

# 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 maxi-male 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 généralement 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, patho-gènes, 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'un 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

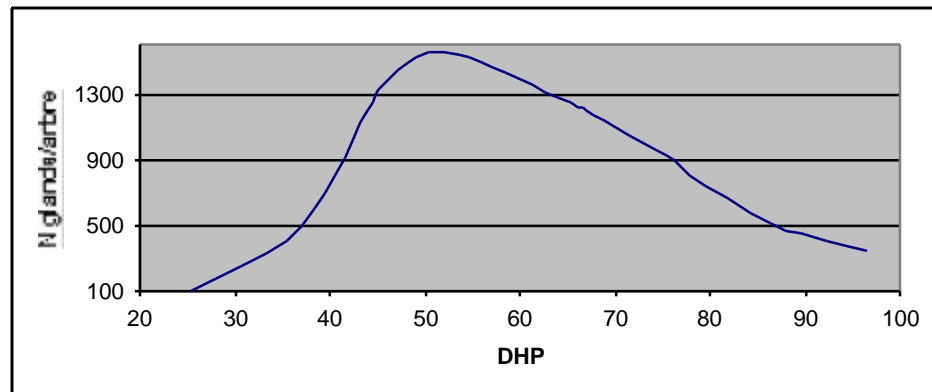
qu'exemptes de pathogènes, étaient néanmoins très susceptibles au bris dû au vent ou d'autres facteurs. Les rejets de souche sont une part importante de la régénération des chênaies qui ne doit pas être négligée (Johnson, 1977). Si Stroempl (1983) a donné d'intéressantes recommandations sur la façon 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  $> 23 \text{ m}^2/\text{ha}$  ne favorisent pas la régénération en chêne (Clark et Watt, 1971). Une surface terrière  $< 18 \text{ m}^2/\text{ha}$  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 recrutement nécessaire au sein du couvert principal, des surfaces terrières résiduelles  $< 14 \text{ m}^2/\text{ha}$ .

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) nécessaires 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 la 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 inéquennes. 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<sup>2</sup> à préférentiellement 4000 m<sup>2</sup> (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 asymétriques au détriment de leur qualité et leur valeur (Trimble et Seegrist, 1973). Un autre



inconvenient 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 :

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

<sup>a</sup> 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'envahissement 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 française 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 initiale	Plants nécessaire pour obtenir 1 arbre codominant ou supérieur	
	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 réceptifs*

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 réceptifs) 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 réceptifs. Leurs performances étaient aussi semblables à ceux de 2+0. Les auteurs mentionnent toutefois que les plants en réceptifs 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 réceptifs.

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 intervalle 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 (Merritt 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 difficulté 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 scari-fiage 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<sup>®</sup>, 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 tempéra-

ture 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'élanement (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 °C 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 (*Curculio*) 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* Trecia, 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 meilleure 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.

Trecia (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.

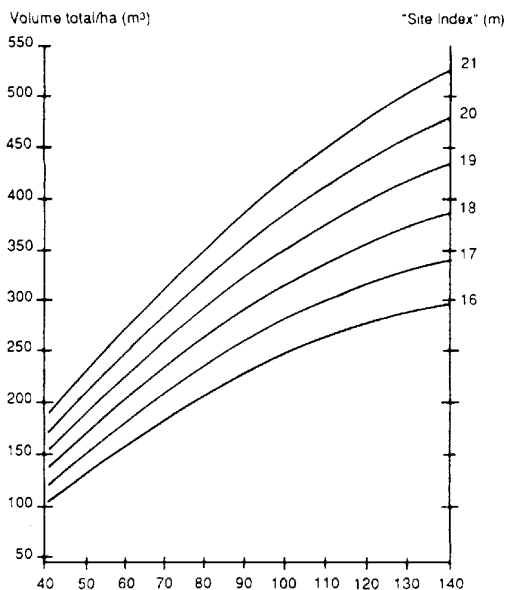
Au Québec, le « Manuel d'aménagement forestier » (MRNQ, 1998) propose d'utiliser les tables de Plonski (1974) pour l'ensemble des feuillus tolérants (Figure 1). Sander (1990) présente certains rendements avec ou sans éclaircie. La croissance en diamètre est de 5 mm/an et peut atteindre 1 cm sur les meilleurs 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 <sup>3</sup> /ha	16.8
		175.0 m <sup>3</sup> /ha	22.9
70 ans	Oui	102.3 m <sup>3</sup> /ha	16.8
		278.3 m <sup>3</sup> /ha	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





