PROGRAMME
DE MISE EN VALEUR DES RESSOURCES DU MILIEU FORESTIER

ÉTUDE DE DIFFÉRENTS TRAVAUX COMPLÉMENTAIRES À LA COUPE PROGRESSIVE DANS LES ÉRABLIÈRES À CHÊNE ROUGE DE L'OUTAOUAIS

VOLET 1

Présenté à :

Louis Ménard, ing.f.
Unité de gestion Basse-Lièvre 72

Par :
Charles St-Julien, tech.f.
Les entreprise Pro-Folia
et
Guy Lessard, ing.f., M.Sc.
Donald Blouin, ing.f., M.Sc.
Jacques Desjardins, tech.f.
Nadia Zenaddochio, ing.f.
Géry van der Kelen, PolySilva Management
Centre d'enseignement et de recherche en foresterie de Sainte-Foy inc. (CERFO)

Financé par :
Julie Chagnon, ing.f.
Industries James MacLaren

17 juin 1999

© CERFO 99-03

Chênaie rouge sur sommet dans l’Outaouais à l’automne

Remerciements

Nos remerciements vont d'abord à celui qui a rendu ce projet possible, M. Charles St-Julien. Ayant constaté le déclin du chêne rouge en comparant les niveaux actuels avec les anciens rapports de coupe, il s'interrogeait sur les meilleurs moyens de restaurer cette ressources.

Nos remerciements s'adressent également à MM. Louis Ménard et André Laurin de l'Unité de gestion de la Basse-Lièvre pour leur appui et leurs précieux conseils tout au long du projet. Merci à MM. Maurice Lépine et Claude Cauchon pour la culture des jeunes semis de chêne rouge dans la serre du Cégep de Sainte-Foy.

D'autres remerciements s'adressent également à Messieurs Varin, père et fils, contracteurs, pour leur précieuse collaboration lors des opérations de récolte dans le peuplement.

Nos remerciements s'adressent enfin à Mme Claire Demers et Sonia Laverdière pour la révision des textes et la mise en page.

Table des matières

REMERCIEMENTS i
RÉSUMÉ v
INTRODUCTION vi

1. Revue de littérature 1
1.1 Autécologie du chêne rouge 1
1.2 Régénération naturelle 2
1.3 Régénération naturelle et densité du couvert 4
1.4 Procédés de récolte et régénération naturelle 5
1.5 Reboisement 11
1.6 Ensemencement et germination 12
1.6.1 Herbicides et brûlage 12
1.6.2 Sylviculture par abris légers 13
1.7 Ensemencement et germination 14
1.8 Maturité, rendement et croissance en diamètre 16
1.9 Gestion de la densité 18

2. Objectif du projet 19

3. Méthodologie 21
3.1 Peuplement étudié 21
3.2 Traitements expérimentés 22
3.3 Description du dispositif 23
3.4 Inventaire du bois sur pied et de la régénération 25
3.5 Cueillette et sélection des glands 25
3.6 Production de plants en récipients et approvisionnement de plants à racines nues 26
3.7 Réalisation des travaux et prise de données 26

4. Résultats 27
4.1 Impact de la coupe sur la composition du peuplement 27
4.2 Élimination des gaulis par débroussaillement 28
4.3 Ensemencement manuel versus le reboisement du chêne rouge 29
4.4 Influence de la lumière sur la germination du chêne rouge 30
4.5 Plants à racines nues et plants en récipients 32
4.6 Traitement des glands avec un répulsif à rongeur 32
4.7 Présence de semenciers de chêne rouge 32
4.8 Régénération naturelle et effet du scarifiage 33

4.9 Effet de l'ouverture du couvert sur la régénération 35
4.10 Productivité et coûts 35
4.10.1 Débroussaillement sous couvert 35
4.10.2 Scarifiage à la débusqueuse avec chaînes 36
4.10.3 Ensemencement manuel 36
4.10.4 Reboisement 36
4.10.5 Abattage de petits diamètres 36
4.10.6 Récolte 37

5. Discussions 39
5.1 Réintroduction du chêne rouge 39
5.2 Nécessité du suivi 40
5.3 Choix de la stratégie 40
5.4 Simulation des rendements 40
5.5 Traitements non subventionnés 40

6. Recommandations 41

CONCLUSIONS 44

RÉFÉRENCES 45

Annexe 1 Secteur d'intervention (1996-97) des Entreprises Pro-Folia
Annexe 2 Inventaire du bois sur pied et de la régénération (disposition des parcelles)
Annexe 3 Inventaire de régénération autour des chênes rouges (disposition des parcelles)
Annexe 4 Photos

Liste des figures

Figure 1 Indices de qualité de site pour le chêne rouge 16
Figure 2 Table constituée par G. Gauthier et inspirée de Plonski....17
Figure 3 Diagramme de gestion de la densité 18
Figure 4 Dispositif expérimental....24
Figure 5 Surface terrière par essence avant et après coupe 27

Liste des tableaux

Tableau 1 Nombre de glands par arbre en fonction du DHP (cm) dans le sud des Appalaches basé sur un modèle de prédiction (Johnson, 1994)....3

Tableau 2 Nombre de glands par arbre en fonction du DHP (cm) dans le sud des Appalaches basé sur un modèle de prédiction (Johnson, 1994)....11

Tableau 3 Rendement du volume selon les IQS avec ou sans IQS 16

Tableau 4 Espace de croissance et nombre de tiges/ha proposé pour des diamètres moyens de 15.3 à 53.3 cm 18

Tableau 5 Composition du peuplement avant intervention (S.T.)....21

Tableau 6 Combinaison des traitements expérimentés....23

Tableau 7 Échéancier 26

Tableau 8 Composition du peuplement par essence en surface terrière (m^2/ha)....27

Tableau 9 Présence de la régénération naturelle un an après les interventions dans les secteurs débroussaillés et non débroussaillés 28

Tableau 10 Régénération artificielle de chêne rouge un an après intervention des secteurs débroussaillés et non débroussaillés 29

Tableau 11 Analyse de variance pour la distribution de la régénération artificielle de chêne rouge 29

Tableau 12 Analyse de variance pour la quantité de régénération artificielle de chêne rouge....30

Tableau 13 Effet de la lumière sur la présence de la régénération naturelle....31

Tableau 14 Quantité de régénération naturelle de chêne rouge autour des semenciers – secteurs avec ou sans débardage....31

Tableau 15 Analyse de covariance pour la quantité de régénération de chêne rouge....33

Tableau 16 Nombre de tiges et distribution de la régénération dans les secteurs débroussaillés, scarifiés et non scarifiés....34

Tableau 17 Coefficient de corrélation de Pearson entre le pourcentage d'ouverture du couvert et la quantité de régénération installée par essence 35

Tableau 18 Coûts comparatifs ($/ha) dans les peuplements sans semenciers et sans scarifiage....37

Tableau 19 Coûts comparatifs ($/ha) dans les peuplements avec semenciers....37

Résumé

Dans l'aire commune 72-01 (Outaouais), plusieurs peuplements forestiers soulèvent des interrogations quant à la méthode officielle de les traiter. Ceux-ci n'auraient ni la structure et ni une répartition de vigueur adéquate pour être considérés jardinables à la première intervention selon la norme actuelle. D'autre part, quelques problèmes de biodiversité des espèces arborescentes ont été soulevés, notamment des espèces intermédiaires comme le chêne rouge, le bouleau jaune, le cerisier tardif et le pin blanc. D'anciens rapports de coupe révèlent une proportion plus grande de chêne rouge et de pin blanc que celle qu'on retrouve actuellement.

La coupe progressive serait l'une des meilleures méthodes pour régénérer une essence intermédiaire comme le chêne rouge ou le bouleau jaune sans nuire aux autres feuillus tolérants. Le dispositif compare, pour une érablière dégradée sur sommet à sol mince sec, l'impact de différentes modalités d'application de la coupe progressive.

L'influence des différents traitements comme le débroussaillement, le scarifiage, l'ensemencement manuel et la plantation sur l'installation de la régénération des feuillus tolérants, plus particulièrement le chêne rouge, ont été vérifiés.

Les résultats ont démontré que le maintien de 15 à 30 semenciers de chêne rouge bien distribués à l'hectare permet l'installation d'une régénération naturelle de chêne rouge suite à la coupe progressive d'ensemencement et le débroussaillement de la régénération préétablie indésirable afin d'assurer l'entrée de la lumière jusqu'au sol. Les travaux de scarifiage légers permettent de tripler la quantité de chêne rouge établie en passant de 6 990 tiges à l'hectare à plus de 20 970 tiges à l'hectare. Les activités d'ensemencement manuel de glands peuvent être pratiquées pour maintenir la distribution de la régénération dans les secteurs où les semenciers sont absents.

Un suivi régulier sera nécessaire afin de déterminer le moment des prochaines interventions qui sont le dégagement de la régénération et la coupe finale du bois sur pied.

Introduction

Dans l'aire commune 72-01, plusieurs peuplements forestiers soulèvent des interrogations quant à la méthode officielle de les traiter. Ceux-ci n'auraient ni la structure, ni une répartition de vigueur adéquate pour être considérés jardinables à la première intervention selon la norme actuelle. D’autre part, quelques problèmes de biodiversité des espèces arborescentes ont été soulevés, notamment des espèces intermédiaires comme le chêne rouge, le bouleau jaune, le cerisier tardif et le pin blanc. D'anciens rapports de coupe révèlent une proportion plus grande de chêne rouge et de pin blanc que celle qu'on retrouve actuellement sur les sommets secs.

Une revue de littérature préliminaire a démontré que la coupe progressive serait l'une des meilleures méthodes pour régénérer une essence intermédiaire comme le chêne rouge ou le bouleau jaune sans nuire aux autres feuillus tolérants. Le projet compare l'impact de différentes modalités d’application de cette coupe pour favoriser la régénération en feuillus tolérants dans les peuplements non-jardinables. Un effort particulier est consacré à régénérer le chêne rouge afin d'en restaurer la possibilité; les hypothèses concernant le lit de germination et la nécessité d'ouvrir le couvert sont vérifiées. Le dispositif expérimental devrait permettre d'évaluer le traitement le plus approprié (efficacité et coût) pour traiter ce type de peuplement dans la région.

1. Revue de littérature

Étant donné l'objectif de restauration du chêne rouge du projet, la revue de littérature a porté sur l'autécologie de l'espèce, la régénération naturelle, la relation entre la densité du couvert et la régénération naturelle, les procédés de récolte favorisant la régénération du chêne rouge, le reboisement, l'ensemencement et la germination des semences, les rendements et la croissance ainsi que la densité des peuplements.

1.1 Autécologie du chêne rouge

Son aire de distribution s'étend du Nord des Hautes-Laurentides au sud de l'Alabama et des Provinces Maritimes à l'Est du Kansas. On peut le retrouver en peuplements purs. Il peut être associé au pin blanc et à l'érable à sucre dans les forêts, au nord de son aire de distribution (Sander, 1990). On le retrouve également associé aux frênes blanc et rouge, au peuplier à grandes dents et au hêtre à grandes feuilles.

Le chêne rouge est présent sur des sols à textures très variables en passant de l'argile aux sables loameux (Ruel et Margolis, 1997; Dumont, 1995). Belgrand (1983) a toutefois relevé des performances médiocres sur sols à texture fine et à nappe superficielle (30 cm). Colonisant souvent les sommets secs, il semble obtenir une croissance maximale sur des sites frais à humide. Cependant, en condition d'anoxie racinaire, les semis de chêne rouge ne développent pas de racines adaptatives lui permettant de maintenir une activité respiratoire et d'assimilation suffisantes (Dreyer et Colin-Bernard, 1994).

On le retrouve en peuplements purs sur les crêtes rocheuses et les moyens versants bien ensoleillés. L'adaptation du chêne rouge à la sécheresse induit un enracinement profond, des feuilles xéromorphiques, un seuil de potentiel hydrique bas pour la fermeture des stomates, des échanges gazeux élevés, des ajustements osmotiques et un appareil photosynthétique adapté (Abrams, 1997). Parmi les fagacées nord-américains, le chêne rouge est une des espèces les plus tolérantes à la sécheresse.

Certains de ces peuplements relativement purs peuvent émaner du feu (Crcha et Trottier, 1991). L'adaptation du chêne au feu induit une écorce épaisse, la présence d'un pivot, l'aptitude à produire des rejets vigoureux, la résistance à la carie après blessures et la possibilité de bénéficier des lits de germination créés par le feu (Abrams, 1997). L'abondance du chêne rouge à travers la forêt feuillue nordique est liée au régime des perturbations qui y surviennent dont certaines, notamment les feux de forêts, sont devenues extrêmement rares aujourd'hui depuis l'extinction systématique des incendies forestiers (Crow, 1988). Cette situation entraînerait une perte majeure de chênes rouges dominants, favorisant l'envahissement des étages inférieurs par d'autres espèces et une prédation élevée des glands (Abrams, 1997). Historiquement, le passage de feux d'origine naturelle réduisait régulièrement la compétition. Nous ajoutons également à ces facteurs, la présence d'une litière non favorable à la germination. Par ailleurs, suivant le passage en coupe partielle, la régénération naturelle de chêne rouge comporte générale-ment moins de tiges de chêne que le peuplement initial avant perturbation. Or, il est actuellement

connu que seule la présence d'une quantité suffisante de semis de régénération préétablie avant coupe (Clark, 1970; Sander, 1979) est essentielle en vue de retrouver un peuplement de seconde venue qui sera dominé par le chêne rouge (Hill et Dickmann, 1988).

La tolérance à l'ombre du chêne rouge est de moyenne à faible. Lorimer (1983a) le considère de tolérance intermédiaire « faible » (*low midtolerant*) à l'ombre. Si les jeunes semis supportent bien une ambiance ombragée par contre, très rapidement, le chêne rouge a besoin de lumière par la suite pour se développer à son rythme optimal (Muller, 1987). Les semis ne survivent que quelques années sous un couvert dense et supportent mal la concurrence. L'existence de plusieurs strates verticales, associée à une surface terrière élevée, peut réduire l'intensité lumineuse arrivant au sol à moins de 10 % de la pleine lumière (Hanson *et al.* 1987). Les espèces plus tolérantes telles que l'érable à sucre, le hêtre à grandes feuilles et le tilleul d'Amérique représentent une forte compétition pour les semis de chêne rouge (Ruel, 1992). On remarque cependant qu'en pleine lumière, la croissance du chêne rouge est rapide, voire même supérieure à celle des essences tolérantes qui peuvent lui être associées.

Espèce peu encline à développer des branches adventives, le chêne rouge s'élague bien en peuplement (Hubert, 1994; OIFQ, 1996). Même après des éclaircies assez dynamiques, la production de gourmands demeure limitée sur cette espèce de chêne (Ginisty, 1994).

1.2 Régénération naturelle

Le chêne rouge est l'une des essences les plus complexes à régénérer de façon cohérente (Ruel et Margolis, 1997; van der Kelen, 1995). La carence d'une production de glands n'est pas à l'origine de cette difficulté. D'autres facteurs, cités par Lust et Speleers (1990), peuvent entraver le développement des propagules (prédation, insectes, pathogènes, conditions climatiques, compétition, etc.). Afin d'optimiser les efforts déployés pour régénérer un peuplement avec du chêne rouge, la connaissance des conditions favorables à sa régénération est nécessaire.

Les rejets sont abondants sur les petites souches après coupe ou suite au passage d'un feu. Ils sont moins abondants après le passage d'une incendie que chez le tilleul d'Amérique et le cerisier tardif (Braun, 1950). Par contre, et contrairement à ces espèces, le chêne rouge est plus en mesure de rejeter à partir de tiges âgées de 25 à 45 ans qu'à partir de souches (McGee, 1978; Roth et Sleeth, 1939), voire même jusqu'à près de 100 ans (Wendel, 1975). Toutefois, l'abondance des rejets peut décroître jusqu'à près de 0 sur les tiges atteignant 65 cm de dhp (Stroempl, 1983). Les rejets qui prennent naissance au niveau ou sous le collet présentent deux fois moins de carie que ceux survenant à une hauteur plus importante à partir de celui-ci (Stroempl, 1983). Ils seraient plus sujets à courber à la base mais la croissance en hauteur pouvant cependant atteindre une moyenne annuelle de 60 cm durant une trentaine d'années. Wilson (1968) a observé que les rejets apparaissant au sommet des souches, bien qu'exemptes de pathogènes, étaient néanmoins très susceptibles au bris dû au vent ou d'autres facteurs. Les rejets de souche sont une part importante de la régénération des chênaies qui ne doit pas être négligée (Johnson, 1977). Si Stroempl (1983) a donné d'intéressantes recommandations sur la

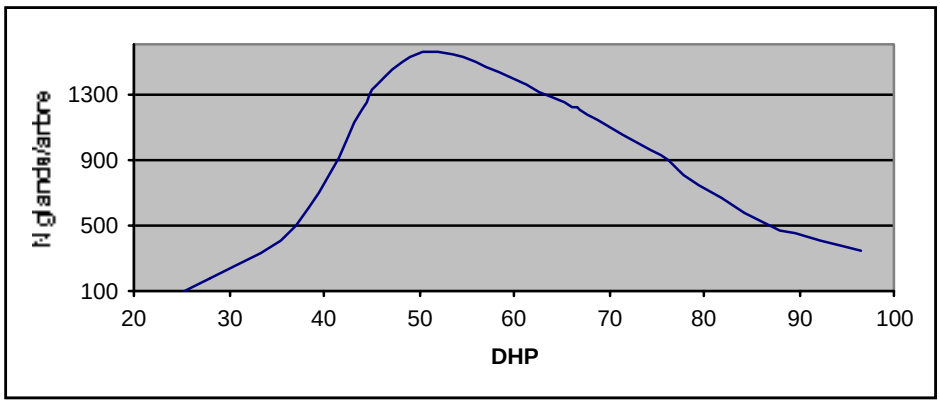
façon de stimuler le développement de rejets de souche et de pratiquer des éclaircies parmi les brins (proches du régime du taillis pratiqué anciennement sur une grande échelle dans les chênaies européennes); celles-ci sembleraient ne pas être rémunératrices sur une base uniquement de rentabilité financière (Dwyer *et al*., 1993).

En ce qui a trait à la reproduction sexuée, on retrouve un meilleur taux de germination des glands sur un sol minéral humide, bien drainé, lorsque le gland est enfoui sous la litière. La germination peut aussi être favorisée par un bouleversement du sol. Les glands nécessitent toutefois une période de dormance qu'ils obtiennent grâce à une stratification par le froid. Au printemps, la germination est meilleure si le gland est enterré ou en contact avec le sol minéral puisqu'à la surface du sol, il risque de sécher rapidement. La dispersion par la gravité ou la faune s'effectue sur de faibles distances.

