Agence Forestière des Bois-Francs

MISE EN VALEUR DES

PEUPLEMENTS ISSUS DE REJETS DE SOUCHE

AVEC UNE RÉFÉRENCE PARTICULIÈRE À L'ÉRABLE ROUGE

MISE EN VALEUR DES

PEUPLEMENTS ISSUS DE REJETS DE SOUCHE

AVEC UNE RÉFÉRENCE PARTICULIÈRE À L'ÉRABLE ROUGE

REVUE DE LA LITTÉRATURE SCIENTIFIQUE

BRUNO BOULET, ING. F., M. SC.
PATHOLOGISTE FORESTIER

AGENCE FORESTIÈRE DES BOIS-FRANCS
AOÛT 2020

REMERCIEMENTS

Le rédacteur de cette revue de littérature, Bruno Boulet, remercie la précieuse collaboration de Benoit Truax et de Michel Huot ayant aidé à bonifier la vue globale des avancées scientifiques de la sylviculture du domaine des érablières rouges en bouquet.

Ce travail de recherche d'information et de transfert des connaissances a été réalisé sous la supervision de Carine Annecou avec l'équipe de l'Agence Forestière des Bois-Francs.

La production a été rendue possible grâce aux fonds du Programme d'Aménagement Durable des Forêts (PADF) du Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs dont la MRC de l'Érable est délégataire désignée. Le document a été mis en page à un niveau professionnel, grâce à la contribution de l'Association forestière du sud du Québec.

Agence Forestière des Bois-Francs

Association forestière du sud du Québec

Québec

RÉFÉRENCE SUGGÉRÉE

Boulet, B. (2020). *Mise en valeur des peuplements issus de rejets de souche avec une référence particulière à l'érable rouge*, Agence forestière des Bois-Francs, Victoriaville, 43 p.

COLLABORATEURS

COORDINATION DU PROJET

Carine Annecou, ing.f., Agence forestière des Bois-Francs

RÉDACTION

Texte intégral	Bruno Boulet, ing. f., M. Sc., pathologiste forestier

RÉVISION TECHNIQUE

Steve Lemay, tech. for, Agence forestière des Bois-Francs

Guy Larochelle, ing. f., Agence forestière des Bois-Francs

Carine Annecou, ing. f., Agence forestière des Bois-Francs

RÉVISION SCIENTIFIQUE

Michel Huot, ing. f., M. Sc.

Benoit Truax, Ph. D., Fiducie de recherche sur la forêt des Cantons-de-l'Est

PHOTOGRAPHIES

Couverture	Bruno Boulet, Mélanie Bergeron
Au contenu	Bruno Boulet, Carine Annecou, Gérald Landry

MISE EN PAGE

Couverture	Marc-André Descôteaux, Association forestière du sud du Québec
Contenu	Mélanie Bergeron, biol. M. Sc., Association forestière du sud du Québec

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ 1

INTRODUCTION 2

LA PROBLÉMATIQUE 3

LES MODES DE REPRODUCTION VÉGÉTATIVE 4

- Les rejets 4
- Les marcottes et les drageons 4
  - Les marcottes 4
  - Les drageons 4

L'ORIGINE DES ARBRES EN BOUQUET 5

- Les fondements physiologiques et anatomiques 5
  - Les bourgeons dormants et adventifs 5
  - Les rejets du collet, du pied et les rejets latéraux 6
  - Les semis-rejets 7
- La propension naturelle à produire de rejets 8
  - Les essences. 8
  - Les saisons 8
    - La phénologie des rejets 8
    - La période de coupe et la réserve d'amidon 9
    - La croissance prédéterminée et indéterminée 9
    - Un avantage de courte durée 9
  - La grosseur des souches 10
  - La qualité de la station 11
- Le potentiel des rejets comme tiges d'avenir 12

LA DÉGRADATION DU BOIS PAR LA CARIE 13

- Les principaux agents infectieux 13
- La propagation des champignons 14
  - Le pourridié-agaric 14
  - Les champignons saprophytes 15

