dans un cadre expérimental, et comme le prélèvement moyen était inférieur à 35 %, il serait prudent de fixer une rotation moyenne supérieure à 23 ans. Cette valeur pourrait se situer à près de 25 ans. Cependant, l'établissement de la durée de la rotation devrait être basée sur les mesures mentionnées plus haut, plutôt qu'être fixée *a priori*.

Les résultats d'expériences québécoises dans les bétulaies jaunes à sapin se limitent à trois peuplements établis dans le domaine de l'érablière à bouleau jaune, notamment deux à Sainte-Véronique et un près de Saint-Jovite (MAJCEN et BÉDARD 2003). Les bétulaies jaunes à sapin occupent à ces endroits les sols minces, extrêmement pierreux et ne sont pas représentatives des grands complexes des bétulaies jaunes qui se développent plus au nord sur des sols plus adéquats. Sur les sols minces et pierreux, les conifères sont vulnérables aux chablis, lesquels se manifestent encore davantage après la coupe. La surface terrière moyenne marchande prélevée lors de la coupe dans ces trois peuplements était de 6,4 m²/ha, soit près de 26 % de la surface terrière initiale moyenne de 25 m²/ha. L'accroissement annuel moyen net obtenu après dix ans est de 0,27 m²/ha/an. Nous pouvons présumer que les coupes de jardinage dans les bétulaies jaunes à sapin pourraient se pratiquer avec une rotation moyenne de 25 ans dans les habitats peu pierreux. Toutefois, cette durée devrait être fixée de la même manière que ce qui a été mentionné plus haut. La sylviculture de ces peuplements est complexe et demeure un réel casse-tête pour les sylviculteurs. Il faudrait davantage de dispositifs expérimentaux dans ces peuplements pour être en mesure d'établir réellement les conditions d'application et les effets de la coupe de jardinage. Des expérimentations en ce sens ont été entreprises de 1997 à 2003 dans des bétulaies jaunes résineuses de la région de Québec (PRÉVOST 2006) et devraient fournir des résultats décennaux dans les prochaines années. D'autres interventions, en particulier dans le régime de la futaie par groupes (voir Chapitre 6), mériteraient d'être expérimentés dans ce type de peuplements.

3.5.2 Régénération

Les meilleurs résultats relevés dans les dispositifs expérimentaux sur la régénération du bouleau jaune dans les érablières du Québec, ont été obtenus à la suite de coupes de jardinage par pieds d'arbres dont l'intensité variait de 30 à 35 % de la surface terrière marchande initiale (MAJCEN 1997, BÉDARD et MAJCEN 2001). La coupe conjuguée à des surfaces terrières résiduelles de 18 à 20 m²/ha a permis de former de petites ouvertures de dimensions variables à la suite du prélèvement d'arbres de faible vigueur. Les ouvertures ainsi formées ont une superficie de 200 à 500 m². Elles sont le produit de la récolte d'arbres non vigoureux. On y trouve en moyenne près de 750 gaules (2 à 8 cm de diamètre) de bouleau jaune à l'hectare dix ans après la coupe, ce qui équivaut à 17 % du nombre de gaules des essences commerciales. Les opérations de récolte ont été exécutées à l'automne après la chute des feuilles et aucune préparation particulière du sol n'a été effectuée. Dans l'une des unités expérimentales (Sainte-Véronique), il y avait peu de semenciers de bouleau jaune à la suite de la coupe (6 % de la surface terrière marchande), tandis que dans les deux autres, la surface terrière résiduelle en bouleau jaune était de 9 et 14 % de la surface terrière marchande. Cependant, nous croyons qu'il serait possible d'obtenir de meilleurs résultats en intensifiant davantage la préparation de terrain et en présence d'un nombre plus élevé de semenciers.

De façon générale, il y a toujours une bonne composante de régénération des espèces tolérantes à l'ombre dans les érablières jardinées (MAJCEN 1997, ANDERSON *et al.* 2001, BÉDARD et MAJCEN 2001). Elle peut atteindre de 1 000 à près de 5 000 gaules à l'hectare en essences commerciales tolérantes à l'ombre dix ans après le jardinage. Les proportions d'érable à sucre et de hêtre à grandes feuilles sont cependant très variables d'une place à l'autre (MAJCEN 1997, BÉDARD et MAJCEN 2001).

Dans le cas des bétulaies jaunes à érable à sucre et des bétulaies jaunes à sapin, il existe peu de résultats d'expérimentations sur une assez longue période (au moins dix ans après coupe). Les résultats de la régénération dans les bétulaies jaunes à sapin proviennent principalement de trois peuplements jardinés par pieds d'arbres et groupes d'arbres, dont deux à Sainte-Véronique et un à Saint-Jovite (BÉDARD et MAJCEN 2003). Le bouleau jaune s'est bien régénéré dans un peuplement à Saint-Jovite, mais les semis ont été détruits en grande partie par le broutement des cerfs de Virginie. Un peuplement à Sainte-Véronique a été envahi par des espèces non commerciales (surtout la viorne à feuilles d'aulne et l'érable à épis) en dessous desquelles se pointe parfois une régénération de sapin et d'épinette rouge. Ces facteurs expliquent notamment l'insuccès de la régénération au stade de gaulis, puisque le bouleau jaune ne représente que 4 % des essences commerciales. Selon nos observations, les résultats peuvent être bons à la suite de la destruction des espèces concurrentes et du scarifiage du sol, mais les cerfs s'attaquent surtout aux concentrations de bouleau jaune que l'on retrouve dans les trouées créées par la coupe, ce qui empêche leur développement. D'autres résultats à moyen terme seront disponibles au cours des prochaines années pour diverses coupes partielles et tailles de trouées dans des peuplements mixtes, notamment dans les régions de Québec (PRÉVOST 2006), de la Mauricie (GUILLEMETTE *et al.* 2003a, b) et de la Baie-des-Chaleurs (MALENFANT et PATRY 2002).

Il est donc difficile de se prononcer sur la composition à venir de ces peuplements en l'absence de données à long terme à la suite de la coupe. Nous pouvons poser l'hypothèse que tout au plus, on peut espérer obtenir 20 à 30 % de la surface terrière en bouleau jaune dans les érablières à bouleau jaune et 40 à 60 % dans les bétulaies jaunes à érable et les bétulaies jaunes à sapin. C'est le pourcentage de bouleau jaune qui peut être rencontré dans des peuplements très bien pourvus et relativement peu appauvris par les exploitations précédentes. Des expérimentations à long terme sont cependant nécessaires afin de vérifier ces hypothèses. Des changements environnementaux, comme l'explosion de la population de cerfs, peuvent modifier les observations (NYLAND 2002).

3.6 Aspects financiers

Le volume récolté et les conditions de peuplement ont un effet très important sur la rentabilité de la coupe de jardinage, notamment les essences qui le composent et la qualité des tiges (SMITH et MILLER 1987,

MILLER et SMITH 1991, NIESE *et al.* 1995, SENDAK *et al.* 2000). Un prélèvement de l'ordre de 7 m²/ha procurerait une récolte dite « opérationnelle » d'un point de vue économique (LEAK *et al.* 1987). La première coupe de jardinage pratiquée dans un peuplement non aménagé ou écrémé génère normalement un revenu plus faible que les coupes subséquentes, puisque l'intervention initiale améliore normalement la qualité du peuplement et augmente sa valeur d'avenir (NIESE et STRONG 1992, NIESE *et al.* 1995, SENDAK *et al.* 2000, KENEFIC *et al.* 2005). Sur une période de 10 à 40 ans à Argonne au Wisconsin (rotation de 10 ans, surfaces terrières résiduelles de 13,8, 17,3 et 20,7 m²/ha), NIESE *et al.* (1995) ont observé que la valeur résiduelle du peuplement était corrélée positivement à la surface terrière résiduelle. Cependant, les revenus et la valeur actuelle nette par rapport au témoin étaient corrélés négativement avec la surface terrière résiduelle. Compte tenu de l'ensemble des résultats de Argonne (aspects financiers, mais aussi l'accroissement et la qualité), les meilleurs résultats ont été obtenus à une surface terrière résiduelle de 17,3 m²/ha.

3.7 Aspects relatifs à l'aménagement écosystémique

Le régime du jardinage s'inscrit bien dans un cadre d'aménagement écosystémique puisque le prélèvement partiel de tiges par pieds d'arbres et par petits groupes d'arbres se rapproche de la dynamique des microtrouées. Afin de maximiser la production forestière, le prélèvement des tiges se fait toutefois de façon différente que dans les perturbations naturelles (mortalité), ce qui peut entraîner des conséquences sur la biodiversité et les processus naturels de l'écosystème. Dans l'optique de conserver les attributs recherchés, il est courant de comparer les attributs des peuplements naturels (sans perturbations anthropiques) à ceux des peuplements aménagés. Dans le cas de la coupe de jardinage, la comparaison se fait généralement avec les vieilles forêts inéquiennes.

À l'échelle du peuplement dans le cas des érablières inéquiennes, il est généralement recommandé d'accroître la complexité de la structure dans les forêts aménagées par :

- le maintien d'un large éventail de classes de diamètre (CROW *et al.* 2002), ce qui peut se traduire par le maintien d'une certaine quantité de tiges vivantes de plus de 50 cm de diamètre à l'hectare (MCGEE *et al.* 1999);
- le développement d'un couvert multistrate (CROW *et al.* 2002);
- la création d'un éventail de dimensions de trouées (SEYMOUR *et al.* 2002, CROW *et al.* 2002, MITCHELL *et al.* 2003);
- la conservation d'une certaine quantité de tiges mortes sur pieds et de troncs au sol (CROW *et al.* 2002, MITCHELL *et al.* 2003);

- l'adaptation des stratégies sylvicoles pour promouvoir le recrutement d'essences présentes en faible quantité dans les peuplements. CROW *et al.* (2002) notent le cas des essences compagnes de l'érable à sucre dans les érablières. D'ailleurs, cette préoccupation a également été soulevée dans les enjeux de biodiversité au Québec (GRONDIN et CIMON 2003) à propos de la raréfaction de certaines espèces (ex. : le bouleau jaune, l'épinette rouge et le pin blanc) et de l'envahissement par le hêtre à grandes feuilles.

À l'échelle du paysage, ANGERS *et al.* (2006) recommandent également que les périodes de rotation soient allongées pour une certaine portion du territoire afin d'allouer un temps de récupération nécessaire à l'accroissement de la disponibilité continue d'attributs de forêts primitives. Il faut signaler que cet allongement de la période de rotation ne signifie pas qu'il est souhaitable d'augmenter le prélèvement et de réduire la surface terrière résiduelle, mais plutôt de laisser le peuplement atteindre une densité plus près de celle des forêts primitives.

Chapitre quatre

Régime de la futaie équiennne

4.1 Principes de base

Le régime de la futaie équiennne est basé sur le principe que tous les arbres appartiennent à la même classe d'âge, ce qui correspond à un âge semblable (différence maximale de 20 % de l'âge de la révolution) et une hauteur semblable (SMITH *et al.* 1997, NYLAND 2002). Ainsi, une même intervention d'éducation ou de régénération du peuplement peut être exécutée sur toute la superficie à un même moment puisque toutes les tiges sont au même stade de développement (SCHÜTZ 1997). De plus, la compétition entre les arbres se fait à la même hauteur et le degré de cette compétition influence fortement l'éducation des tiges (SCHÜTZ 1997, NYLAND 2002).

Dans le régime à structure équiennne, les fonctions d'éducation et de régénération du peuplement sont normalement séparées, contrairement au régime de la futaie inéquiennne pour lequel les trois principales fonctions d'un régime sylvicole sont appliquées au cours d'une même intervention (jardinage). Pour les fins du présent avis, seuls les traitements ayant une fonction de régénération seront révisés. D'ailleurs, les méthodes de régénération comprennent la partie la plus critique de la sylviculture, tout particulièrement dans le régime à structure équiennne (NYLAND 2002). L'éducation du peuplement n'est toutefois pas à négliger et peut constituer une part importante des coûts du régime de la futaie équiennne.

En se basant sur une courte période pour déterminer les conditions de départ d'un nouveau peuplement et en récoltant tout le peuplement résiduel (alternance de générations), le régime de la futaie équiennne modifie grandement les caractéristiques, fonctions et processus de base de l'écosystème, ce qui augmente les risques de perte d'organismes et réduit la résistance aux perturbations (NYLAND 2002). Les

effets de ce régime sylvicole s'apparentent plus à ceux des feux dont l'importance est mineure dans la dynamique naturelle des érablières et des bétulaies jaunes (COMITÉ CONSULTATIF SCIENTIFIQUE DU MANUEL D'AMÉNAGEMENT FORESTIER 2003). Par contre, les feux (surtout de surface) seraient plus importants dans la dynamique de peuplements composés d'espèces peu tolérantes à l'ombre et adaptées aux feux comme le chêne et les pins, particulièrement sur les sols minces et les sommets (OMNR 1998, DOYON et SOUGAVINSKI 2002). Dans un contexte d'aménagement écosystémique, le régime à structure équiennne occuperait donc une proportion minime du paysage dans les érablières et les bétulaies jaunes et pourrait constituer une plus forte proportion dans les chênaies et les pinèdes.

4.2 Traitements sylvicoles

Les principaux procédés de régénération naturelle (semis) reconnus dans ce régime sont la coupe à blanc et ses variantes (par bandes alternes, bandes progressives ou par trouées), la coupe avec réserve de semenciers et les coupes progressives (DOUCET *et al.* 1996, SMITH *et al.* 1997, NYLAND 2002). Dans tous ces processus, la régénération recherchée est établie sur une courte période (moins de 20 % de la période de révolution) et constitue rapidement une même cohorte caractérisée par un même stade de développement et une croissance collective (SCHÜTZ 1997).

Les conditions environnementales créées par la coupe à blanc et la coupe avec réserve de semenciers sont favorables à la régénération des espèces les plus intolérantes à l'ombre et tolérantes à une forte exposition, en raison de l'atteinte d'une température élevée du sol et de l'air et d'un bas taux d'humidité du sol à sa surface (SMITH *et al.* 1997, NYLAND 2002). Ainsi, ces processus ne créent pas des conditions favorables aux exigences de régénération naturelle de l'érable à sucre et du bouleau jaune (TUBBS 1977b, LEAK *et al.* 1987, BURNS et HONKALA 1990, OMNR 1998), mais plutôt aux exigences des espèces intolérantes à l'ombre, comme les peupliers (MAJCEN 1997), et des espèces compétitives comme les framboisiers, cerisiers, etc. (JOBIDON 1995, SMITH *et al.* 1997, BASHANT *et al.* 2005). La coupe progressive d'ensemencement permet cependant de maintenir un couvert de protection plus favorable à la plupart des espèces des peuplements à l'étude (TUBBS 1977b, LEAK *et al.* 1987, OMNR 1998, NYLAND 2002) et c'est pourquoi nous nous sommes attardés davantage à ce processus de régénération qu'à ceux de la coupe à blanc et de la coupe avec réserve de semenciers.

4.2.1 Coupe à blanc

La coupe à blanc consiste à retirer toutes les tiges (y compris les gaules et les perches) en une seule opération et à promouvoir la régénération naturelle en faisant appel à (LEAK *et al.* 1987, DOUCET *et al.* 1996, SMITH *et al.* 1997, NYLAND 2002) :

- des rejets et drageons issus des tiges abattues;
- des semences viables enfouies dans la litière;
- des semences issues de peuplements adjacents ou des branches laissées sur le parterre de coupe¹.

Les conditions environnementales créées sont favorables à la régénération des espèces les plus intolérantes à l'ombre et tolérantes à une forte exposition (SMITH *et al.* 1997, NYLAND 2002). Ainsi, elle ne crée pas des conditions favorables aux exigences de régénération naturelle de l'érable à sucre et du bouleau jaune (TUBBS 1977b, LEAK *et al.* 1987, BURNS et HONKALA 1990, OMNR 1998). Cependant, les variantes de coupe à blanc par bandes, trouées ou de forme rectangulaire permettraient de maintenir un ombrage partiel sur la superficie coupée (effet de bordure) et de pourvoir des sources de semences à proximité, ce qui peut aider à la régénération d'espèces comme l'érable à sucre et le bouleau jaune (LEAK *et al.* 1987, NYLAND 2002). Cependant, les problèmes associés à la coupe à blanc persistent lorsqu'il est temps de régénérer la dernière portion. Celle-ci peut nécessiter d'être régénérée autrement, notamment par coupe progressive (MEUNIER *et al.* 2002).

4.2.2 Coupe avec réserve de semenciers

La coupe avec réserve de semenciers est très semblable à la coupe à blanc dans son application et dans les conditions environnementales qu'elle crée, sauf qu'elle conserve quelques semenciers à l'hectare (généralement 5 à 30 à l'hectare) pour faciliter l'ensemencement du site (DOUCET *et al.* 1996, NYLAND 2002). À l'exception des semenciers, toutes les tiges (y compris les gaules et les perches) sont abattues² lors de la coupe d'ensemencement. Les semenciers sont les meilleurs phénotypes (belle forme et vigoureux) et ils sont pourvus d'une cime large pour soutenir une forte production de semences. Ils doivent aussi pouvoir résister à l'exposition soudaine des vents et au plein ensoleillement. Ainsi, la survie des semenciers est sérieusement compromise avec des espèces dont les tiges sont vulnérables à une exposition soudaine, ont un enracinement superficiel, ne sont pas dans l'étage dominant, sont trop hautes par rapport à la dimension de leur diamètre ou croissent sur des sites à plus haut risque de chablis (sols minces ou mal drainés, haut de pente ou sommet) (SMITH *et al.* 1997, NYLAND 2002). Les conditions environnementales créées sont comparables à celles de la coupe à blanc; elles sont favorables à la régénération des espèces les plus intolérantes à l'ombre et tolérantes à une forte exposition (SMITH *et al.* 1997, NYLAND 2002). Elle crée des conditions favorables aux espèces plus intolérantes à l'ombre que les compétiteurs éventuels (SMITH *et al.* 1997). Ainsi, elle ne crée pas des

¹ Lorsque la régénération est suffisamment bien établie sur la superficie avant la coupe et qu'elle est protégée, alors il s'agit de la coupe finale d'un procédé de coupes progressives (SMITH *et al.* 1997; ANDERSON *et al.* 2001; NYLAND 2002) tel que décrit à la section 4.2.3.

² Lorsque la régénération est suffisamment bien établie sur la superficie avant la coupe et qu'elle est protégée, alors il s'agit de la coupe secondaire d'un procédé de coupes progressives comme celui décrit à la section 4.2.3.

conditions favorables aux exigences de la régénération naturelle de l'érable à sucre et du bouleau jaune (TUBBS 1977b, LEAK *et al.* 1987, BURNS et HONKALA 1990, OMNR 1998). Les semenciers, habituellement constitués de belles tiges, sont fréquemment abandonnés lorsque leur volume ou leur qualité ne justifie pas leur récolte (SMITH *et al.* 1997).