Les bonnes glandées apparaissent à intervalles irréguliers de 2 à 5 ans (Sander, 1990) à partir de 50 ans. Les clones produisent des glands à partir de 25 ans. La croissance des semis de chêne rouge est plutôt lente au cours des toutes premières années. Toute l'énergie est concentrée sur la production d'un pivot vigoureux au détriment de la croissance en hauteur.

Le tableau 1 présente le nombre de glands/arbre en fonction de DHP dans le sud des Appalaches selon un modèle de prédiction développé par Johnson (1994). Le nombre de glands maximal par arbre est produit lorsque les diamètres à hauteur de poitrine sont situés de 45 cm à 62 cm environ. Un bon semencier produit plus de 16 glands par branches, alors qu'un excellent dépasse 24 glands par branches (Sharp, 1958 in Johnson, 1984) Les 60 derniers centimètres des branches saines du tiers supérieur de la cime.

Tableau 1 Nombre de glands par arbre en fonction du DHP (cm) dans le sud des Appalaches basé sur un modèle de prédiction (Johnson, 1994)



Les différents types de prédation (vers, écureuils, cerfs de Virginie, etc.) peuvent entraîner de fortes pertes de semences (Ruel et Margolis, 1997). Le broutage du chêne rouge serait un problème important à considérer puisqu'il peut laisser en situation «libre de croître» la régénération de hêtre à grandes feuilles plus en mesure de pouvoir se développer rapidement à l'ombre (Hannah, 1988). Cet effet a été observé dans plusieurs secteurs de l'Outaouais (Lessard, Blouin et Vallée, 1997). Un contrôle de 33 à 39 cerfs de Virginie *(Odocoileus virginianus)* par kilomètre carré est suggéré (Marquis *in* Hannah, 1988).

Le problème sera plus important si la pression de la chasse est trop faible ou s'il y a proximité d'un ravage hivernal. Pour protéger la régénération du bouleau jaune et surtout du chêne rouge, Marquis *et al.* (1992) proposent même la pose de clôture au début du processus de régénération. Leur préférence se porte vers les clôtures électriques pouvant être alimentées par des batteries ou des panneaux solaires, mais nécessitant une installation judicieuse. La fertilisation aérienne favorise également la régénération si on l'applique durant la seconde ou la troisième année après l'ouverture du peuplement, ce qui permet au semis de croître assez rapidement pour qu'ils soient hors de portée du chevreuil. Fertiliser donne aussi l'occasion de produire une végétation riche utilisée par le chevreuil, ôtant ainsi de la pression sur le développement des semis d'intérêt (Marquis *et al.,* 1992). L'utilisation d'une cohorte plus abondante de semis et gaules est une autre mesure pour sauvegarder quelques recrues.

1.3 Régénération naturelle et densité du couvert

La croissance de la régénération décroît avec l'augmentation du couvert (Crow, 1992). Lorsqu'il n'y a pas de couvert, on retrouve un taux de survie égal à 92 %. S'il y a un recouvrement partiel, ce taux passe à 54 %. Un recouvrement total du sol fait baisser le taux de survie à 36 %. Il mentionne aussi que, dans le cas où il n'y a pas de couvert, un taux d'ensoleillement direct aussi bas que 50 %, dû à la croissance des autres espèces arbustives et des graminées, procure des sites favorables à la croissance de chêne.

Le chêne rouge peut se régénérer avec succès lorsque son semis peut développer un système racinaire relativement important sous couvert. L'intensité du rayonnement lumineux en sous-bois doit lui permettre de survivre suffisamment longtemps pour qu'il soit en mesure de développer une masse racinaire lui assurant une prospérité future (Weigel et Johnson, 1998).

La réduction du couvert est une méthode communément recommandée pour augmenter le potentiel de régénération des forêts de chênes (Gottschalk et Marquis, 1982; Larsen *et al.,* 1997). Un couvert de 30 % favorise la compétition, tandis qu'un couvert de 100 % occasionne une diminution significative de la croissance des semis (Gottschalk et Marquis, 1982). Une densité résiduelle de 60 % est donc recommandée. Hannah (1988) confirme ce résultat et relate des cas d'échecs à des densités différentes.

Une diminution du couvert de 100 à 85 % favorise l'implantation de la régénération en chêne (Hix *et al*., 1994; Larsen *et al.*, 1997). Cependant, malgré l'augmentation de la densité de la régénération, à tous les niveaux du couvert, les rendements demeurent difficiles à prédire (Larsen *et al*., 1997). Idéalement, Hix *et al.*,(1994) soulignent que l'utilisation de plusieurs coupes est préférable pour favoriser le chêne. Ils proposent des coupes progressives inférieures à 15 %, ce qui semble un peu faible compte tenu des remarques du paragraphe précédent. Néanmoins, diverses interventions faibles donnent de meilleurs résultats qu'une coupe unique sévère.

Les peuplements âgés de 70 ans dont la surface terrière est > 23 m^2/ha ne favorisent pas la régénération en chêne (Clark et Watt, 1971). Une surface terrière < 18 m^2/ha est préférable afin de lui assurer assez de lumière. Dans le cas du système de jardinages par pied d'arbre, Larsen *et al.* (1997) suggèrent, si l'objectif est de maintenir le recrute-ment nécessaire au sein du couvert principal, des surfaces terrières résiduelles < 14 m^2/ha.

La présence de végétation en sous-bois est maintenant reconnue comme un obstacle majeur au développement des semis de chêne sous les peuplements matures (Lorimier *et al*., 1994). Une action sylvicole s'avère nécessaire et diverses méthodes sont discutées à la section 1.6.

1.4 Procédés de récolte et régénération naturelle

Plusieurs procédés de récolte permettent de régénérer le chêne rouge (Hill et Dickmann, 1988). La coupe progressive classique ou par trouées ou encore le jardinage par groupes donnent de bons résultats. Quant à la coupe à blanc, on note que les résultats de régénération naturelle sont très variables car ils dépendent de la présence et de l'abondance de la régénération préétablie. La présence d'une quantité et d'une hauteur suffisantes de semis de régénération préétablie avant coupe demeure la seule garantie de retrouver un peuplement de seconde venue qui sera dominé par le chêne rouge (Clark, 1970; Sander, 1979; Hill et Dickmann, 1988).

Procédé de régénération par coupe progressive classique

La coupe progressive est reconnue depuis longtemps comme l'une des meilleures méthodes pour régénérer le chêne rouge, essence à semences lourdes, ayant besoin de lumière au sol. Dans sa revue de littérature sur la coupe progressive, Hannah (1988) mentionne qu'il s'agit d'un moyen économiquement, écologiquement et esthétiquement acceptable pour l'aménagement équienne. Cette méthode est applicable dans la forêt feuillue pour la régénération de la plupart des espèces.

Le développement de la coupe progressive en trois étapes serait attribuable à Hartig (1791 in Troup, 1928) qui désirait alors régénérer les peuplements de chêne et de hêtre au Nord de l'Allemagne. Pour le chêne rouge, Hannah rappelle les succès de Leffelman et

Hawley (1925, in Hannah, 1988) avec la coupe progressive, qui a favorisé environ 2 600 semis de chêne rouge par hectare peu importe le site, avec respectivement 10 000, 15 000 et 25 000 t/ha de feuillus tolérants sur les sites pauvre, modéré ou bon. Ces résultats sont confirmés par des travaux plus récents (Dey et Parker, 1996; Hannah, 1987; Hill et Dickmann, 1988; Johnson *et al*., 1989; Johnson, 1994; Loftis, 1990b; Schlesinger *et al.*, 1993; Wendel et Smith, 1986). Parmi les avantages, on remarque la souplesse de la méthode, le contrôle du couvert et de l'intensité du rayonnement par un rabattage modéré et une éclaircie par le bas, le chevauchement des révolutions, la longueur de la période d'ensemencement et la dispersion idéale des semenciers pour disséminer des graines lourdes. Au chapitre des désavantages on note : les coûts de martelage positifs, les risques de blessures aux arbres semenciers, les risques de destruction lors de la récolte et le besoin de scarifiage. Les conditions de réussite dépendent du contrôle de la végétation compétitrice du sous-étage, de la présence de la régénération préétablie, du faible impact des prédateurs et de la synchronisation des interventions avec les bonnes années semencières. Une série d'éclaircies successives dans le dernier tiers de la rotation sont recommandées par Clark et Watt (1971) dans ces propositions de traitements sylvicoles pour mettre en place une régénération adéquate de chêne rouge. Dans le cas où il n'y aurait pas de régénération préétablie, la durée de la rotation devrait être augmentée. Un couvert résiduel de 60 % serait le plus opportun (Sander, 1972). Lorsque l'esthétisme de la coupe est préoccupante, Tubbs (1968) suggère un couvert de 80 % après la première coupe, puis lorsque la régénération atteint une hauteur de 1,3 m, de réduire le couvert à 50 % et d'effectuer la coupe finale quand la régénération atteint 5 m.

Afin de maximiser la production de glands en prévision de la coupe d'ensemencement, Johnson (1994) propose notamment d'identifier les bons semenciers, de les dégager et de ne pas dépasser les diamètres optima pour la production de glands (entre 60 et 65).

Le scarifiage sous couvert présente plusieurs avantages. En plus de réduire la végétation compétitrice du sous-étage, les glands réagiront de la même façon que lors du passage d'un feu (Crow, 1988; Johnson, 1985; Marquis *et al*., 1976). Par ailleurs, les populations de rongeurs seraient réduites suite à la perturbation de leur habitat (Gribko et Hix, 1993). Quant à Clark et Watt (1971), il est d'avis que l'accroissement du taux de régénération suite à un scarifiage ne justifie pas les coûts élevés de cette opération.

L'élimination de la compétition avec des herbicides aide grandement la régénération (Clark et Watt, 1971), mais les coûts demeurent élevés et cette stratégie n'est plus acceptable dans le contexte de la politique québécoise d'abolition des phytocides.

Différentes recommandations sont suggérées quant au nombre de tiges nécessaires pour la réussite de la régénération (400 à 4000 tiges/ha), mais c'est la dimension des tiges plus que le nombre qui assurera un peuplement de chêne. Selon Clark et Watt (1971), 2 500 tiges/ha de 60 cm ou plus de haut devraient assurer un nouveau peuplement de chêne à moins que la compétition ne soit trop forte. Sander (1972) parle plutôt d'environ 435 tiges/ha de 1.5m (dépendamment de la mortalité anticipée) nécesaires pour obtenir 221 arbres à maturité.

Pour la coupe finale, il est recommandé d'attendre que la régénération atteigne un minimum 1,5 m et au moins 1cm de diamètre en raison des problèmes éventuels de

compétition (Clark, 1971; Sander, 1972). Johnson *et al.* (1989) et Dey et Parker (1996) suggèrent que la coupe finale ait lieu 3 saisons de végétation après l'enrichissement.

Même si des échecs ont été notés (Weigel et Johnson, *MS*), la combinaison de la coupe progressive avec l'enrichissement en sous-étage peut offrir une alternative intéressante pour éviter de se fier qu'à la régénération naturelle de chêne rouge (Johnson *et al*., 1986). La coupe progressive procure un environnement propice au développement des plants favorisant la reprise tout en leur donnant du temps pour développer leur système racinaire.

Procédé de régénération par coupe progressive par trouées

Stroempl et Secker (1995) présentent leurs arguments pour l'utilisation éventuelle de la variante par trouées de la coupe progressive. Ils ont développé un guide de coupe progressive par trouée pour la régénération du chêne rouge. Ils exposent deux cas d'application de la méthode : un premier en présence de régénération préétablie désirée et un second en absence de régénération désirée.

Dans le cas où il y a peu ou pas de régénération présente, la procédure est de réduire la densité du couvert en créant des petites ouvertures sous et près de l'ombre partielle des arbres semenciers. Il est recommandé de faire des ouvertures de forme elliptique dont la largeur devrait être approximativement deux fois la hauteur des arbres semenciers (40 m) et environ le double en longueur (80 m). On devrait garder les arbres semenciers à l'intérieur de la trouée avec le maintien d'un couvert de 70 à 80 % sur les sites frais et 50 à 60 % sur les sites secs pour retarder l'invasion de la compétition et aider le développement de la régénération naturelle. Cependant, sur sites secs, compte tenu des risques d'insolation, un couvert résiduel plus important pourrait apporter une protection supplémentaire.

L'étape suivante consiste à éliminer les semenciers à l'intérieur des trouées. Si la régénération n'est pas installée, il est recommandé de maintenir le présence des semenciers dans les trouées et éclaircir autour de la trouée. Un brûlage dirigé ou un traitement d'herbicide est suggéré pour supprimer la végétation au sol et faciliter la plantation de semis ou l'ensemencement direct.

Une fois la régénération présente sur le site, il faut attendre une période de 6 à 15 ans selon la qualité du site, la structure du peuplement, le développement des tiges et leur distribution avant d'entreprendre l'agrandissement des trouées, en suivant les mêmes principes que dans la phase précédente.

La dernière phase consiste à éliminer les semenciers en bordure des trouées, avant qu'ils ne deviennent trop branchus et perdent leur valeur pour le bois de déroulage ou de sciage, à couper les arbres entre deux trouées adjacentes pour créer des plus grands secteurs bien régénérés et à créer de nouvelles trouées.

Pour déterminer le moment propice de la coupe, Miller *et al*. (1995) proposent d'utiliser les indices de sites du chêne comme référence pour évaluer les volumes totaux à maturité et de fixer les rotations à partir des accroissements estimés et du prélèvement prévu. On recherche une densité finale égale à 40-50 % de la densité originale. Gingrich (1971) vient

ajouter que dans le cas d'un peuplement équienne ayant un stocking élevé mais des arbres de qualité inférieure, des éclaircies à intervalles de 10-15 ans favoriseraient le chêne.

Le brûlage dirigé dans les trouées, après ouverture du couvert, peut s'avérer une opération efficace pour dégager la régénération préétablie de chêne d'une végétation compétitrice, moins tolérante au feu (Crow, 1988; Parker et Merritt, 1994).

Procédé de régénération par jardinage par pied d'arbre

Si le jardinage par pied d'arbre a fait l'objet d'essais au Québec (Majcen, 1989, 1995) et aux États-Unis (Nyland, 1988,1996; Sander et Graney, 1993), ce traitement sylvicole n'a cependant pas donné les résultats escomptés pour régénérer le chêne rouge (régression des semenciers et ouverture insuffisante du couvert). Plusieurs expliquent par la régression des semenciers, suite à l'intervention et par une ouverture insuffisante du couvert pour une essence dont la tolérance à l'ombre, est considérée moyenne.

Procédé de régénération par jardinage par trouées

Bien que Weigel (1994) émette de sérieuses réserves quant à l'utilisation de cette technique pour promouvoir une abondante régénération de chêne rouge dans des chênaies à caryers du sud de l'Indiana, Lorimer (1983b) conclut qu'il peut croître dans des petites trouées. Marquis et Johnson (1989) et Miller *et al*. (1999) signalent que le jardinage par trouée est un traitement sylvicole potentiellement favorable pour maintenir du chêne dans les érablières à chênes inéquiennes. Les trouées procurent la lumière nécessaire pour une espèce intermédiaire comme le chêne (Lessard *et al.,* 1999). La grandeur des trouées recommandée varie de 150 m^2 à préférablement 4000 m^2 (Hill et Dickmann, 1988; Lorimer, 1983b; Marquis, 1979). La régénération qui se développe dans les trouées dépend de la régénération préétablie au moment où l'ouverture est créée et du nombre de rejets de souche après coupe (Hill et Dickmann, 1988; Lorimer 1983b; Parker et Merritt, 1994; Sander *et al.*, 1983; Trimble, 1973). Un désavantage de la création de trouées est l'effet de bordure sur un grand périmètre. Les chênes en bordure des trouées ont en effet tendance à voir leur tronc se salir (développement de bourgeons adventifs et apparition de gourmands) ainsi qu'à développer des cimes assymétriques au détriment de leur qualité et leur valeur (Trimble et Seegrist, 1973). Un autre inconvénient de ces interventions est la difficulté, lors des interventions subséquentes, de placer les nouvelles trouées à travers les anciennes (Marquis et Johnson, 1989).

Des essais de bouquets circulaires ont réussi (Minckler et Woerheide, 1965), avec une exception, là où un sous-étage dense d'espèces tolérantes et de buissons interfère avec le développement des chênes rouges (Sander *et al.*, 1983; Loftis, 1990a; Sander et Graney, 1993). Chaque ouverture doit couvrir 0,2–0,4 ha avec une largeur d'au moins une à deux fois la hauteur des arbres résiduels des environs (Murphy *et al.*, 1993; Sander et Graney, 1993). Les coupes subséquentes favorisent souvent l'apparition de gourmands réduisant la qualité des fûts (Miller, 1996; Nyland, 1996).

Le centre des bouquets circulaires de 0,2 ha au minimum reçoit l'équivalent d'environ un tiers de l'insolation maximum; ce qui semblerait être la quantité optimum pour les semis. Le diamètre des trouées varie selon que l'on soit sur terrain plat, en pente, ou selon l'orientation tel que le tableau suivant, tiré de Law et Lorimer (1989) le révèle :

	Diamètre des ouvertures	
Aspect	**Hauteur (H) des arbres dominants[a]**	**Superficie (ha)**
Pentes sud et ouest	1	0,04
Terrain plat	1–1,5	0,08
Pentes nord et est	2	0,14

[a] Basé sur la hauteur moyenne (21 m) des tiges résiduelles.

Les tiges résiduelles ombragent trop les trouées de dimensions plus réduites et la quantité de lumière demeure trop faible pour assurer le bon développement des chênes (Sander et Clark, 1971; Murphy *et al.*, 1993). Une préparation de terrain avant ou après l'établissement de trouées peut également venir réduire les tiges intermédiaires (Hannah, 1987; Loftis, 1990a; Murphy *et al.*, 1993).

Les trouées devraient être localisées aux endroits où la vigueur est la moindre, dans le but cependant de favoriser l'établissement du chêne rouge (Miller et al., 1995). Les sentiers de débardage devraient être placés entre les trouées (Lessard et al., 1999).

Les méthodes de régénération par groupes n'ont pas eu comme conséquence d'établir une quantité régulière de nouveaux semis de chênes (Beck, 1970; Carvell, 1979; Sander *et al.*, 1984; Sander et Graney, 1993). Nyland (1996) affirme par ailleurs que pour réussir la conversion d'un peuplement régulier vers une structure irrégulière, les forestiers doivent intervenir périodiquement afin d'établir de nouvelles classes d'âges. L'objectif est de répartir de manière homogène la distribution des trouées au sein de la superficie traitée.