LES MESURES PRÉVENTIVES POUR MAÎTRISER L'ÉRABLE ROUGE 16

- L'intensité de la coupe 16
- La saison de coupe 16
- Une intervention par étapes 16

L'AMÉNAGEMENT DES TAILLIS ET DES FUTAIES SUR SOUCHES 17

- L'éclaircie des taillis 17
  - Des objectifs de production réalistes 18
  - Une prescription sylvicole adaptée 19
  - Le martelage des tiges d'avenir 20
- L'éclaircie des futaies sur souches 21
  - L'enrichissement d'essences nobles 21
  - Les bouquets en perdition 22
    - Défauts externes 22
    - Défaults internes 22
  - Le martelage positif des arbres d'avenir 23
  - Le martelage négatif des arbres en perdition 25
  - Le cas des tiges jumelles 25
- Les directives opérationnelles 26

LES RENDEMENTS PROVENANT D'EXPÉRIENCES HORS QUÉBEC 30

- Le taillis 30
- La futaie sur souches 30
  - L'éclaircie systématique 30
  - L'éclaircie sélective individuelle 31
  - Le scénario de laisser-aller 32

L'ÉRABLE ROUGE FACE AUX CHANGEMENTS 34

- L'histoire des perturbations 34
- Le réchauffement climatique 36
- La menace du longicorne asiatique 36

GLOSSAIRE 37

RÉFÉRENCES 39

LISTE DES PHOTOS

Photo 1 — Taillis d'érable rouge issu d'une coupe totale de moins de 20 ans.

Photo 2 — Souche haute d'un jeune érable rouge coupé en hiver, garnie de rejets dont un seul issu du collet (flèche) est viable à long terme.

Photo 3 — *Stereum hirsutum* teinté de jaune et d'orangé poussant sur une souche de chêne rouge.

Photo 4 — Érables rouges en bouquet infectés par *Cerrena unicolor* à l'origine de la nécrose du cambium (NC).

Photo 5 — Cicatrice de pied (flèche) dans un bouquet d'érables rouges de plus de 40 ans et issus de rejets.

Photo 6 — Rejets d'érable rouge âgés de 10 ans aptes à un éclaircissage (X) pour dégager les tiges d'avenir (Ta) distantes l'une de l'autre.

Photo 7 — Martelage d'un peuplier faux-tremble pour dégager le houppier d'un bouleau à papier.

Photo 9 — Bouquet de trois érables rouges aptes à une éclaircie.

Photo 10 — Bouquet de trois érables rouges dont on a conservé qu'une seule tige issue du collet et isolée des autres (Ta).

Photo 11 — Moignon pourri (diamètre >10 cm) sur le tronc d'un érable rouge dont le cœur a été infecté par la carie après la coupe.

Photo 12 — Cicatrice de coupe ancienne d'une tige jumelle d'érable rouge, sans danger pour la tige restante.

Photo 13 — Éclaircissage en 3 étapes de 3 tiges d'avenir (Ta) dans 2 bouquets de cerisier tardif et d'érable rouge âgés de 10 ans.

Photo 14 — Cépée d'érable rouge âgée de 2 ans, trop jeune pour un éclaircissage.

Photo 15 — Gaules d'érable rouge issues d'une souche pourrie, laissées à elles-mêmes et vouées à se dégrader avec l'âge sans une intervention immédiate.

Photo 16 — Érables rouges à maturité de piètre qualité dont les racines épousent encore les contours de la souche disparue.

Photo 17 — Érables rouges de 75 cm de diamètre poussant sur un sol loameux, profond et humide, en mélange avec la pruche du Canada, et ne montrant aucun défaut ni symptôme de sénescence.

Photo 18 — Érablière rouge à frêne noir occupant les sites mal drainés où l'impatiente du Cap et l'iris versicolore colonisent les étangs vernaux desséchés et formant des clairières en été.

Photo 19 — Érablière rouge dominant un coteau de la région de Montmagny.