4.2.3 Coupes progressives

Le procédé par coupes progressives est fortement caractérisé par la notion de créer un abri (en anglais : *shelter*, d'où le terme *shelterwood cutting* pour désigner ce procédé) pour protéger la régénération des conditions adverses (DOUCET *et al.* 1997, SMITH *et al.* 1997, NYLAND 2002). Ainsi, le peuplement à maturité est coupé seulement si la nouvelle régénération atteint la taille et la densité requises pour dominer le site, si elle peut supporter la pleine exposition solaire et si elle est reconnue comme établie (HANNAH 1988, SMITH *et al.* 1997). En ajustant le degré d'ouverture du peuplement, elle est adaptable à pratiquement toutes les espèces forestières (HANNAH 1988). D'ailleurs, la plupart des espèces s'installent mieux sous un minimum d'ombrage et seules quelques espèces très intolérantes à l'ombre nécessitent une pleine lumière (SMITH *et al.* 1997). Ce procédé de régénération est normalement appliqué en une à trois étapes (coupes). Il permet d'installer et de libérer la régénération sur une période d'au plus 20 % de la période de révolution du peuplement (HANNAH 1988, SMITH *et al.* 1998, NYLAND 2002). Les principales façons de pratiquer les coupes progressives de ce régime sont par groupes (bouquets, trouées, bandes, blocs) et de façon uniforme (HANNAH 1988, SMITH *et al.* 1998, NYLAND 2002).

Le procédé en une étape est applicable aux peuplements qui ont développé une cohorte dense de régénération d'origine naturelle sous couvert, caractérisée par un même stade de développement (généralement au stade semis ou gaulis) et donc une hauteur semblable (HANNAH 1988). Cette cohorte doit être suffisamment dense et haute pour pouvoir dominer le site après la coupe, malgré les pertes occasionnées par les opérations, en plus de pouvoir résister au plein ensoleillement. La régénération recherchée doit donc être libre de croître au sein d'une éventuelle compétition. La seule coupe dans ce procédé est la **coupe finale**. Elle consiste à couper toutes les tiges qui n'appartiennent pas à cette nouvelle cohorte de régénération tout en protégeant la régénération établie de façon à la libérer complètement (HANNAH 1988).

En l'absence de cette régénération, ou lorsqu'elle est insuffisante, alors le procédé en deux étapes peut être appliqué de façon à créer d'abord des conditions plus propices à l'ensemencement (HANNAH 1988). La **coupe d'ensemencement** (ou **de régénération**) consiste à ouvrir partiellement le couvert en pratiquant une forte éclaircie par le bas, c'est-à-dire en enlevant d'abord les tiges aux stades inférieurs de développement (gaulis, perches, petit bois...) (SMITH *et al.* 1997). Le choix des tiges semencières à

conserver est semblable à celui de la coupe avec réserve de semenciers (voir Section 4.2.2). L'objectif de cette coupe est de créer à la fois des conditions favorables à la régénération des espèces recherchées et défavorables à la compétition (SMITH *et al.* 1997). Cette coupe est donc idéalement pratiquée juste avant ou lors de la chute des semences de l'espèce ciblée. Elle est planifiée de façon à créer des conditions favorables à l'installation des semis, ce qui comprend normalement une préparation de terrain et l'enlèvement de la végétation compétitive (HANNAH 1998, SMITH *et al.* 1997, NYLAND 2002). Puisqu'il est difficilement envisageable de restreindre les coupes à de courtes périodes lors des bonnes années semencières, il devient plus facile d'ajuster l'exécution de la préparation de terrain avec l'année semencière (SMITH *et al.* 1997). La coupe finale peut être appliquée lorsque la nouvelle cohorte de régénération est composée des essences recherchées et qu'elle est suffisamment dense, haute et dominante pour être reconnue comme établie et libre de croître (TUBBS 1977b, ANDERSON *et al.* 2001). Elle doit être précédée d'un inventaire de suivi de la régénération puisque le contrôle de la composition de la régénération est rarement parfait (SMITH *et al.* 1997). Ce procédé en deux étapes est le plus répandu parmi les coupes progressives pratiquées dans les types forestiers du nord-est de l'Amérique du Nord (LEAK *et al.* 1987, HANNAH 1988).

Cependant, la coupe finale ne peut pas être pratiquée dans les cas où l'installation de la régénération est insuffisante après la coupe d'ensemencement, car la quantité de nouvelles semences disponibles serait insuffisante pour combler les besoins (HANNAH 1988, SMITH *et al.* 1997). Si la lumière disponible en sous-bois est adéquate, mais que le lit de germination est inadéquat, alors la préparation de terrain doit être reprise lors d'une bonne année semencière, moment pour lequel il est nécessaire de procéder à un reboisement (SMITH *et al.* 1997). Lorsque la lumière est insuffisante, une **coupe secondaire** peut être pratiquée avant la coupe finale dans le but d'augmenter la lumière disponible pour la régénération, tout en conservant des semenciers (HANNAH 1988, OMNR 1998, NYLAND 2002).

Lorsqu'il est préférable de concentrer la production de semences sur des espèces ou des phénotypes en particulier, alors une **coupe préparatoire** peut être pratiquée avant la coupe d'ensemencement selon un procédé en trois étapes (HANNAH 1988, SMITH *et al.* 1997, OMNR 1998, NYLAND 2002). À ce moment, l'objectif de la coupe n'est pas de créer des conditions favorables à l'ensemencement, mais plutôt des conditions favorables à la production de semences de qualité (développer les cimes des meilleurs arbres) ou à la réduction de la compétition (enlever les espèces indésirables pour éviter qu'elles se régénèrent).

Dans le régime de la futaie équiennne, la coupe progressive uniforme en une ou deux étapes est le processus de régénération le plus approprié pour aménager les peuplements à l'étude (TUBBS 1977b, LEAK *et al.* 1987, HANNAH 1988, OMNR 1998), protéger le site et respecter les aspects esthétiques (SMITH

et al. 1997). Pour les fins du présent avis, les sections suivantes du régime de la futaie équienne ont été rédigées seulement pour ces processus.

4.3 Conditions favorables

4.3.1 Régénération

Une coupe finale pourrait être pratiquée si la régénération préétablie a la composition recherchée et si elle est suffisamment haute, dense, bien répartie et libre de croître pour être reconnue comme établie. TUBBS (1977b) considère qu'il doit y avoir au moins 12 000 semis (hauteur de 60 à 120 cm) ou 2 500 gaules (DHP de 3,8 à 11,4 cm) bien répartis et libres de croître à l'hectare; NYLAND (2002) partage cet avis pour les semis. MARQUIS *et al.* (1992) recommandent de dénombrer de 10 à 50 semis de cerisier tardif ou de 10 à 60 semis de chênes et d'atteindre un total de 15 à 200 semis par placette de 1,83 m de rayon (10,5 m², 950 placettes/ha) pour reconnaître la régénération établie en prenant en compte la densité de cerf de Virginie. Un coefficient de distribution (placettes de 1,83 m de rayon) de 70 % pour des placettes pourvues d'au moins cinq tiges acceptables¹ d'environ 90 cm de haut assurerait un bon succès de nos feuillus nobles, même en présence d'une forte densité de cerfs (NYLAND 2002). En Ontario, il est recommandé d'atteindre un coefficient de distribution de 80 à 90 % de tiges d'au moins un mètre dans les principales essences ciblées², conjugué à au moins 70 à 80 % de tiges libres de croître.

L'érable à sucre et le bouleau jaune peuvent être reconnus comme établis lorsqu'ils ont atteint une hauteur d'environ 60 à 120 cm, puisque leur système racinaire est alors bien installé dans le sol minéral (HANNAH 1988). Bien qu'il semble préférable d'appliquer la coupe finale lorsque la régénération a atteint 60 à 120 cm de haut, il est possible d'attendre jusqu'à 4,5 m pour satisfaire des exigences esthétiques (TUBBS 1977b). Plus la régénération est haute, moins elle est flexible et plus il est difficile d'abattre des tiges pourvues de grosses cimes tout en limitant les dommages à la régénération (SMITH *et al.* 1997). La coupe finale devrait être pratiquée en hiver afin d'atténuer les dommages à la régénération, bien qu'une perte de 50 % puisse être acceptable à ces densités initiales (HANNAH 1988).

Puisque les objectifs de régénération pour pratiquer la coupe finale sont rarement atteints dans les peuplements naturels, il est alors préférable d'exécuter au préalable une coupe d'ensemencement. Par exemple, le suivi de 56 peuplements traités par coupe finale (sans coupe d'ensemencement au préalable) dans la région de Thurso au Québec après 2 à 9 ans a démontré que la régénération était fortement dominée par des espèces tolérantes à l'ombre préétablies (érable à sucre, hêtre à grandes feuilles et

¹ Tiges acceptables : tiges d'essences recherchées, de belle forme, vigoureuses et libres de croître.

² Érable à sucre, chêne rouge, bouleau jaune, tilleul d'Amérique, frêne blanc et cerisier tardif.

sapin baumier), bien que les peuplements coupés comprennent une forte proportion d'espèces moins tolérantes à l'ombre (bouleau jaune, tilleul d'Amérique, pin blanc, chêne rouge, etc.) de plus grande valeur commerciale (WINGET 1968).

Une coupe d'ensemencement qui conserverait un recouvrement au sol des cimes de 60 % réparti uniformément créerait des conditions optimales pour l'érable à sucre (HANNAH 1988, OMNR 2004). Pour la plupart des feuillus nobles, ces conditions idéales équivalent généralement à 9-11 m²/ha de gros bois (NYLAND 2002). Cependant, la surface terrière résiduelle peut atteindre 21 m²/ha si l'ouverture du couvert est propice au développement d'une compétition agressive (NYLAND 2002). Leak *et al.* (1987) recommandent de maintenir 80 % de recouvrement (14-16 m²/ha) à la coupe d'ensemencement dans des érablières. Cette première coupe moins forte (maintenir 80 % de recouvrement au sol des cimes), destinée à régénérer l'érable à sucre, pourrait être suivie d'une coupe secondaire d'un recouvrement de 50 % et conjuguée à une coupe finale plus tardive si la régénération atteint jusqu'à 4,5 m (TUBBS 1977b, HANNAH 1988). La hauteur minimale cible pour pratiquer la coupe finale (60-120 cm) est généralement atteinte 3 à 8 ans après la coupe d'ensemencement. Le recouvrement au sol des cimes peut varier de 30 à 80 % pour régénérer le bouleau jaune en autant que l'humus soit légèrement perturbé par un scarifiage sur au moins 50 % de la surface (LEAK *et al.* 1987, HANNAH 1988, OMNR 2004). La préparation de terrain doit non seulement permettre la création d'un lit de germination favorable, mais aussi de réduire la compétition préétablie (y compris les gaules de hêtre, selon le cas) en l'arrachant ou en la tuant avec des phytocides (HANNAH 1988, OMNR 1998). Aux endroits plus secs ou ayant davantage de compétition, il est préférable de viser un recouvrement plus élevé (au moins 60 %) après la coupe d'ensemencement (HANNAH 1988), puis d'effectuer une coupe secondaire si l'accroissement en hauteur est faible (OMNR 1998).

Les populations de cerf de Virginie peuvent causer de sérieux problèmes de régénération des feuillus nobles, particulièrement dans le cas du bouleau jaune, dans les coupes progressives (KELTY et NYLAND 1981, HANNAH 1988, OMNR 1998, NYLAND 2002). C'est pourquoi il est recommandé de viser une densité élevée de régénération, d'effectuer les coupes progressives sur des superficies assez grandes d'un seul tenant (ex. : 16 ha), de maintenir les populations de cerfs à huit ou moins au km² et d'éviter de miser sur une régénération monospécifique en bouleau jaune (HANNAH 1988, NYLAND 2002). Les effets du broutement par le cerf seraient plus prononcés aux endroits où la régénération que ce dernier recherche est concentrée sur de petites superficies à l'intérieur d'un paysage pauvre en autres sources de nourriture (STOUT et LAWRENCE 1995, STOUT *et al.* 1995).

4.3.2 Composition

La composition du nouveau peuplement dépend de celle du peuplement initial, du site et des diverses modalités des interventions de régénération (scarifiage, destruction mécanique ou chimique des tiges préétablies en sous-bois, degré de fermeture du couvert, synchronisme avec les années semencières, regarni ou enrichissement, etc.) et d'éducation (dégagement mécanique ou chimique, éclaircie précommerciale, etc.) en jeune âge (SMITH *et al.* 1997, NYLAND 2002). Les mesures de contrôle de la composition sont déterminées sur chaque prescription en fonction des objectifs de production et de l'autécologie des espèces présentes sur le site. Bien que les connaissances pour régénérer naturellement les peuplements et atteindre la composition désirée soient suffisantes, le défi actuel est de trouver la volonté et les ressources pour les mettre en application (ANDERSON *et al.* 2001).

4.3.3 Accroissement du peuplement résiduel

L'accroissement du peuplement résiduel (les semenciers) est un aspect de moindre importance lors de la coupe d'ensemencement d'un régime à structure équiennne, mais il peut permettre l'utilisation plus efficace d'un site en augmentant le volume produit (SMITH *et al.* 1997). Cet accroissement est rarement rapporté, mais il se comparerait à l'accroissement net, sans le recrutement, observé dans des coupes de jardinage de forte intensité et d'une surface terrière résiduelle équivalente. De même, l'accroissement est favorisé par le maintien de tiges vigoureuses, par un prélèvement restreint de façon à réduire les risques de pertes de tiges exposées soudainement à la lumière et par l'atteinte d'une surface terrière résiduelle d'environ 14 à 22 m²/ha comme le jardinage (voir Section 3.3.3). Cependant, il faut garder à l'esprit que l'objectif d'une coupe d'ensemencement est d'abord de promouvoir la régénération du peuplement plutôt que l'accroissement du peuplement résiduel; il n'est donc pas nécessairement souhaitable d'atteindre une surface terrière résiduelle aussi élevée que 22 m²/ha, par exemple, d'autant plus si une opération de scarifiage est prévue.

4.3.4 Qualité des bois

L'évolution de la qualité des tiges résiduelles est peu rapportée dans les suivis de coupes d'ensemencement. Cependant, elle pourrait être comparable à celle observée dans des coupes de jardinage de forte intensité et de surface terrière résiduelle équivalente (voir Section 3.3.4). Le fait de récolter le peuplement résiduel (coupe finale) composé principalement de tiges à maturité quelques années après la coupe d'ensemencement (généralement moins de 10 ans) a des effets limités sur l'évolution de la qualité. En effet, ces tiges ont déjà atteint une forme stable, elles sont moins propices au développement de branches adventives (EYRE et ZILLGITT 1957). Néanmoins, la formation de telles

branches aurait peu d'effets dégradants sur la qualité de la tige en raison de leur petit diamètre au moment de la récolte. Elles se sont développées généralement sur une période d'au plus 10 ans et elles affectent surtout la qualité du bois dans les dosses.

L'une des préoccupations les plus importantes en regard de la qualité est celle du nouveau peuplement. Une densité élevée, tout en jouant le rôle d'un élagage naturel, favorise l'éducation naturelle des tiges du peuplement en exerçant contre ces dernières une compétition latérale et en minimisant la formation de fourches basses (GODMAN et BOOKS 1971, NYLAND 2002). Ainsi, les guides sylvicoles recommandent normalement d'éliminer les tiges beaucoup plus hautes que la nouvelle cohorte de régénération (ex. : éliminer les gaules, perches et fûts pour installer des semis) et d'assurer la libération d'une nouvelle cohorte très dense, comme discuté à la section 4.3.1 (TUBBS 1977b, LEAK *et al.* 1987, MARQUIS *et al.* 1992, OMNR 1998, NYLAND 2002). L'exécution d'une coupe finale, sans coupe d'ensemencement préalable, dans des érablières libère généralement un jeune peuplement composé de tiges défectueuses d'érable à sucre ou de hêtre à grandes feuilles (WINGET 1968).

4.4 Modalités d'application

Les deux principaux procédés de régénération en coupes progressives sont en une et deux étapes.

4.4.1 Procédé de régénération en une étape

1. La coupe finale d'un procédé de coupes progressives devrait être appliquée lorsqu'il y a une cohorte dense de semis (60-120 cm de hauteur), ou une cohorte dense de gaules ayant une hauteur comparable, bien distribuée, composée de tiges d'espèces et de qualité désirées lesquelles sont libres de croître¹. L'évaluation de la présence (*stocking*) de régénération feuillue établie devrait être notée seulement lorsqu'il y a, sur des placettes d'environ 1,83 m de rayon (10,5 m², 950 placettes/ha), au moins deux à cinq tiges libres de croître, de qualité et d'essences désirées d'au moins 60 cm de hauteur². Le coefficient de distribution ainsi calculé devrait atteindre au moins 70 à 90 %. La densité minimale de tiges d'essences marchandes devrait atteindre environ 12 000 à l'hectare au stade semis (60-120 cm) ou 5 000 au jeune gaulis (1-3 cm) ou 2 500 avec des gaules et perches de 4 à 11 cm.

¹ Notion de libre de croître évaluée en faisant abstraction de la présence des tiges du couvert résiduel lesquelles seront éventuellement récoltées.

² Pour se rattacher à des normes existantes (MRNF 2005), cela pourrait être des placettes de 1,69 m de rayon (9 m², 1 100 placettes/ha) ou 2 m de rayon (12,5 m² ou 800 placettes/ha). Pour des placettes plus grandes comme celles de 2,82 m de rayon (25 m², 400 placettes/ha), il faudrait au moins cinq à treize tiges libres de croître, de qualité et d'essences recherchées d'au moins 60 cm de hauteur pour reconnaître l'établissement (*stocking*) d'une régénération de feuillus dans la placette. Pour des placettes aussi petites que 4 m²/ha, la présence d'une à deux tiges libres de croître, de qualité et d'essences recherchées pourrait être suffisante pour les espèces feuillues (à confirmer).

2. Toutes les tiges qui appartiennent à la cohorte précédente (grosses gaules, perches, fûts) sont abattues ou éliminées tout en protégeant au maximum la régénération (abattage directionnel, coupes d'hiver, sentiers balisés pour la machinerie, etc.). Cependant, quelques tiges à l'hectare peuvent être conservées pour atteindre des objectifs autres que sylvicoles (faune, biodiversité, etc.).
3. Effectuer des suivis après coupe pour vérifier l'envahissement des espèces compétitives très agressives (besoin de dégager ou de nettoyer) ou la perte des essences recherchées à la suite de changements soudains des conditions environnementales (besoin de remettre en production).

4.4.2 Procédé de régénération en deux étapes

1. La coupe d'ensemencement d'un procédé de coupes progressives peut être exécutée lorsque le peuplement, régénéré de façon insuffisante ou inadéquate (voir Section 4.3.1), est assez mûr pour produire des semences en abondance et assez dense pour pouvoir conserver le couvert partiel désiré après la coupe.
2. La coupe d'ensemencement doit atteindre le taux ciblé de recouvrement au sol des cimes selon l'espèce (généralement environ 40 à 60 %; 60 % pour l'érable à sucre et 50 à 60 % pour le bouleau jaune – OMNR 2004) et conserver suffisamment de semenciers des espèces recherchées. Pour le bouleau jaune, un minimum de dix tiges semencières bien réparties à l'hectare serait suffisant (MARQUIS 1969). Les tiges des étages inférieurs (gaules, perches), celles qui risquent de mourir avant la récolte finale et celles des espèces ou individus dont les semences ne sont pas recherchées doivent être récoltées en priorité. La coupe des espèces non recherchées est parfois recommandée (OMNR 2004) même si certaines ont une forte propension à drageonner (peupliers) ou à rejeter (érable rouge) après coupe. Cependant, OMNR (2004) recommande aussi l'application de phytocides pour les éliminer par la suite. Lorsque les phytocides ne sont pas reconnus comme méthode de préparation de terrain ou de dégagement, il serait peut-être préférable de restreindre la coupe de ces espèces ayant une forte propension à rejeter ou à drageonner au moment de la coupe d'ensemencement. Cela pourrait se faire en pratiquant une coupe préparatoire de faible intensité avant la coupe d'ensemencement de façon à stimuler les rejets et dragons de ces espèces, puis à les laisser mourir sous couvert ou à les couper peu de temps après. La conservation des tiges de ces espèces dans le couvert d'abri lors de la coupe d'ensemencement pourrait être envisagée. Ces deux propositions devront être expérimentées.
3. Selon les espèces recherchées et les conditions de site, pratiquer des interventions de préparation de terrain pour promouvoir la germination ou réduire la compétition.