Procédé de régénération par coupe à blanc

Suivant les études de Johnson *et al.* (1989), on observe qu'un peuplement ayant subi une coupe à blanc et une application d'herbicides présente une régénération suffisante (2 500 tiges/ha avec un diamètre de 2,5 cm et plus). Ces résultats sont d'ailleurs comparés avec ceux de peuplements ayant subi des éclaircies. Les peuplements éclaircis ont obtenu des résultats inférieurs à ceux de la coupe à blanc. Toutefois, chacun des peuplements semblait disposer d'un stocking suffisant pour assurer la régénération en chêne rouge. On suggère que le succès du peuplement coupé à blanc est attribuable au contrôle de la végétation plutôt qu'aux périodes de régénération prolongées.

Quelques études dans des peuplements mélangés (Smith et Ashton, 1993) démontrent que, même en laissant seulement la régénération préétablie en chêne rouge sur un site coupé à blanc, les autres espèces présentes domineront rapidement si aucune intervention n'est entreprise. Ils ont noté que même les semences qui avaient germé après la coupe à blanc ne réussissent pas à se développer malgré l'élimination de la compétition.

Procédé de régénération par coupe à blanc par trouées

L'alternative de la coupe à blanc par trouées présente certains intérêts pour introduire la régénération artificielle de chêne rouge dans certains peuplements. Les trouées (de moins de deux hauteurs d'arbres offrent un compromis intéressant en limitant l'enva-hissement des espèces intolérantes, d'une part et d'autres par en présentation des conditions de lumière mieux adaptées aux exigences du chêne rouge. Stroempl (1987) a obtenu de bons résultats lorsque 98 % des plants provenant de pépinière ont survécu suivant leur repiquage dans les ouvertures d'une plantation de pins rouges.

Des coupes à blanc et des éclaircies à 60 % des plants à racines nues et des plants en récipient ont été reboisés (Johnson, 1984). Les semis plantés sur les sites coupés à blanc ont eu le meilleur taux de croissance suivi de ceux plantés sous couvert puis dégagés après trois ans. Les plants qui ont été plantés sous couvert mais qui n'ont pas été dégagés démontraient les plus faibles taux de croissance.

1.5 Reboisement

Densité

Pour la densité de plantation, les écoles de pensée sont particulièrement opposées. L'école francaise propose un petit nombre de tiges avec un suivi intensif. Dans cet esprit, en Ontario, von Althen (1990) propose un espacement de 2,5 à 3 m (soit de : 1 100 à 1 600 tiges/ha). Par contre, en Allemagne, Lüpke (1997) propose une densité initiale de 6 000 à 10 000 tiges/ha qui diminue le facteur de risque et permet le maintien d'une cohorte favorisant la sélection future des meilleurs sujets.

Dans le cas de coupe progressive, Johnson (1992) propose de fixer le nombre de semis nécessaires en fonction du diamètre initial et du traitement ou non avec des herbicides.

Tableau 2 Nombre de glands par arbre en fonction du DHP (cm) dans le sud des Appalaches basé sur un modèle de prédiction (Johnson, 1994).

Diamètre de la pousse	Plants nécessaire pour obtenir 1 arbre codominant ou supérieur	
initiale	**Avec herbicide**	**Sans herbicide**
0,68	3,42	5,52
0,85	2,58	3,95
1,02	2,11	3,08
1,18	1,83	2,55
1,35	1,64	2,20
1,52	1,51	1,96
1,69	1,42	1,78

Plants à racines nues vs récipients

Myers *et al.* (1989) ont utilisé des plants produits en pépinière et les ont repiqués sous couvert dans des peuplements feuillus. Les plants (racines nues et récipients) ayant été inoculés avec des mycorhizes n'ont pas démontré d'améliorations significatives. Les plants à racines nues 1+0 ont démontré un taux de survie supérieur à ceux en récipients. Leurs performances étaient aussi semblables à ceux de 2+0. Les auteurs mentionnent toutefois que les plants en récipients ont eu des taux de croissance supérieurs à ceux à racines nues pendant les deux premières années suivant le reboisement. Cette hausse est cependant temporaire. Elle ne justifiait pas les coûts supérieurs associés aux plants en récipients.

En Ontario, le diamètre au collet et la longueur de la tige sont utilisés comme artères fiables pour indiquer le potentiel de croissance, peu importe l'âge (Stroempl, 1985).

1.6 Contrôle de la végétation compétitrice

1.6.1 Herbicide et brûlage

Tel que déjà mentionné pour la régénération naturelle, plusieurs moyens sont proposés pour contrôler la végétation compétitrice soit les herbicides, l'utilisation d'un couvert partiel et l'utilisation d'abris-serre.

Suite à leurs expériences conduites dans le centre-sud de l'État de New York, Nyland *et al.* (1982) concluent qu'un seul passage de brûlage dirigé ne réussit pas à contrôler de façon satisfaisante la régénération compétitrice qui rejette alors vigoureusement. Ils suggèrent de brûler le site à régénérer au moins à deux reprises selon un intervale de 2 à 3 années. Les semis semblent avoir une bonne réaction au dégagement lorsqu'ils sont modérément opprimés. Les peuplements qui ont été éclaircis, broutés ou légèrement brûlés présentent une meilleure régénération en chêne. Ceci est dû principalement à la quantité accrue de lumière qui se rend au sol.

L'utilisation du brûlage dirigé pour la préparation de terrain sous couvert partiel est discutée par Hannah (1998). Parmi les rôles reconnus du feu, on retrouve le contrôle de la compétition, la préparation du lit de germination, la stimulation des rejets de souches et de semis et l'effet négatif sur les rongeurs (Loomis, 1977; Wendel et Smith, 1986). La problématique d'une compétition vigoureuse des autres feuillus et des arbustes est soulignée dans une coupe progressive sans brûlage. Sander (1990) note que le feu, comme le broutage, atteint la cime mais pas les racines. Le passage unique d'un feu dirigé n'a pas été retenu comme traitement adéquat en vue de contrôler la végétation indésirable du sous-bois en Indiana (Merrit et Pope, 1991) et dans l'État de New York (Nyland *et al.*, 1982). Un passage répété de feux va accroître la quantité de drageons de chêne, tout en favorisant l'accumulation de réserves dans leur système racinaire qui finira par assurer une croissance rapide lorsqu'il seront dégagés tout en réduisant la capacité de drageonnement des espèces compétitrices (Crow, 1988; Lorimer, 1985). Les dra-geons, plus vigoureux, développent des tiges de forme supérieure aux semis d'origine (Crow, 1988). La diffficulté de ce genre d'opération est justement de pouvoir contrôler, de façon précise, l'intensité du feu en sous-bois afin de réduire au minimum les dommages à l'étage dominant (Wendel et Smith, 1986).

Gordon *et al.* (1995) recommandent aussi de réduire la compétition à laquelle fait face la régénération par des traitements au glyphosate et à nouveau des brûlages dirigés. Ils notent d'ailleurs que la régénération est améliorée suite au reboisement sous couvert avec des semis (1+0 et 1+1), combiné à une coupe progressive en deux étapes.

L'élimination du sous-bois par herbicide ou par brûlage a aidé les jeunes semis à coloniser certains sites. Myers *et al.* (1989) confirment qu'une éclaircie doit cependant être combinée à une application d'herbicides afin de maximiser ses effets. On note qu'une application d'herbicides effectuée seule donne de meilleurs résultats qu'une éclaircie effectuée seule.

1.6.2 Sylviculture par abris légers

Les résultats laissent penser qu'une méthode de sylviculture par abris légers (25 % du couvert) et sans contrôle chimique de la végétation est préférable pour l'introduction du chêne rouge sur les stations sèches. Sous trois densités de couvert (0, 25 et 50 %), la performance de plants à racines nues et en récipients a été évaluée et ce **avec ou sans application d'herbicide** (Johnson, 1992; Teclaw et Isebrands, 1993). Après deux et trois saisons de végétation, la croissance en hauteur des plants était supérieure pour les plants en récipients comparée à ceux à racines nues. La croissance était aussi supérieure sur les sites coupés à blanc traités avec des herbicides. Avec un couvert de 25 %, la croissance en hauteur des plants était significativement plus élevée dans les traitements sans herbicides pour les plants à racines nues et ceux en récipients.

Crow (1988) favorise que des semis à pousses multiples (*multiple flushing oak seedlings*) devraient être plantés sur ces sites afin d'aider leur développement et de favoriser l'accroissement du système racinaire. Selon ses observations, l'auteur croit qu'un scarifiage et le rabattage du couvert devraient être effectués pour favoriser davantage le chêne rouge. Cette proposition entraînerait toutefois quelques problèmes d'architecture, nécessitant systématiquement des tailles de formation.

1.6.3 Reboisement avant coupe

Le reboisement **avant** une coupe importante favorise la régénération en chêne rouge. Tworkoski *et al.* (1986) ont planté, trois ans après des coupes légères, des semis de chêne rouge qui se sont alors avérés compétitifs avec les autres espèces en présence. Suite à la coupe finale, le taux de survie a atteint 90 % et leur croissance a augmenté. Comme nous l'avons déjà mentionné, Stroempl (1987) a obtenu de bons résultats en repiquant des plants de chêne rouge dans les ouvertures d'une plantation de pins rouges qui constituait une forme d'abri.

1.6.4 Utilisation d'abri-serre

L'utilisation d'un abri-serre par exemple, du type TUBEX®, améliore le taux de croissance en hauteur des plants et augmente le nombre de feuilles par plant. Des augmentations de croissance de 42 % ont été mesurées après 2 ans suite à une coupe à blanc (Lantagne, Ramm et Dickmann, 1990). On note un taux de survie de 88 % chez les plants protégés des rongeurs (Hix *et al.,* 1994). Ponder (1995) et Kittredge *et al.* (1992) ont aussi fait l'essai de tubes de protection. Les tubes ont amélioré significativement la croissance des tiges, le taux de survie, le nombre de branches ainsi que la biomasse des semis de chêne rouge. On remarque la même tendance au niveau du développement du système racinaire des plants. Il faut néanmoins rester prudent quant à l'utilisation de telles protections au Québec. En effet, les jeunes plants ont tendance à débourer plus tôt à l'intérieur des abri-serres. Le taux d'humidité et la température sont supérieurs à l'intérieur des tubes. Les plants sont donc particulièrement vulnérables aux gelées tardives. Par ailleurs, leur croissance en hauteur est souvent supérieure à celle du diamètre (cette dernière grandeur n'étant pas affectée par l'utilisation des tubes), causant un déséquilibre au niveau du

coefficient d'élancement (H/d). Ce déséquilibre peut entraîner la courbure des tiges souvent très graciles lorsque l'état de dégradation maximum de l'abri est atteint (van der Kelen, comm. pers.). De plus, les taux de P, Ca, Mg et B sont plus élevés chez les semis protégés. Ponder (1995) et Kittredge *et al.* (1992) recommandent l'utilisation de tubes de protection pour augmenter la composante en chêne rouge d'un peuplement. Un paillage peut également limiter la compétition.

Si la mise en terre de plants de fortes dimensions (PFD) s'avère être une solution de remplacement prometteuse (Johnson *et al.*, 1986), elle n'en demeure pas moins une opération coûteuse. Une alternative moins onéreuse consisterait à se tourner vers le semis direct de glands. Technique très flexible, elle est aussi peu dispendieuse (Countryman *et al*., 1995).

1.7 Ensemencement et germination

Trencia (1996) note que :

> *Direct seeding can be an appropriate means or regenerating red oak on sites where the natural supply is decient, provided that sowing techniques are appropriate (Kolb et al., 1989). Various factors, notably site quality, depths of sowing (Auchmoody and others, 1994; Schopmeyer, 1974; Wilkinson and others 1992), and predation (Johnson, 1994; Thorn and Tzilkowski, 1991) are thought to affect survival and early growth of oaks. The influence or seed weight has also been extensively studied (Auchmoody et al, 1994).*

Tel que déjà mentionné, le taux de germination des glands sera meilleur lorsque le gland est enfoui sous la litière ou suite à un bouleversement du sol. La période de dormance nécessaire aux glands de chêne rouge peut être contournée par une stratification et en enlevant le péricarpe du gland fraîchement cueilli (Hopper *et al.,* 1985). Une comparaison entre les glands intacts et ceux dont le péricarpe a été enlevé démontre que ceux sans péricarpe ont germé 5 fois plus, passant de 10 à 55 % de taux de germination. Une stratification de 8 à 10 semaines augmente aussi le taux de germination des glands.

Godman et Mattson (1980) ajoutent que le meilleur taux de germination est atteint entre 2 et 5 ºC où 90 % des glands ont germé. Puisque cette température au niveau du sol n'est que d'une courte durée, il est recommandé de faire germer les glands préalablement et de les planter lorsque que le sol a atteint la température désirée au printemps. Teclaw et Isebrand (1986) recommandent la technique du flottage pour séparer les glands avec un plus grand pouvoir de germination (ceux qui coulent). Trencia (1996) propose une immersion de 2 jours suivie d'un séchage au soleil et d'une inspection pour éliminer les insectes surtout des charançons (*Curcullio)* sp ou des larves de lépidoptères (*Valantinia glandunella*).

Conservation des glands

Les semences sont conservées à 5°C avant d'être stratifiées par la suite, tel que recommandé par Struve et al. (1991 *in* Trencia, 1980). Suska in Muller parle plutôt de –1 à –3°C. Des traitements phytosanitaires (*in* Timbal, 1999) peuvent être effectués (au Bénomyl et au Méthylthiophanate) pour limiter la propagation du champignon responsable de la pourriture noire des glands (*Ciboria batschiana*) ou encore la thermothérapie consistant à tremper les glands dans l'eau chaude à 41°C pendant 2h30 le plus rapidement possible après la récolte. Les deux facteurs les plus importants pour la longévité des plants sont la teneur en eau et la température de stockage.

Densité et technique d'ensemencement

Sachant que le taux de germination des glands peut atteindre 35 %, Kenney (1993) et Johnson et Krinard (1987) suggèrent le semis de 2 500 à 3 700 glands/ha en vue de produire environ 750 à 1 200 semis/ha après un an et 370 à 925 jeunes chênes en situation « libres de croître » à l'hectare après 10 ans. Godman et Mattson (1980) proposent d'ensemencer de 1 235 à 3 700 glands/ha. Von Althen (1990) recommande une densité supérieure à 2 200 tiges/ha pour favoriser une bonne forme de tige, le développement de petites branches et la fermeture précoce du couvert. L'école allemande favorise également une densité abondante, avec comme raison principale, une meilleur gestion du risque et la possibilité de sélectionner à posteriori les meilleurs sujets, contrairement à l'école française qui propose un plus petit nombre de sujets avec un suivi intensif.

Trencia (1996) recommande l'ensemencement à la main, exigeant 20 % moins de temps que l'utilisation d'un tube. L'auteur a également noté que la position du gland n'a aucun effet significatif sur la survie précoce ou l'accroissement, idéalement les glands doivent être introduits à 5 cm de profondeur et recouvert de litière, Johnson et Krinard (1987).

Les différents types de prédation (vers, écureuils, cerfs de Virginie, etc.) pouvant entraîner de fortes pertes de semences (Ruel et Margolis, 1997), une suggestion a été formulée d'ensemencer tard à l'automne, tout juste avant la tombée des neiges, de manière à limiter la période critique.

1.8 Maturité, rendement et croissance en diamètre

À maturité, le chêne rouge atteint une hauteur de 20 à 35 m avec un diamètre de 61 à 91 cm. L'âge de sa maturité physique serait atteint autour de 350 ans.

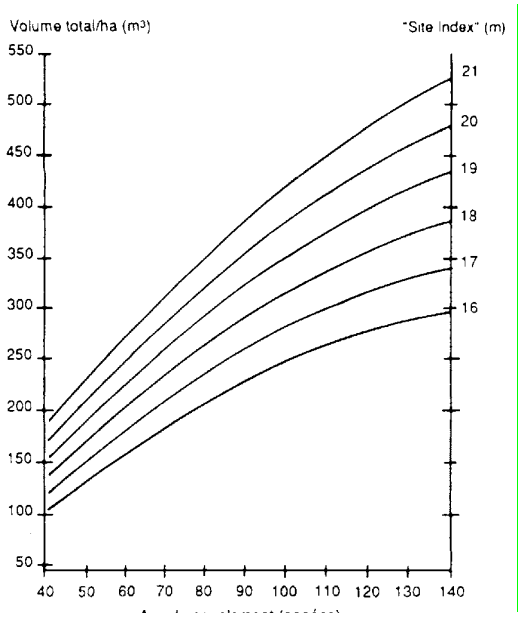
Au Québec, le « Manuel d'aménagement forestier » (MRNQ, 1998) propose d'utiliser les tables de Plonski (1974) pour l'ensemble des feuillus tolérants (Figure 1). Sander (1990) présente certains rendements avec ou sans éclaircie. La croissance en diamètre est de 5 mm/an et peut atteindre 1 cm sur les meilleurs sites (tableau 3).

Tableau 3 Rendement du volume selon les IQS avec ou sans IQS (Sanders, 1990).

Âge	Éclaircie	Volume	IQS
80 ans	Non	75.6 m^3/ha 175.0 m^3/ha	16.8 22.9
70 ans	Oui	102.3 m^3/ha 278.3 m^3/ha	16.8 22.9

Sanders (1990) propose des indices de site de 16 à 21 m établis dans l'État du que nous reproduisons à la figure 1. En Arkansas, selon Graney (1977), l'alimentation en eau, la position des tiges sur les pentes et leur exposition, les caractéristiques chimiques du sol (pH, calcaire) ou des problèmes d'hygromorphie peuvent être fortement liés à la fertilité stationnelle et ainsi déterminer la croissance du chêne rouge (Muller, 1987). Dans un article de synthèse concernant le chêne rouge en Belgique, Boudru (1979) indique que : «la profondeur et la perméabilité du sol, sa fraîcheur et l'importance des précipitations sont des facteurs importants assurant une production optimale».