LISTE DES FIGURES

Figure 1 — Drageon issu de la racine d'une souche.

Figure 2 — Rejets au collet et au pied issus de bourgeons dormants et rejet latéral issu d'un bourgeon adventif formé dans le cambium à l'arête de la souche.

Figure 3 — Semis-rejet issu d'une gaule disparue de 5 cm ou moins de diamètre.

Figure 4 — Semis-rejets issus d'un recépage : un cal circulaire épouse et recouvre peu à peu la cicatrice de pied, conférant à la tige la forme typique d'un bâton de golf.

Figure 5 — Nombre de rejets d'érable rouge par cépée (Y) en fonction du diamètre de la souche de l'arbre parent (x), 7 ans après la coupe rase de deux peuplements mixtes de la Nouvelle-Écosse.

Figure 6 — Rejet latéral faiblement ancré sur une souche dont le cœur est creux : la cicatrice de pied sur une face ou plus rend la tige fragile à la rupture.

Figure 7 — Tiges jumelles dominantes issues d'une petite souche : un éclaircissage hâtif évite la formation d'une fourche en V et la fusion des tiges à la base.

Figure 8 — Bifurcation en U de tiges jumelles illustrant la connexion du bois de cœur en fonction de la hauteur de la fourche : connexion du bois de cœur d'un bouquet (a) partant à 15 cm ou plus au-dessus du centre de la plus haute racine; (b) partant du tronc à moins de 1,3 m de hauteur (< dhp).

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 — Propension naturelle des essences forestières à produire des rejets de souche viables.

Tableau 2 — Avantage concurrentiel de la croissance en hauteur des rejets au cours des années suivant la saison de coupe.

Tableau 3 — Vigueur des rejets selon les essences et la qualité de la station.

Tableau 4 — Tiges d'avenir à dégager selon l'origine et le stade de développement des essences à promouvoir.

Tableau 5 — Propension naturelle des essences à produire des pousses épicormiques sur le tronc après une éclaircie.

LISTE DES PLANCHES

Planche 1 — Directives de martelage applicables un taillis de feuillus : (a, b) rejets à couper au profit d'un rejet du collet (Ta); (c et d) rejets issus d'une grosse souche à couper au profit d'un rejet sur une petite souche (Ta); (e) rejet sans avenir avec une cicatrice de pied > 1 face à couper au profit de l'autre; (f) rejets sans avenir sur deux grosses souches adjacentes à couper au profit de la meilleure tige issue du collet (Ta); (g) tige d'avenir face au vent à conserver (Ta); (h) tige d'avenir (Ta) en amont de la pente à conserver.

Planche 2 — Directives de martelage des tiges d'avenir (Ta) applicables à la futaie sur souches d'érable rouge de plus de 25 ans : (a) rejets tardifs touchant 1 face ou moins de la tige principale à récupérer; (b) tige partant à moins de 15 cm de hauteur à couper; (c) tiges jumelles fusionnées à 15 cm ou plus de hauteur; (d) tiges distantes de la tige dominante à récupérer.

RÉSUMÉ

Les érables rouges en touffes proviennent de rejets de souche à l'origine de taillis denses. Les taillis abandonnés depuis environ 30 ans deviennent des futaies sur souches.

Les coupes partielles des beaux arbres réduisent la mortalité des érables rouges dans les étages inférieurs, de sorte que leur nombre peut doubler voire tripler en 30 ans. L'érable rouge accède alors à l'étage supérieur du couvert forestier et demeure dominant pendant longtemps. La situation est devenue préoccupante surtout dans les basses-terres de la plaine du fleuve St-Laurent.

Les futaies sur souches sont un problème en raison de la piètre qualité des tiges et de l'incidence élevée de la carie dépréciant la valeur du bois. Les tiges en bouquet de dimensions commerciales renferment un faible volume de bois de sciage si elles sont laissées-pour-compte trop longtemps.