4. Des suivis après coupe devront être effectués afin d'évaluer l'envahissement des espèces compétitives très agressives (besoin de dégager ou de nettoyer) ou l'échec de l'installation des essences recherchées (besoin de reprendre la préparation de terrain ou d'effectuer une coupe secondaire pour ouvrir davantage le couvert).
5. Les modalités d'exécution de la coupe finale sont décrites dans la section précédente (voir Section 4.4.1).

4.5 Effets sylvicoles escomptés

Si le nouveau peuplement est libre de croître et s'il occupe tout le site, son rendement et la durée de sa période de révolution peuvent alors être associés à ceux prévus dans les tables de rendement pour les peuplements de structure équiennne d'âge et de composition comparable (SMITH *et al.* 1997, NYLAND 2002). L'aspect le plus incertain est la composition du peuplement (SMITH *et al.* 1997). L'atteinte de la composition ciblée nécessite des suivis réguliers et l'exécution, au besoin, de travaux correctifs (SMITH *et al.* 1997). De plus, l'absence d'arbres à maturité sur le site, après la coupe finale, réduit la capacité de rétablissement naturel d'un nouveau peuplement advenant sa destruction à la suite de conditions environnementales extrêmes, comme un verglas, un gel, une sécheresse, une tempête de vent ou une épidémie (ZARNOVICAN 1998, 2001; NYLAND 2002). Ce risque est d'autant plus élevé lors de la formation d'un nouveau peuplement de composition monospécifique, en particulier s'il est constitué d'essences plus vulnérables aux conditions environnementales difficiles, tel le bouleau jaune (ZARNOVICAN 1998, 2001).

4.6 Aspects financiers

L'exécution d'une coupe progressive en une seule étape (coupe finale) est logiquement le procédé de régénération du régime de la futaie équiennne le moins dispendieux, puisque le volume récolté est élevé et que les efforts d'interventions de régénération sont minimales. En pratique, ses conditions d'exécution se rencontrent rarement dans les peuplements à l'étude, notamment pour le bouleau jaune. De plus, il faut prendre en considération qu'une coupe finale produira nécessairement une récolte importante de tiges de qualité pâte surtout si elle est faite dans un peuplement de structure irrégulière (présence de tiges de petits diamètres) ou dans un peuplement comprenant une forte proportion de tiges de mauvaise qualité.

Dans le processus à deux étapes, la coupe d'ensemencement génère surtout des perches, des petits bois et des bois de mauvaise qualité (SMITH *et al.* 1997). De plus, il faut abattre (ou écraser avec la machinerie) des gaules dispersées qui n'ont pas de valeur marchande et prévoir un marquage des tiges

qu'il faut conserver ou abattre (OMNR 2004). Selon les conditions du site et les espèces recherchées, des travaux de préparation de terrain ou de dégagement devront être prévus afin d'assurer une régénération abondante et libre de croître. Comme la composition de la régénération est rarement parfaite du premier coup, il faut effectuer des suivis et prévoir que des travaux supplémentaires seront nécessaires, dans certains cas, pour assurer la régénération adéquate du site (SMITH *et al.* 1997, NYLAND 2002). Le défi sylvicole de régénérer adéquatement les peuplements de feuillus nobles est davantage une question de volonté et de moyens financiers que de connaissances scientifiques (ANDERSON *et al.* 2001). La coupe des arbres résiduels, lesquels sont normalement les plus gros et les plus beaux, lors de la coupe finale devrait améliorer la rentabilité de la coupe progressive en deux étapes.

4.7 Aspects relatifs à l'aménagement écosystémique

La coupe à blanc, la coupe avec réserve de semenciers et les coupes progressives décrites dans les sections précédentes ne permettent pas de maintenir les caractéristiques structurales des peuplements d'avant coupe (MITCHELL *et al.* 2003). Par exemple, les semenciers laissés lors de la coupe d'ensemencement seront éventuellement récoltés si la régénération s'est établie. De plus, la coupe avec réserve de semenciers permettra la rétention de certains semenciers pour une bonne période, mais ces derniers ne correspondent pas nécessairement aux critères recherchés, puisqu'ils sont choisis pour des raisons sylvicoles et économiques plutôt que biologiques.

Des modifications pourraient être apportées afin d'incorporer un minimum de tiges à vocation faunique, de chicots et de billes au sol (MITCHELL *et al.* 2003). La coupe progressive irrégulière (SMITH *et al.* 1997, voir Chapitres 5 et 6) pourrait être une avenue en autant que les semenciers laissés n'aient pas une répartition spatiale régulière sur le terrain et qu'ils correspondent aux caractéristiques recherchées (tiges de dimensions variées, chicots, arbres fauniques).

Le recours aux procédés de régénération de la futaie équienne afin d'imiter, dans une certaine mesure, les perturbations naturelles à l'échelle du paysage semble discutable dans les peuplements étudiés. En effet, comme mentionné précédemment (voir Section 3.7), la dynamique naturelle de ces forêts est plutôt dominée par des perturbations par trouées plutôt que par peuplement entier (RUNKLE 1981, 1982, 1990; LORIMER 1977; PAYETTE *et al.* 1990; LORIMER et FRELISH 1994; COMITÉ CONSULTATIF SCIENTIFIQUE DU MANUEL D'AMÉNAGEMENT FORESTIER 2003). Comme certaines perturbations ne peuvent être contrôlées, il n'est pas nécessaire de les dupliquer (SEYMOUR *et al.* 2002, ANGERS *et al.* 2005). Toutefois, le recours au régime de futaie équienne est possible en l'absence de certaines perturbations qui peuvent être contrôlées (ex. : feu) et si le but est de maintenir une certaine superficie de peuplements de début de succession à l'échelle du paysage. Il est aussi possible de retenir ce régime pour la production intensive

de matière ligneuse dans le but d'augmenter la production et de réduire les besoins de superficies à aménager. Cette réduction du besoin de superficies à aménager permettrait, par exemple, de conserver de vieilles forêts ou encore d'allonger les rotations de certaines autres.

Chapitre cinq

Régime de la futaie biétagée

Le régime de la futaie biétagée (ou futaie irrégulière par pieds d'arbres – DUBOURDIEU 1997) s'apparente à celui de la futaie équienne régénérée par coupe avec réserve de semenciers ou par coupes progressives, à la différence que des tiges semencières sont maintenues sur pied sur une période plus longue que le cinquième de la période de la révolution (HANNAH 1988, MILLER *et al.* 1997, NYLAND 2002). Si la régénération est bien établie, le peuplement résiduel est maintenu assez ouvert pour stimuler la croissance de cette régénération. Ainsi, le peuplement résiduel s'apparente à celui observé après une coupe avec réserve de semenciers ou après une coupe secondaire d'un processus de coupes progressives, mais le processus est normalement appelé **coupe progressive irrégulière uniforme** (NYLAND 2002); BENNETT et ARMSTRONG (1981) ont nommé *sylviculture d'assurance* leur essai en Pennsylvanie avec du cerisier tardif et des érables. Elle est parfois pratiquée de façon non intentionnelle lorsque la coupe finale des semenciers d'une coupe avec réserve de semenciers n'est pas exécutée pour des raisons opérationnelles ou monétaires (SMITH *et al.* 1997).

Le maintien de telles tiges peut être justifié pour diverses raisons, notamment pour maintenir des fonctions écologiques (ex. : habitats, voir Section 4.7), conserver des sources de semences en cas de perte de régénération, maintenir un couvert protecteur (ex. : pour contrer le charançon du pin blanc), améliorer la qualité esthétique, etc. (SMITH *et al.* 1989, MILLER et SCHULER 1995, MILLER *et al.* 1997, SMITH *et al.* 1997, OMNR 1998, NYLAND 2002). En effet, le maintien de semenciers sur une plus longue période permet de mieux satisfaire des objectifs d'aménagement écosystémique que le régime de futaie équienne (NYLAND 2002). C'est le régime sylvicole préconisé en Ontario pour régénérer les pinèdes blanches, il s'inspire de la dynamique naturelle des feux (OMNR 1998).

Les principales caractéristiques recherchées pour les tiges du peuplement résiduel sont celles des tiges semencières du régime de la futaie équienne (voir Section 4.2.2) ainsi que (NYLAND 2002) :

- la capacité de vivre encore 50 à 80 ans;
- la présence d'une tige principale sans fourche importante;
- la situation dans l'étage dominant ou parmi les plus hautes tiges codominantes;
- une inclinaison inférieure à 10° par rapport à la verticale;
- une réduction volumétrique de moins de 15 % afférente à une courbure, un coude ou une carie;
- l'absence de branches principales mortes ou mourantes dans la partie supérieure de la cime;
- l'absence de signes de développement de branches adventives sur le bas du tronc;
- une espèce non sujette au dépérissement ou à la mortalité à la suite d'une forte exposition à la lumière.

Il est possible de bénéficier de l'accroissement des essences et des tiges résiduelles qui tolèrent bien l'isolement et la pleine exposition à la lumière (MILLER *et al.* 1997, SMITH *et al.* 1997, OMNR 1998, NYLAND 2002). Parmi les essences les plus favorables à se développer dans le peuplement résiduel, l'érable à sucre et le pin blanc sont moins susceptibles de mourir ou de se dégrader que le bouleau jaune (EYRE et ZILLGITT 1953, LEAK *et al.* 1997, OMNR 1998, NYLAND 2002), le bouleau à papier (ROY *et al.* 2001) le cerisier tardif (MILLER *et al.* 1995) ou l'érable rouge. D'un point de vue financier, ce régime est très défavorable aux essences susceptibles de mourir ou de se dégrader dans ces conditions puisque les semenciers sont normalement des tiges de haute valeur.

L'application de ce régime sylvicole aux feuillus nobles à l'étude est plutôt rare et peu cité dans la littérature. Des expérimentations sur des sols profonds des Appalaches en Virginie Occidentale ont été effectuées avec notamment le tulipier de Virginie, des chênes (rouge, blanc et *Q. prinus* L.), du cerisier tardif et du tilleul d'Amérique pour laisser 31-46 semenciers à l'hectare, soit environ 4-7 m²/ha sur les 27-41 m²/ha présents à l'origine (SMITH *et al.* 1989; MILLER et SCHULER 1995; MILLER *et al.* 1997, 2006). Toute la régénération de 1 pouce (2,54 cm) et plus à hauteur de poitrine a été coupée et le couvert résiduel couvrait 19 % de la superficie. Sur une période de dix ans, les quatre peuplements résiduels ont connu un accroissement net de 0,14 m²/ha/an. Les tiges de chêne rouge et de tilleul d'Amérique ont connu un accroissement diamétral significativement plus élevé que des tiges comparables dans des témoins, mais celles de cerisier tardif n'ont pas réagi. La mortalité sur dix ans a atteint 20 % pour le

cerisier tardif et 18 % pour le tilleul d'Amérique, comparativement à 9 % pour le chêne rouge et une moyenne toutes essences de 10 % sur vingt ans. Des branches adventives se sont développées sur la première section de cinq mètres (16 pieds) au cours des deux premières années et sur la seconde section au cours des dix premières années, moment où la régénération a atteint 10,7 mètres (35 pieds), ce qui a créé de l'ombrage sur les troncs. Un total net de 12 % des billes de pied a été déclassé sur une période de dix ans à cause des branches adventives. La composition de la régénération après dix et vingt ans était comparable à des coupes totales exécutées dans la région; elle était dominée par des espèces intolérantes à l'ombre (notamment le cerisier tardif et le tulipier de Virginie) accompagnées d'une variété d'espèces différentes. Le chêne rouge était beaucoup moins présent que dans les peuplements d'origine. Dans un suivi de deux à cinq ans de pratiques opérationnelles de ce traitement sur vingt autres peuplements dans la même région, MILLER *et al.* (1997) ont observé un taux de mortalité moyen de 8 %. Le classement de la bille de pied des érables à sucre et rouge a été réduit de seulement 7 et 2 %, respectivement, pour les semenciers de 29 à 42 cm (12-16 pouces) et exempt sur des plus grosses tiges.

MILLER *et al.* (1997, 2006) recommandent la pratique des modalités suivantes :

- choisir les arbres résiduels selon les objectifs d'exécution de ce régime, par exemple :
 - o ensemencement : sélectionner les meilleurs semenciers;
 - o production de bois : voir les recommandations de NYLAND (2002) ci-haut;
 - o habitats fauniques : arbres fruitiers, arbres à cavité;
- choisir une bonne équipe de récolte et exécuter les opérations durant la saison hivernale afin de réduire les dommages aux tiges résiduelles lors de la coupe;
- éliminer les tiges résiduelles près des sentiers de débardage si les racines risquent d'être fortement endommagées, particulièrement près des jetées;
- maintenir une surface terrière résiduelle d'environ 4,6 à 9,2 m²/ha;
- couper toutes les tiges de la classe de DHP de 2 cm et plus, sauf celles des arbres résiduels recherchés. La coupe de ces tiges élimine l'ombrage qu'elles créent au sol et favorise la régénération des espèces intolérantes à l'ombre recherchées;
- éviter de pratiquer la coupe d'ensemencement dans ce régime avant qu'au moins la moitié de la période de révolution du peuplement soit atteinte.

Il est important de signaler que de nombreux aspects du régime de la futaie équiennne sont applicables aussi à la futaie biétagée, particulièrement en ce qui a trait aux modalités d'exécution. Notons, par exemple, l'importance d'assurer un suivi de la régénération et de prévoir des mesures correctives en cas

d'échec, comme la préparation de terrain, le regarni, le dégagement, etc. Tout comme dans le régime de la futaie équienne, les populations de cerf de Virginie peuvent causer des problèmes de régénération, notamment avec le bouleau jaune et la pruche de l'Est (voir Section 4.3.1).

Chapitre six

Régime de la futaie par groupes

6.1 Principes de base

Le régime de la futaie par groupes ou par trouées ou par bouquets (DUBOURDIEU 1997) est basé sur le principe qu'un peuplement est régénéré et éduqué sous la forme d'un ensemble de petits peuplements de structure équiennne, mais d'âges ou de stades de développements différents (écart d'âges d'au moins 20 % de l'âge de révolution). La compétition entre les arbres d'un groupe à structure équiennne se fait principalement à la même hauteur et le degré de cette compétition influence fortement l'éducation des tiges (NYLAND 2002). Cependant, la futaie par groupes se distingue de la futaie équiennne car les groupes adjacents, de hauteur généralement différente, ont aussi un effet sur le développement d'un groupe, en particulier au stade de régénération.

La conservation de groupes d'arbres sur une longue période peut être justifiée pour diverses raisons, notamment celles de maintenir des fonctions écologiques (ex. : habitats), conserver des sources de semences en cas de perte de régénération, maintenir un effet de bordure, profiter de la structure en groupes du peuplement¹, etc. (NYLAND 2002). La conservation de groupes d'arbres sur une plus longue période permet de mieux satisfaire des objectifs d'aménagement écosystémique que le régime de la

¹ Par exemple, certains peuplements, particulièrement en forêt mixte, sont composés d'un amalgame de petits groupes distincts en composition et en âge dans une matrice par pieds d'arbres laquelle est souvent composée d'un mélange d'espèces et de classes d'âge. L'application de procédés de régénération de la futaie par groupes permettrait de créer, à chaque rotation, une certaine proportion de trouées pour régénérer les portions à maturité dominées par les essences les moins tolérantes à l'ombre, tout en éduquant le reste du peuplement entre les groupes.

futaie équiennne (NYLAND 2002). D'ailleurs, ce régime a un potentiel intéressant dans un contexte d'aménagement écosystémique pour les peuplements mixtes dominés ou sous-dominés par le bouleau jaune. En effet, ces peuplements seraient régis par une dynamique de petites trouées endogènes (mortalité d'un arbre ou d'une groupe d'arbres) lesquelles peuvent s'agrandir sous l'effet de facteurs exogènes comme le vent ou les épidémies d'insectes (COMITÉ CONSULTATIF SCIENTIFIQUE DU MANUEL D'AMÉNAGEMENT FORESTIER 2003). Cette dynamique pourrait inspirer des modalités de futaie par groupes.

La dimension des ouvertures varie selon les exigences des essences que l'on désire régénérer. Un diamètre d'ouverture de une à deux fois la hauteur des arbres adjacents est généralement recommandé pour ce régime (SMITH *et al.* 1997; NYLAND 1997, 2002). À noter que lorsque les conditions créées dans les groupes s'approchent de celles de la coupe à blanc (diamètre de plus de deux fois la hauteur des arbres) et que ces groupes atteignent une surface d'un hectare, alors il peut être question de futaie irrégulière par parquets (DUBOURDIEU 1997), ce qui s'apparente aux coupes de jardinage par parquets du Québec (MRNFP 2003). Les conditions environnementales créées dans les parquets sont comparables à celles observées dans de petites coupes à blanc (MURPHY *et al.* 1992, LESSARD *et al.* 1999) et ne sont donc pas très propices aux espèces étudiées (voir Section 4.2.1).

6.2 Traitements sylvicoles

Les traitements sylvicoles applicables sont dérivés principalement de ceux de la futaie équiennne (Section 4.2), mais chaque traitement ne peut être appliqué sur toute la superficie à un même moment puisque le peuplement est composé de groupes à des stades de développement différents. Néanmoins, de nombreux aspects du régime de la futaie équiennne sont applicables aussi à la futaie par groupes, particulièrement en ce qui a trait aux modalités d'exécution. Par exemple, il est important d'assurer un suivi de la régénération afin d'être en mesure de mettre en place des mesures correctives en cas d'échec, comme la préparation de terrain, le regarni, le dégagement, etc.

Deux variantes sont généralement associées à la futaie par groupes en fonction de l'étendue de la période de régénération et du nombre de classes d'âge (ou stades de développement) : la coupe progressive irrégulière par groupes et la coupe de jardinage par trouées ou par groupes.

6.2.1 Coupe progressive irrégulière par groupes

La coupe progressive irrégulière par groupes s'apparente à la coupe progressive par groupes du régime de la futaie équiennne, à la différence que la coupe finale des groupes résiduels est effectuée sur plus d'un cinquième de la période de révolution (HANNAH 1988, SMITH *et al.* 1997, NYLAND 2002). Dans les

groupes qui ne sont pas coupés à blanc, il est possible de pratiquer une coupe préparatoire ou une coupe d'amélioration. La régénération du peuplement est obtenue par des prélèvements irrégulièrement répartis dans l'espace et sur une longue période de temps. Cette coupe diffère de celle de jardinage car l'atteinte d'une structure équilibrée du peuplement n'est pas recherchée (FOURCHY 1952). La coupe progressive irrégulière peut être appliquée pour favoriser l'installation de la régénération tout en maintenant la structure des peuplements irréguliers et restaurer les attributs des peuplements lorsque ces caractéristiques ont été altérées par les coupes passées. Parmi les variantes originales, celle développée en Allemagne se caractérise par la création de groupes ou de trouées qui sont élargis systématiquement dans le temps, alors qu'en Suisse la récolte par groupes est effectuée plus librement, sans contraintes fixes d'espace et de durée de révolution ou de période de régénération (FOURCHY 1952). Les interventions sylvicoles sont ajustées aux particularités biologiques des essences, de la station et aux exigences de l'éducation des peuplements.