Figure 1 Indices de qualité de site pour le chêne rouge

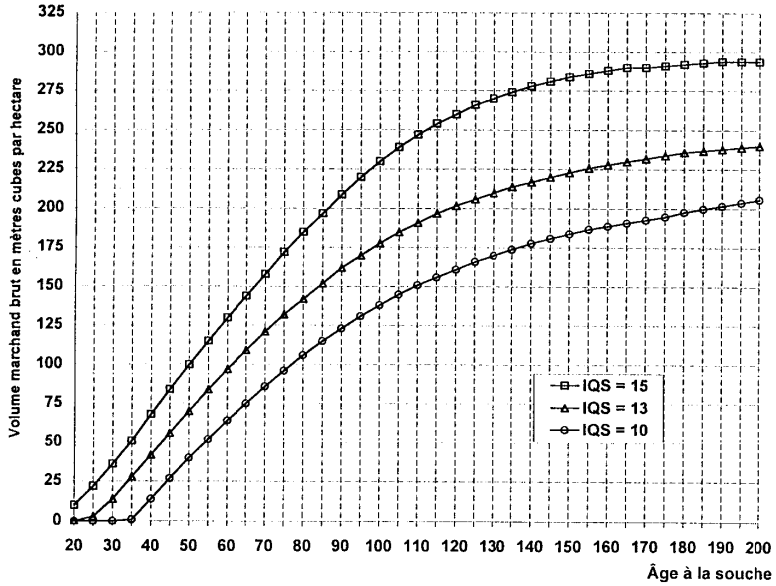


Feuillus tolérants en peuplements naturels réguliers

Tables de production

Indice de qualité de station	Densité	maturité	Âge à la souche 20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150	155	160	165	170	175	180	185	190	195	200	Code SYLVA II
			Volume marchand brut en mètres cubes par hectare																																					
10	toutes	95				1	14	27	40	52	64	75	86	96	106	115	123	**131**	138	145	151	156	161	166	170	174	178	181	184	187	189	191	193	195	198	200	*202*	*204*	*206*	nFt_Ont10M
13		90		3	14	28	42	56	70	84	97	109	121	132	142	152	**162**	170	178	185	191	197	202	206	210	214	217	220	223	226	228	230	232	234	236	237	*238*	*239*	*240*	nFt_Ont13M
15		85	10	22	36	51	68	84	100	115	130	144	158	172	185	**197**	209	220	230	239	247	254	260	266	270	274	278	281	284	286	288	290	290	291	292	293	*294*	*294*	*294*	nFt_Ont15M

Illustration des tables de production



Abaque de prédiction de la hauteur dominante (m) en fonction de l'âge à la souche et de l'indice de qualité de station (IQS) à 50 ans

Âge total	IQS 10	13	15
20	3,5	4,8	6,2
25	4,8	6,3	7,9
30	6,0	7,7	9,5
35	7,2	9,1	11,1
40	8,4	10,4	12,5
45	9,4	11,6	13,9
50	**10,4**	**12,8**	**15,2**
55	11,4	13,8	16,3
60	12,2	14,8	17,4
65	13,0	15,6	18,3
70	13,7	16,4	19,2
75	14,3	17,1	19,9

Âge total	IQS 10	13	15
80	14,9	17,7	20,6
85	15,4	18,2	21,2
90	15,9	18,7	21,7
95	16,3	19,1	22,1
100	16,6	19,4	22,5
105	16,9	19,7	22,8
110	17,1	20,0	23,0
115	17,3	20,2	23,2
120	17,5	20,3	23,4
125	17,7	20,4	23,6
130	17,8	20,5	23,7
135	17,9	20,6	23,8

Âge total	IQS 10	13	15
140	18,0	20,7	23,9
145	18,0	20,7	23,9
150	18,1	20,7	24,0
155	18,1	20,8	24,0
160	18,1	20,8	24,0
165	18,1	20,8	24,0
170	18,2	20,8	24,0
175	18,2	20,9	24,1
180	18,2	20,9	24,1
185	18,2	20,9	24,1
190	18,2	20,9	24,1
195			

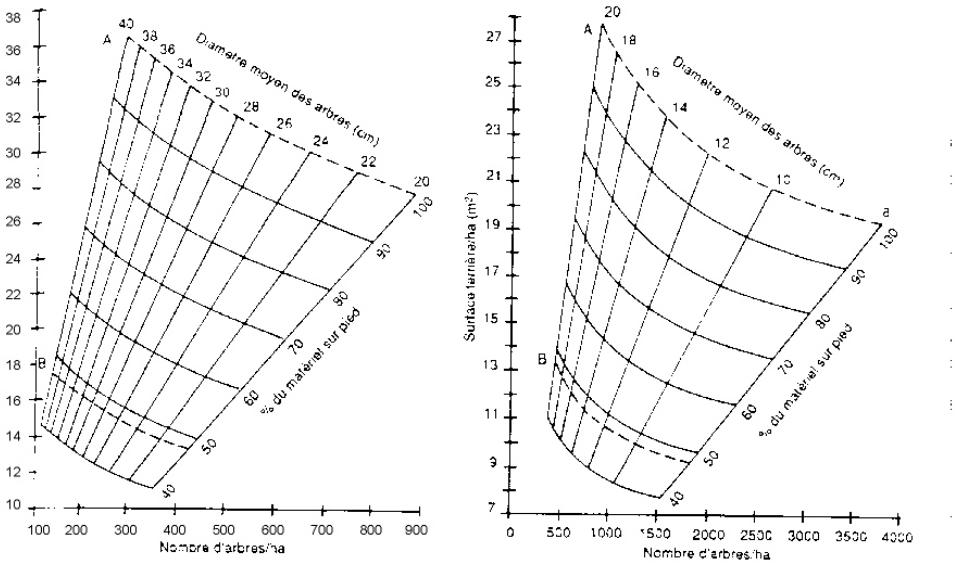
Source : Plonski, W.-L., 1974. Normal Yield Tables (Metric) for Major Forest Species of Ontario, Ministry of Natural Resources, Division of Forests, 40 p.

Note : utiliser, dans le modèle SYLVA II, pour simuler la croissance du bouleau jaune, des chênes, du tilleul, du hêtre, de l'ostryer, des frênes et des essences dites autres feuillus en peuplements naturels.

1.9 Gestion de la densité

Gingrich (1967) a conçu des abaques pour la gestion de la densité (figure 3) pour des peuplements à chêne rouge dominant de la zone morainique du Sud-Wisconsin. Les diagrammes de bois sur pied présentent les limites supérieure et inférieure des mesures absolues de surface terrière et de nombre de tiges/ha à l'intérieur desquelles la croissance des peuplements est maximale. Ces bornes supérieure (A) et inférieure (B) de volume sur pied permettent de définir le champ opérationnel pour les interventions sylvicoles (Johnson, 1994). L'aire comprise entre les courbes A et B représente le domaine de matériel sur pied dans lequel les arbres peuvent pleinement utiliser l'espace pour croître. La courbe A (100 5) correspond à des peuplements de densité maximum moyenne. Le diamètre de l'arbre moyen correspond à celui du chêne rouge de surface terrière moyenne pour des tiges dont le diamètre est > à 1,5 cm au dhp (d'après Gingrich, 1967; Johnson, 1994).

Figure 3 Abaques de bois sur pied affichant la relation entre la surface terrière, le nombre de tiges et le diamètre moyen des arbres en % du matériel sur pied, pour des peuple-ments à chêne rouge dominant du Sud-Ouest du Wisconsin, selon deux échelles de densité Gingrich (1967).



Sanders (1990) propose également des intervalles pour la densité, qui semblent cependant légèrement plus élevés que ceux des abaques (tableau 4).

Tableau 4 Espace de croissance et nombre de tiges/ha proposés pour des diamètres moyens de 15,3 à 53,3 cm (Sanders, 1990).

DHP	Espace de croissance	Nombre de tiges/ha
15,3 cm	8,5 m^2 à 14 m^2	1 000 à 1 940
53,3 cm	26,5 m^2 à 45,7 m^2	380 à 680

2. Objectif du projet

Les objectifs du projet ont été de :

- vérifier l'impact de la coupe progressive d'ensemencement sur la régénération des feuillus tolérants, plus particulièrement le chêne rouge;
- vérifier la qualité du lit de germination obtenu par les travaux de prélèvement de la matière ligneuse (débardage) et l'influence de différents traitements comme le débroussaillement et le scarifiage;
- vérifier l'influence du pourcentage d'ouverture du couvert sur l'installation de la régénération.

Hypothèses de recherche

- l'élimination des gaulis favorise l'implantation des espèces intermédiaires comme le chêne rouge;
- la lumière influence la germination du chêne rouge;
- l'ensemencement manuel est une méthode rapide, efficace et peu coûteuse de régénération du chêne rouge;
- les plants à racines nues sont équivalents aux plants à récipients;
- le traitement des glands avec un répulsif à rongeur diminue leur taux de germination;
- le maintien sur pieds de semenciers des essences désirées contribue significativement à l'implantation des espèces intermédiaires lors de bonnes années semencières;
- le scarifiage favorise la germination des semences de chêne rouge, de bouleau jaune et de cerisier tardif.

3. Méthodologie

3.1 Peuplement étudié

Une érablière à hêtre dégradée (ErFt B1 Vin), de faible vigueur et régénérée en hêtre et en érable de Pensylvannie sur un sommet à till mince sec de la région écologique de l'érablière à tillleul (2a-Basse Gatineau) a été retenue.

Il s'agit d'un peuplement situé dans le secteur d'intervention 1996-97 des entreprises pro-Folia (annexe 1). Quelques semenciers en essences désirées (CHR, BOJ, CET) sont présents sur le site. Les gaulis sont composés principalement de hêtre américain, d'érable de Pensylvannie et d'érable à sucre de 1 à 5 m de hauteur. Aucune régénération en chêne rouge, en bouleau jaune et en cerisier tardif n'a été observée parmi la régéné-ration préétablie.

Un inventaire préliminaire nous a permis de confirmer qu'il s'agissait d'une érablière à feuillus tolérants d'une surface terrière moyenne de 25,3 m^2. Cet inventaire (tableau 5) a également permis de confirmer que le hêtre américain occupait 50,2 % de la surface terrière alors que l'érable à sucre occupe 30,0 % et le chêne rouge 4,7 %.

Tableau 5 Composition du peuplement avant intervention (S.T.).

Essences	Surface terrière m^2/ha	%
HEG	12,7	50,2
ERS	7,6	30,0
ERR	2,2	8,7
BOJ	0,9	3,6
CHR	1,2	4,7
CET	0,1	0,4
Autres	0,6	2,4
Total	25,3	100,0

3.2 Traitements expérimentés

La revue de littérature a démontré que la coupe progressive serait l'une des meilleures méthodes pour régénérer une essence intermédiaire comme le chêne rouge ou le bouleau jaune sans nuire aux autres feuillus tolérants. Le martelage des tiges a donc été modifié pour passer d'une prescription de jardinage par pied d'arbre à une prescription de coupe progressive d'ensemencement. Celle-ci vise à conserver sur pied les semenciers désirés. Plusieurs arbres préalablement martelés lors du jardinage étaient des essences désirées; la prescription de coupe progressive a, en quelque sorte, inversé le martelage au détriment des hêtres de vigueur 1.

En plus de la coupe progressive, les autres traitements expérimentés sont :

- L'élimination des gaulis (débroussaillement);
- Le scarifiage;
- L'ensemencement manuel;
- Le reboisement de plants à racines nues;
- Le reboisement de plants en récipient;
- L'ouverture du couvert (CPE) sans perturbation du sol.

L'élimination du couvert de gaulis a été effectuée de façon mécanique à l'aide de débroussailleuses. Le scarifiage sous couvert a été effectué par le passage répété d'une débusqueuse munie de chaînes aux quatre roues. La circulation en lacet de ce type d'appareil entraîne une perturbation systématique et efficace de la litière et des premiers centimètres de sols. L'utilisation de d'autres types d'appareils (à l'exception de la taupe) est considérablement limitée par l'accessibilité du site et la possibilité de bris du système racinaire des arbres résiduels. Les branches ont été mises en tas pour favoriser la circulation et les autres interventions.

L'ensemencement et le reboisement ont été effectués à raison de un gland ou plant au 3 m^2. Deux types de plants ont été mis en terre, soit des plants à racines nues et des plants en récipients. L'ensemencement manuel a été effectué à l'automne 96, alors que le reboisement s'est fait au printemps 97.

Enfin, un secteur fut réservé pour vérifier l'hypothèse de l'impact de l'ouverture du couvert versus l'installation du chêne rouge. Les arbres ont été prélevés en évitant tout débardage à l'intérieur de ce bloc étudié pour éviter toute perturbation du sol.

3.3 Description du dispositif

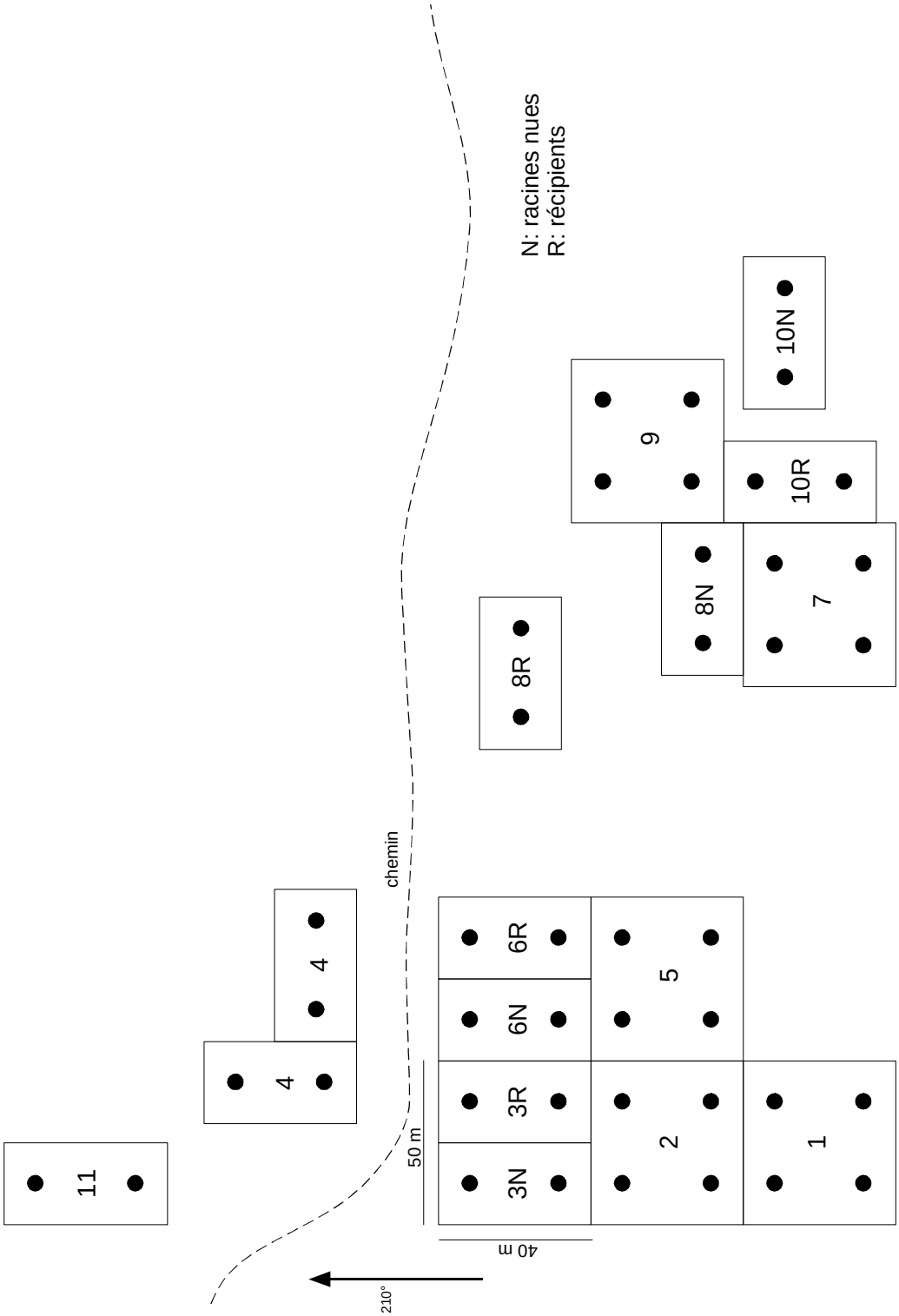
Le dispositif couvre une superficie de 2.1 hectares et est entouré d'une zone tampon pour un total de 4 hectares. Au total, dix blocs de 40 X 50 m et un bloc de 40 X 25 m ont été délimités et identifiés sur le terrain (figure 4). Le maximum d'homogénéité des sites a été recherché afin de limiter les erreurs dues à la variabilité des paramètres écologiques.

Le tableau 6 présente les combinaisons de traitement pour chacun des blocs.

Tableau 6 Combinaison des traitements expérimentés.

Bloc	CPE	Débardage	Débroussaillement	Scarifiage	Présence de semenciers	Ensemencement manuel	Reboisement de plants
1	X	X	X	X	X		
2	X	X	X	X	X	X	
3	X	X	X	X	X		X
4	X	X	X		X		
5	X	X	X		X	X	
6	X	X	X		X		X
7	X	X				X	
8	X	X					X
9	X	X	X			X	
10	X	X	X				X
11	X		X		X		

Figure 4 Dispositif expérimental.



3.4 Inventaire du bois sur pied et de la régénération

Parmi les variables considérées pour évaluer chacun des traitements, nous retrouverons la régénération, la structure, la composition, la luminosité, ainsi que des mesures de productivité.

Dans chacun des blocs, 4 points de prisme ont servi à faire l'inventaire du bois sur pied alors que 12 parcelles de 3 m^2 par point de prisme ont servi à faire l'inventaire de la régénération (annexe 2). Pour la régénération, un dénombrement par essence a été effectué dans une parcelle sur trois alors que la présence - absence des essences a été notée dans les autres parcelles.

Les semenciers de chêne rouge ont également été localisés et une grappe de 12 parcelles de 3 m^2 pour chaque semencier a permis de vérifier l'installation de l'ensemencement naturel (annexe 3). On retrouve donc dans le dispositif un total de 42 points de prisme, 10 semenciers de chêne rouge et 666 parcelles de régénération.

En plus de l'évaluation de la surface terrière à l'aide du prisme et de la régénération par un dénombrement de tiges par essence, l'ouverture du couvert après coupe a été évaluée à l'aide d'un densiomètre. Pour chaque point de prisme, une lecture du pourcen-tage d'ouverture a été effectuée en direction de chacun des points cardinaux afin d'obtenir l'ouverture moyenne du couvert.

Les délimitations du dispositif sont identifiées par des piquets de bois (2" X 2") et les centres de parcelles sont identifiés de façon semi-permanente par une fiche métallique et une étiquette d'aluminium numérotée.

3.5 Cueillette et sélection des glands

Les glands ont été prélevés dans la même région écologique que celle des travaux. Environ 1 600 glands proviennent de Kazabazoua, peuplement semencier du MRN sur dépôt fluvio-glaciaire de sable (voir photo annexe 4). La balance, environ 3 000 glands, provient d'une chênaie située près du lac des épinettes, au nord de Perkins sur sommet à till mince et très mince. La récolte s'est effectuée autour des beaux phénotypes et les glands étant percés, craqués, pourris ou trop petits ont été éliminés. La cueillette s'est effectuée au rythme de 300 glands à l'heure par personne.

Le triage des glands a ensuite été effectué par flottage tel que cité dans le guide sur la plantation des feuillus nobles (Dumont, 1995). Cette technique permet d'éliminer ceux qui sont vides. La méthode comporte cependant certaines limites. En effet, certains gros glands flottent en raison de leur plus faible densité mais l'examen du germe de 10 de ces glands échantillonnés de façon aléatoire n'a démontré aucun symptôme de déficience. Les gros glands d'apparence saine ont donc été réintégrés à la population initiale.