Remettre en production les taillis et les futaies sur souches d'érable rouge représente un défi qui n'est pas insurmontable. Les rejets issus du collet ou à moins de 15 cm de hauteur réussissent à ériger des barrières naturelles de protection efficaces grâce au compartimentage. Ils deviennent autonomes et sont exempts de carie, parce qu'ils ne sont pas connectés avec le cœur de la souche. Ils sont solides, sains et les mieux disposés à constituer le futur peuplement.

Si l'érable rouge est là pour rester, alors, il vaut mieux s'en occuper plutôt que de laisser la nature faire les choses. Les effets de l'éclaircie effectuée dans les érablières issues de rejets dépendent surtout de l'âge des rejets.

La fenêtre temporelle idéale pour éclaircir les taillis d'érables rouges se situe autour de 10 à 20 ans après la coupe, parce que le choix des meilleures tiges bien conformées est facile à faire. Les efforts consentis pour la sélection judicieuse des meilleures tiges sont déterminants. Le jugement du marteleur est crucial dans le repérage des rejets à dégager. Le choix s'appuie sur des critères simples en respectant un ordre de priorité précis. Les marteleurs auront vite fait d'assimiler la règle du 15-15-10 pour la sélection judicieuse des meilleures tiges d'avenir (voir l'encart 3).

La mise en valeur des futaies sur souches est prioritaire sur les stations fertiles, car la marge de manœuvre du sylviculteur et les possibilités d'amélioration sont plus grandes qu'ailleurs grâce à l'enrichissement avec des essences nobles.

Viser le plein boisement est irréalisable dans les futaies sur souches, car le nombre de tiges convenables à l'hectare est souvent insuffisant. C'est pourquoi l'enrichissement est l'avenue à privilégier après la coupe partielle des bouquets en perdition. Les plants profitent ainsi des trouées créées après la coupe et d'une ambiance forestière leur permettant de pousser convenablement. Néanmoins, l'opération nécessite des mesures minimales de protection des plants pour éviter le broutage des cerfs de Virginie.

Les opérations de coupe à l'automne facilitent le dégagement des tiges d'avenir et la visualisation de l'effet attendu du traitement. La coupe en été est préférable si l'éclaircie est couplée avec un enrichissement.

Les conditions gagnantes permettant d'augmenter à la fois la croissance et la qualité des tiges ne sont pas connues pour le Québec dans les taillis et les futaies sur souches d'érable rouge. C'est pourquoi il faut miser sur l'enrichissement pour améliorer les peuplements à long terme.

Les efforts consentis pour améliorer les futaies sur souches d'érable rouge ne sont pas garantis surtout si le nombre d'arbres de belle venue à l'hectare est insuffisant. Dans l'éventualité d'une amélioration modeste de la qualité des tiges issues de rejets, le gain de croissance en diamètre obtenu après une ou deux éclaircies offre tout de même la possibilité de mettre du bois en marché ou de mettre en production acéricole les érablières à érable rouge dans un délai projeté plus court que le scénario du laisser-aller.

Le volume sur pied en érable rouge a augmenté surtout au cours des 3 ou 4 dernières décennies dans le nord-est de son aire de distribution. En fait, l'érable rouge a déjà amorcé sa marche migratoire vers le nord atteignant de nos jours la portion méridionale de la sapinière à bouleau à papier. L'érable rouge répond favorablement à l'augmentation globale de la teneur en CO_2 de l'air à l'origine des changements globaux. Toutefois, les différences de croissance dans les érablières à érable rouge sont pour l'heure attribuables à l'âge des arbres, à la densité du couvert, à la qualité de la station et à l'origine des perturbations plutôt qu'aux variations régionales du climat.

Signalons enfin une ombre au tableau. L'érable rouge est un hôte sensible aux attaques du longicorne asiatique considéré à juste titre comme le ravageur exotique le plus à craindre en Amérique du Nord. La vaste distribution de l'érable rouge dans une gamme variée d'habitats en fait le principal facteur potentiel de propagation du longicorne dans divers écosystèmes forestiers de l'est de l'Amérique du Nord.