Selon NYLAND (2002), la première coupe (coupe d'ensemencement) crée plusieurs trouées dispersées d'un diamètre qui pourrait être équivalent à la hauteur des tiges dominantes. Cette opération crée des conditions environnementales propices à la régénération d'une nouvelle cohorte. Les trouées sont élargies lorsqu'elles sont régénérées (y compris la bordure de forêt adjacente aux trouées). Cette deuxième intervention a comme effet d'augmenter la pénétration de la lumière dans les trouées établies lors de la première coupe, de libérer la partie adjacente pourvue d'une régénération préétablie et de récolter les tiges adjacentes aux trouées, lesquelles sont les plus sujettes à se dégrader à la suite de la première intervention (exposition soudaine). Il est également possible d'intervenir en créant de nouvelles trouées à chaque rotation. Les trouées finiront par se rejoindre ultimement pour couvrir l'ensemble de la surface du peuplement. Des îlots intacts ou soumis à un prélèvement partiel peuvent être préservés dans un objectif d'aménagement écosystémique (voir Section 6.4). Lorsque le peuplement à traiter présente des trouées naturelles, il devient alors opportun de les utiliser comme noyau pour créer une trouée ou d'élargir ces trouées existantes, à la condition que ces trouées soient déjà bien régénérées.

Il existe peu d'expérimentations de ce régime sylvicole en Amérique du Nord dans les peuplements à l'étude. Dans la forêt acadienne (sapinière mixte), SEYMOUR (2004) préconise la création de trouées variant de 0,1 à 0,2 ha lesquelles seraient élargies au cours de cinq interventions consécutives, à chaque 10 ans, suivies d'un arrêt des interventions sur une période de 60 ans. L'intervalle de retour serait de 100 ans. Ce régime aurait également pour objectif la rétention de 10 % de la surface en tiges sur pieds.

6.2.2 Coupe de jardinage par trouées ou par groupes d'arbres

La coupe de jardinage par trouées est caractérisée par la présence d'au moins trois groupes présents à des classes d'âge ou à des stades de développement différents. Ces groupes couvrent des superficies équivalentes (notion d'équilibre). Les trouées sont créées à chaque rotation et elles s'ajoutent sur une période équivalente à une révolution d'un peuplement de structure équiennne de composition semblable (LEAK et FILIP 1977; LEAK et GOTTSACKER 1985, LEAK 1999), généralement jusqu'à ce que la surface soit complètement couverte. Cette coupe peut se pratiquer en prélevant des tiges uniquement dans les trouées. Par contre, il est souvent recommandé d'effectuer un prélèvement entre les trouées (éclaircie commerciale) afin d'augmenter la production du peuplement résiduel (LEAK et FILIP 1977, LEAK et GOTTSACKER 1985, LEAK 1999) ou de promouvoir l'installation d'espèces tolérantes à l'ombre (coupe préparatoire ou d'ensemencement). Selon SCHÜTZ (1997), l'attribution du terme « jardinage » à ce traitement ne fait « que semer une grande confusion dans les esprits » puisqu'il s'agit d'un type de développement des arbres, en collectif, et non pas en un mélange d'âges différents.

La sélection des tiges à marquer n'est pas nécessairement basée sur leur maturité ou leur faible vigueur ni sur leur agrégation naturelle. L'objectif est de créer des ouvertures d'une certaine dimension dans le but de favoriser la régénération des essences recherchées. Bien qu'une attention particulière doive être accordée à la formation de trouées à partir des tiges non vigoureuses ou à maturité, il faut récolter des jeunes tiges d'avenir fréquemment, car le nombre de tiges arrivées à maturité ou défectueuses d'un même groupe est souvent insuffisant pour créer des trouées d'un diamètre supérieur à une hauteur d'arbre. Afin d'éviter un prélèvement trop important, il est généralement recommandé de minimiser le prélèvement entre les trouées (LEAK et FILIP 1977, LEAK et GOTTSACKER 1985).

La gestion des peuplements dans le temps constitue un des inconvénients de ce traitement. En effet, certains auteurs (ROACH 1974, LEAK et FILIP 1977, MURPHY *et al.* 1992, SMITH 1995) considèrent que cette coupe est difficilement praticable dans le temps puisque l'ajout de trouées à chaque rotation crée une mosaïque de petites surfaces équiennes. Il en découle que le peuplement ainsi formé ne correspond plus à la structure naturelle inéquienne des peuplements et il devient difficile de l'aménager et de le gérer selon les principes de base du régime de la futaie inéquienne. Dans cette situation, il faudrait alors régulariser la surface des ouvertures en utilisant les principes de l'aménagement à structure équienne. La répartition spatiale complexe des trouées peut, selon ces auteurs, occasionner des problèmes de martelage en raison de la difficulté de localiser les trouées formées lors des coupes antérieures. Les essais déjà effectués en ce sens montrent, à la suite de deux rotations successives, que la visualisation et la juxtaposition des trouées deviennent ardues au moment du martelage. De plus, la création d'une mosaïque de petites surfaces équiennes pourrait générer des problèmes lors des opérations de coupe en

multipliant inutilement les sentiers de débardage nécessaires à la récolte des bouquets parvenus à maturité. En effet, les sentiers créés lors des interventions précédentes ne mènent pas nécessairement à ces bouquets.

6.3 Conditions favorables

6.3.1 Régénération

La futaie par groupes est pratiquée si des espèces peu tolérantes ou intolérantes à l'ombre sont recherchées, bien qu'une proportion significative d'essences tolérantes à l'ombre puisse être présente dans les groupes ouverts (EYRE et ZILLGITT 1953, LEAK et FILIP 1977, MILLER *et al.* 1995, LEAK 1999, LAMSON et LEAK 2000, NYLAND 2002).

EYRE et ZILLGITT (1953) ont observé, quinze ans après le jardinage par groupes, une plus forte proportion de bouleau jaune (18 %) dans les trouées d'au plus 400 m² que dans les plus grandes (9 %). Cependant, ils précisent que le bouleau jaune aurait dû être dégagé dans les trouées puisque l'érable à sucre le dépasse après 23 ans.

Quinze ans après une coupe par groupes de 784 m² (28 m x 28 m) conjuguée à l'éclaircie du peuplement résiduel (selon notre notion, cette coupe correspondrait à une coupe progressive irrégulière par groupes), à Dudswell au Québec, le bouleau jaune composait près de 16 % des gaules, autant dans les trouées que sous le couvert éclairci; ce qui était légèrement plus élevé que la proportion initiale (environ 10 %) dans le peuplement (ROBERGE 1988). L'érable à sucre était très agressif sur ce site. En effet, au lieu de créer des conditions de régénération plus favorables au bouleau jaune (ex. : scarifiage en plein), la régénération préétablie d'érable à sucre présente dans les trouées a été grandement protégée. Des résultats comparables ont été observés par ROBERGE (1987) dans une bétulaie jaune à érable au même endroit avec un traitement semblable. Pour régénérer le bouleau jaune, il est nécessaire de créer des conditions favorables à son installation et de bien identifier le potentiel des sites.

En présence des feuillus dans les Appalaches centrales de la Virginie Occidentale, il y avait abondance d'essences intolérantes à l'ombre (*Betula nigra* L., tulipier de Virginie, cerisier tardif) en plus des essences tolérantes à l'ombre habituelles (érable à sucre) dans les trouées (MILLER *et al.* 1995) dix ans après jardinage par trouées circulaires de 0,162 ha. Bien que les conditions lumineuses aient été favorables au chêne rouge, il était rarement présent dans la régénération en dépit de son abondance dans le couvert résiduel.

Tout comme dans le régime de la futaie équienne, les populations de cerf de Virginie peuvent causer des problèmes de régénération, notamment avec le bouleau jaune et la pruche de l'Est (voir Section 4.3.1).

6.3.2 Composition et structure

La proportion de la surface terrière des espèces peu tolérantes (érable rouge, bouleau jaune, frêne d'Amérique) et intolérantes à l'ombre (bouleau à papier) s'est maintenue à 30 % (LEAK et FILIP 1977, LEAK 1999) 61 ans après une coupe de jardinage par groupe (0,04 à 0,81 ha, moyenne de 0,20 ha) dans un peuplement dominé par des essences tolérantes¹ à l'ombre, à Bartlett au New Hampshire. De plus, la structure diamétrale de l'ensemble du peuplement (46 ha) se rapproche toujours d'une courbe en forme de « J inversé ».

Contrairement à celles du témoin et de la coupe de jardinage par pieds d'arbres pour lesquelles les espèces tolérantes à l'ombre s'imposent et les moins tolérantes régressent (SCHULER 2004), la diversité des espèces a peu diminué après 50 ans de coupes de jardinage par trouées en Virginie Occidentale.

6.3.3 Accroissement du peuplement résiduel

Une mortalité élevée a été observée au cours d'une période de 15 à 20 ans entre les groupes coupés dans l'érablière à bouleau jaune à Upper Peninsula. Ce qui a donné l'un des plus faibles accroissements nets parmi les traitements à l'étude, à l'exception du témoin (EYRE et ZILLGITT 1953). Le prélèvement entre les groupes avait été très faible et limité aux arbres de très faible vigueur ou qualité.

ROBERGE (1988) a observé un accroissement net sur quinze ans de 3,4 m³/ha/an dans la portion éclaircie à 26 %, comparativement à 1,6 m³/ha/an dans les trouées et 0,7 m³/ha/an dans le témoin, dans une érablière à bouleau jaune de Dudswell au Québec. Les résultats sont comparables à ceux d'une bétulaie jaune à érable sur la même période : 4,1 m³/ha/an dans la portion éclaircie à 17 %, comparativement à 1,2 m³/ha/an dans les trouées et 0,13 m³/ha/an dans le témoin (ROBERGE 1987). Des accroissements aussi élevés observés au cours des quinze premières années dans les trouées sont expliqués par le maintien de gaules et de petites perches lors de la coupe.

SCHULER (2004) a observé en Virginie Occidentale un bon accroissement annuel net dans la coupe de jardinage par trouées (prélèvement ciblé seulement dans les trouées), ce qui était significativement plus que dans le témoin et d'une valeur comparable, mais inférieure de 12 %, à celle du jardinage par pieds d'arbres. Cependant, la répartition de cet accroissement entre les quatre premières rotations de

¹ Soixante-dix pourcent en hêtre à grandes feuilles, érable à sucre, pruche de l'est et épinette rouge.

10-15 ans a révélé davantage de variabilité que les autres traitements étudiés, en sus d'une tendance à la baisse.

Bien qu'une attention particulière doive être accordée à la formation de trouées à partir des tiges non vigoureuses ou à maturité, il faut récolter des jeunes tiges d'avenir fréquemment, car le nombre de tiges arrivées à maturité ou défectueuses d'un même groupe est souvent insuffisant pour créer des trouées d'un diamètre supérieur à une hauteur d'arbre. Afin d'éviter un prélèvement trop important, il est généralement recommandé de minimiser le prélèvement entre les trouées (LEAK et FILIP 1977, LEAK et GOTTSACKER 1985). À notre avis, ces deux éléments pourraient réduire la production nette du peuplement. D'une part, la mortalité des tiges en perdition laissées sur pied à la suite du faible prélèvement à l'extérieur des trouées et également le faible accroissement des tiges résiduelles en raison de la densité élevée du peuplement causeront une baisse de production. D'autre part, la récolte des jeunes tiges de qualité dans le but de créer des trouées de dimension voulue occasionnera une baisse de production. En outre, cette baisse de production provoquerait une augmentation de la durée de la rotation. Ces hypothèses semblent confirmées par les résultats de SCHULER (2004).

6.4 Aspects relatifs à l'aménagement écosystémique

Bien que les coupes par trouées puissent se rapprocher de la dynamique naturelle par trouées, elles ne maintiennent pas ou ne créent pas nécessairement des conditions identiques aux trouées naturelles (MITCHELL *et al.* 2003). En effet, les perturbations naturelles donnent naissance à des caractéristiques comme des chicots et des troncs morts au sol. Selon la perturbation, les trouées naturelles laissent les strates herbacées et arbustives intactes lorsqu'elles sont créées par une ou plusieurs tiges mortes sur pied. Le renversement de tiges peut créer des bouleversements du sol. Lors de l'élaboration des prescriptions de coupes par trouées, il faudrait donc prendre en compte de tels attributs. Un autre élément soulevé par MITCHELL *et al.* (2003) est la différence entre la dimension des trouées issues des perturbations naturelles et celles créées par les coupes par trouées; ces dernières sont généralement plus grandes que celles observées par les perturbations naturelles. La dimension moyenne des microtrouées se situerait en moyenne à près de 40 à 360 m² dans les types forestiers semblables à ceux à l'étude (LORIMER et FRELICH 1994). Dans la prescription de coupe par trouées, il est généralement recommandé d'effectuer des trouées d'un diamètre équivalent à une à deux fois la hauteur des arbres dominants (SMITH *et al.* 1997, NYLAND 2002). Ainsi, les trouées ont généralement plus de 400 m², ce qui dépasse nettement celles observées naturellement. Des modalités particulières devraient donc être adoptées afin que l'on puisse se rapprocher davantage des trouées créées naturellement. Ainsi l'objectif serait de créer des trouées ayant davantage la forme et la dimension de celles créées par la chute ou la mort d'un ou de plusieurs arbres. En plus de la forme et de la dimension des trouées MITCHELL *et al.*

(2003), suggèrent également que la répartition spatiale soit plutôt irrégulière que systématique. Ces éléments ne sont d'ailleurs pas incompatibles avec un objectif de production ligneuse. En effet, certains auteurs (MILLER *et al.* 1995, NYLAND 2002, SEYMOUR *et al.* 2002) mentionnent que les trouées devraient être constituées à partir de groupes d'arbres sénescents ou encore peu vigoureux. On peut alors poser l'hypothèse que ces derniers aient en général une répartition plutôt aléatoire en forêt naturelle et que leur récolte puisse permettre d'atteindre les objectifs décrits précédemment.

Chapitre sept

Coupe à diamètre limite

7.1 Principes de base

La coupe à diamètre limite est fondée sur le principe de la maximisation de la rentabilité immédiate de l'intervention par la récolte d'un volume élevé concentré sur les plus gros arbres (HUTNIK 1958, REED *et al.* 1986, SMITH et MILLER 1987, ERICKSON *et al.* 1990, DWYER et KURTZ 1991, NIESE *et al.* 1995, SENDAK *et al.* 2000, NYLAND 2002, SCHULER 2004, KENEFIC *et al.* 2005). À chaque intervention, la coupe récolte les tiges dont le diamètre est supérieur à la limite généralement fixée par les attentes du rendement financier immédiat. Ce diamètre limite peut varier en fonction des variations des marchés de vente de bois et des caractéristiques du peuplement à couper. La coupe a normalement lieu lorsque le volume admissible à la coupe est suffisant pour rentabiliser l'intervention. En l'absence de marché rentable pour les bois de trituration, les tiges de faible qualité peuvent être coupées et abandonnées sur le site, annelées ou tout simplement épargnées de la coupe selon le cas. Dans ce type de récolte, la probabilité de sélection d'une tige est donc proportionnelle à son diamètre. Par conséquent, le prélèvement est fonction de la distribution des tiges des diamètres supérieurs au diamètre ciblé. Le résultat du prélèvement peut donc varier considérablement en fonction des caractéristiques de chaque peuplement.

Cette coupe est peu compatible avec un objectif de production soutenue (NYLAND 2005) et elle s'apparente davantage à une coupe d'écémage (ROBITAILLE et BOIVIN 1987, NIESE et STRONG 1992, NIESE *et al.* 1995, NYLAND 2002, KENEFIC et NYLAND 2005) qu'à un traitement sylvicole puisqu'il n'y a pas d'efforts pour régénérer les arbres à maturité ou éduquer les arbres au stade juvénile (MARQUIS 1978, NYLAND 2002); elle n'est pas destinée à créer un peuplement résiduel (SCHULER 2004, KENEFIC *et al.*

2005) pour assurer un rendement soutenu et produire des arbres de haute qualité (MILLER et SMITH 1993). D'ailleurs, cette pratique n'est pas reconnue pour les peuplements étudiés dans le cadre de la certification du *Forest Stewardship Council* (FSC CANADA 2004).

7.2 Régénération

La composition, la densité et la distribution de la régénération varient grandement à l'intérieur d'un peuplement traité par coupe à diamètre limite étant donné la répartition spatiale inégale de l'intervention (NYLAND 2002). Dans les études répertoriées sur les coupes à diamètre limite dans des peuplements de feuillus nobles ou de résineux du nord et de l'est des États-Unis, régénérer les essences commerciales recherchées n'était pas un enjeu. En effet, à Fernow (HUTNIK 1958, MCCAY et LAMSON 1980, SMITH et MILLER 1987, MILLER et SMITH 1991, WIEMANN *et al.* 2004), au Centre forestier Ford (REED *et al.* 1986, ERICKSON *et al.* 1990, BODINE 2000), à Upper Peninsula, (EYRE et ZILLGITT 1953, CROW *et al.* 1981), à Argonne (ERDMANN et OBERG 1973, NIESE et STRONG 1992, NIESE *et al.* 1995, STRONG *et al.* 1995), à Bartlett (SEDAK *et al.* 2000), à Duchesnay (ROBITAILLE et BOIVIN 1987), à la Forêt expérimentale de la corporation Mead en Ohio (HEILINGMANN et WARD 1993) et à Penobscot (SEDAK *et al.* 2003, KENEFIC *et al.* 2005), la régénération des essences commerciales est abondante dans tous les traitements. Cependant, la composition de cette régénération est variable après la coupe à diamètre limite. Des essences tolérantes à l'ombre établies sous couvert ont pu être libérées lors de la coupe (ex. : érable à sucre à Fernow et Argonne; sapin baumier à Penobscot; érable rouge en Ohio) et des essences moins tolérantes ont pu s'installer dans les ouvertures créées par la coupe à diamètre limite (ex. : bouleau jaune et cerisier de Pennsylvanie à Duchesnay; tulipier de Virginie et cerisier tardif à Fernow). Dans la région de Thurso au Québec, un suivi de 83 coupes partielles (25-60 % de prélèvement) apparentées à des coupes à diamètre limite (coupe des billes de sciage et de déroulage) effectuées avec des chevaux a démontré que la régénération était abondante et dominée principalement par le sapin baumier, l'érable à sucre et le hêtre à grandes feuilles selon les sites après 10-20 ans (WINGET 1968). La régénération des essences de plus forte valeur, comme le bouleau jaune, le tilleul d'Amérique, le chêne rouge et le frêne d'Amérique, était éparse et rare, quoique le bouleau jaune était un peu plus fréquent sur les sites plus humides. Au Québec, BOIVIN (1973) a observé, en moyenne, (1 068 placettes réparties dans 11 bassins hydrographiques et 7 groupements forestiers) que la régénération était abondante 5 à 20 ans après coupe à diamètre limite et que l'érable à sucre était généralement favorisé.

Les conditions qui facilitent la régénération dans la coupe à diamètre limite sont donc celles où des espèces recherchées vont s'installer facilement dans toutes les conditions de peuplements résiduels. Lorsque des espèces particulières et plus difficiles à régénérer sont recherchées dans la régénération (ex. : pin blanc – HUOT 1987) ou que les espèces compétitives sont très présentes et agressives

(ex. : *viburnum alnifolium* dans la bétulaie jaune), alors la coupe à diamètre limite ne crée pas nécessairement les conditions favorables à la régénération.