3.6 Production de plants en récipients et approvisionnement de plants à racines nues

Les glands récoltés et non utilisés pour l'ensemencement manuel ont servi à la production des plants qui s'est faite dans la serre du département de technologie forestière du Cégep de Sainte-Foy. La production consistait en des plants en récipients de 350 ml. Les plants à racines nues (2-2) ont été récupérés au Centre de production de plants de Berthierville. L'ensemble des plants a été traité avec un répulsif à rongeur avant d'être mis en terre pour les protéger contre le broutage.

3.7 Réalisation des travaux et prise de données

Tableau 7 Échéancier

• Revue de littérature	Juin 1996
• Visite de terrain et choix du site pour l'installation du dispositif	Juin - juillet 1996
• Installation du dispositif et inventaire avant coupe	Septembre - octobre 1996
• Travaux de martelage	Octobre 1996
• Travaux de débroussaillement	Novembre 1996
• Récolte des glands de chêne rouge	Novembre 1996
• Récolte (CPE)	Novembre 1996
• Travaux de scarifiage	Novembre 1996
• Ensemencement manuel - test de germination	Novembre 1996
• Production de plants	Janvier 1997
• Reboisement	Juin 1997
• Inventaire après coupe (bois sur pied, lumière, régénération)	Septembre - octobre 1997
• Traitement des données et analyses statistiques	Janvier 1998
• Remise du rapport final	Décembre 1998

4. Résultats

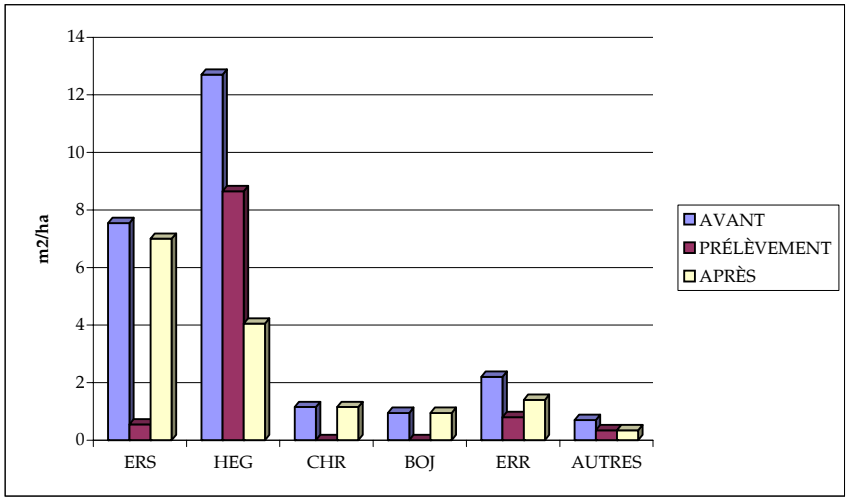
4.1 Impact de la coupe sur la composition du peuplement

La surface terrière moyenne était de 25,3 m^2/ha et la surface terrière résiduelle est de 14,9 m^2/ha avec un pourcentage de prélèvement moyen de 41,1 % dont 83,6 % est constitué de hêtre américain (tableau 8). La proportion de hêtre est passée de 50,2 % avant coupe à 26,8 %, alors qu'après coupe celle de l'érable à sucre est passée de 30 à 47 % et celle du chêne rouge de 4,7 à 8 %.

Tableau 8 Composition du peuplement par essence en surface terrière (m^2/ha).

Essence	S.T. avant m^2/ha	S.T. après m^2/ha	Prélèvement m^2/ha	Prélèvement par essence (%)
HEG	12,7	4,0	8,7	68,5
ERS	7,6	7,0	0,6	7,9
ERR	2,2	1,4	0,8	36,4
BOJ	0,9	0,9	0,0	0,0
CHR	1,2	1,2	0,0	0,0
CET	0,1	0,1	0,0	0,0
Autres	0,6	0,3	0,3	50,0
Total	25,3	14,9	10,4	41,1

Figure 5 Surfaces terrières par essence avant et après coupe.



4.2 Élimination des gaulis par débroussaillement

Les résultats de l'inventaire de régénération un an après les travaux sont présentés en fonction des traitements apportés au peuplement. La distribution des tiges est basée sur la présence d'un arbre au 3 m^2 et la quantité moyenne est exprimée en nombre de tiges à l'hectare.

La comparaison des blocs débroussaillés (blocs 9 et 10) et non débroussaillés (blocs 7 et 8) s'est effectuée dans un secteur où il n'y avait aucun semencier de chêne rouge, de bouleau jaune et de cerisier tardif.

Ce secteur principalement constitué d'érable à sucre, a permis l'installation d'une régénération naturelle abondante. Les travaux de débroussaillement ont diminué la présence de certaines espèces au détriment de d'autres (tableau 9).

Tableau 9 Présence de la régénération naturelle un an après les interventions dans les secteurs débroussaillés et non débroussaillés.

Essence	Débroussaillé		Non débroussaillé	
	Nombre ti/ha	Dist. %	Nombre ti/ha	Dist. %
ERS	1 031 460	100	504 167	96
HEG	61 771	91	185 938	95
ERR	313	10	28 646	28
ERP	18 646	53	59 792	86
BOJ	3 750	35	1 354	9

Dans le secteur non débroussaillé, l'estimation du nombre de tiges en régénération inclut à la fois la régénération préétablie sur le site de même que la régénération installée suite aux interventions.

Le débroussaillement a éliminé une grande quantité de tiges de gaulis de hêtre américain, d'érable rouge et d'érable de Pennsylvanie. Suite aux travaux de récolte, ces espèces n'ont pas été réintroduites en aussi grand nombre qu'auparavant dû à la faible quantité de semenciers. L'ouverture du couvert combinée aux travaux de débroussaille-ment, à une bonne année semencière et à la présence presque qu'exclusive d'érable à sucre, ont stimulé la présence de plus d'un million de semis d'érable à sucre sur le parterre (voir photo annexe 4).

Le débroussaillement a un effet significatif sur la survie et la présence de la régénération artificielle de chêne rouge avec une distribution moyenne de 50 % dans les blocs débroussaillés comparativement à 29 % dans les blocs non débroussaillés (tableau 10).

Tableau 10 Régénération artificielle de chêne rouge un an après intervention des secteurs débroussaillés et non débroussaillés.

	Reboisement		Ensemencement manuel		Moyenne	
	Nombre tiges/ha	Distribution %	Nombre tiges/ha	Distribution %	Nombre tiges/ha	Distribution %
Non débroussaillé	1 667	31	833	27	1 250	29
Débroussaillé	2 500	62	1 042	37	1 770	50
Moyenne	2 085	47	935	32		

Les secteurs non débroussaillés sont également beaucoup moins uniformes puisque seulement les sentiers de débusquage bénéficient d'un apport plus important de lumière au sol.

Un an après l'introduction artificielle du chêne rouge, l'analyse de variance (tableau 11) confirme une différence significative de sa distribution entre les secteurs débroussaillés et non débroussaillés. On observe également une différence significative entre les modes de régénération.

Tableau 11 Analyse de variance pour la distribution de la régénération artificielle de chêne rouge.

Source de variation	Degré de liberté	Carrés moyens	Valeur de F	P > F	
Débroussaillement	1	0,56	7,30	0,0089	**
Reboisement	1	0,44	5,76	0,0195	*
Déb*Reb	1	0,34	4,42	0,0398	*
Résidus	60	0,08			
Total	63				

* Significatif à 95%, ** Significatif à 99%

4.3 Ensemencement manuel versus le reboisement du chêne rouge

De façon générale, le secteur étudié, représentatif des chênaies sur sommet et till mince de la région de l'Outaouais, représente des conditions de travail difficiles pour le reboisement et l'ensemencement manuel dues à la faible épaisseur du sol et la présence des déchets de coupe.

Ayant débuté avec un objectif de reboisement de 3 333 plants/ha, les conditions difficiles de terrain ont rendu impossible l'atteinte de l'objectif. On a pu mettre en terre une moyenne de 2 500 plants/ha.

L'ensemencement manuel a pu pour sa part, être réalisé au taux préétabli de 3 333 glands/ha.

Dans le secteur d'érable à sucre ne comportant aucun apport naturel de semence de chêne rouge, l'ensemencement manuel a permis d'obtenir une distribution moyenne de

32 % alors que dans les secteurs reboisés, on observe une distribution moyenne de 47 % (tableau 10). Dans l'ensemble, après un an le reboisement est plus efficace que l'ensemencement manuel, une moyenne de 2 085 tiges/ha comparativement à 935 tiges/ha.

Comme il s'agit de secteurs à sol mince où le reboisement est difficilement réalisable, l'ensemencement est une technique souhaitable. Il faudrait cependant utiliser un plus grand taux d'ensemencement afin d'obtenir un plus grand nombre de tiges et une meilleure distribution, ceci afin de tenir compte du pouvoir germinatif des glands en milieu naturel.

L'analyse de variance (tableau 12) portant sur la quantité de plants de régénération artificielle de chêne rouge ne démontre aucune différence significative en fonction du débroussaillement alors que l'on observe un nombre significativement plus élevé de plants reboisés comparativement aux plants issus de l'ensemencement manuel.

Tableau 12 Analyse de variance pour la quantité de régénération artificielle de chêne rouge.

Source de variation	Degré de liberté	Carrés moyens	Valeur de F	P > F	
Débroussaillement	1	0,39	1,00	0,3213	
Reboisement	1	1,89	4,84	0,0317	*
Déb*Reb	1	0,14	0,36	0,5508	
Résidus	60	0,39			
Total	63				

* Significatif à 95%

4.4 Influence de la lumière sur la germination du chêne rouge

Le tableau 11 présente une comparaison d'installation de régénération naturelle suite à la réalisation des travaux avec et sans passage de la débusqueuse pour effectuer le débardage des tiges. Le bloc 11 a donc subi très peu de perturbation au niveau du sol afin de vérifier si seule l'ouverture du couvert et la présence de lumière au sol permettraient l'installation d'une régénération naturelle de chêne rouge.

Tableau 13 Effet de la lumière sur la présence de la régénération naturelle.

	Ouverture du couvert avec débardage		Ouverture du couvert sans débardage	
	BLOC 4		BLOC 11	
% du couvert de CHR	28 %		92 %	
Essence	**Quantité**	**Distribution %**	**Quantité**	**Distribution %**
ERS	31 250	92	251 665	100
HEG	72 915	94	92 080	100
ERR	192 500	92	188 750	92
ERP	12 500	65	17 915	77
BOJ	10 625	31	8 330	31
CET	1 665	19	500	15
CHR	2 290	38	4 580	65

À l'exception de l'érable à sucre et du chêne rouge, on n'observe pas d'effet significatif de l'absence de perturbation du sol sur la quantité et la distribution de la régénération présente. Il est important de rappeler qu'avant les interventions, il n'y avait aucune régénération de chêne rouge, de bouleau jaune ou de cerisier tardif et que la régénération préétablie a été éliminée par le débroussaillement.

Dans le cas du chêne rouge, le lien avec la présence de semencier est très important. Malgré la présence d'une forte régénération en chêne dans le secteur sans débardage, le pourcentage de couvert occupé par le chêne rouge dans le bloc 4 n'est que de 28 % alors qu'il est de 92 % dans le bloc 11. On retrouve donc dans le secteur sans débardage deux fois plus de chêne rouge en régénération pour la présence de trois fois plus de semencier sur pied.

L'inventaire autour des chênes permet de montrer une interprétation beaucoup plus juste de l'effet de la lumière et du débardage (tableau 14). Cet inventaire permet d'obtenir une moyenne de 10 695 tiges/ha où il y a eu du débardage comparativement à 5695 tiges/ha dans le secteur non perturbé.

Tableau 14 Quantité de régénération naturelle de chêne rouge autour des semenciers – secteurs avec et sans débardage.

Quantité de chênes rouge (tiges/ha)	
Ouverture du couvert avec débardage (Bloc 4)	**Ouverture du couvert sans débardage** (Bloc 11)
10 695	5 695

Dans le secteur où il y a eu peu ou pas de perturbation par le débardage des tiges, on observe malgré tout une bonne installation de la régénération, c'est donc dire qu'à eux seuls, la présence de semenciers, l'ouverture du couvert et les travaux de débroussaillement ont eu un impact significatif sur la présence du chêne rouge en régénération.

4.5 Plants à racines nues et plants en récipients

L'utilisation de plants à racines nues n'a pas fait de différence significative avec les plants en récipients. Le taux de survie moyen est respectivement de 79 et 85 %. Si une différence devait apparaître, elle pourra se manifester davantage dans les prochaines années.

4.6 Traitement des glands avec un répulsif à rongeur

Un test de germination de deux populations de 100 glands a été comparé, l'une d'entre elles ayant été traitée avec un répulsif à rongeur. Ces glands ont été ensemencés sur le site à l'automne 1996 sur une surface d'environ 4 mètres carrés. Au printemps 1997, aucune différence n'a été observée entre les populations pour un taux de germination moyen de 79 et 81 % pour les glands traités et non traités respectivement.

4.7 Présence de semenciers de chêne rouge

La présence de semenciers, particulièrement pour les essences à fruits lourds comme le chêne rouge, a un impact important sur la distribution des semis en régénération natu-relle dans un territoire donné.

D'après nos observations, un chêne rouge régénère le parterre de coupe d'une façon abondante sur un rayon de 10 à 15 mètres autour du tronc dépendamment de la dimension et de la forme de sa cime et de la topographie du terrain environnant (soit de 300 à 700 m^2). On retrouve dans l'arrondissement des semenciers une moyenne de 6 990 ti/ha et une distribution de 79 %. On peut assumer que de 15 à 30 chênes rouges bien distribués à l'hectare sont suffisants pour régénérer naturellement l'ensemble du

parterre de coupe en quantité et distribution satisfaisantes lorsque les opérations ont été réalisées au cours d'une bonne année semencière.

La présence de semenciers de chêne rouge sur le site est aléatoire, certains blocs n'ont qu'un chêne rouge en bordure alors qu'on observe la présence de 5 chênes rouges dans d'autres blocs. Afin de pondérer l'analyse et de donner un poids équitable à l'apport de semence naturelle dans chacun des blocs, une covariable représentant le pourcentage de la superficie couverte par la projection des cimes au sol a été employée. L'analyse (tableau 15) démontre que l'utilisation de la covariable, qui est le pourcentage de couvert de chêne rouge, a une influence significative sur la quantité de régénération présente et permet de pondérer efficacement l'effet des autres traitements. Ainsi on peut observer un impact significatif du scarifiage sur la régénération de chêne rouge et aucune différence significative entre les modes de reboisement dans le cas où celui-ci vient de combler les manques à gagner de la régénération naturelle.

Tableau 15 Analyse de covariance pour la quantité de régénération de chêne rouge.

Source de variation	Degré de liberté	Carrés moyens	Valeur de F	P > F	
Couvert CHR	1	7,20	5,55	0,0205	*
Scarifiage	1	6,39	4,92	0,0288	*
Reboisement	2	1,89	1,45	0,2386	
Sca*Reb	2	3,76	2,90	0,0600	
Résidus	97	1,30			
Total	103				

* Significatif à 95%

4.8 Régénération naturelle et effet de scarifiage

L'année 1996 fut une excellente année semencière pour la plupart des essences forestières. Ceci se reflète dans la quantité de régénération naturelle présente dans le secteur débroussaillé et non scarifié un an après la coupe (tableau 16).

Dans ce secteur, le hêtre américain, l'érable à sucre et l'érable rouge sont distribués uniformément et sont représentés par un très grand nombre de tiges. Approximativement la moitié des tiges de hêtre américain proviennent de rejet de souche ou de racine. On retrouve 3 055 tige/ha de chêne rouge avec une distribution de 47 %. On observe 13 274 tige/ha de bouleau jaune avec une distribution de 39 %. La distribution du bouleau jaune est grandement influencée par la présence de lits de germination favorables à sa germination.

Tableau 16 Nombre de tige et distribution de la régénération dans les secteurs débroussaillés, scarifiés et non scarifiés.

	Scarifié		Non scarifié	
Essence	nombre tige/ha	distribution (%)	nombre tige/ha	distribution (%)
HEG	219 722	96	116 429	96
ERS	71 180	92	73 930	93
ERR	12 083	44	204 107	95
ERP	32 222	83	18 333	76
BOJ	19 375	68	13 274	39
CHR	3 260	46	3 055	47
CET	1 460	13	715	10

Le scarifiage n'a pas eu d'effet significatif sur la régénération de hêtre américain et d'érable à sucre (tableau 16). Elle a cependant diminué grandement la quantité et la distribution de l'érable rouge. Pour ce qui est du bouleau jaune, la perturbation de la litière et de l'humus et l'exposition d'une plus grande proportion de sol minéral permettent presque de doubler sa distribution.

En ce qui concerne le chêne rouge, l'analyse de covariance présentée au tableau 15 a démontré un effet significatif du scarifiage sur la quantité de régénération.

En observant la quantité de régénération et la distribution au tableau 16, on retrouve 3 260 ti/ha (dist. 46%) de chêne rouge après scarifiage et 3 055 ti/ha (dist. 47 %) dans les secteurs non scarifiés. Cette différence semble très faible, voire même nulle. C'est ici qu'il faut tenir compte de la covariable et le fait que seulement 16 % de la zone scarifiée est occupé par un couvert de chêne rouge contre 53 % dans la zone non scarifiée. Ainsi pour un nombre de tige et une distribution de la régénération équivalente, il a fallu trois fois moins de semencier de chêne rouge dans le secteur scarifié.

Une autre façon d'évaluer l'impact du scarifiage sur l'installation de la régénération est d'utiliser l'inventaire effectué autour des semenciers de chêne rouge. Dans l'environnement immédiat des chênes rouges (rayon de 12 m autour du tronc), les travaux de scarifiage augmentent la quantité de semis installés de façon significative. Celle-ci peut atteindre 20 970 tiges/ha (dist. 83 %) comparativement à une valeur moyenne de 6 990 tiges/ha (dist. 79 %) autour des chênes dans le secteur non scarifié.

4.9 Effet de l'ouverture du couvert sur la régénération

Un prélèvement moyen de 41 % de la surface terrière a correspondu à une ouverture du couvert moyenne approximative de 37,1 %.

Malgré la variation du pourcentage d'ouverture du couvert (37,1 % ± 8,9 %) après coupe, aucune influence significative n'a pu être identifiée avec la quantité de régénération installée pour quelque essence que ce soit (tableau 17).

Tableau 17 Coefficient de corrélation de Pearson entre le pourcentage d'ouverture du couvert et la quantité de régénération installée par essence.

	HEG	ERS	ERR	ERP	BOJ	CHR	CET
% ouverture	0,12	0,03	0,23	0,01	0,17	0,10	0,02

L'ouverture non significative du couvert est un facteur indispensable pour la création de condition favorable à la germination des semis de feuillus tolérants, mais comme mentionné par Gottschalk et Marquis (1982), une fois le seuil critique de 30 % d'ouverture atteint, l'augmentation de l'ouverture du couvert n'engendre pas de différence significative dans les conditions de germination.