INTRODUCTION

Les arbres en bouquet sont formés de plusieurs troncs fusionnés à la base et se séparant à moins de 1,3 m du sol. Ces tiges sont apparemment des arbres différents, mais c'est rarement le cas. L'arbre coupé se régénère par la voie végétative pour générer des copies à partir de la souche. L'ensemble des jeunes brins sur une souche constitue une cépée. Les cépées se développent pour créer des arbres en bouquet et l'ensemble constitue un taillis.

Le taillis est une ancienne forme de gestion des bois par laquelle les arbres issus de rejets étaient récoltés à intervalles réguliers de 15 à 30 ans, sans jamais excéder 50 ou 60 ans (Spinelli *et al.*, 2017). Le taillis a été pratiqué dans tous les pays de l'Europe pendant des siècles. Pour de nombreux producteurs forestiers, les arbres en bouquet fournissaient le bois de chauffage et la matière première à divers sous-produits (Pyttel *et al.*, 2013). Ce mode de gestion n'a jamais été pratiqué dans les forêts québécoises avec l'objectif de produire du bois sur de courtes révolutions. Pourtant, de nombreux peuplements feuillus issus de coupes totales sont devenus des taillis laissés-pour-compte depuis des décennies. Sans soin approprié, les taillis abandonnés deviennent des futaies sur souches et les tiges trop nombreuses sont défectueuses avec l'âge. Ces peuplements constituent un véritable casse-tête chez les sylviculteurs soucieux d'aménager la forêt pour produire du bois de qualité.

Ce document jette un regard nouveau sur les processus à l'origine des arbres en bouquet et de la dégradation prématurée du bois. Ces fondements sont essentiels pour cerner le problème, trouver la façon de prévenir ou d'atténuer les effets indésirables et le cas échéant, remédier à la situation.

Les recommandations formulées dans cet ouvrage visent à stimuler la croissance des tiges d'avenir, améliorer la qualité du bois et remettre en production les peuplements d'érable rouge issus de coupes partielles ou totales (photo 1). Elles s'appliquent aussi aux autres essences aptes à se régénérer par la voie végétative. Des directives claires guideront le sylviculteur afin qu'il puisse élaborer la prescription sylvicole convenant le mieux selon la qualité de la station, l'âge et l'état de dégradation des arbres.

Photo 1 : Taillis d'érable rouge issu d'une coupe totale de moins de 20 ans.

D'autres renseignements utiles concernent aussi le repérage et le martelage des rejets les plus aptes à produire du bois de qualité ou du sirop d'érable. Des conseils précieux sont prodigués aux ouvriers sylvicoles afin d'améliorer l'efficacité et la sécurité des opérations réalisées sur le terrain.

Remettre en production les futaies sur souches d'érable rouge représente un défi qui n'est pas insurmontable. Des décisions éclairées doivent être prises à chaque étape du processus de planification et de réalisation des travaux visant à améliorer la qualité des produits, les services et les fonctions de la forêt, dans une perspective de développement durable.

LA PROBLÉMATIQUE

De nombreux peuplements feuillus issus de coupes du passé se sont régénérés par la voie végétative et laissés-pour-compte depuis plusieurs décennies. De nos jours, ces peuplements souffrent de problèmes découlant du recépage répété, qui ont mené à la multiplication d'arbres en bouquet d'âges variés, et à l'appauvrissement d'essences issues de semis. Ces conditions ont modifié la composition d'origine au profit d'espèces de début et de mi-succession, comme le peuplier faux-tremble, le bouleau gris, le bouleau à papier et l'érable rouge (Carvell, 1986).

L'érable rouge s'établit surtout sur les sites mésiques et subhydriques constitués de dépôts marins de nature sableuse. Il s'adapte néanmoins à des sols de nature et de texture diverses (MFFP, 2013). Il s'accommode de conditions de site temporairement défavorables et tire avantage de la faible disponibilité des ressources, comme la lumière, l'eau et l'azote du sol, qu'il utilise avec efficience pour concurrencer les autres essences (Palik et Pregitzer, 1992; Kelly et Kelly, 2001; Nagel *et al.*, 2002). L'espèce est capable de s'établir à la fois sur les sites secs et ceux mal drainés.