7.3 Composition

Les résultats de dispositifs expérimentaux observés sur une période de 10 à 45 ans indiquent que la coupe à diamètre limite maintient sensiblement la même composition lorsque les espèces sont présentes dans toutes les classes de diamètre (ERDMANN et OBERG 1973, ROBITAILLE et BOIVIN 1987, SMITH et MILLER 1987, BODINE 2000, SENDAK *et al.* 2000, KENEFIC *et al.* 2005). Cependant, la composition des peuplements dominés par des espèces moins tolérantes (ex. : chênes, tulipier de Virginie) lesquelles sont absentes des classes inférieures se modifie au profit des espèces plus tolérantes à l'ombre préétablies (ex. : érable à sucre) (WINGET 1968, SMITH et MILLER 1987, MILLER et SMITH 1991, SENDAK *et al.* 2000, SCHULER 2004). À la suite d'un suivi de 10 à 20 ans de 83 coupes à diamètre limite effectuées au Québec dans la région de Thurso, WINGET (1968) a démontré que les peuplements évoluaient vers une plus forte proportion d'espèces tolérantes à l'ombre (érable à sucre, hêtre à grandes feuilles) de moins grande valeur que celle d'origine. Cette dernière composition comprenait davantage d'essences peu tolérantes de haute valeur comme le bouleau jaune, le tilleul d'Amérique, le chêne rouge, etc.

L'application de la coupe à diamètre limite présente un risque de dégradation à long terme du potentiel génétique des espèces, en particulier dans des peuplements de structure équiennne (HUTNIK 1958, NYLAND 2002, SOKOL *et al.* 2004). En effet, les meilleures tiges sont récoltées en premier et il reste les moins bons phénotypes comme semenciers. De plus, dans des peuplements mélangés, les espèces dont le taux d'accroissement est plus élevé sont fréquemment récoltées en premier (SCHULER 2004).

7.4 Accroissement du peuplement résiduel

Les suivis expérimentaux sur des périodes de 5 à 45 ans ont permis d'obtenir de bons résultats d'accroissements annuels nets (AAN) dans des coupes à diamètre limite, en particulier dans les conditions suivantes :

- s'il y a peu de tiges résiduelles susceptibles de mourir ou fortement atteintes par la carie (arbres de rebut - *cull trees*) parce que leur présence dans le peuplement est rare ou parce qu'elles ont été récoltées ou annelées (EYRE et ZILLGITT 1953, HUTNIK 1958, BODINE 2000, SCHULER 2004, KENEFIC *et al.* 2005);
- en présence de tiges résiduelles vigoureuses dont la capacité à réagir à l'ouverture du couvert est plus forte (EYRE et ZILLGITT 1953, SOKOL *et al.* 2004). WIEMANN *et al.* (2004) rapportent que des tiges

opprimées d'érable à sucre, de chêne rouge ou de tulipier de Virginie ont réagi fortement à l'ouverture du couvert à la suite d'une coupe à diamètre limite à Fernow. Par contre, SOKOL *et al.* (2004) ont observé à Penobscot que, pour un même âge (même cohorte de régénération), des épinettes rouges de plus petit diamètre pouvaient réagir très lentement. En récoltant les plus grosses tiges parmi une même cohorte d'âge, la coupe à diamètre limite risque de laisser les tiges les moins performantes. Par contre, si les tiges résiduelles sont plus petites en raison de leur plus jeune âge (peuplement de structure inéquienne, et non pas équienne) et si elles ont la capacité de réagir positivement, alors l'effet dégradant devient moins évident sur le potentiel d'accroissement des survivants (NYLAND 2002);

- si le recrutement est abondant et permet de maintenir toute la superficie en production (HUTNIK 1953, ERDMANN et OBERG 1973, SCHULER 2004);
- si la limite de diamètre est assez élevée pour conserver suffisamment de tiges en croissance (EYRE et ZILLGITT 1953). L'AAN a été de 136 et 184 PMP/acre/an (PMP : pieds mesure de planche) sur une période de 15 à 20 ans dans des coupes à diamètre limite de 29 et 55 cm (90 et 29 % de prélèvement), respectivement. Par contre, il a été de 190 à 252 PMP/acre/an dans cinq coupes d'amélioration différentes;
- si le peuplement résiduel est suffisamment dense pour occuper tout l'espace (MILLER et SMITH 1993) et pour prévenir la mortalité causée par exposition soudaine des tiges à la pleine lumière (EYRE et ZILLGITT 1953, HUTNIK 1958) ou par le chablis (ROBITAILLE et BOIVIN 1987). EYRE et ZILLGITT (1953) ont recommandé un taux de prélèvement maximal de 50 % dans leurs érablières du Michigan d'une surface terrière initiale autour de 30 m²/ha. À un prélèvement moyen de 56 %, mais très variable, ROBITAILLE et BOIVIN (1987) ont observé à Duchesnay que la faible densité résiduelle du couvert (100 m³/ha) favorisait le chablis. Les études sur le jardinage indiquent qu'un taux de prélèvement supérieur à 35 % augmente les risques d'atteindre une mortalité élevée après coupe (voir Section 3.3.3);
- en l'absence d'applications répétées de coupes à diamètre limite (HUTNIK 1958, NYLAND 2002).

Bien que l'accroissement net puisse être élevé, il est surtout concentré dans les plus petites classes de diamètre, notamment dans les coupes à diamètre limite de 11 à 29 cm (plus de 50 % de prélèvement) pour lesquelles la surface terrière résiduelle est inférieure à 13 m²/ha (EYRE et ZILLGITT 1953, HUTNIK 1958, ERDMANN et OBERG 1973, BODINE 2000, KENEFIC et NYLAND 2005, KENEFIC *et al.* 2005).

Finalement, malgré l'observation d'un AAN élevé sur 45 ans (3 coupes aux 20-25 ans) dans leur coupe à diamètre limite, KENEFIC *et al.* (2005) mentionnent que la simulation du rendement sur la prochaine rotation de 20 ans indique que le volume sera reconstitué seulement à 88 %. Cette réduction du

rendement serait notamment attribuable à l'augmentation de la proportion du volume d'arbres fortement atteints par la carie (*cull trees*); elle est passée de 7,3 à 25,4 % en 45 ans étant donné l'absence de récolte d'arbres non marchands et l'absence d'éducation en deçà du diamètre limite.

7.5 Qualité des bois

La coupe à diamètre limite ne maximise pas la qualité des tiges sur pied et tend à augmenter la proportion d'arbres de rebut (*cull trees*) dans les peuplements, particulièrement si elle est pratiquée à plusieurs reprises dans un même peuplement ou si la surface terrière résiduelle est faible (EYRE et ZILLGITT 1953, GODMAN et BOOKS 1971, STRONG *et al.* 1995, BODINE 2000, SENDAK *et al.* 2003, KENEFIC *et al.* 2005). D'ailleurs, cette dernière variable est importante dans l'éducation des tiges (EYRE et ZILLGITT 1953, GODMAN et BOOKS 1971, STRONG *et al.* 1995, BODINE 2000, NYLAND 2002). En créant des conditions environnementales très variées dans le peuplement (ROBITAILLE et BOIVIN 1987, NYLAND 2006), la qualité des tiges produites devient aussi très variable ce qui ne permet pas au peuplement d'atteindre son plein potentiel de production des bois de qualité (NYLAND 2002). Une surface terrière résiduelle faible, soit moins de 16 m²/ha dans les érablières inéquiennes (voir Section 3.3.4), empêche en partie l'élagage naturel des branches basses, stimule la formation de branches adventives et entrave la possibilité de corriger les fourches.

Les essences produites ont aussi un effet important sur la qualité obtenue dans la coupe à diamètre limite (WIEMANN *et al.* 2004). En effet, une évaluation faite environ 40 ans après une première coupe à diamètre limite de 42 cm sur une rotation de quinze ans, à Fernow, a démontré que la proportion de tiges de plus de 40,5 cm, classées de qualité 1, variait de 33 % pour l'érable à sucre à 50 % pour le chêne rouge et 64 % pour le tulipier de Virginie¹

7.6 Améliorations proposées

Afin de réduire les effets dégradants de la coupe à diamètre limite sur certains aspects sylvicoles, en particulier sur la qualité des tiges de feuillus et la prévision des rendements, les auteurs ont proposé des recommandations pour l'améliorer² :

- limiter la pratique à au plus une fois dans un peuplement, puis le jardiner (HUTNIK 1958);

¹ Ces proportions étaient supérieures dans une coupe de jardinage exécutée cinq fois en 45 ans (surface terrière résiduelle des tiges de 28 cm et plus, 15 m²/ha), soit respectivement de 44, 80 et 91 %.

² Signalons que ces recommandations ont été proposées par les auteurs, mais elles n'ont pratiquement pas fait l'objet d'expériences rapportées.

- conserver partout une surface terrière résiduelle minimale (TRIMBLE 1971, MILLER 1993) de 15 à 20 m²/ha sur les bons sites (TRIMBLE *et al.* 1974, REED *et al.* 1986, ERICKSON *et al.* 1990, BODINE 2000). Il faut viser près de 20 m²/ha lors de la première coupe d'un peuplement dense et plus près de 16 m²/ha lors des rotations suivantes (TRIMBLE *et al.* 1974);
- récolter ou abattre les tiges des classes de diamètre inférieures à la limite lesquelles sont susceptibles de mourir (HUTNIK 1958, TRIMBLE 1971, BOIVIN 1973, TRIMBLE *et al.* 1974, SMITH et LAMSON 1977, MILLER 1993, BODINE 2000), y compris même idéalement les perches (TRIMBLE *et al.* 1974, SMITH et MILLER 1987, MILLER et SMITH 1993). TRIMBLE *et al.* (1974) et MILLER et SMITH (1993) précisent que les tiges qui risquent de mourir doivent être sélectionnées en priorité pour la coupe par rapport à celles plus vigoureuses dont le diamètre limite est atteint;
- appliquer un diamètre limite d'au moins 39 à 45 cm, (REED *et al.* 1986, ERICKSON *et al.* 1990, MILLER et SMITH 1991, MILLER 1993, BODINE 2000) et même entre 42 et 79 cm selon l'essence et les objectifs de rendement financier (TRIMBLE *et al.* 1974, MILLER et SMITH 1993);
- appliquer une période de rotation inférieure à 20 ans afin de récolter la mortalité anticipée et les arbres blessés par la coupe (SMITH et MILLER 1987). D'ailleurs, les expériences de coupes à diamètre limite lesquelles font l'objet d'une recommandation étaient pratiquées sur des rotations de 10 à 20 ans conjuguées à un prélèvement périodique d'environ de 5 à 7 m²/ha (25-37 %), à l'exception d'un prélèvement de 12 m²/ha (58 %) à la première rotation dans un cas (SMITH et MILLER 1987, ERICKSON *et al.* 1990, MILLER et SMITH 1991, BODINE 2000).

Dans les peuplements dépourvus d'une forte régénération préétablie des essences tolérantes à l'ombre recherchées (ex. : bétulaies jaunes), des interventions devraient être prévues afin de la favoriser, notamment par la préparation de terrain (WINGET 1968, BOIVIN 1973), le dégagement ou le regarni.

TRIMBLE *et al.* (1974) et MILLER et SMITH (1993) ont proposé un compromis entre la coupe de jardinage et la coupe à diamètre limite pour des peuplements à structure inéquienne de feuillus nobles des Appalaches : la coupe à diamètre limite flexible pour laquelle les directives de martelage sont déterminées par le taux de rendement financier des tiges, tout en assurant le maintien, à l'échelle du peuplement, d'une surface terrière résiduelle minimale. Les tiges ayant le plus faible taux de rendement financier sont récoltées. Ainsi, les tiges défectueuses, peu vigoureuses ou d'espèces peu longévives de plus de 26 cm sont marquées en premier (comme dans un jardinage). Ensuite, le marquage est complété en identifiant les diamètres limites de chaque essence de façon à atteindre la surface terrière résiduelle visée à l'échelle du peuplement. Les principales différences entre cette coupe et la coupe de jardinage sont qu'il n'y a pas de contrôle de la structure du peuplement par rapport à la répartition spatiale des tiges et l'équilibre de la distribution diamétrale. Ainsi, l'évaluation du rendement forestier à long terme est peu

précis en l'absence de placettes permanentes (MILLER et SMITH 1993) et l'éducation des tiges est peu contrôlée. Le taux périodique de rendement financier du peuplement traité par cette coupe à diamètre limite flexible serait le même que celui des coupes de jardinage et des coupes à diamètre limite (MILLER et SMITH 1993). D'ailleurs, dans leurs essais à Fernow en Virginie Occidentale, ces auteurs précisent qu'il est difficile de voir sur le terrain la différence entre les peuplements traités par coupe à diamètre limite flexible et un taux de rendement de 3 % (diamètre limite de 48 à 69 cm selon l'espèce et le site) de ceux traités par coupe de jardinage après deux rotations sur 40 ans.

HUTNIK (1958) et TRIMBLE (1971) mentionnent que l'application de modalités destinées à améliorer la coupe à diamètre limite lui enlève ses avantages qui sont la simplicité d'exécution et des coûts peu élevés.

Les seules applications vraiment sylvicoles de la coupe à diamètre limite seraient les cas pour lesquels elle servirait à récolter les vieilles tiges rémanentes dans de jeunes peuplements de structure équiennne (TRIMBLE 1971) ou dans le cas d'une coupe de succession (MAJCEN 1997). Dans le premier cas, cette coupe équivaut à une application tardive de la coupe finale d'un processus de régénération par coupe avec réserve de semenciers, comme cela pourrait être le cas en régime de la futaie biétagée. Dans le second cas, l'intervention équivaldrait à traiter des peuplements biétagés, comme les tremblaies à bouleau jaune ou à érable à sucre, afin de récolter le couvert d'essences intolérantes à l'ombre et libérer la strate d'essences plus tolérantes. Ainsi, dans ces deux situations, la coupe à diamètre limite ne serait appliquée qu'une seule fois (et non pas en régime sylvicole) dans le but d'amener le peuplement d'une structure biétagée à équiennne. De plus, dans le cas d'une coupe de succession, le prélèvement est complété par une coupe d'amélioration et la surface terrière résiduelle est contrôlée, ce qui n'est pas le cas de la coupe à diamètre limite classique.

7.7 Effets sylvicoles escomptés

Au Québec, il n'existe pas de résultats à long terme des effets de la coupe à diamètre limite sur le rendement et la période de rotation. Il est cependant possible de constater la faible qualité actuelle des forêts feuillues et mixtes coupées par des coupes semblables depuis plusieurs décennies. Au Québec, ce constat confirme l'effet dégradant escompté dans un régime de coupes à diamètre limite (WINGET 1968, COMMISSION D'ÉTUDES SUR LA GESTION DE LA FORÊT PUBLIQUE QUÉBÉCOISE 2004). L'exécution d'une coupe à diamètre limite (43 cm pour le bouleau jaune et 27 cm pour les autres essences; prélèvement de 56 %) dans une vieille érablière à bouleau jaune et à hêtre de Duchesnay au Québec a produit un

accroissement annuel net de 1,5 m³/ha/an (1,5 %) ¹ sur la première période décennale (ROBITAILLE et BOIVIN 1987). Les portions trop ouvertes ont été victimes de chablis et une mortalité élevée est apparue dans les portions insuffisamment ouvertes.

Les résultats d'accroissement publiés aux États-Unis pour des coupes à diamètre limite ne sont pas directement transposables au Québec, étant donné des différences d'accroissement causées par des différences de climat, de sols ou d'espèces. Cependant, le processus de calcul de la période de rotation et de garantie d'un rendement soutenu est le même. Les résultats observés varient d'une étude à l'autre et les effets à long terme sont imprévisibles en raison de la très grande variabilité des conditions environnementales et de la diversité structurale créées dans les peuplements (NYLAND 2002).

Il est toutefois raisonnable d'estimer qu'une coupe à diamètre limite d'une intensité de 20 à 35 %, laquelle laisserait une surface terrière résiduelle comparable à celle des superficies jardinées (16,8 à 24,5 m²/ha) et récolterait en priorité les arbres les plus susceptibles de mourir, aurait un accroissement annuel net comparable aux superficies jardinées sur une période de quinze ans (voir section 3.5.1). Par contre, dans des conditions semblables le rendement diminuerait grandement si des tiges susceptibles de mourir étaient conservées en abondance dans le peuplement. C'est ce qui a été constaté dans le suivi des effets réels de la pratique opérationnelle du jardinage de 1995-1996 au Québec, après cinq ans (BÉDARD et BRASSARD 2002). En effet, contrairement à une mortalité moyenne de 0,15 m²/ha/an, observée dans des dispositifs de recherche, la mortalité a atteint le double et réduit ainsi l'accroissement net à environ 0,11-0,12 m²/ha/an, comparativement à 0,28 m²/ha/an. Or, 79 % des tiges mortes après cinq ans étaient destinées à mourir avant l'intervention. Cela souligne d'ailleurs l'importance de récolter les tiges défectueuses dans les coupes partielles si l'on veut obtenir de bons accroissements nets. Ce fait est rapporté depuis longtemps (EYRE et LONGWOOD 1951). Si le prélèvement devient élevé (généralement plus de 35 %), même des tiges non défectueuses peuvent mourir à cause de leur exposition soudaine au soleil et aux vents (FROTHINGHAM 1915, EYRE et LONGWOOD 1951, HUTNIK 1958, TRIMBLE *et al.* 1974, LEAK et GOTTSACKER 1985, MAJCEN *et al.* 1990).

L'évaluation des effets à long terme de la coupe à diamètre limite peut se faire en faisant appel à la modélisation (BUONGIORNO *et al.* 2000, NYLAND 2005). Cependant, une évaluation adéquate ne saurait pas être exécutée sans l'aide d'un modèle calibré dans des conditions comparables suivies à long terme et sans que ce modèle puisse simuler l'évolution de la qualité et de la vigueur des tiges en fonction de leurs conditions environnementales (composante spatiale).

¹ À titre indicatif, l'accroissement du témoin a été de 0,9 m³/ha/an (0,4 %) sur la même période. Quinze ans après une coupe de jardinage à Duchesnay, MAJCEN *et al.* (2005) ont observé un accroissement de 3,3 m³/ha/an.

7.8 Aspects financiers

La coupe à diamètre limite procure normalement une rentabilité financière immédiate élevée à sa première application. En effet, le volume récolté est élevé, il est composé des tiges plus grosses, les besoins techniques sont relativement faibles et il n'y a généralement pas d'amélioration de peuplement (HUTNIK 1958; BLUM et FILIP 1963; ERDMANN et OBERG 1973; REED *et al.* 1986; SMITH et MILLER 1987; ERICKSON *et al.* 1990; MILLER et SMITH 1991; NIESE *et al.* 1995; BODINE 2000; SENDAK *et al.* 2000; NYLAND 2002, 2005; KENEFIC *et al.* 2005).

Par contre, la valeur du peuplement résiduel est généralement réduite de façon considérable (ERDMANN et OBERG 1973; NIESE et STRONG 1992; NIESE *et al.* 1995; SENDAK *et al.* 2000; NYLAND 2002, 2005; KENEFIC *et al.* 2005). Cette réduction peut être attribuable à de nombreux facteurs, notamment à la réduction de tiges de gros diamètre, au maintien de tiges de mauvaise qualité et à la création de conditions moins propices à l'éducation des tiges. De plus, des changements de composition en essences peuvent avoir des effets très importants sur la valeur du peuplement résiduel (SMITH et MILLER 1987; MILLER et SMITH 1991; NIESE *et al.* 1995; SENDAK *et al.* 2000). Or, la coupe à diamètre limite n'a pas d'objectif spécifique de régénération en essences, ni d'objectifs d'amélioration du peuplement ou du maintien de sa qualité, si elle est élevée.