Il est peut-être trop tôt pour conclure au sujet de l'influence de l'ouverture du couvert. Celle-ci pourra se faire sentir davantage sur le taux de survie et la croissance des différentes espèces au cours des prochaines années.

4.10 Productivité et coûts

La productivité des travaux est donnée à titre indicatif. Les travaux ont été réalisés dans un cadre de recherche scientifique et les mêmes travaux effectués par des gens d'expérience sur une base opérationnelle pourraient voir leur rendement augmenté de beaucoup.

4.10.1 Débroussaillement sous couvert

Dans le contexte étudié, une régénération préétablie de 1 à 5 mètres de hauteur était principalement constituée de hêtre américain, d'érable de Pennsylvanie et d'érable à sucre. La présence de cette régénération a incité à la réalisation de travaux de débroussaillement avant la coupe. Six jours-hommes ont été nécessaires pour débroussailler 8,5 blocs. La productivité par homme est donc de 0,28 hectare par journée de 7,5 heures de travail.

4.10.2 Scarifiage à la débusqueuse avec chaînes

Les travaux de scarifiage ont été réalisés à l'aide d'une débusqueuse munie de chaînes aux quatre roues. Aucun équipement n'a été utilisé en traînée, seulement le passage en zigzag entre les arbres résiduels sur le parterre de coupe. Le scarifiage de 3 blocs a nécessité 3 heures d'ouvrage pour une productivité moyenne de 0,2 ha/heure.

4.10.3 Ensemencement manuel

L'ensemencement manuel a été réalisé dans 4 blocs à raison d'un gland au 3 m^2 (1,5 m x 2,0 m) pour une moyenne de 3 333 glands/ha. Indépendamment des traitements réalisés dans le bloc, la productivité moyenne a été de 0,26 ha/jour. Elle a varié de 0,17 ha/jour, dans le cas où il y avait une grande quantité de déchets de coupe sur le terrain jusqu'à 0,4 ha/jour où le terrain avait été scarifié et les déchets mis en endains. Il est important de rappeler que pour assurer une couverture de l'ensemble du territoire, un système de repérage et d'alignement est nécessaire tel que des cordes, des piquets ou des rubans. La présence de la régénération préétablie et des déchets de coupe sur le parterre diminuent grandement la productivité.

4.10.4 Reboisement

Le reboisement a été réalisé dans quatre blocs à raison d'un plant au 3 m^2 (1,5 m x 2.0 m) pour un objectif moyen de 3 333 plants/ha. La moitié du reboisement a été réalisé avec des plants à racines nues alors que l'autre moitié a été réalisée avec des plants en récipients (350 ml) de forte dimension. La productivité est similaire pour les deux types de plants pour une moyenne de 0,11 ha/jour de travail par personne.

4.10.5 Abattage de petits diamètres

L'abattage de petits diamètres (perche) a été exécuté dans 8.5 blocs en une journée de travail pour une productivité moyenne de 1,75 ha/jour par personne.

4.10.6 Récolte

Les travaux de récolte ont été réalisés par une équipe de travail conventionnelle constituée d'un abatteur et d'un débardeur. L'ensemble du dispositif (2,25 ha) a été récolté en 4.5 jours de travail pour une productivité moyenne pour l'équipe de travail de 0,46 ha/jour.

Les tableaux 18 et 19 présentent les coûts comparatifs pour chacune des interventions.

Tableau 18 Coûts comparatifs ($/ha) dans les peuplements sans semencier et sans scarifiage.

Débroussaillement	630 $	630 $		
Ensemencement	385 $		385$	
Plantation		1 090 $		1 090 $
Coût total	1 015 $	1 720 $	385 $	1 090 $
Rendement	+	++	-	+

Tableau 19 Coûts comparatifs ($/ha) dans les peuplements avec semenciers

Débroussaillement	630 $	630 $	630 $	630 $	630 $	630 $
Scarifiage	375 $	375 $	375 $			
Semenciers	0			0		
Ensemencement		385 $			385 $	
Plantation			1 090 $			1 090 $
Coût total	1 005 $	1 390 $	2 095 $	630 $	1 015 $	1 720 $
Rendement	+++	+++	+++	++	++	++

Dans les secteurs sans semencier et sans scarifiage, les meilleurs rendements ont été obtenus dans les secteurs débroussaillés et plantés. Ce sont également les interventions les plus dispendieuses. Pour ce qui est du rendement de l'ensemencement manuel, la présence d'un plus grand nombre de semis en régénération pourrait être obtenue en augmentant le taux d'ensemencement à l'hectare.

C'est dans le cas où l'on a effectué de scarifiage en présence de semenciers que l'on a obtenu les meilleurs rendements dans l'ensemble du dispositif. Les travaux d'ensemencement ou de plantation sont nécessaires seulement si le nombre de semenciers est insuffisant et que l'on veut compléter la distribution du chêne rouge sur l'ensemble du parterre.

5. Discussions

5.1 Réintroduction du chêne rouge

Si l'on veut réintroduire du chêne rouge en présence de semenciers, l'ouverture du couvert est un facteur essentiel et on devrait viser un objectif de couvert résiduel de l'ordre de 60 %. L'élimination des gaulis préétablie des essences non désirées est également primordiale pour permettre l'installation de la régénération de chêne rouge et des autres essences intermédiaires comme le bouleau jaune et le cerisier tardif. Toutefois, la manière d'éliminer les gaulis aurait peut-être avantage à être effectué de façon plus opérationnelle. Plutôt que d'utiliser la débroussailleuse, peut-on croire que le passage de la débusqueuse partout sur le site pourrait à la fois scarifier le parterre, éliminer les gaulis non désirés et mettre en tas les déchets de coupe trop abondants si l'on désire faire des interventions d'ensemencement par la suite.

Le scarifiage pour sa part n'est pas une intervention absolument nécessaire puisque nous avons démontré qu'il était possible d'installer du chêne rouge dans les secteurs peu perturbés. Le scarifiage permet cependant de tripler la quantité de régénération établie en chêne rouge, ce qui augmente significativement ces chances de succès face à la compétition par les autres essences qui sont abondantes.

L'ensemencement des glands à l'automne permet d'imiter les processus naturels et n'occasionne pas de problème de conservation des glands. Afin de faciliter le travail et d'augmenter le rendement, l'ensemencement pourrait être effectué avant la coupe ayant ainsi accès à l'ensemble du territoire en l'absence de débris de coupe. De plus, l'ensemencement de 2 ou 3 glands viables par cavité compenserait pour les bris dus au passage de la machinerie et la perte du pouvoir germinatif des glands en milieu naturel. Néanmoins, une méthode alternative pourrait être envisagée en faisant l'ensemencement de glands germés tôt au printemps. Cette technique éliminerait la compensation qui doit être faite en fonction du taux de germination en milieu naturel et permettrait d'ensemencer un nombre plus restreint de glands avec un taux de réussite de près de 100 %. Pour faciliter l'opération d'ensemencement et éviter l'utilisation de système de repérage tel que des cordes, des piquets ou des rubans, l'emploi du topofil pour identifier le passage et la distribution des glands est tout à fait approprié.

Pour ce qui est de faire du regarni de chêne rouge dans les secteurs où il n'y a pas de semenciers sur pied, cette entreprise est fort louable mais l'investissement et l'énergie nécessaires sont peut-être trop élevés pour réaliser cette conversion de peuplement.

5.2 Nécessité du suivi

L'ensemble des traitements a permis d'introduire entre 3 000 et 20 000 tiges/hectare de chêne rouge. Ces mêmes traitements ont également été favorables aux autres essences. Il serait conseillé d'effectuer un suivi régulier des secteurs d'interventions afin de prescrire un dégagement des tiges feuillues désirées possiblement entre l'âge de 5 et 10 ans, dépendamment de l'agressivité de la compétition. La récolte du peuplement résiduel (coupe finale) devait être faite à partir du moment où la régénération a plus de 1,5 m de hauteur (Clark, 1971). Les techniques de sentiers espacés et d'abattage directionnel (Lessard et Blouin, 1997) devront être utilisées afin de protéger la régénération en place.

5.3 Choix de la stratégie

Dans le régime de la futaie régulière, la stratégie de régénération devrait consister à installer le plus grand nombre de tige possible afin de rendre le chêne rouge plus compétitif en ayant besoin de moins d'intervention et en conservant un facteur de risque moins élevé. L'objectif n'est pas de créer un peuplement pur de chêne rouge, mais bien de maintenir et possiblement d'augmenter sa proportion dans le peuplement.

5.4 Simulation des rendements

La simulation des rendements par le modèle par courbe est effectuée en utilisant les courbes de Plonski (1960). Il y aura place à construire des courbes spécifiques au chêne rouge au Québec.

5.5 Traitements non subventionnés

Le débroussaillement sous couvert n'est pas un traitement subventionné pour le moment, il y a donc place à la négociation pour apporter des modifications aux normes actuelles. Entre temps, ces travaux peuvent être réalisés via le programme de mise en valeur des ressources du milieu forestier ou selon l'initiative des bénéficiaires.

6. Recommandations

Le projet a été initié par un constat concernant la biodiversité des espèces, soit la régression du chêne rouge. Actuellement les principales recettes pour assurer son retour sont connues. Dans les lignes qui suivent des propositions sont suggérées afin d'assurer le retour du chêne rouge, pour estimer les rendements et pour poursuivre la connaissance des moyens pour régénérer les essences.

Choix de l'essence principale objectif :

1. Il est proposé d'inclure dans le plan général de la 72-02, la production prioritaire chêne rouge et de la localiser d'abord sur les sommets avec feuillus tolérants lorsque le chêne rouge est toujours **présent et représente de 10 à 12 semenciers à l'hectare**. L'objectif de production pourra être la constitution d'un peuplement à dominance de chêne rouge. Dans le cas où le chêne rouge est **absent ou que le nombre de semenciers est insuffisant**, le choix de l'essence principale objectif chêne peut être réaliste, si l'objectif visé est de reconstituer un peuplement dont la dominance sera autre que cette espèce, par exemple l'érable à sucre. Ceci inclut également des sites riches et frais, où cette essence pourrait obtenir des rendements supérieurs. Les rendements potentiels du chêne sont plus qu'intéressants.

Choix du système de régénération

2. Le choix du système de régénération dépend évidemment de l'essence principale objectif, du peuplement désiré, de la structure actuelle et du taux de vigueur du peuplement actuel. Pour la constitution d'un peuplement dominé par le chêne rouge, la coupe progressive devrait être appliquée avec possibilité de compléter la régénération naturelle par ensemencement. Dans le cas d'un peuplement où le chêne ne dominera pas, le système de régénération par coupe progressive (équienne) peut être appliqué ou encore le système de régénération par jardinage (inéquienne), sous la forme de petites trouées. Fait intéressant à souligner, le choix du système de régénération favorisant le chêne rouge influencera directement la régénération de bouleau jaune, pin blanc et cerisier tardif.

Création des conditions favorables pour l'implantation

3. Certaines conditions sont nécessaires, voire *sine qua non*, pour l'implantation du chêne rouge : le choix d'une bonne année semencière (forte glandée), le scarifiage assurant le mélange minéral-organique adéquat et réalisée après la chute des feuilles pour augmenter les chances, l'élimination des gaulis ainsi que l'ouverture du couvert. Dans la pratique courante, ces conditions sont difficiles à réunir mais assureraient à l'aménagiste une diminution substantielle du facteur de risque et des frais qui s'ensuivent si les résultats sont inadéquats. Ainsi dans une planification quinquennale, le choix de l'année et de la période de coupe de ces peuplements pourraient demeurer ouverts jusqu'à ce que les conditions soient réunies. Une autre alternative serait d'effectuer la récolte sans s'occuper de la glandée, mais d'attendre la forte glandée pour les autres traitements. Encore une fois, ces conditions peuvent être créées dans un système équienne ou inéquienne.

Passage à la phase opérationnelle

4. Il est proposé d'inclure déjà, dans la planification annuelle de 1999-2000, des coupes progressives pour réintroduire le chêne rouge, accompagnées d'ensemencement manuel, de scarifiage et d'élimination des gaulis.

Nécessité des suivis

5. Il est proposé de prévoir une visite régulière et des mesurages successifs afin de vérifier l'implantation de la régénération, la compétition des espèces ainsi que l'état et l'accroissement en surface terrière des tiges résiduelles.

Démarche pour l'incorporation de l'élimination des gaules indésirables comme traitement sylvicole subventionné

6. Il est proposé que le MRN-Buckingham, les entreprises Pro-Folia, les industries James MacLaren et le CERFO fassent des représentations auprès du MRN-Québec pour faire accepter l'élimination des gaules indésirables comme traitement sylvicole subventionné pour certains objectifs de restauration de la biodiversité. Il existerait ici une seconde alternative temporaire, c'est que ce traitement puisse être inclu dans le montant total du scarifiage qui est moins onéreuse lorsque effectuée par les chaînes d'une débusqueuse.

Poursuite de l'acquisition de connaissance sur le chêne rouge

7. Il est proposé de poursuivre l'acquisition de connaissances sur le chêne rouge. Quatre avenues nous semblent prioritaires : le choix du moment optimal pour la coupe finale (CPRS) visant à libérer la régénération préétablie, la recherche du mode de scarifiage pouvant combiner également l'élimination des gaules, les méthodes d'éducation, et la construction de courbes de production pour cette espèce.

Choix des équipes de terrain pour la coupe finale

8. La coupe finale ne devra être confiée qu'à des équipes expertes en abattage directionnel et respectant strictement des espacements de sentiers de 40 m et l'utilisation d'un câble de plus de 30 m et d'un grand nombre d'élingues (plus de 10).

Conclusion

Le signal d'alarme pour une problématique de biodiversité des espèces est venu d'un forestier d'une compagnie (Pro-Folia) inquiète de la régression du chêne rouge sur l'ensemble de son territoire et du peu de mesures entreprises pour la contrer. Un projet d'étude sur les méthodes de restauration fut réalisé par le CERFO en partenariat avec les entreprises Pro-Folia, les Industries James MacLaren et le MRN-Buckingham.

Actuellement le projet a permis de valider les principales recettes suggérées pour assurer le retour du chêne rouge. Les facteurs de réussite sont également décrits (présence de semenciers, année semencière, ouverture du couvert, élimination des gaulis et lit de germination). Il y a lieu de considérer un potentiel de production de haute qualité étant donné l'abondance étonnante et la diversité des espèces suite aux interventions réalisées. Le régime de la futaie régulière et la coupe progressive semblent convenir à cette espèce aux semences lourdes et la possibilité de regarnir par ensemencement manuel représente une alternative valable. Restaurer le chêne sera plus facile et moins coûteux aux endroits où il en demeure encore sur pied, mais il ne faudrait pas exclure la possibilité de le réintroduire ailleurs et pas seulement sur les sommets.

Mais un projet de recherche seul ne représente pas grand chose si les recommandations qui en découlent ne sont pas intégrées dans la pratique. C'est pourquoi les propositions formulées touchent à la fois les choix d'aménagement, les pratiques sylvicoles, le suivi de l'installation de la régénération, une récolte finale protégeant la régénération et la poursuite de la connaissance sur la culture de cette espèce.

Il nous apparaît essentiel qu'une phase plus opérationnelle soit amorcée dès 1999 pour assurer la restauration de cette espèce. C'est une question d'éthique professionnelle et de respect des engagements de biodiversité du MRN et des compagnies forestières.

Références

Abrams, M.D. 1997. Dendroecological and ecophysiological attributes of mixed-oak forests in the eastern. U.S., Internet.

Adams, P.W. and J.R. Boyle. 1980. Effetcs of Fire on Soil Nutrients in Clearcut and Whole-tree Harvest Sites in Central Michigan. *Soil Sci. Soc. Am. J*. 44:847-850.

Anonyme. Program htvol, *The determination of tree crown volume by layers*. Northeastern For. Expt. Sta., Hilton House, Univ. of Mass., Amherst, 01002. 1-9.

Beck, D.E. 1970. *Effect of competition on survival and height growth of red oak seedlings*. USDA For. Serv., Southeast. Exp. Stn., Res. Pap. SE-56.

Belgrand, M. 1983. Comportement de jeunes plants feuillus (Chêne pédonculé, Chêne rouge, Chêne sessile, Hêtre) sur substrat ennoyé. Adaptations racinaires. Application à la mise en valeur forestière. I.N.A., Paris, Thèse de Docteur–Ingénieur, 188 p. + ann.

Boudru, M. 1979. La culture du chêne rouge d'Amérique en Belgique*. Bull. Rech. Agron. Gembloux* 14(1), 22 p.

Braun, E.L. 1950. *Deciduous forests of eastern North America*. Hafner, New York, 596 p.

Brown, J.L. 1987. Régénération et aménagement des forêts naturelles de feuillus nobles. Colloque sur la régénération des essences feuillues de qualité, Hull, p. 55-73.

Carvell, K.L. 1979. Factors affecting the abundance, vigor, and growth responses of understory oak seedlings. pp. 23-26 *In* H. A. Holt et B. C. Fischer (eds.). *Regenerating Oaks in Upland Hardwood Forests.* J.S. Wright For. Conf., West lafayette, Ind., Purdue Univ. Res. Found., West Lafayette, IN.

Cech, F.C. 1971. Tree improvement research in oak species. *In Proc. of Oak Symp. at Morgantown, W. Va*., 55-59. Upper Darby, Pa.: Northeast. For. Expt. Sta., USDA.

Clark, F.B. 1970. *Measures necessary for natural regeneration of oaks, yellow-poplar, sweetgum, and black walnut.* USDA For. Serv., North East. For. Exp. Stn. Res. Pap. NE-144, pp. 1-16.

Clark, F.B. and R.F. Watt. 1971. Silvicultural methods for regenerating oaks. In *Proc. of Oak Symp. at Morgantown, W. Va*., 27-43. Upper Darby, Pa.: Northeast. For. Expt. Sta., USDA.

Countryman, D.W., R. Bardon and S. Tate. 1995. Economics of Direct Seeding Northern Red Oak in Southern Iowa. p. 23 *In* R.W. Teclaw (Ed.). *Sixth Workshop on Seedling Physiology and Growth Problems in Oak Plantings*. Rhinelander, Wisconsin, Sept. 18-20, 1995. USDA For. Serv., North. Central For. Exp. Stn. Gen. Tech. Rep. NC-182.

Crcha, J. et F. Trottier. 1991. Guide de traitements sylvicoles – Les feuillus tolérants. Service des techniques d'intervention forestière, Min. des Forêts, 55 p.

Crow, T.R. 1988. Reproductive Mode and Mechanisms for Self-Replacement of Northern Red Oak (Quercus rubra)-A Review. *For. Sci.* 34(1):19-40.