L'érable rouge est une espèce super-généraliste (Abrams, 1998) profitant des perturbations pour s'étendre durablement dans les sites les plus fertiles, au détriment des feuillus nobles comme le bouleau jaune, l'érable à sucre et le chêne rouge. L'érable rouge se régénère aussi grâce à une réserve de semis préétablis qui luttent pour la lumière si le couvert est dense, mais qui réagissent promptement à un apport de lumière après la coupe (MFFP, 2013). Sur les sites mésiques et subhydriques, les semis d'érable rouge tapissent le parterre forestier et poussent plus vite que les autres feuillus (MFFP, 2013). Ils génèrent des cohortes de gaules et de perches et après 20 ou 30 ans, elles poursuivent leur ascension verticale dans le couvert forestier.

Les souches d'érable se garnissent de nombreux rejets formant des bosquets denses (Walters et Yawney, 1990). En moins d'une décennie après une coupe partielle, les bouquets d'érable rouge remplissent tout l'espace de croissance précédemment utilisé par d'autres essences (Fei et Steiner, 2009). Les coupes partielles successives des plus beaux arbres de l'étage supérieur du couvert réduisent la mortalité des érables rouges dans les étages inférieurs, de sorte que leur nombre peut doubler voire tripler en 30 ans (Ward et Stephens, 1993). Par exemple, la proportion des gaules d'érable rouge peut augmenter de 9 % à 28 %, 10 ans après une coupe d'éclaircie dans une bétulaie à bouleau à papier et à érable à sucre âgée de 70 ans, établie sur un till épais à drainage bon ou modéré (Godbout, 2018).

L'érable rouge peut alors accéder rapidement à l'étage supérieur du couvert et y demeurer pendant longtemps (Palik et Pregitzer, 1992). Cette essence tolérante à l'ombre domine de plus en plus les forêts perturbées et celles appauvries après de multiples interventions.

Une longue histoire de coupes forestières a rendu la situation préoccupante surtout dans la plaine du fleuve Saint-Laurent. L'érable rouge prend désormais une place prépondérante dans les peuplements occupant les basses-terres. Dans les années 1990, il totalisait près de 17 % du volume marchand dans la région des Cantons de l'Est (Bégin *et al.*, 1990). L'érable rouge y est dominant sur les sites mésiques et pauvres en éléments nutritifs (Gagnon *et al.*, 2003). L'érable rouge domine le paysage du Centre-du-Québec, en occupant 40 % de la superficie forestière, soit près du tiers (31,6 %) de tout le volume de bois sur pied (AFBF, 2015).

Ailleurs au Québec, la forte récurrence des feux de surface et la rigueur du climat sont en partie responsables de la multiplication végétative de l'érable rouge surtout au nord de son aire de distribution (Lalonde, 1991). Les épidémies de tordeuses des bourgeons de l'épinette ont ravagé les sapins, contribuant ainsi à l'expansion de l'érable rouge.

L'érable rouge est néanmoins sensible aux agents pathogènes causant les chancres et la carie du bois (Eyre et Zillgitt, 1953). Il est enclin à développer de multiples défauts à l'origine de la coloration noire du cœur (Shigo, 1965 a,b). Laissés à leur propre sort, les rejets de souche d'érable rouge sont devenus un problème en raison de leur port en touffes denses, de la piètre qualité des tiges et de l'incidence élevée de défauts dépréciant la valeur du bois.

Sans soin approprié, les érables en bouquet sont difformes et les tiges de dimensions commerciales renferment un faible volume de bois de sciage (Alderman Jr. *et al.*, 2005). Par ailleurs, les autres débouchés sont limités dans plusieurs régions afin d'écouler le bois de chauffage et le bois de trituration. Certes, le problème n'est pas nouveau au Québec comme ailleurs, mais de nos jours il n'existe aucune cure miracle pour remettre en production des milliers d'hectares de forêts dégradées (Carvell, 1986). La prolifération des rejets d'érable rouge après la coupe est un défi tout aussi complexe à gérer que l'envahissement des drageons de hêtre dans les érablières.