7.9 Aspects relatifs à l'aménagement écosystémique

Si l'on envisage la coupe à diamètre limite dans un contexte d'aménagement écosystémique, son résultat s'éloigne davantage des vieilles forêts, entre autres, par l'absence de grosses tiges puisque ces dernières sont systématiquement récoltées. Une coupe à diamètre limite conjuguée à un diamètre assez faible (ex. : coupe avec protection des petites tiges marchandes – CPPTM) se rapprocherait des conditions créées par un chablis total (DOYON et SOUGAVINSKI 2002). Toutefois, ce type de perturbation serait plutôt rare dans l'érablière et les bétulaies jaunes du Québec (COMITÉ CONSULTATIF SCIENTIFIQUE DU MANUEL D'AMÉNAGEMENT FORESTIER 2003), mais pourrait toucher une partie des peuplements de feuillus sur les sommets (sols minces) si une augmentation relative des essences tolérantes à l'ombre est recherchée (DOYON et SOUGAVINSKI 2002). Ainsi, la coupe à diamètre limite sur ces sites défavoriserait les essences comme le chêne et le pin blanc au détriment de l'augmentation des proportions d'érable ou de hêtre, comme on l'a observé sur près de 50 ans à Fernow en Virginie Occidentale (SCHULER 2004). D'autre part, l'utilisation de coupes forestières destinées à créer des conditions comparables à celles des perturbations de plus grande importance que les microtrouées semble discutable. En effet, certains auteurs (ANGERS *et al.* 2005, SEYMOUR 2002) mentionnent que la multiplication inutile de ce type de perturbations doit être évitée si l'on veut prévenir une surreprésentation de ces dernières dans le

paysage. Cet argument se fonde principalement sur le fait que ces perturbations ne sont pas contrôlables et que, de toutes manières, elles seront créées par l'action de la nature.

Chapitre huit

Comparaison des coupes de jardinage et à diamètre limite

Pour les fins du présent avis, une analyse comparative de la coupe de jardinage et de la coupe à diamètre limite a été effectuée pour les peuplements à l'étude. La comparaison de ces coupes avec celles du régime de la futaie équienne est peu relatée dans la littérature pour les peuplements étudiés puisqu'il y a des écarts très importants à propos des objectifs visés et des moyens retenus entre ces régimes. De plus, l'évaluation des effets sylvicoles et financiers ne peut se faire que sur au moins toute une période de révolution, ce qui nécessite au moins 120 ans. Or, aucun résultat n'est disponible sur une aussi longue période et la simulation sur un horizon aussi grand n'est que spéculative.

8.1 Objectifs visés

Ces deux régimes de coupes se distinguent tout d'abord par leurs objectifs. Alors que la coupe à diamètre limite est orientée sur la rentabilité de l'intervention initiale (HUTNIK 1958, REED *et al.* 1986, SMITH et MILLER 1987, ERICKSON *et al.* 1990, MILLER et SMITH 1993, NIESE *et al.* 1995, SENDAK *et al.* 2000, NYLAND 2002, SCHULER 2004, KENEFIC *et al.* 2005), le jardinage vise à récolter la production d'un peuplement de façon périodique et l'amener à une structure équilibrée de manière à assurer les soins cultureux nécessaires aux arbres en croissance et l'installation de la régénération (MÉTRO 1975). Le jardinage vise à produire des bois de haute qualité en éduquant le peuplement par des prélèvements judicieux.

8.2 Moyens retenus

Les moyens retenus par ces deux régimes sont tout aussi différents que leurs objectifs.

Le principal moyen retenu dans la coupe à diamètre limite est de récolter les arbres dont la valeur est la plus élevée, ce qui est associé aux tiges de haute qualité, au-dessus d'un certain diamètre (HUTNIK 1958, TRIMBLE 1971, ROBITAILLE et BOIVIN 1987, MILLER et SMITH 1991, SENDAK *et al.* 2003, SCHULER 2004, KENEFIC *et al.* 2005). Les arbres de rebut (*cull trees*) dont le diamètre est supérieur à la limite peuvent être éliminés (abattage, annelage ou injection d'un sylvicide), mais ce n'est pas toujours le cas. La coupe des tiges de faible vigueur ou de moindre qualité et de diamètres inférieurs à la limite a été plus rarement pratiquée dans les études répertoriées (HUTNIK 1958, MILLER et SMITH 1993, SENDAK *et al.* 2003, SCHULER 2004, KENEFIC *et al.* 2005). Ces interventions ne sont pas destinées à promouvoir la régénération (HUTNIK 1958, NYLAND 2002). De nombreuses améliorations de la coupe à diamètre limite ont été proposées dans le but de réduire ses effets dégradants : coupe d'amélioration dans les petits diamètres, maintien d'une surface terrière minimale, augmentation du diamètre limite, rotation courte, etc. Ces améliorations en font un traitement qui la rapproche davantage de la coupe de jardinage à un point tel qu'elle en réduit considérablement ses avantages, notamment sa simplicité technique et ses faibles coûts d'intervention (HUTNIK 1958, TRIMBLE 1971).

Pour ce qui est du jardinage, l'atteinte de ses objectifs passe par l'application d'une méthode plus élaborée. En résumé, elle consiste d'abord à identifier le peuplement résiduel recherché eu égard à sa composition, sa densité, sa structure diamétrale et son diamètre maximum (EYRE et ZILLGITT 1953, ERDMANN et OBERG 1973, LEAK et GOTTSACKER 1985, SMITH et MILLER 1987, MAJCEN *et al.* 1990, NIESE *et al.* 1995, STRONG *et al.* 1995, SENDAK *et al.* 2000, BÉDARD et MAJCEN 2003, KENEFIC *et al.* 2005). Ces caractéristiques du peuplement résiduel ont un effet sur l'accroissement, la qualité des tiges et la régénération du peuplement. Le taux de récolte est calculé en fonction de l'écart entre le peuplement actuel et celui recherché, en fonction de l'accroissement et de la période de rotation et aussi selon les indications de seuils qu'il faut respecter afin d'éviter de trop perturber soudainement le peuplement et ainsi augmenter les risques de blessures ou de mortalité. La récolte vise habituellement les tiges susceptibles de mourir (identifiées par la présence d'un défaut ou par leur localisation dans un endroit trop dense) en premier, puis celles dont la qualité diminuera au cours de la prochaine rotation. La récolte permettra aussi d'ajuster la structure diamétrale à celle qui est recherchée, d'ajuster la composition du peuplement ou de créer des conditions plus propices à la régénération d'espèces moins tolérantes à l'ombre (ex. : trouées scarifiées pour le bouleau jaune). Ainsi, les tiges à récolter dans le jardinage doivent être marquées avant la coupe par des équipes techniques qualifiées.

8.3 Effets sylvicoles

Les effets sylvicoles de ces deux coupes sont très différents sur le peuplement résiduel.

En récoltant d'abord les meilleures tiges et en ne se préoccupant pas de contrôler le développement du peuplement résiduel, la coupe à diamètre limite minimise généralement le potentiel à long terme de production du peuplement (HUTNIK 1958; TRIMBLE 1971; ROBITAILLE et BOIVIN 1987; NIESE et STRONG 1992; NIESE *et al.* 1995; NYLAND 2002; 2005; KENEFIC *et al.* 2005). Si la surface terrière résiduelle est faible (moins d'une quinzaine de mètres carrés à l'hectare) et très hétérogène à l'échelle spatiale, la qualité des tiges diminue à long terme, entre autres, s'il n'y a pas de coupe d'amélioration dans les petites tiges.

Le jardinage est à son opposé, il se concentre d'abord sur la création de conditions propices à une production plus élevée de bois de haute qualité en conservant en général davantage de bois sur pied (EYRE et ZILLGITT 1953; ERDMANN et OBERG 1973; SMITH et MILLER 1987; MILLER et SMITH 1991; MILLER 1993; STRONG *et al.* 1995; BODINE 2000; SENDAK *et al.* 2000, 2003; WIEMANN *et al.* 2004; KENEFIC *et al.* 2005). Ainsi, les rendements seront plus facilement prévisibles dans le cas du jardinage et les peuplements résiduels offrent davantage de possibilités pour l'avenir que ceux de la coupe à diamètre limite (KENEFIC *et al.* 2005); soit deux conditions favorables pour effectuer un aménagement forestier durable (NYLAND 2005).

8.4 Effets financiers

Finalement, la récolte de bois d'œuvre et les revenus provenant de ces deux coupes diffèrent dans leur répartition dans le temps et dans leurs valeurs cumulées. La coupe à diamètre limite permet généralement d'obtenir un gain financier à court terme supérieur à la coupe de jardinage, entre autres lors de la première exécution (BLUM et FILIP 1963, ERDMANN et OBERG 1973, REED *et al.* 1986, SMITH et MILLER 1987, ERICKSON *et al.* 1990, NIESE *et al.* 1995, BODINE 2000, SENDAK *et al.* 2000, KENEFIC *et al.* 2005, NYLAND 2005). Ce constat est particulièrement évident dans les peuplements plus dégradés ou la première coupe de jardinage ne permet pas la récolte d'un volume élevé de bois de qualité (ERDMANN et OBERG 1973, REED *et al.* 1986, SMITH et MILLER 1987, SENDAK *et al.* 2000). Par contre, au fur et à mesure que les interventions se succèdent, il y a une amélioration du peuplement jardiné et dégradation du peuplement coupé à diamètre limite (TRIMBLE 1971). En conséquence, les revenus et la valeur des bois sur pied du jardinage augmentent et ceux de la coupe à diamètre limite diminuent généralement.

En effet, la valeur actuelle nette moyenne des peuplements coupés à un diamètre limite de 16,5 cm (rotation de 40 ans) était de 247 \$/ha inférieure à celle des peuplements témoins à Argonne au Wisconsin, après 40 ans de traitement (NIESE *et al.* 1995). Sur cette même période, les peuplements jardinés (rotation de 10 ans, surface terrière résiduelle de 14 à 20 m²/ha) ont atteint une valeur actuelle nette de 443 à 542 \$/ha de plus que la valeur des témoins. Cependant, les revenus obtenus de la coupe à diamètre limite étaient supérieurs à ceux des peuplements jardinés d'un facteur 1,25 à 1,89. Selon les auteurs, leur analyse comparative serait conservatrice, surtout pour la coupe de jardinage, car elle ne tient pas complètement compte de la possibilité d'augmentation substantielle de la proportion de bois de déroulage dans la coupe de jardinage.

Au Centre forestier Ford au Michigan, les analyses financières publiées après 22, 32 et 42 ans sont toutes fortement dépendantes de la valeur initiale des peuplements (REED *et al.* 1986, ERICKSON *et al.* 1990, BODINE 2000). Or, il n'y avait qu'une seule répétition de chaque traitement et les conditions d'origine étaient très variables, notamment la surface terrière initiale laquelle variait de 17 à 28 m²/ha et le volume brut de dimension bois d'œuvre lequel variait du simple au double. Néanmoins, les tendances à long terme observées sont la plus faible valeur du scénario de coupe à diamètre limite de 11 cm, une réduction de la valeur relative de ceux des coupes à 29 et à 55 cm entre 22 et 42 ans et l'augmentation relative de la valeur de celui du jardinage à une surface terrière résiduelle de 20,7 m²/ha sur cette même période (BODINE 2000). La coupe à diamètre limite de 39 cm (avec un taux de prélèvement périodique de 25 à 28 % aux 10 ans) et la coupe d'amélioration légère (c'est une variante de jardinage) sont dans l'ordre les deux scénarios de coupe lesquels ont eu la plus forte valeur après 22 et 42 ans. BODINE (2000) conclut que 42 années (4 rotations de 10 ans des traitements les plus performants) ne sont pas encore suffisantes pour que les changements de la qualité des bois se reflètent sur le rendement financier à long terme.

À Fernow sur une période de 32 ans, une coupe à diamètre limite de 39 cm exécutée aux vingt ans a généré des revenus environ deux fois plus élevés que deux variantes de jardinage pratiquées aux dix ans (SMITH et MILLER 1987). Cependant, la valeur des peuplements résiduels jardinés était supérieure à celle de la coupe à diamètre limite. Les auteurs précisent toutefois que ces résultats ne montrent pas d'effet économique à long terme de chaque option. En effet, il n'y avait qu'une répétition de chaque traitement et les peuplements originaux étaient différents par rapport à leur composition, leur qualité et leur vigueur. Il y avait à l'origine beaucoup de caryer, une essence de faible valeur, dans les coupes de jardinage et peu dans la coupe à diamètre limite. La composition de ces peuplements ne s'est pas encore stabilisée d'une rotation à l'autre. Il en est ainsi pour les volumes disponibles. Après deux rotations de dix ans dans des

essais de coupe à diamètre limite flexible¹ avec les feuillus nobles des Appalaches, le taux périodique de rendement financier de ce régime était le même que pour des coupes de jardinage et des coupes à diamètre limite (MILLER et SMITH 1993).

Dans des peuplements dominés par les conifères à Penobscot au Maine, la valeur des revenus de la coupe après 45 ans a été significativement supérieure dans la coupe à diamètre limite, exécutée sur une rotation de 20-25 ans que dans la coupe de jardinage exécutée aux vingt ans (KENEFFIC *et al.* 2005). Cependant, la valeur des peuplements résiduels jardinés était significativement supérieure à celle des peuplements traités par coupe à diamètre limite. Le cumul de ces deux valeurs (récolte + résiduel) était le même pour les deux traitements à la suite de trois rotations. Cependant, la simulation de l'accroissement de ces peuplements sur la prochaine rotation indique que le prochain jardinage devrait générer un volume de récolte environ deux fois supérieur à celui de la troisième période (après 40 ans). Ainsi, la période de vingt ans ne serait pas suffisamment longue pour reconstituer complètement le volume prélevé de la coupe à diamètre limite. Ainsi, l'effet bénéfique du jardinage sur l'accroissement et la qualité devrait donc ressortir après 60 ans et permettre de mieux le distinguer de l'effet dégradant de la coupe à diamètre limite sur la rentabilité à long terme.

BUONGIORNO *et al.* (2000) ont simulé sur 120 ans trois régimes différents de coupes à diamètre limite (28, 38 et 53 cm) et de coupes de jardinage (surface terrière résiduelle de 14, 17 et 21 m²/ha) conjuguées à des rotations de 10, 15 et 20 ans sur deux qualités de site (18 et 24 m à 50 ans). Ces simulations ont été effectuées avec le modèle Northpro basé sur des placettes permanentes du Michigan (1 259 placettes) et du Wisconsin (623 placettes) dont le type forestier était classé érablière à bouleau jaune et à hêtre. Ce modèle ne simule pas l'évolution de la qualité et de la vigueur des tiges. Or, selon la littérature, avec des surfaces terrières résiduelles aussi faibles que celles retenues (moins de 14-16 m²/ha dans plusieurs cas) la qualité des tiges risque de se dégrader. Le peuplement du départ de la simulation correspond à la moyenne de toutes ces placettes et, bien que les auteurs ne le décrivent pas, l'information présentée sur l'une de leurs figures indique, sur le site de plus faible qualité, que la surface terrière initiale aurait été d'environ 16 m²/ha, soit moins que celle ciblée à la suite de la coupe dans deux des coupes de jardinage. Or, le modèle simulait quand même une coupe d'arbres au début de la première période dans les classes de diamètre dont la fréquence des tiges était supérieure à la cible, peu importe s'il y avait un déficit dans une classe adjacente. Ainsi, aucune simulation de coupe de jardinage n'a atteint la surface terrière résiduelle cible en 120 ans. La portée de ces résultats est donc quasi nulle étant donné l'absence de la

¹ Sur une bonne qualité de site : surface terrière résiduelle de 12,7 à 16,1 m²/ha, coupe d'amélioration prioritaire à la coupe des tiges au-dessus du diamètre limite, diamètre limite flexible selon l'espèce et le taux de rendement financier estimé pour les tiges (48 à 69 cm pour un taux de rendement financier de 3 %, 43 à 53 cm pour un taux de 4 % et 43 cm pour un taux de 6 %).

prise en compte de la qualité et de la vigueur des tiges et le caractère irréaliste des hypothèses de simulation.

NYLAND (2005) a simulé sur 90-100 ans trois régimes différents de coupes à diamètre limite (> 34,3 cm aux 20 ou 30 ans et > 39,3 cm aux 25 ans) et trois régimes de coupes de jardinage basés sur les recommandations d'ARBOGAST (1957) et une rotation de 15 ans. Ces simulations ont été effectuées avec le modèle de HANSEN (1983) décrit dans HANSEN et NYLAND (1987) développé à partir d'analyses de tiges effectuées 5 à 25 ans après coupe dans un régime de futaie inéquienne appliqué dans six peuplements de l'État de New York. Les peuplements étaient dominés par l'érable à sucre, accompagné du hêtre à grandes feuilles, du frêne d'Amérique, du bouleau jaune et de l'érable de Pennsylvanie. Les peuplements du départ de la simulation ne sont pratiquement pas décrits, mais les résultats présentés indiquent qu'ils seraient différents pour chaque traitement. Ainsi, les résultats différents observés pour chaque régime de coupe ne pourraient pas être attribués uniquement aux traitements, ce qui restreint les comparaisons entre le jardinage et la coupe à diamètre limite. De plus, les résultats de cette étude sont difficilement exportables étant donné que les conditions initiales ne sont pas présentées et que les simulations ont été effectuées en supposant que les peuplements de départ ont été aménagés, qu'ils sont de très belle qualité (aucune carie) et que la probabilité de mourir pour une tige était seulement fonction du diamètre.

8.5 Aspects relatifs à l'aménagement écosystémique

Comme mentionné dans les sections précédentes, ces deux traitements divergent lorsqu'ils sont comparés aux caractéristiques des vieilles forêts. Une étude effectuée au Québec (ANGERS *et al.* 2005) indique que la coupe à diamètre limite s'éloigne davantage des caractéristiques des vieilles forêts que la coupe de jardinage. Bien que certaines caractéristiques de vieilles forêts soient également absentes après la coupe de jardinage, les mesures de mitigations sont relativement plus faciles à incorporer dans le régime de la futaie inéquienne que dans la coupe à diamètre limite. Le maintien de grosses tiges sur pied comme attribut caractéristique des vieilles forêts est l'exemple le plus évident puisque cet élément est carrément incompatible avec la coupe à diamètre limite. D'autre part, l'utilisation de la coupe à diamètre limite comme outil permettant de créer des conditions semblables à des chablis partiels est très discutable. Comme énoncé précédemment, certains auteurs (ANGERS *et al.* 2005, SEYMOUR 2002) mentionnent qu'il faudrait éviter de multiplier ce type de perturbations et ainsi créer une surreprésentation de ces dernières dans le paysage. À ce sujet, SEYMOUR *et al.* (2002) sont catégoriques et mentionnent qu'il n'y a pas de justification de vouloir reproduire ces événements puisque de toute manière la nature s'en chargera.

Conclusion

Au cours des années 1920, l'industrie des feuillus nobles des états américains des Grands-Lacs a connu une crise majeure à la suite des années de surabondance de coupes à blanc et de coupes d'écrémage dans les érablières (EYRE et ZILLGITT 1953). Cette crise a notamment motivé la mise en place des premières études d'importance sur la sylviculture de ces peuplements, ce qui a conduit à la recommandation d'y pratiquer le jardinage (EYRE et ZILLGITT 1953) et la production du guide d'ARBOGAST (1957) sur le marquage des tiges pour le jardinage de ce type de peuplements.