Crow, T.R. 1992. Population dynamics and growth patterns for cohort of northern red oak (*Quercus rubra*) seedlings. *Oecologia.* 91:192-200.

Crunkilton, D.D, S.G. Pallardy and H.E. Garrett. 1992. Water relations and gas exchange of northern red oak seedlings planted in central Missouri clearcut and shelterwood. *For. Ecol. Manage*. 53:117-129.

Dey, D.C. 1995. *Acorn Production in Red Oak*. Ontario Minsistry of Natural resources, Ontario Forest research Institute, sault Ste. Marie, Ontario, For. Res. Inf. Pap. N° 127, 22 p.

Dey, D.C. et W.C. Parker. 1996. *Regeneration of Red Oak* (Quercus rubra *L.*) *Using Shelterwood Systems: Ecophysiology, Silviculture and Management Recommendations.* Ontario MNR, Ontario For. Res. Institute. Sault Ste. Marie, Ontario, For. Res. Inf. Pap. N° 126, 59 p.

Dumont, M. 1995. Plantation des feuillus nobles : guide. Les publications du Québec, 126 p.

Dwyer, J.P., D.C. Dey and W.B. Kurtz. 1993. Profitability of Precommercially Thinning Oak Stump Sprouts. *North. J. Appl. For.* 10(4): 179-182.

Farmer, R.E. Jr. 1974. Dormancy and Root Regeneration of Northern Red Oak. *Can. J. For. Res*. 5:176-185.

Gall, W.R. and K.A. Taft. 1973. Variation in height growth and flushing of northern red *oak (Quercus rubra* L.). In *Proc. of Twelth South. For. Tree Improv. Conf. at Baton Rouge, La*., 190-199. New Orleans, La.: South. For. Expt. Sta., USDA.

Galoux, A. 1976. Traitement expérimental d'une chênaie en futaie jardinée par bouquets. Station de recherches des eaux et forêts. Groenendaal-Hoeilaart, Belgique, Travaux – Série B, N° 40, 25 p.

Gingrich, S.F. 1967. Measuring and Evaluating Stocking and Stand Density in Upland Hardwood Forests in the Central States. For. Sci. 13(1): 38-53.

Gingrich, S.F. 1971. Stocking, Growth, and Yield of Oak Stands. In *Proc. of Oak Symp. at Morgantown, W. Va*., 65-73. Upper Darby, Pa.: Northeast. For. Expt. Sta., USDA.

Ginisty, C. 1994. Suivi d'une futaie de chêne rouge issue de régénération naturelle : la «glandée d'Amérique» des Barres. pp 219-226 *In* J. Timbal, A. Kremer, N. Le Goff et G. Nepveu (Éds.). *Le Chêne rouge d'Amérique*. INRA. Paris, 564 p.

Godman, R.M. and G.A. Mattson. 1980. Low temperatures optimum for field germination of northern red oak. *Tree Planters' Notes* 31:32-34.

Gordon, A.M., J.A. Simpson and P.A. Williams. 1995. Six-year response of red oak seedlings planted under a shelterwood in central Ontario. *Can. J. For. Res*. 25:603-613.

Gottschalk, K.W. and D.A. Marquis. 1982. Survival and Growth of Planted Red Oak and White Ash as Affected By Residual Overstory Density, Stock Size, and Deer Browsing. *In Proc. of Fourth Central Hardwood Forest Conf. at Univ. of Ky*., edited by R.N. Muller, 125-140.

Gouvernement du Québec. 1989. *Équipements de préparation de terrains utilisés au Québec*. Rép., MRN, Serv. de la régénération for., 25 p.

Gouvernement du Québec. 1990. *La récolte de semences forestières*. MRN. 124 p.

Gouvernement du Québec. 1991. *Guide de brûlage dirigé à des fins sylvicoles*. Min. For. 59 p.

Graney, D.L. 1983. Effects of thinning and fertilisation on growth of upland oak stands in the Boston mountains of Arkansas. 7 years results. pp. 269-274 *In* : Proc*. 2nd biennal south. Sylv. Res. Conf. Gen. Tech.,* C.P. Jones.

Gribko, L.S. and D.M. Hix. 1993. The Effect of Small Rodents on the Northern Red Oak Acorns in North-central West Virginia. pp. 400-408 *In* A. R. Gillespie, G. R. Parker, P. E. Pope et G. Rink (Eds.). *Proceedings of the 9th Central hardwood Forest Conference.* Purdue University, West Lafayette, IN, March 8-10, 1993. USDA For. Serv., North Central For. Exp. Stn., Tech. Rep. NC-161. 515 p.

Hannah, P.R. 1987. Regeneration methods for oaks. *North. J. Appl. For*. 4(2): 97-101.

Hannah, P.R. 1988. The shelterwood method in northeastern forest type: A literature review. NJAF. 5: 70-77.

Hanson, P.J., Isebrands, J.G. and R.E. Dickson. 1987. Carbon budgets of *Quercus rubra* L. seedlings at selected stages of growth: influence of light. pp. 269-276 *In* R. L. Hay, F. W. Woods et H. Deselm (Éds.). *Proc. 6th Cent. Hardwood For. Conf.*, Univ. Tennessee, Knoxville.

Hartig, G.L. 1791. Anweisung zur Holzzuch fur Forster. Neu Akad. Buchhdl., Marburg, 144 p.

Hawley, R.C. 1921. The practice of silviculture. John Wiley and Sons Inc, New York, 352 p.

Hill, J.P. and D.I. Dickmann. 1988. A Comparison of Three Methods for Naturally Reproducing Oak in Southern Michigan. *North. J. Appl. For.* 5:113-117.

Hilt, D.E. 1977. *Introduction of Black Walnut and Northern Red Oak Seedlings in an Upland Hardwood Forest in Southeastern Ohio.* Res. Note. NE-241. Upper Darby, Pa.: Northeast. For. Expt. Sta., USDA.

Hix, D.M., C.A. McNeel and E.C. Townsend. 1994. Treatments for Enhancing Early Survival and Growth of Northern Red Oak Seedlings. *Tree Planters' Notes* 45(4):137-141.

Hopper, G.M., D.M. Smith and D.J. Parrish. 1985. Germination and Seedling Growth of Northern Red Oak: Effects of Stratification and Pericarp Removal. *For. Sci.* 31:31-39.

Hubert. 1994. Tailles de formation et élagages. pp. 247-246 *In* J. Timbal, A. Kremer, N. Le Goff et G. Nepveu (Éds.). *Le Chêne rouge d'Amérique*. INRA. Paris, 564 p.

Johnson, G.R.Jr. 1983. Removing cull acorns from a water-willow oak acorn lot using salt solutions. *Tree Planters' Notes* 34:10-12.

Johnson, P.S. 1994. La sylviculture du chêne rouge aux USA. pp. 272-281. *In* J. Timbal, A. Kremer, N. Le Goff et G. Nepveu (Éds.). *Le Chêne rouge d'Amérique*. INRA. Paris, 564 p.

Johnson, P.S. 1974. *Survival and Growth of Northern Red Oak Seedlings Following Prescribed Burn*. Res. Note NC-177. St.Paul, Minn. : North Central For. Expt. Sta., USDA.

Johnson, P.S. 1977. *Predicting oak stump sprouting and sprout development in the Missouri Ozarks.* USDA For. Serv., North Central For. Exp. Stn. Res. Pap. NC-149. 11p.

Johnson, P.S. 1984. Responses of planted northern red oak to three overstory treatments. *Can. J. For. Res.* 14:536-542.

Johnson, P.S. 1985. Regenerating oaks in the Lake Sates. pp. 98-109 *In Proc. challenges in oak management and utilization*. Univ. Wis. Coop. Ext. Serv.

Johnson, P.S. 1992. Underplanting Northern Red oak In Missouri Whithout Herbicides. USDA For. Serv., North Central For. Exp. Stn., Gen. Tech. Rep. NC-152, 4 p.

Johnson, P.S. 1994. La sylviculture du chêne rouge aux USA. pp. 272-283 *In* J. Timbal, A. Kremer, N. Le Goff et G. Nepveu (Éds.). *Le Chêne rouge d'Amérique*. INRA. Paris, 564 p.

Johnson, P.S. and R.D. Jacobs. 1981*. Northern Red Oak Regeneration After Preherbicided Clearcutting and Shelterwood Removal Cutting.* Res. Pap. NC-202. St.Paul, Minn.: North Central For. Expt. Sta., USDA.

Johnson, P.S. and R. Rogers. 1984. Predicting 25th-Year Diameters of Thinned Stump Sprouts of Northern Red Oak. *J. For.* 82:616-619.

Johnson, P.S., C.D. Dale, K.R. Davidson and J.R. Law. 1986. Planting Northern Red Oak in the Missouri Ozarks: A Prescription. *North. J. Appl. For.* 3: 66-68.

Johnson, R.L. and R.M. Krinard. 1987. Direct seeding of southern oaks — a progress report. pp. 10-16 *In Proc. fifteenth annual hardwood symposium of the hardwood research council, applying the latest research to hardwood problems*. USDA For. Serv., Northeast. Area Stn. and Private For.

Johnson, P.S., R.D. Jacobs, A.J. Martin and E.D. Godel. 1989. Regenerating Northern Red Oak: Three Successful Case Histories. *North. J. Appl. For.* 6:174-178.

Kittredge, D.B. and P.M.S. Ashton. 1995. Impact of Deer Browsing on Regeneration in Mixed Stands in Southern New England. *North. J. Appl. For.* 12(3):115-120.

Kittredge, D.B., Jr., M.J. Kelty and P.M.S. Ashton. 1992. The Use of Tree Shelters with Northern Red Oak Natural Regeneration in Southern New England. *North. J. Appl. For*. 9(4):141-145.

Kluender, R.A. and B.J. Stokes. 1994. *Productivity and costs of three harvesting methods*. Dep. of Forest Res. 168-174.

Kolb, T.E. and K.C. Steiner. 1989. Growth and Biomass Partitioning of Northern Red Oak and Yellow-Poplar Seedlings: Effects of Shading and Grass Root Competition. *For. Sci.* 36(1):34-44.

Kolb, T.E., K.C. Steiner, L.H. McCormick and T.W. Bowersox. 1990. Growth response of northern red-oak and yellow-poplar seedlings to light, soil moisture and nutrients in relation to ecological strategy*. For. Ecol. Manage*. 36:65-78.

Kolb, T.E., T.W. Bowersox and L.H. McCormick. Influences of light intensity on weed-induced stresses of tree seedlings. *Can. J. For. Res.* 20:503-507.

Lantagne, D.O, C.W. Ramm and D.I. Dickmann. Tree Shelters Increase Heights of Planted Oaks in Michigan Clear cut. NJAF 7 : 24-26.

Larson, M.M. 1978. Effects of late-season defoliation and dark periods on inital growth of planted northern red oak seedlings. *Can. J. For. Res*. 8:67-72.

Larson, M.M. 1980. Effects of atmospheric humidity and zonal soil water stress on initial growth of planted northern red oak seedlings. *Can. J. For. Res.* 10: 549-554.

Larsen, D. R., M.A. Metzger and P.S. Johnson. 1997. Oak regeneration and overstory density in the Missouri Ozarks. *Can. J. For. Res*. 27: 869-875.

Larsen, D.R. and P.S. Johnson. 1998. Linking the ecology of natural oak regeneration to silviculture. pp. 1-7 *In* R. Rogers et H. Spiecker (Guest Eds.). *Aspects of natural regeneration of oak.* Selected papers from an IUFRO conference symposium. Tampere, Finland, August 1995.

Law, J.R. et C.G. Lorimer. 1989. Managing uneven-aged stands. pp. 6.08(1)-6.08(6) *In* F. B. Clark (Ed.). *Central hardwood Notes*. USDA For. Serv., North Central For. Exp. Stn., St. Paul, Mn.

Lessard, G. et D. Blouin. 1997. Système de régénération par coupe progressive : Étude de la coupe finale dans une érablière à hêtre de l'Outaouais. Rapport technique du CERFO, 35 p. + annexe.

Loftis, D.L. 1990a. Preharvest herbicide treatment improves regeneration in southern Appalachian hardwoods. *South. J. Appl. For*. 9(3): 177-180.

Loftis, D.L. 1990b. A Shelterwood Method for Regenerating Red Oak in the Southern Appalachians. *For. Sci.* 36(4): 917-929.

Loomis, R.M. 1977. *Wildfire effects on an oak-hickory forest in southeast Missouri*. USDA For. Serv., North Central For. Exp. Stn. Res. Note NC-219, 4 p.

Lorimer, C.G. 1983a. A test accuracy of shade-tolerance classifications based on physiognomic and reproductive traits. *Can. J. Bot.* 61: 1595-1598.

Lorimer, C.G. 1983b. Eighty-Year Development of Northern Red Oak After Partial Cutting in a Mixed-Species Wisconsin Forest. *For. Sci.* 29(2): 371-383.

Lorimer, C.G. 1985. The role of fire in the perpetuation of oak forests. pp. 8-25 *In Proc. chalenges in oak management and utilization.* Univ. Wis. Coop. Ext. Serv.

Lorimer, C.G., J.W. Chapman and W.D. Lambert. 1994. Tall understory vegetation as a factor in the poor development of oak seedlings beneath mature stands. J. of Ecology, 82: 227-237.

Lüpke, B.V. 1997. Silvicultural methods of regeneration of oak stands with special respect to shade tolerant mixed species. Internet.

Lust, N. et L. Speleers. 1990. The Establishment of Red Oak and Pedunculate Oak Seedlings in the Experimental Forest of Aelmoeseneie at Gontrode (Belgium). *Silva Gandavensis*, N° 55, pp. 1-23.

Majcen, Z. 1989. *Composition et structure des tremblaies à érable à sucre et des chênaies à érable à sucre dans quatre secteurs forestiers du sud-ouest québécois.* Gouv. du Québec, MER, Québec. Mémoire N° 95. 114 p.

Majcen, Z. 1995. *Accroissement et régénération à la suite des coupes de jardinage dans les groupements végétaux à dominance de pruche, de bouleau jaune, de chêne rouge, d'érable à sucre et de peuplier à grandes dents.* MRN, Dir. Rech. For., Rap. Int. N° 401. 58 p.

Marquis, D.A. et R.L. Johnson, 1989. Silviculture of eastern hardwoods. pp. 9-15 *In* R.M. Burns (comp.). *The scientific basis for silviculture and mangement decisions in the national Forest System.* USDA For. Serv., Washington, DC. Gen. Tech. Rep. WO-55.

Marquis, D.A., P.L. Eckert and B.A. Roach. 1976. Acorns weevils, rodents and deer all contribute to oak-regeneration difficulties in Pennsylvania. USDA. For. Serv. Res. Pap. NE-365. 5 p.

Marquis, D.A. 1979. Shelterwood cutting in Alleghany hardwoods. *J. For.* 77: 140-144.

McGee, C.E. 1978. *Size and age of tree affect white oak stump sprouting.* USDA For. Serv. Res. Southwest For. Exp. Stn. Res. Note SO-239, 2 p.

Mercier, S. et A. Rainville, 1996. Effet de la morphologie du génotype et de la germination précoce des glands de chêne rouge sur la croissance des plants en récipients. Direction de la recherche forestière, MRN, Mémoire de recherche N° 123, 42 p.

Merrit, C. et P.E. Pope. 1991. The effects of environmental factors, including wildfire and prescribed burning, on the regeneration of oaks in Indiana. Dep. of Forestry and Natural Ressources, Purdue Univ., West Lafayette, IN. Station Bull. 612. 52 p.

Miller et al. 1995. Method for Applying Group Selection in Central Appalachian Hardwoods. USDA. For. Serv. Northeastern Forest Exp. Sta. Research Paper NE-696, 11 p.

Miller, G.W. 1996. *Epicormic Branching on Central Applachian Hardwoods 10 Years After Deferment Cutting.* USDA For. Serv. Northeast. For. Exp. Stn., Tech. Rep. NE-702. 9 p.

Minckler, L.S. and J.D. Woerheide. 1965. Reproduction of hardwoods 10 years after cutting as affected by site and opening size. *J. For.* 63(2): 103-107.

Ministère de l'Énergie et des Ressources. 1987*. Régénération et aménagement des forêts naturelles de feuillus nobles*. 55-73.

Ministère des Ressources naturelles du Québec, 1998. Manuel d'aménagement forestier. Direction des programmes forestiers, Québec.

Muller, G. 1987. Le chêne rouge d'Amérique dans le Nord-est de la France : croissance en hauteur et fertilité des stations. Mémoire de stage de 3e année de l'ENITEF.

Muller, C. 1994. Conservation des glands de chêne rouge. p.185-190. *In* J. Timbal, A. Kremer, N. Le Goff et G. Nepveu (Éds.). *Le Chêne rouge d'Amérique*. INRA. Paris, 564 p.

Murphy, P.A., M.G. Shelton and D.L. Graney. 1993. Group Selection—Problems and Possibilities for the More Shade-intolerant Species. pp. 229-247 *In* A. R. Gillespie, G.R. Parker, P.E. Pope et G. Rink (Eds.). *Proceedings of the 9th Central hardwood Forest Conference.* Purdue Univ., West Lafayette, IN, March 8-10, 1993. USDA For. Serv., North Central For. Exp. Stn., Tech. Rep. NC-161. 515 p.

Myers, R.K., B.C. Fischer and G.M. Wright. 1989. Survival and Development of Underplanted Northern Red Oak Seedlings: 6-year Results. In *Proc. of Seventh Central Hardwood Forest Conference at Carbondale, Ill.* edited by G. Rink, General Technical Report, 150-155. Carbondale: Southern Ill. Un.

Nyland, R.D. 1988. Past and present silviculture and harvesting practices in central and northern hardwoods. pp. 21-31 *In* : M.E. Demeritt (Éd.). *Proceedings*, 31st Northeast For. Tree Improve Conf., and 6th For. tree Improve Assoc. Ann. Meet, Joint Meet., NE Tree Improve. Conf., c/o USDA for. Serv., Berea, KY.

Nyland, R.D., L.P. Abrahamson and K.B. Adams. 1982. Use of prescribed Fire for regenerating Red and White Oak in New York. pp. 163-167 *In* Society of American Foresters (Éd.). *America's Hardwood Forests - Opportunities Unlimited*. Proceedings of the 1982 Convention of The Society of Amercian Foresters. Cincinnati, OH. Sept. 19-22, 1982. SAF Publication 83-04.

Nyland, R.D. 1996. *Silviculture: Concepts and Applications*. McGraw-Hill Series in Forest Resources, McGraw-Hill, New York, NY. 633 p.

OIFQ. 1996. Manuel de foresterie. Les Presses de l'Université Laval, 1428 p.

OMNR. 1990. A Silvicultural guide for the tolerant hardwoods. 34-37, 106-116.