Néanmoins, il existe des solutions à la portée du sylviculteur soucieux d'atténuer les effets pervers de la dégradation rapide des taillis d'érable rouge, et disposé à remettre en production les futaies sur souches dégradées. La mise en valeur des érablières à érable rouge issues de rejets est devenue de nos jours un véritable enjeu particulièrement sur les sites productifs les plus prometteurs.

LES MODES DE REPRODUCTION VÉGÉTATIVE

Plusieurs essences forestières ont le double avantage de se régénérer au moyen de semis et par la voie végétative. Les semis sont issus d'une graine et deviennent des arbres génétiquement différents de leurs parents, alors que les marcottes, les drageons et les rejets sont des copies de l'arbre dont ils sont issus.

LES REJETS

Les rejets émergeant des souches ou du pied des arbres (figure 1 à gauche) constituent un avantage évolutif permettant au tilleul d'Amérique, par exemple, de se perpétuer sous un couvert permanent constitué d'espèces dominantes, comme l'érable à sucre. Les rejets assurent le remplacement en continu des arbres vieux ou malades, lorsque les perturbations sont rares dans les érablières établies sur les sites mésiques ou subhydriques. Les érables et autres essences compagnes produisent aussi des semis qui s'établissent dans les ouvertures du couvert forestier à la suite de perturbations.

Les semis et les gaules de chênes et de caryers produisent une racine pivotante puissante leur permettant de survivre aux ravages du feu dans les forêts établies sur les sites secs. Ils sont fortement stimulés après le passage d'un feu, car ils se libèrent de la concurrence exercée par la plupart des autres feuillus, sauf l'érable rouge dont les rejets prolifèrent aussi à la suite d'un feu de surface de faible intensité (Lalonde, 1991).