Quatre-vingt ans plus tard, l'industrie québécoise vit une crise majeure causée par la conjonction d'un contexte économique de plus en plus difficile et la réduction des volumes disponibles en bois de haute qualité, conséquence des décennies de coupes partielles de toutes natures dont l'objectif primordial visait la récolte des essences de plus grande valeur et les tiges de gros diamètre. Dans ce contexte, il est normal de remettre en question les pratiques forestières.

Bien que la foresterie comprenne de nombreux champs d'activités, comme la planification, l'administration et les opérations, la sylviculture est facilement ciblée comme source de problèmes et de solutions puisqu'elle occupe une place majeure dans l'aménagement forestier. D'ailleurs, une des décisions d'aménagement les plus importantes est le choix d'un régime sylvicole.

Les principaux régimes sylvicoles applicables aux peuplements à l'étude ont été révisés : la futaie inéquienne, la futaie équienne, la futaie biétagée et la futaie par groupes. Chacun de ces régimes vise à contrôler l'établissement, la croissance, la composition, la santé et la qualité de la forêt tout en prévoyant les incidences des actions humaines sur l'écosystème et les ressources; ce qui en font des régimes sylvicoles compatibles avec les objectifs d'aménagement forestier durable inscrits dans la Loi sur les forêts. Devant l'émergence de l'intégration de l'aménagement écosystémique et afin de satisfaire les objectifs d'aménagement forestier durable, certains régimes sont plus justifiables pour les peuplements à l'étude, notamment la futaie inéquienne pour la plupart des érablières et possiblement la futaie par groupes, que l'on doit expérimenter pour les peuplements mixtes à dominance de feuillus nobles.

La coupe à diamètre limite a aussi été abordée étant donné qu'elle fait partie de l'historique des peuplements à l'étude et que son utilisation est facilement préconisée par temps de crise financière, surtout pour minimiser les coûts d'approvisionnement en gros bois. Cependant, la pratique d'un régime de coupes à diamètre limite ne peut pas être reconnue comme un régime sylvicole en raison de son peu de préoccupations vis-à-vis le contrôle de l'établissement, la croissance, la composition, la santé et la qualité de la forêt. Au lieu d'être orientée vers le peuplement résiduel et son évolution pour les générations à venir, la coupe à diamètre limite est axée sur le prélèvement actuel. Certains auteurs ont proposé des modifications à la coupe à diamètre limite dans le but de la rendre plus acceptable. Ces modifications ont pour effets d'en faire un traitement qui se rapproche beaucoup du jardinage, autant du point de vue des modalités d'intervention, du peuplement résiduel que des coûts. Ainsi, de telles coupes à diamètre limite ont pratiquement les mêmes avantages et inconvénients que le jardinage sur un horizon à court terme, mais sans nécessairement pourvoir l'avantage à long terme du jardinage, soit la régularisation de la structure de manière à faciliter la prévision des rendements.

Finalement, adhérer à l'aménagement forestier durable signifie l'intégration des interventions sylvicoles dans un régime sylvicole cohérent avec cet objectif, puis d'en assumer tous les coûts (NYLAND 2002).

Références bibliographiques

- ANDERSON, H.W., E.P. BOYSEN, D.C. DEY et J.A. RICE, 2001. *Natural regeneration of hardwoods (Chapter 20)*. Dans Wagner, R.G. et S.J. Colombo : Regenerating the Canadian Forest : Principles and Practices for Ontario. Fitzhenry et Witherside. p. 393-421.
- ANGERS, V.A., C. MESSIER, M. BEAUDET et A. LEDUC, 2005. *Comparing composition and structure in old-growth and harvested (selection and diameter-limit cuts) northern hardwood stands in Québec*. For. Ecol. Manage. 217 : 275-293.
- ARBOGAST, C., Jr., 1957. *Marking guides for northern hardwoods under the selection system*. USDA For. Serv., Lake States For. Exp. Stn., Stn. Pap. No. 56. 21 p.
- BASHANT, A.L., R.D. NYLAND, H.M. ENGELMAN, K.K. BOHN, J.M. VEROSTEK, P.J. DONOSO et R.J. NISSEN, Jr., 2005. *The role of interfering plants in regenerating hardwood stands of northeastern North America*. Maine Agr. For. Exp. Stn., Univ. of Maine, Miscellaneous Publication 753. 63 p.
- BÉDARD, S. et F. BRASSARD, 2002. *Les effets réels des coupes de jardinage dans les forêts publiques du Québec 1995 et 1996*. Min. Ress. nat., Sainte-Foy.
- BÉDARD, S. et Z. MAJCEN, 2000. *Accroissement et régénération des prucheraies dix ans après une coupe de jardinage dans une aire d'hivernage de cerf de Virginie*. Gouvernement du Québec, Forêt Québec, Direction de la recherche forestière. Note de recherche forestière n° 103. 13 p.
- BÉDARD, S. et Z. MAJCEN, 2001. *Ten-year response of sugar maple-yellow birch-beech stands to selection cutting in Québec*. North. J. Appl. For. 18 : 119-126.
- BÉDARD, S. et Z. MAJCEN, 2003. *Growth following single-tree selection cutting in Québec northern hardwood*. For. Chron. 79 : 898-905.

- BENNETT, A.L. et M.M. ARMSTRONG, 1981. *Insurance silviculture in the black cherry-maple type*. J. For. 79 : 146-149, 154.
- BERRY, A.B., 1981. *Étude de l'exploitation des feuillus tolérants par coupe sélective*. Environnement Canada, Service canadien des forêts, Rapport d'information PL-X-8(F). 12 p.
- BLUM, B.M. et S.M. FILIP, 1963. *A demonstration of four intensities of management in northern hardwoods*. U.S. Dept. Agr., For. Serv., Northeast. For. Exp. Stn., Upper Darby, PA.
- BODINE, J.T., 2000. *The effects of eight silvicultural treatments on quality development, financial returns, and regeneration following 42 years of management in second-growth, northern hardwood stands*. Mémoire de maîtrise, Michigan Technological University. 82 p.
- BOIVIN, J.L., 1973. *Étude de la régénération après une coupe à diamètre limite*. Gouv. du Québec, ministère des Terres et Forêts, Service des plans d'aménagement. 70 p.
- BROWN, J.-L., 1981. *Les forêts du Témiscamingue, Québec. Écologie et photo-interprétation*. Lab. d'écolog. for., Université Laval. Étude écologique n° 5. 447 p.
- BUONGIORNO, J., A. KOLBE et M. VASIEVICH, 2000. *Economic and ecological effects of diameter-limit and BDq management regimes : simulation results for northern hardwoods*. Silvae Fenn. 34 : 223-235.
- BURNS, R.M. et B.H. HONKALA, 1990. *Silvics of North America: 1. Conifers; 2. Hardwoods*. Agriculture Handbook 654. USDA., For. Serv., Washington, DC, 877 p.
- CARMEAN, W.H., 1978. *Site index curves for northern hardwoods in northern Wisconsin and upper Michigan*. North Cent. For. Exp. Stn., Minnesota. 16 p.
- COMITÉ CONSULTATIF DU MANUEL D'AMÉNAGEMENT FORESTIER, 2003. *Aménagement de peuplements de structure inéquienne pour la production du bouleau jaune : Avis scientifique*. Gouv. du Québec, Forêt Québec, min. des Ress. nat., Dir. rech. for. 158 p.
- COMITÉ MRNF-CIFQ-MDEIE SUR LES FEUILLUS, 2005. *Protocole d'entente concernant le Règlement des crédits sylvicoles applicables aux coupes partielles 2004-2005 et la mise en place des travaux alternatifs 2005-2006*. Gouv. du Québec. 13 p.

- COMMISSION D'ÉTUDE SUR LA GESTION DE LA FORÊT PUBLIQUE QUÉBÉCOISE, 2004. *Rapport*. Gouv. du Québec, Commission d'étude sur la gestion de la forêt publique québécoise. 307 p.
- CROW, T.R. et F.T. METZGER, 1987. *Regeneration under selection cutting*. In : Proc. Managing northern hardwoods. Nyland, R.D. (ed.). N.Y. State Univ. Coll., Environ. Sci. For. Syracuse. Tech. Publ. No. 13 (ESF 87-002) (Soc. Am. For. Publ. No. 87-03). p. 81–94.
- CROW, T.R., D.S. BUCKLEY, E.A. NAUERTZ et J.C. ZASADA, 2002. *Effects of management on the composition and structure of northern hardwood forests in Upper Michigan*. For. Sci. 48 :129-145.
- CROW, T.R., R.R. OBERG, D.J. RODNEY et C.H. TUBBS, 1981. *Stocking and structure for maximum growth in sugar maple selection stands*. North Cent. For. Exp. Stn., St. Paul, Minnesota.
- DAVIS, L.S., K.N. JOHNSON, P.S. BETTINGER et T.E. HOWARD, 2001. *Forest Management : To sustain ecological, economic and social values*. 4^e édition. McGraw Hill, NY. 804 p.
- DOUCET, R., M. PINEAU, J.-C. RUEL et G. SHEEDY, 1996. *Sylviculture appliquée*. Dans : Les Presses de l'Université Laval et l'Ordre des ingénieurs forestiers du Québec, éditeurs. Québec. p. 965-995.
- DOYON, F. et S. SOUGAVINSKI, 2002. *Caractérisation du régime de perturbations naturelles de la forêt feuillue du nord-est de l'Amérique du Nord*. Institut québécois d'aménagement de la forêt feuillue, Ripon, Québec. 116 p.
- DUBOURDIEU, J., 1997. *Manuel d'aménagement forestier*. Office national des forêts – Technique et documentation. Lavoisier, Paris.
- DWYER, J.P. et W.B. KURTZ, 1991. *The realities of sustainable management vs. diameter limit harvest*. North. J. Appl. For. 8 : 174-176.
- ERDMANN, G.G. et R.R. OBERG, 1973. *Fifteen-year results from six cutting methods in second-growth northern hardwoods*. North Cent. Exp. Stn., St. Paul, Minnesota.
- ERICKSON, M.D., D.D. REED et G.D. MROZ, 1990. *Stand development and economic analysis of alternative cutting methods in northern hardwoods : 32-year results*. North. J. Appl. For. 7 : 153-158.

- EYRE, F.H. et F.R. LONGWOOD, 1951. *Reducing mortality in old-growth northern hardwoods through partial cutting*. Station Paper 24, 13 p.
- EYRE, F.H. et W.M. ZILLGITT, 1953. *Partial cutting in northern hardwoods of the Lake states*. Lake States For. Exp. Stn., Washington, DC. Technical Bulletin 1076, 123 p.
- FORTIN, M., J. BÉGIN et L. BÉLANGER, 2003. *Les coupes partielles : une alternative à la coupe à blanc dans les peuplements mixtes de sapin baumier et d'épinette rouge en termes de rendement*. For. Chron. 79 : 948-956.
- FOURCHY, P., 1952. *En Suisse, quelques aspects de la sylviculture contemporaine*. Revue forestière française 4 : 315-341.
- FRANK, R.M. et J.C. BJORKBOM, 1973. *A silvicultural guide for spruce-fir in the Northeast*. GTR-NE-006, USDA, For. Serv., Northeast. For. Exp. Stn., Upper Darby, PA.
- FRANK, R.M. et B.M. BLUM, 1978. *The selection system of silviculture in spruce-fir stands-procedures, early results, and comparisons with unmanaged stands*. NE-425, USDA, Northeast. For. Exp. Stn., Broomall, PA.
- FROTHINGHAM, E.H., 1915. *The northern hardwood forest : Its composition, growth, and management*. 285, USDA, Washington.
- FSC CANADA, 2004. *FSC standards for well managed forests in the GLSL forests of Ontario and Québec*. Draft 1.0, Working document for consultation. 96 p.
- GODMAN, R.M. et D.J. BOOKS, 1971. *Influence of stand density on stem quality in pole-size northern hardwoods*. Research Paper NC-54. USDA, For. Serv., North Cent. For. Exp. Stn., St. Paul, MN.
- GOODBURN, J.M. et C.G. LORIMER, 1999. *Population structure in old-growth and managed northern hardwoods : an examination of the balance diameter distribution concept*. For. Ecol. Manage. 118 : 11-29.
- GRONDIN, P. et A. CIMON, 2003. *Les enjeux de biodiversité relatifs à la composition forestière*. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs. 200 p.

- GUILLEMETTE, F., D. BLOUIN, G. LESSARD et A. PATRY, 2003a. *Suivi après trois ans – Installation de la régénération naturelle dans un peuplement mixte à dominance feuillue de la région de la Mauricie (dispositif du lac Marcotte)*. Centre collégial de transfert de technologie en foresterie (CERFO), 2003-02. 39 p.
- GUILLEMETTE, F., G. LESSARD, D. BLOUIN et A. PATRY, 2003b. *Suivi après deux ans – Détermination des conditions de réussite de la CPE dans les peuplements à dominance résineuse de la forêt mixte (Dispositif du lac Belette)*. Centre collégial de transfert de technologie en foresterie (CERFO), 2003-13. 31 p. + 5 annexes.
- HANNAH, P.R., 1988. *The shelterwood method in northeastern forest types : a literature review*. North. J. Appl. For. 5 : 70-77.
- HANSEN, G. et R.D. NYLAND, 1987. *Effects of diameter distribution on the growth of simulated uneven-aged sugar maple stands*. Can. J. For. Res. 17 : 1-8.
- HEILIGMANN, R.B. et J.S. WARD, 1993. *Hardwood regeneration twenty years after tree distinct diameter-limit cuts*. Dans : A.R. Gillespie, G.R. Parker, P.E. Pope et G. Rink, editors. 9th Central Hardwood Forest Conference. USDA, For. Serv., North Cent. For. Exp. Stn., Purdue University, West Lafayette, Indiana.
- HELMS, J.A., 1998. *The dictionary of forestry*. Society of American Foresters, Bethesda, MD. 210 p.
- HORSLEY, S.B. et D.A. MARQUIS, 1983. *Interference by weeds and deer with Allegheny hardwood reproduction*. Can. J. For. Res. 13 : 61-69.
- HUOT, M., 1987. *Régénération naturelle du pin blanc après coupe à diamètre limite dans le sud-ouest québécois*. École des gradués, Université Laval. Mémoire de maîtrise non publié. 87 p.
- HUTNIK, R.J., 1958. *Three diameter-limit cuttings in West Virginia hardwoods : a 5-year report*. USDA, For. Serv., Northeast. For. Exp. Stn, Station Paper no. 106, Upper Darby, PA. 13 p.
- JOBIDON, R., 1995. *Autécologie de quelques espèces forestières de compétition d'importance pour la régénération forestière au Québec*. Revue de littérature. Gouv. du Québec, min. Ress. nat., Dir. rech. for. Mémoire de recherche n° 117. 180 p.

- JONES, R.H., R.D. NYLAND et D.J. RAYNAL, 1989. *Response of American beech regeneration to selection cutting of northern hardwoods in New York*. North. J. Appl. For. 6 : 34-35.
- KELTY, M.J. et R.D. NYLAND, 1981. *Regenerating Adirondack northern hardwood by shelterwood cutting and control of deer density*. J. For. 79 : 22-26.
- KENEFIC, L.S. et R.D. NYLAND, 2005. *Diameter-limit cutting and silviculture in northeastern forests : A primer for landowners, practitioners, and policymakers*. USDA For. Serv., Northeast. Area State and Private Forestry, Newton Square, PA. 18 p.
- KENEFIC, L.S. et R.D. NYLAND, 2006. *Proceedings of the conference on diameter-limit cutting in northeastern forests*. USDA For. Serv., Northeast. Res. Stn., Gen. Tech. Rpt. NE-342. 51 p.
- KENEFIC, L.S., P.E. SENDAK et J.C. BRISSETTE, 2005. *Comparison of fixed diameter-limit and selection cutting in northern conifers*. North. J. Appl. For. 22(2) : 77-84.
- LAMSON, N.I. et W.B. LEAK, 2000. *Guidelines for applying group selection harvesting*. USDA, For. Serv., Northeast. Area State and Private Forestry, Newtown Square, PA.
- LAMSON, N.I. et H.C. SMITH, 1991. *Yields of Appalachian hardwood stands managed with single-tree selection for at least 30 years*. USDA, For. Serv., Northeast. For. Exp. Stn., Radnor, PA.
- LEAK, W.B., 1964. *An expression of diameter distribution for unbalanced, uneven-aged stands and forests*. For. Sci. 10 : 39-50.
- LEAK, W.B., 1996. *Long-term structural change in uneven-aged northern hardwoods*. For. Sci. 42 : 160-165.
- LEAK, W.B., 1999. *Stand structure in evenaged northern hardwoods : development and silvicultural implication*. North. J. Appl. For. 16 : 115-119.
- LEAK, W.B., 2002. *Origin of sigmoid diameter distributions*. USDA For. Serv., Northeastern Res. Station, Res. Pap. NE-718. 10 p.
- LEAK, W.B., 2003. *Best density and structure for uneven-aged northern hardwood management in New England*. North. J. Appl. For. 20 : 43-44.

- LEAK, W.B. et S.M. FILIP, 1977. *Thirty-eight years of Group Selection in New England northern hardwoods*. J. For. 75 : 641-643.
- LEAK, W.B. et J.H. GOTTSACKER, 1985. *New approaches to uneven-age management in New England*. North. J. Appl. For. 2 : 28-31.
- LEAK, W.B. et D.S. SOLOMON, 1975. *Influence of residual stand density on regeneration of northern hardwoods*. USDA For. Serv., Res. Pap. NE-310. 9 p.
- LEAK, W.B. et R. WILSON, Jr., 1958. *Regeneration after cutting of old-growth northern hardwoods in New Hampshire*. USDA For. Serv., Northeast. For. Exp. Stn., Pap. 103. 8 p.
- LEAK, W.B., D.S. SOLOMON et P.S. DEBALD, 1987. *Silvicultural guide for northern hardwood types in the northeast (revised)*. USDA For. Serv., Northeast. For. Exp. Stn., Res. Pap. NE-603. 36 p.
- LEAK, W.B., D.S. SOLOMON et S.M. FILIP, 1969. *A silvicultural guide for northern hardwoods in the Northeast*. USDA For. Serv., Upper Darby, PA. Res. Pap. NE-143.
- LEMIEUX, G., 1963. *Ecology and productivity of the northern hardwood forests of Québec*. University of Michigan, Ann Harbor. 144 p. (Thèse de doctorat).
- LESSARD, G., T. RYABEL, D. BLOUIN, M. HUOT, R. JOBIDON, C. CAMIRÉ et C. OLIVIER, 1999. *L'utilisation des trouées dans la régénération des forêts du Québec*. Encart de L'Aubelle : 128.
- LORIMER, C.G. et L.E. FRELICH, 1994. *Natural disturbance regimes in Old-Growth Northern Hardwoods : implication for restoration efforts*. J. For. 92 : 33-38.
- LUSSIER, J.-M., R. GAGNÉ et G. BÉLANGER, 2000. *Analyse dendroécologique des bétulaies jaunes à sapin de la région de Portneuf : résultats préliminaires*. Dans : De la recherche à la pratique, systèmes sylvicoles adaptés à la forêt mélangée (SSAM), 2^e atelier, Duchesnay 6 et 7 juin 2000. p. 24-28.
- MADER, S. et R.D. NYLAND, 1984. *Six-year response of northern hardwoods to selection system*. North. J. Appl. For. 1 : 87-91.