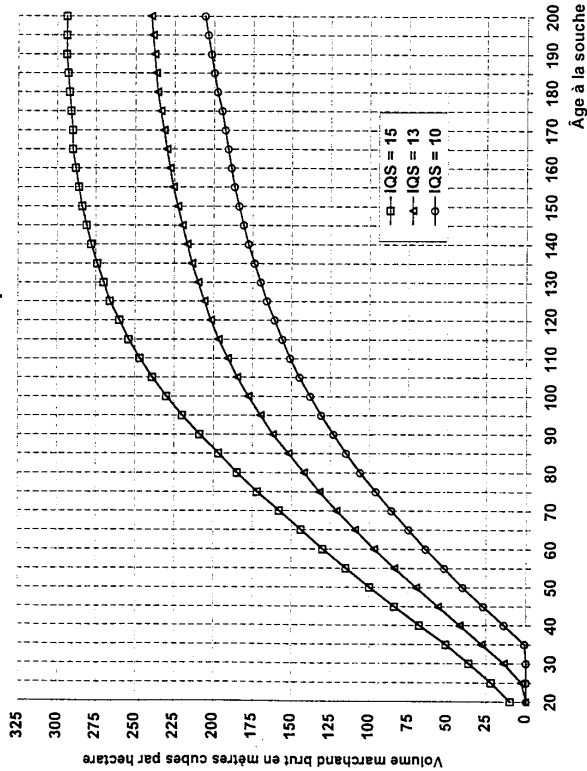
**Figure 2** Table constituée par G. Gauthier et inspirée de Plonski (1974).

**Feuillus tolérants en peuplements naturels réguliers**

**Tables de production**

Indice de qualité de station	Densité	Âge à la souche																				Code															
		maturité	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
10	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	
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
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	291	292	293	294	294	294

**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 60 ans**

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

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

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

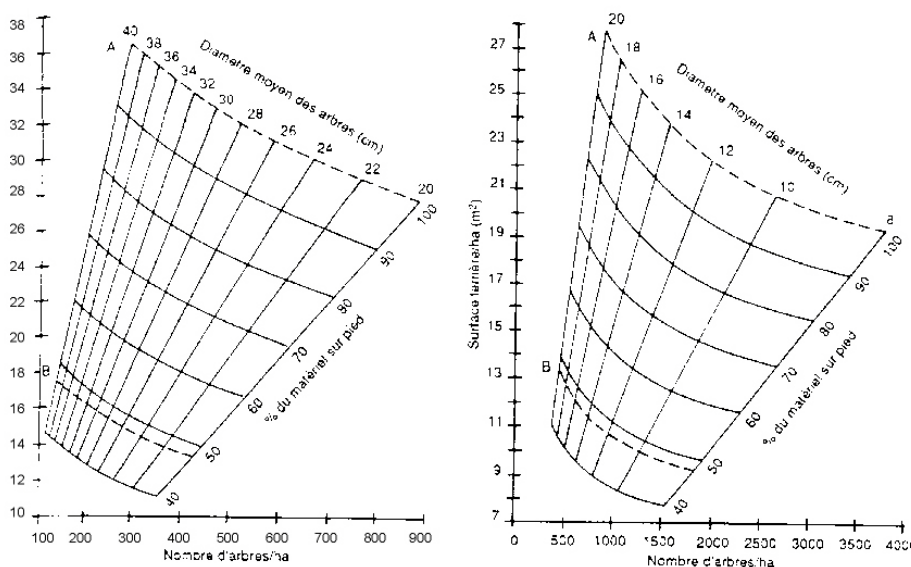
Source : Plonski, W.-L., 1974. Normal Yield Tables (Metric) for Major Forest Species of Ontario, Ministry of Natural Resources, Division of Forests, 40 p.

Note : utiliser, dans le modèle SYLVA II, pour simuler la croissance du bouleau jaune, des chênes, du tilleul, du hêtre, de l'osier, 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 peuplements 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 <sup>2</sup> à 14 m <sup>2</sup>	1 000 à 1 940
53,3 cm	26,5 m <sup>2</sup> à 45,7 m <sup>2</sup>	380 à 680