Parker, G.R. and C. Merritt. 1994. The Central Region. pp. 129-172 *In* J.W. Barrett (Ed.). *Regional Silviculture of the United Sates*. 3rd ed., Wiley, New York.

Plonski, W.-L. 1974. Normal yield tables (metric) for major forest species of Ontario. MNR, Div. of Forests, 40 p.

Ponder, F.Jr. 1995. Shoot and Root Growth of Northern Red Oak Planted in Forest Openings and Protected by Treeshelters. *North J. Appl. For.* 12(1):36-42.

Rast, E.D. 1982. *Photographic guide of selected external defect indicators in northern red oak*. Res. Pap. NE-511. Upper Darby, Pa.: Northeast. For. Expt. Sta., USDA.

Rogers, R. and P.S. Johnson. 1982. Is « COPPICE » a good predictor of red oak sprout growth ? In *Proc. of Fourth Central Hardwoods Forest Conf. at Univ. of Ky*. edited by R.N. Muller, 185-192.

Roth, E.R. and B. Sleeth. 1939. Butt rot in unburned sprout oak stands. USDA For. Serv. Tech. Bull. 648, 42 p.

Roth, E.R. 1956. Decay Following Thinning of Sprout Oak Clumps. *J. For*. 54:26-30.

Ruel, J.C. et H. Margolis. 1997. Sylviculture : document d'accompagnement. Note de cours FOR-20157, Université Laval.

Ruel, J.C. 1992. Sylviculture appliquée. Note de cours, FOR-11277, Université Laval, 237 p.

Sander, I.L. 1972. *Size of Oak Advance Reproduction: Key to Growth following Harvest Cutting.* USDA For. Serv., North Central For. Exp. Stn., Res. Pap. NC-79. 6 p.

Sander, I.L. 1977. *Manager's handbook for oaks in the North Central States.* Gen. Tech. Rep. NC-37. St.Paul, Minn.: North Central For. Expt. Sta. USDA.

Sander, I.L. 1979. Regenerating oaks with the shelterwood system. pp. 54-60 *In* H. Holt (Ed.). *Regenerating oaks in upland forests.* The 1979 John S. Wright For. Conf. Proc. Purdue Univ., W. Lafayette, IN.

Sander, I.L. 1979. Regenerating oaks with the shelterwood system. pp. 54-60 *In* H. Holt (Ed.). *Regional Silviculture of the United Sates.* 3e éd., Wiley, New York.

Sander, I.L., 1990. Northern Red Oak in Sylvics of North America Hardwood. Vol. 2, Forest Service, USDA, p. 727-733.

Sander, I.L. et F.B. Clark. 1971*. Reproduction of the upland hardwood forests in the Central Sates.* USDA For. Serv., Agric. Handbk. 405.

Sander, I.L., C.E. McGee, K.G. Day and R.E. Willard. 1983. Oak-hickory. pp. 116-120 *In* R.M. Burns (Ed.). *Silvicultural Systems for the Major Forest Types of the United Sates*. USDA For. Serv., Agric. Handbk. N° 445.

Sander, I.L., P.S. Johnson and R. Rogers. 1984*. Evaluating oak advance reproduction in the Missouri Ozarks*. Res. Pap. NC-251. St.Paul, Minn.: North Central For. Expt. Sta., USDA.

Sander, I.L. and D.L. Graney. 1993. Regenerating Oaks in the Central States. pp. 174-183 *In* D.L. Loftis et C.E. McGee (Eds.). *Oak Regeneration: Serious Problems, Practical Recommendations.* Symposium Proceedings. Center for Oak Studies, Department of Forestry, Widlife, and Fisheries, Univ. of Tennessee, Knoxville, Tennessee, Sept. 8-10, 1992. USDA For. Serv. Southeast. For. Exp. Stn., Gen. Tech. Rep. SE-84. 319 p.

Schlesinger, R.C., I.L. Sander and K.R. Davidson. 1993. Oak regeneration potential increased by shelterwood treatments. USDA Forest Service, North Central For. Expt. Sta. 149-153.

Smith, D.M. and P.M.S. Ashton. 1993. Early Dominance of Pioneer Hardwood After Clearcutting and Removal of Advanced Regeneration. *North. J. Appl. For*. 10(1):14-19.

Stroempl, G. 1983. *Thinning Clumps of Northern Hardwood Stump Sprouts to Produce High Quality Timber.* MNR, Ontario Forest Research Institute, For. Res. Inf. Pap. N° 104.

Stroempl, G. 1985. Grading Northern Red Oak Planting Stock. Tree planter's notes. 36(1) :15-18.

Stroempl, G. 1987. *Growth and Quality of Red Oak Planted in Red Pine Plantation Openings*. For. Res. Rep. No. 117 Maple: Ont. Tree Improv. and For. Biomass Instit., Ont. MNR.

Stroempl, G. and P.W. Secker. 1995*. Guide to the Group Shelterwood Cutting Method for Regeneration Northern red Oak.* MNR, Ontario For. Res. Inst., For. Res. Inf. Pap. N° 120. 44 p.

Teclaw, R.M. and J.G. Isebrands. 1986. Collection procedures affect germination of northern red oak (*Quercus rubra* L.) acorns. *Tree Planters' Notes* 37: 8-12.

Teclaw, R.M. and J.G. Isebrands. 1993. An artificial regeneration system for establishing northern red oak on dry-mesic sites in Lake States, USA. *Ann. Sci. For*. 50:543-552.

Timbal, J. 1990. Le Chêne rouge d'Amérique, écologie et facteurs limitants. Rev. For. Fr. XLII : 165-172.

Trencia, J. 1996. Influence of Seed Position on First-Year Survival and Growth of Directly Seeded Northern Red Oak. *Tree Planters' Notes* 47(2): 68-75.

Truax, B., D. Gagnon and N. Chevrier. 1994. Nitrate reductase activity in relation to growth and soil N forms in red oak and red ash planted in three different environments: forest, clear-cut and field. *For. Ecol. Manage*. 64:71-82.

Trimble, G.R. 1973. *The regeneration of central Appalachian hardwoods with emphasis on the effects of site quality and harvesting practices*. USDA For. Serv., Northeast. For. Exp. Stn. Res. Pap. NE-282.

Trimble, G.R. et D.W. Seegrist. 1973*. Epicormic branching on hardwood trees bordering forest openings*. USDA For. Serv. Northeast. For. Exp. Stn., Res. Pap. NE-261.

Tubbs, C.H. 1968. The influence of residual stand densities on regeneration in sugar maple stands. USDA For. Serv. Res. Note NC-47. 4 p. North Cent. For. Exp. Sta., St. Paul, MN.

Tworkoski, T.J., D.W. Smith and D.J. Parrish. 1986. Regeneration of Red Oak, White Oak, and White Pine by Underplanting Prior to Canopy Removal in Virginia Piedmont. *South. J. Appl. For*. 10:206-210.

Van der Kelen, G. 1995. Le chêne rouge d'Amérique requiert des soins appropriés. *RESAM forestier*, novembre 1995, p. 16.

Von Althen, F.W. 1990. Guide relatif à la plantation des bois durs sur des terres agricoles abandonnées au sud de l'Ontario. Service canadien des forêts, Centre de foresterie des Grands Lacs, Sault-Ste-Marie, 43 p.

Weigel, D.R. 1994. The Regeneration Of Group Selection Openings In Souhtern Indiana. USDA For. Serv., North Central For. Exp. Stn., Silviculture and Ecology of Upland Central Hardwoods For. Res. Unit Tech. Brief TB-NC-3. 2 p.

Weigel, D.R. and P.S. Johnson. 1998. *Planting Northern Red Oak in the Ozark Highlands: A Shelterwood Prescription.* USDA For. Serv., North Central For. Exp. Stn., Silviculture and Ecology of Upland Central Hardwoods For. Res. Unit Tech. Brief TB-NC-6. 7 p.

Weigel, D.R. and P.S. Johnson. XXXX. *Failed Northern Red Oak Plantings in Indiana Initially Planted Under a Shelterwood*. [*MS*].

Weitzman, S. and G.R. Trimble, Jr. 1957. *Some Natural Factors That Govern The Management of Oaks.* Sta. Pap. N° 88. Upper Darby, Pa.: Northeast. For. Expt. Sta., USDA.

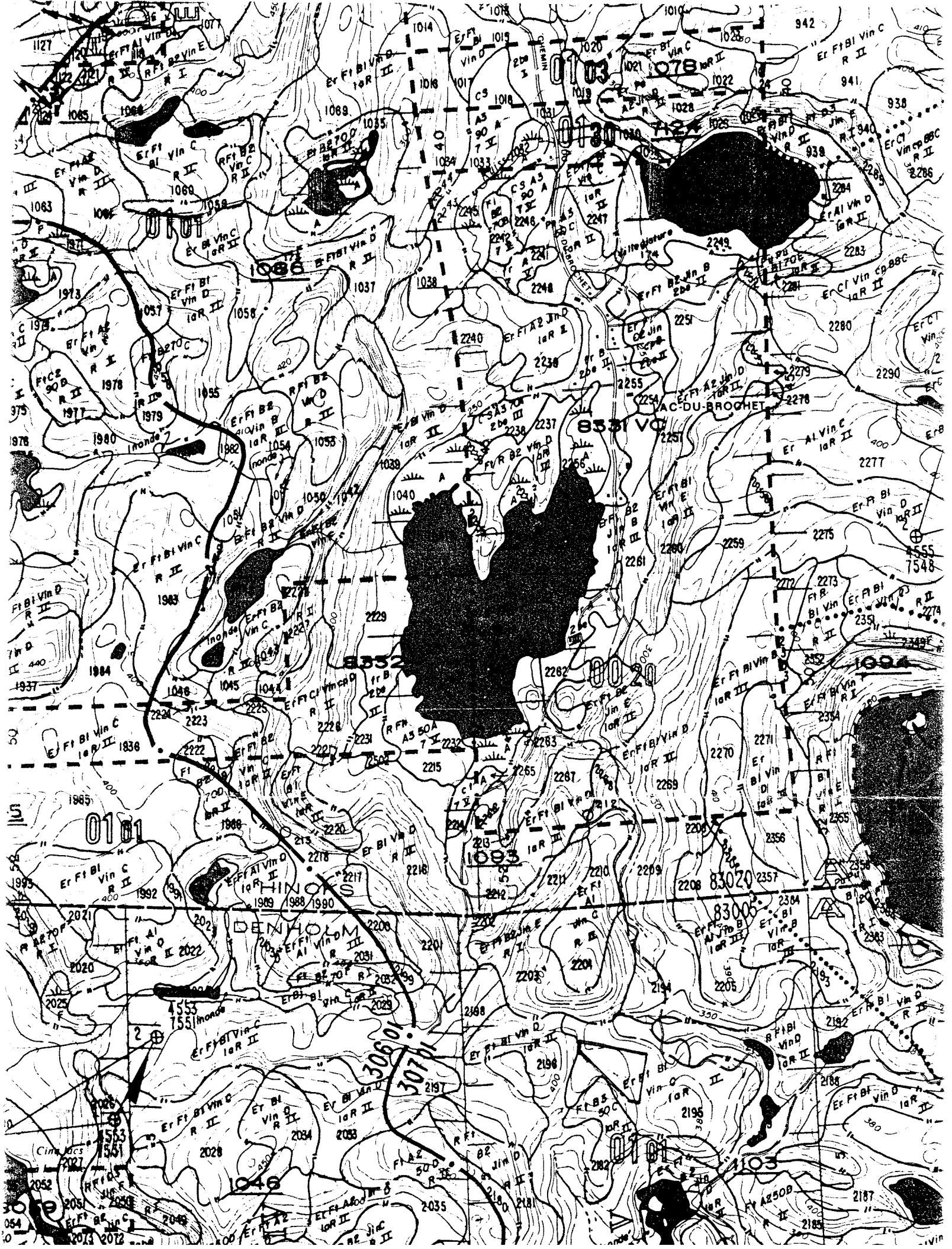
Wendel, G.W. 1975. *Stump sprout growth and quality of several Appalachian hardwood species after clearcutting*. USDA For. Serv., Northeast. For. Exp. Stn. Res. Pap. NE-329, 9 p.

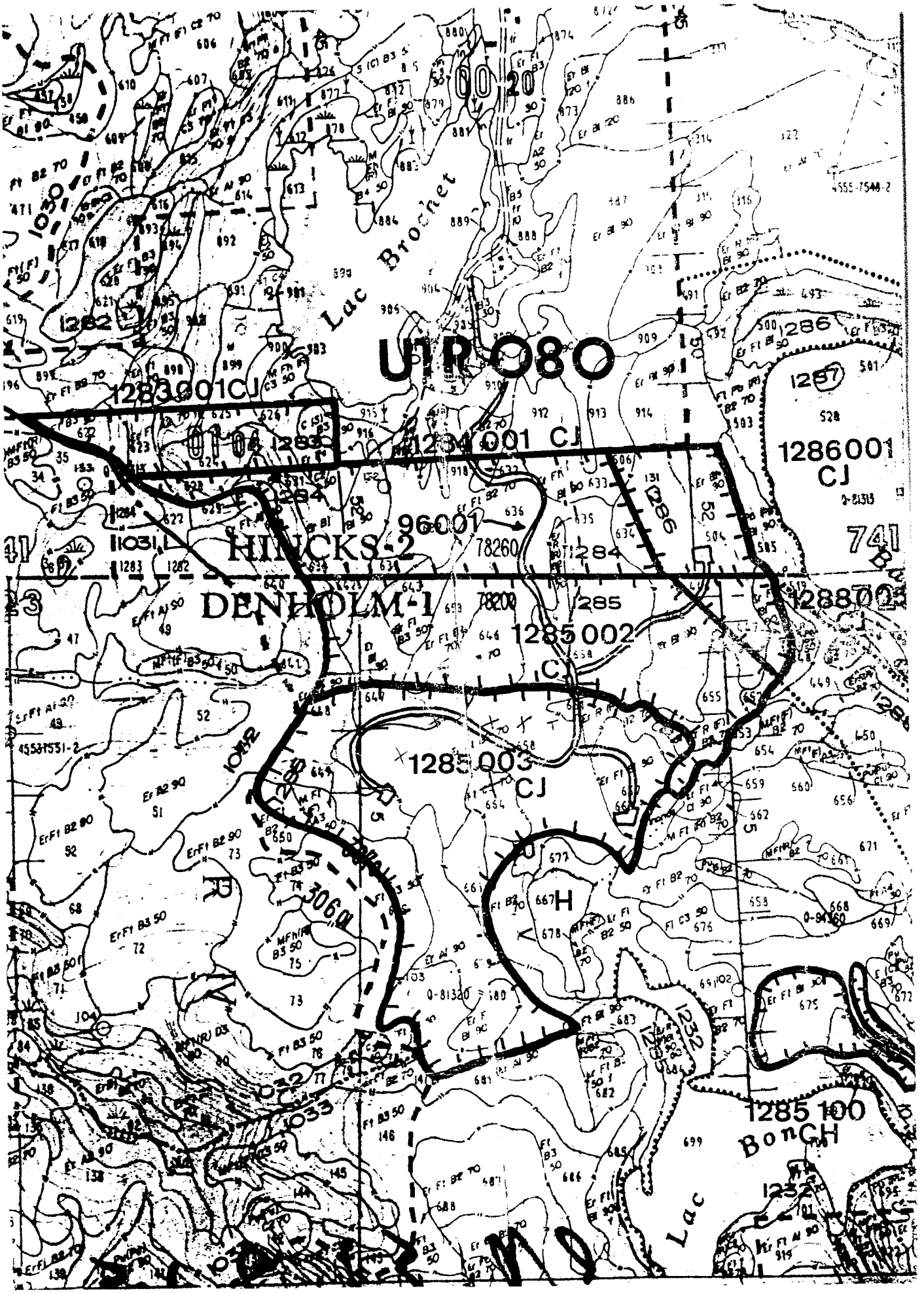
Wendel, G.W. and H.C. Smith. 1986. Effects of a prescribed Fire in a Central Appalacian Oak-Hickory Stand. USDA For. Serv., Northeast. For. Exp. Stn. NE-RP-594, 8 p.

Wilson, B.F. 1968. Red maple stump sprouts: Development the first year. *Harvard For. Pap.* 18, 10 p.

ANNEXE 1

SECTEUR D'INTERVENTION (1996-97) DES ENTREPRISES PRO-FOLIA


LAC-DU-BROCHET
HINOIS
DENHOLM


Lac Brochet
UTR 080
1283001CJ
1234001 CJ
1286001
CJ
HINCKS-2
96001
78260
DENHOLM-1
78200
1285002
CJ
1285003
CJ
1285100
BonCH
Lac

ANNEXE 2

INVENTAIRE DU BOIS SUR PIED ET DE LA RÉGÉNÉRATION – DISPOSITION DES PARCELLES

ANNEXE 3

INVENTAIRE DE RÉGÉNÉRATION AUTOUR DES CHÊNES ROUGES – DISPOSITION DES PARCELLES

ANNEXE 4

PHOTOS

Production des plants en récipients dans la serre du Cégep de Ste-Foy.

Récolte de glands dans les peuplements semenciers de Kazabazoua.

Peuplement semencier de chêne rouge à Kazabazoua.

Plants en récipient de fortes dimensions âgés d'un (1) an (Bloc 8R).

Régénération naturelle dans le secteur scarifié (Bloc 3R).

Plants à racines nues (2-2) (Bloc 6N).

Test de germination de chêne rouge (81 % des glands après sélection par flottage et élimination des glands parasités).

Terrain débroussaillé à gauche et non-débroussaillé pré-établie à droite (limite des Blocs 8N et 9).

Préservation des semenciers
de chêne rouge.
La tige de vigueur III a été martelée par le jardinage mais démartelée pour la coupe progressive (Bloc 1).

Scarifiage de terrain par le passage systématique de la débusqueuse (Timberjack 450) avec chaînes circulant en lacets (Bloc 1 et 2).

Secteur non scarifié, non débroussaillé et sans circulation de machinerie après 2 saisons de croissance (Bloc 11).

Secteur non débroussaillé après 2 saisons de croissance (Bloc 8R).

Secteur débroussaillé après 2 saisons de croissance (Bloc 8R).

Secteur avec semenciers non débroussaillé après 2 saisons de croissance (Bloc 6).

Secteur avec semenciers débroussaillé et ensemencé après 2 saisons de croissance. La régénération de chêne rouge dépasse alors les 20 000 tiges à l'hectare. L'érable de Pennsylvanie revient par touffes à quelques endroits (Bloc 2).

Secteur avec semenciers débroussaillé après 2 saisons de croissance. Dans l'ensemble cette coupe a favorisé la régénération de plus de 300 000 tiges de feuillus tolérants à l'hectare dont des espèces en régression comme le CHR, le CET et le BOJ (Bloc 2).

Visite du dispositif de coupe progressive pour favoriser le CHR établi dans l'aire commune 72-02 (Automne 1998).