- MAJCEN, Z., 1997. *Coupe de jardinage et coupe de succession dans trois secteurs forestiers : accroissement décennal en surface terrière et état de la régénération*. Gouv. du Québec, min. Ress. nat., Dir. de la rech. for. Mémoire n°129. 48 p.
- MAJCEN, Z. et S. BÉDARD. 2000. *Accroissement après 15 ans dans une érablière à la suite de coupes de jardinage de diverses intensités*. Dir. rech. for., Sainte-Foy. Note de recherche n° 98. 12 p.
- MAJCEN, Z. et S. BÉDARD, 2003. *Accroissement et régénération à la suite de coupes de jardinage dans les bétulaies à bouleau jaune et sapin baumier*. Gouv. du Québec, min. Ress. nat., Faune et Parcs, Dir. de la rech. for. Rapport interne n° 481. 26 p.
- MAJCEN, Z. et Y. RICHARD, 1992. *Résultats après 5 ans d'un essai de coupe de jardinage dans une érablière*. Can. J. For. Res. 22 : 1623-1629.
- MAJCEN, Z., BÉDARD, S. et S. MEUNIER, 2005. *Accroissement et mortalité quinze ans après la coupe de jardinage dans quatorze érablières du Québec méridional*. Gouv. du Québec, min. Ress. nat., Dir. rech. for. Mémoire de recherche n° 148. 39 p.
- MAJCEN, Z., Y. RICHARD et M. MÉNARD, 1984. *Écologie et dendrométrie dans le sud-ouest du Québec. Étude de douze secteurs forestiers*. Gouv du Québec, min. Énergie et Ress., Serv. de la rech. Mémoire de recherche n° 85. 333 p.
- MAJCEN, Z., Y. RICHARD et M. MÉNARD, 1985. *Composition, structure et rendement des érablières dans cinq secteurs de la région de l'Outaouais*. Gouv. du Québec, min. Énergie et Ress., Serv. de la rech. Mémoire de recherche n° 88. 130 p.
- MAJCEN, Z., Y. RICHARD et M. MÉNARD, 1987. *Composition, structure et rendement des tremblaies à érable à sucre et des bétulaies jaunes à sapin baumier dans trois secteurs forestiers du sud-ouest québécois*. Gouv. du Québec, min. Énergie et Ress., Serv. de la rech. Rapport interne n° 287. 109 p.
- MAJCEN, Z., Y. RICHARD, M. MÉNARD et Y. GRENIER, 1990. *Choix des tiges à marquer pour le jardinage d'érablières inquiennes. Guide technique*. Gouv. du Québec, min. Énergie et Ress., Serv. de la rech. Mémoire de recherche n° 96. 94 p.

- MALENFANT, A. et A. PATRY, 2002. *Comparaison de différents traitements sylvicoles pour l'installation de la régénération en bouleau jaune dans des peuplements mixtes à dominance feuillue – Suivi 2001*. Groupement forestier Baie-des-Chaleurs, New Richmond. 73 p.
- MARQUIS, D.A., 1969. *Silvicultural requirements for natural birch regeneration*. Dans : Birch Symposium Proceedings. USDA, For. Serv., Northeast. For. Exp. Stn., Upper Darby, Pa. p. 55-73
- MARQUIS, D.A., 1978. *Application of uneven-aged silviculture and management on public and private land*. Dans : Uneven-aged silviculture and management in the United States, Combined Proceedings of two In-service Workshops held in Morgantown, West Virginia, July 15-17, 1975 and in Redding, California, October 19-21, 1976. USDA For. Serv., Timber Manage. Res. p. 25-61.
- MARQUIS, D.A., R.L. ERNST et S.L. STOUT, 1992. *Prescribing silvicultural treatments in hardwood stands of the Alleghenies (revised)*. USDA, For. Serv., Northeast. For. Exp. Stn., Radnor, PA.
- MCCAY, R. et N. LAMSON, 1980. *Short-term gains from cutting Appalachian hardwood stands*. Northern Logger and Timber Processor 29(6) : 16-17; 73.
- MCGEE, G.G., D.J. LEOPOLD et R.D. NYLAND, 1999. *Structural characteristics of old-growth, maturing, and partially cut northern hardwood forest*. Ecol. Appl. 9(4) : 1316-1329.
- MESSIER, J., D. KNEESHAW, M. BOUCHARD et A. de RÖMER, 2005. *A comparison of gap characteristics in mixedwood old-growth forests in eastern and western Quebec*. Can. J. For. Res. 35 : 2510-2514.
- MÉTRO, A., 1975. *Terminologie forestière*. Association française des eaux et forêts. Conseil international de la langue française, Paris. 432 p.
- MEUNIER, S., D. GRAVEL, G. LESSARD, D. BLOUIN, A. PATRY, F.J. RHEAULT, 2002. *Étude sur les traitements sylvicoles favorisant le bouleau jaune à la Station forestière de Duchesnay*. CERFO, rapport 3401. Sainte-Foy, Québec. 29 p.
- MEYER, H. A. 1952. *Structure, growth, and drain in balanced uneven-aged forests*. J. For. 50 : 85-93.

- MILLER, G.W. et T.M. SCHULER, 1995. *Development and quality of reproduction in two-age central Appalachian hardwoods – 10-year results*. Dans : K.W. Gottschalk et S.L.C. Fosbroke, editors. 10th Central Hardwood Forest Conference. USDA, For. Serv., Northeast. For. Exp. Stn., Lakeview Resort and Conference Center, Morgantown, WV.
- MILLER, G.W. et H.C. SMITH, 1991. *Comparing partial cutting practices in central Appalachian hardwoods*. Dans : L.H. McCormick et K.W. Gottschalk, editors. 8th Central Hardwood Forest Conference. USDA, For. Serv., Northeast. For. Exp. Stn., University Park, Pennsylvania.
- MILLER, G.W. et H.C. SMITH, 1993. *A practical alternative to single-tree selection?* North. J. Appl. For. 10 : 32-38.
- MILLER, G.W., J.E. JOHNSON et J.E. BAUMGRAS, 1997. *Deferment cutting in central Appalachian hardwoods : an update*. For. Landowner September/October : 28-31, 68.
- MILLER, G.W., J.N. KOCHENDERFER et D.B. FEKEDULEGN, 2006. *Influence of individual reserve trees on nearby reproduction in two-aged Appalachian hardwood stands*. For. Ecol. and Manage. 224 : 241-251.
- MILLER, G.W., T.M. SCHULER et C.H. SMITH, 1995. *Method for applying group selection in central Appalachian hardwoods*. Northeast. For. Exp. Stn., Res. Pap NE-696. 11 p.
- MITCHELL, R.J., J.F. FRANKLIN, B. PALIK, L.K. KIRKMAN, L.L. SMITH, R.T. ENGSTROM et M.L. HUNTER, Jr., 2003. *Natural disturbance-based silviculture for restoration and maintenance of biological diversity*. Dans : Final Report to the National Commission on Science for Sustainable Forestry. 120 p.
- MINISTÈRE DES RESSOURCES NATURELLES, DE LA FAUNE ET DES PARCS, 2003. *Manuel d'aménagement forestier. 4^e édition*. Gouv. du Québec, min. des Ress. nat., de la Faune et des Parcs, Dir. des progr. for. 245 p.
- MINISTÈRE DES RESSOURCES NATURELLES, DE LA FAUNE ET DES PARCS, 2002. *Plan d'action pour l'amélioration de l'aménagement des forêts feuillues du domaine de l'État*. Gouv. du Québec, min. Ress. nat., de la Faune et des Parcs, Bureau des sous-ministres associés aux forêts. Québec. 6 p.

- MURPHY, P.A., M.G. SHELTON et R.C. SCHLESIGNER, 1992. *Group selection – Problems and possibilities for the more shade intolerant species*. Dans : A.R. Gillespie, G.R. Parker et P.E. Pope, ed. Proceedings of the 9th Central Hardwood Forest Conference. USDA For. Serv., Gen. Tech. Rpt. NC-161. p. 229-247.
- NIESE, J.N. et T.F. STRONG, 1992. *Economic and tree diversity trade-offs in managed northern hardwoods*. Can. J. For. Res. 22 : 1807-1813.
- NIESE, J.N., T.F. STRONG et G.G. ERDMANN, 1995. *Forty years of alternative management practices in second-growth, pole-size northern hardwoods. II. Economic evaluation*. Can. J. For. Res. 25 : 1180-1188.
- NYLAND, R.D., 1987. *Selection system and its application to uneven aged northern hardwoods*. Dans : Nyland, R.D. editor. Managing Northern Hardwoods; SUNY Coll. Environ. Sci. and For., Fac. For. Misc. Publ. 13 (ESF 87-002), Society of American Foresters Publ. 87-03. p. 49-81.
- NYLAND, R.D., 1988. *Past and present silviculture and harvesting practices in central and northern hardwoods*. Dans : Demeritt, I.M.E. editor. Tree Improve Conf. and 6th For. Tree Improve Association Annual Meeting, Loint Meet., NE tree Improve. U.S. For. Serv., Brea, KY. p. 21-39
- NYLAND, R.D., 1997. *Regeneration under selection system*. Dans : Emmingham, W.H. ed. Proceedings of the IUFRO 1.14.00 Interdisciplinary uneven-aged silviculture symposium, September 15-19, 1997, Corvallis, Oregon. p. 325-337.
- NYLAND, R.D., 1998. *Selection system in northern hardwoods*. J. For. 96 : 18-20.
- NYLAND, R.D., 2002. *Silviculture : concept and applications*. 2^e édition. New York, McGraw-Hill, 682 p.
- NYLAND, R.D., 2003. *Even- to uneven-aged : the challenges of conversion*. For. Ecol. Manage. 172 : 291-300.
- NYLAND, R.D., 2005. *Diameter-limit cutting and silviculture : A comparison of long-term yields and values for uneven-aged sugar maple stands*. North. J. Appl. For. 22 : 111-116.

- NYLAND, R.D., 2006. *Diameter-limit cutting and silviculture in northern hardwoods*. Dans : L.S. Kenefic et R.D. Nyland, éditeurs. Proceedings of the Conference on Diameter-Limit Cutting in Northeastern Forests, tenu les 23-24 mai 2005 à Amherst, MA. USDA For. Serv., Northeast. Res. Stn., Gen. Tech. Rpt. NE-342 : 16-23.
- ONDRO, W.J. et D.V. LOVE, 1979. *Growth response of northern hardwoods to partial cutting in southern Ontario*. For. Chron. 55 : 1-16.
- ONTARIO MINISTRY OF NATURAL RESOURCES, 1998. *A silvicultural guide for the tolerant hardwood forest in Ontario*. OMNR, Ontario. Toronto.
- ONTARIO MINISTRY OF NATURAL RESOURCES, 2004. *Ontario Tree Marking Guide, Version 1.1*. OMNR. Queen's Printer for Ontario. Toronto. 252 p.
- PAYETTE, S., A. DELWAIDE et L. FILLION, 1990. *Disturbance regime of a cold temperate forest as deduced from tree-ring patterns : the Tantaré Ecological Reserve, Québec*. Can. J. For. Res. 20 : 1228-1241.
- PRÉVOST, M., 2006. *Essais sylvicoles en forêt mixte dans la région de Québec*. Dans : Gouvernement du Québec, Fonds de recherche sur la nature et les technologies et Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, éditeurs. Forum de transfert sur l'aménagement et l'environnement forestiers, tenu à Québec le 6 avril 2006. p. 33-42.
- RAYMOND, P., A.D. MUNSON, J.-C. RUEL, et P. NOLET, 2003. *Group and single-tree selection cutting in mixed tolerant hardwood–white pine stands : Early establishment dynamics of white pine and associated species*. For. Chron. 79 : 1093-1106.
- REED, D.D., M.J. HOLMES et J.A. JOHNSON, 1986. *A 22-year study of stand development return in northern hardwood*. North. J. Appl. For. 3 : 35-38.
- ROACH, B.A., 1974. *Selection cutting and group selection*. SUNY Coll. Environ. Sci. and For., Appl. For. Res. Inst., AFRI Misc. Rpt. 5. Syracuse NY. 9 p.
- ROBERGE, M.R., 1987. *Aménagement d'une bétulaie jaune à érables par la coupe par groupes : résultats de 15 ans*. Agriculture Canada, Service canadien des forêts, Centre de foresterie des Laurentides. 21 p.

- ROBERGE, M.R., 1988. *Vingt ans d'aménagement par groupes d'une bétulaie jaune à érables*. Agriculture Canada, Service canadien des forêts, Centre de foresterie des Laurentides. 22 p.
- ROBITAILLE, L. et J.-L. BOIVIN, 1987. *Résultats, après 10 ans, d'une coupe à diamètre minimum d'exploitation dans un peuplement feuillu*. For. Chron. 63 : 15-19.
- ROBITAILLE, L. et Z. MAJCEN, 1991. *Traitements sylvicoles visant à favoriser la régénération et la croissance du bouleau jaune*. L'Aubelle 82 : 10-12.
- ROY, V., R. JOBIDON et L. BLAIS, 2001. *Étude des facteurs associés au dépérissement du bouleau à papier en peuplement résiduel après coupe*. For. Chron. 77 : 509-517.
- RUBIN, B.J., P.D. MANION et Dan FABER-LANGENDOEN, 2006. *Diameter distribution and structural sustainability in forests*. For. Ecol. Manage. 222 : 427-438.
- RUNKLE, J.R., 1981. *Gap regeneration in some old-growth forests of the eastern United States*. Ecology 62.
- RUNKLE, J.R., 1990. *Gap dynamics in an Ohio Acer-Fagus and speculations on geography of disturbance*. Can. J. For. Res. 20 : 632-641.
- SCHULER, T.M., 2004. *Fifty years of partial harvesting in a mixed mesophytic forest: composition and productivity*. Can. J. For. Res. 34 : 985-997.
- SCHÜTZ, J.-P., 1997. *Sylviculture 2 : La gestion des forêts irrégulières et mélangées*. Presses polytechniques et universitaires romandes, Lausanne, Suisse. 178 p.
- SEDAK, P.E., J.C. BRISSETTE et R.M. FRANK, 2003. *Silviculture affects composition, growth, and yield in mixed northern conifers : 40-year results from the Penobscot Experimental Forest*. Can. J. For. Res. 33 : 2116-2128.
- SEDAK, P.E., W.B. LEAK et W.B. RICE, 2000. *Hardwood tree quality development in the White Mountains of New Hampshire*. North. J. Appl. For. 17 : 9-15.

- SEYMOUR, R.S., 2004. *Integrating natural disturbance parameters into conventional silvicultural systems : experience from the Acadian forest of Northeastern North America*. Conférence présentée au congrès de l'IUFRO. Balanced ecosystem values : innovative experiments in sustainable forestry, 18 août 2004.
- SEYMOUR, R.S. et L.S. KENEFIC, 2002. *Influence of age on growth efficiency of Tsuga canadensis and Picea rubens trees in mixedspecies, multiaged northern conifer stands*. Can. J. For. Res. 32 : 2032-2042.
- SEYMOUR, R.S., A.S. WHITE et P.G. DEMAYNADIER, 2002. *Natural disturbance regimes in northeastern North America-evaluating silvicultural systems using natural scales and frequencies*. For. Ecol. Manage. 155 : 357-367.
- SMITH, H.C. et N.I. LAMSON, 1982. *Number of residual trees : a guide for selection cutting*. Northeast. For. Exp. Stn., Broomall, PA.
- SMITH, H.C. et G.W. MILLER, 1987. *Managing Appalachian hardwood stands using four regeneration practices-34-year results*. North. J. Appl. For. 4 : 180-185.
- SMITH, H.C., N.I. LAMSON et G.W. MILLER, 1989. *An aesthetic alternative to clearcutting? Deferment cutting in eastern hardwoods*. J. For. 37 : 14-18.
- SMITH, D.M., B.C. LARSON, M.J. KELTY et P.M.S. ASHTON, 1997. *The practice of silviculture : Applied forest ecology*. 9^e édition. John Wiley and Sons. 537 p.
- SOKOL, K.A., M.S GREENWOOD et W.H. LIVINGSTON, 2004. *Impacts of long-term diameter-limit harvestings on residual stands of red spruce in Maine*. North. J. Appl. For. 21(2) : 69-73.
- SOLOMON, D.S., 1977. *The influence of stand density and structure on growth of northern hardwoods in New England*. USDA, For. Serv., Northeast. For. Exp. Stn., Upper Darby, PA.
- SOLOMON, D.S. et B.M. BLUM, 1967. *Stump sprouting of four northern hardwoods*. USDA For. Serv. Res. Pap. NE-59. 13 p.

- STOUT, S.L. et R. LAWRENCE, 1995. *Deer in Allegheny plateau forests : learning the lessons of scale*. Dans : Proceedings Society of American Foresters Annual Convention, Portland, ME, Oct. 28th-Nov. 1st, 1995. p. 92-98.
- STOUT, S.L., D.S. DECALESTA et L. DEMARCO, 1995. *Can silviculture change deer impact?* Dans : Proceedings Society of American Foresters Annual Convention, Portland, ME, Oct. 28th-Nov. 1st, 1995. p. 437-438.
- STRONG, T.F., 1995. *Hemlock regeneration by the shelterwood method: 20-year results*. Dans : Proceedings of a Regional Conference on Ecology and Management of Eastern hemlock, Department of Forestry School of Natural Resources, Iron Mountain, Michigan. September 27 - 28, 1995. p. 187-194.
- STRONG, T.F., G.G. ERDMANN et J.N. NIESE, 1995. *Forty years of alternative management practices in second-growth, pole-size northern hardwoods. I. Tree quality development*. Can. J. For. Res. 25 : 1173-1179.
- TRIMBLE, G.R., Jr., 1968. *Growth of Appalachian Hardwoods as affected by site and residual stand density*. USDA, For. Serv., Northeast. For. Exp. Stn., Upper Darby, PA. RP NE-68.
- TRIMBLE, G.R., Jr., 1971. *Diameter-limit cutting in Appalachian hardwoods : boon or bane?* USDA, For. Serv., Northeast. For. Exp. Stn., Upper Darby, PA.
- TRIMBLE, G.R.Jr., J.H. PATRIC, J.D. GILL, G.H. MOELLER et J.N. KOCHENDERFER, 1974. *Some options for managing forest land in the central Appalachians*. USDA, For. Serv., Northeast. For. Exp. Stn., Upper Darby, PA.
- TUBBS, C.H., 1977a. *Age and structure of a northern hardwood selection forest, 1929-1976*. J. For. January 1977 : 22-24.
- TUBBS, C.H., 1977b. *Manager's handbook for northern hardwoods in the north-central states*. USDA, For. Serv., North Cent. For. Exp. Stn, St. Paul, MN: Gen. Tech. Rpt NC-39. 29 p.
- WIEMANN, M.C., T.M. SCHULER et J.E. BAUMGRAS, 2004. *Effects of uneven-aged and diameter-limit management on West Virginia tree and wood quality*. USDA, For. Serv., Forest Products Laboratory, Madison, WI.

WINGET, C.H., 1968. *Species composition and development of second-growth hardwood stands in Quebec*. For. Chron. 44 : 31-35.

ZARNOVICAN, R., 1998. *Éclaircie précommerciale dans une jeune érablière à bouleau jaune : résultats après 10 ans*. Ress. Nat. Can., Service canadien des forêts, Sainte-Foy, Québec. LAU-X-123.

ZARNOVICAN, R., 2001. *Glaze damage in a young yellow birch stand in southern Québec, Canada*. North. J. Appl. For. 18 : 14-18.

ZHANG, L., J.H. GOVE, C. LIU et W.B. LEAK, 2001. *A finite mixture of two Weibull distributions for modeling the diameter distribution of rotated-sigmoid, uneven-aged stands*. Can. J. For. Res. 31 : 1654-1659.