LES MARCOTTES ET LES DRAGEONS

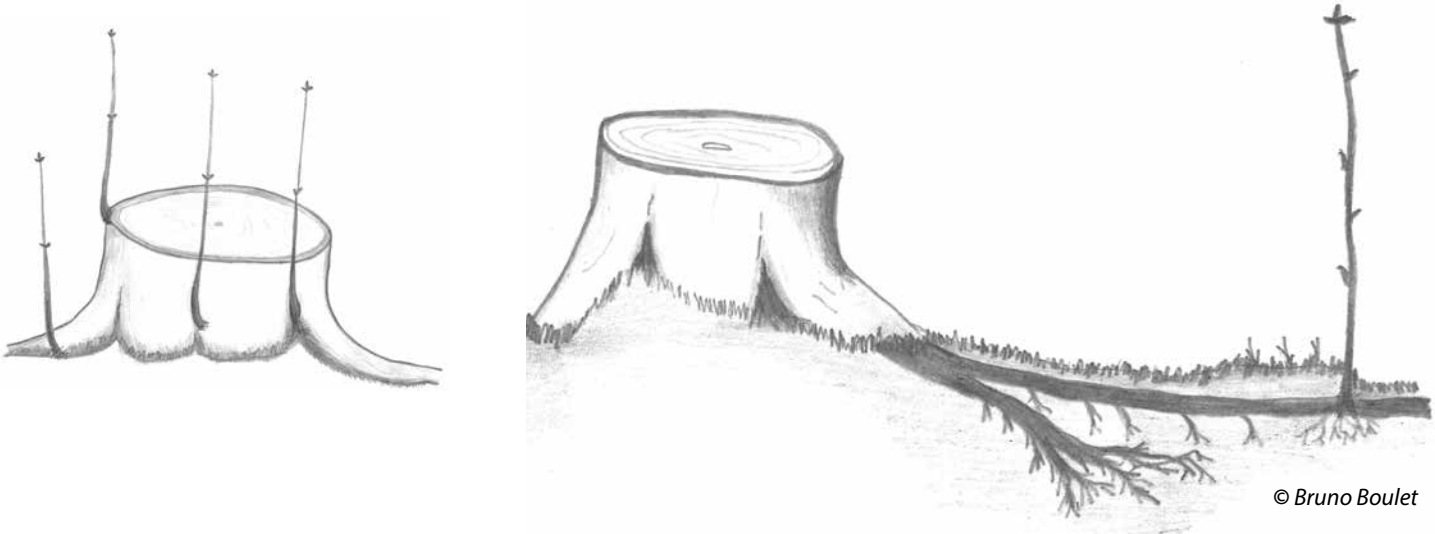
LES MARCOTTES

Les conifères comme l'épinette noire produisent des marcottes issues d'une branche basse qui prend racine au contact du sol. Les marcottes assurent la relève dans certains milieux humides, comme les tourbières, où le sol est peu propice à la germination des semences. Les perturbations de forte intensité, comme les incendies, le chablis, le verglas, les épidémies d'insectes et de maladies créent un milieu favorable aux graines qui germent alors par milliers pour perpétuer les forêts en perdition nécessitant une coupe de récupération partielle ou totale.

LES DRAGEONS

Certains feuillus produisent des drageons à partir de racines étalées près de la surface du sol (figure 1 à droite). Ce mode de propagation assure le renouvellement perpétuel des forêts après un feu ou une coupe forestière (Kramer et Kozlowski, 1960). Il offre aussi l'avantage de produire une nouvelle cohorte d'arbres dans les sols arides peu propices à la germination et à la survie des semis. Les drageons sont un atout chez les peupliers.

La production de drageons profite aussi au hêtre à grandes feuilles qui se perpétue sous un couvert permanent ou à la suite de perturbations de faible intensité. Le drageonnement devient excessif chez les hêtres matures décimés par la maladie corticale. Les drageons sont un atout pour la survie de l'espèce, mais un souci pour le sylviculteur désireux de promouvoir d'autres espèces comme l'érable à sucre.



© Bruno Boulet

Figure 1 — Rejets issus du cambium d'une souche (gauche) et drageon issu de la racine d'une souche (droite).

L'ORIGINE DES ARBRES EN BOUQUET

LES FONDEMENTS PHYSIOLOGIQUES ET ANATOMIQUES

Tous les feuillus tolérants ou semi-tolérants à l'ombre produisent des pousses émergeant de l'écorce du tronc ou du pied à la suite d'un stress hydrique. Ces pousses sont issues soit de bourgeons dormants, soit de bourgeons adventifs (Kramer et Kozlowski, 1960; Lust et Mohammady, 1973; Roussel, 1978).

Ces traits particuliers sont importants pour reconnaître les rejets viables les moins sensibles à la pourriture du bois dans les peuplements de seconde venue renfermant une forte proportion d'arbres en bouquet.

LES BOURGEONS DORMANTS ET ADVENTIFS

Les bourgeons dormants se forment chaque année sous l'écorce du tronc en même temps que les autres sur les rameaux du houppier. Les bourgeons dormants ne se développent pas, contrairement aux bourgeons normaux du houppier (Meier *et al.*, 2012). Ils sont invisibles à la surface de l'écorce. Ils semblent inertes, mais ce n'est pas le cas. Avec l'activité cambiale, les bourgeons dormants s'allongent de 1 ou 2 mm par an, au fur et à mesure que l'arbre croît en diamètre. Les bourgeons dormants sont sertis dans l'aubier et pointent dans le liber, juste sous la surface de l'écorce (Wilson, 1968). On peut d'ailleurs les apercevoir en pelant l'écorce externe (le suber) à la base de l'arbre avec un couteau. Ils sont les plus nombreux au niveau du collet et tendent à diminuer rapidement sur le tronc, à plus de 15 cm au-dessus de la plus haute racine.

La lente migration des bourgeons dormants vers la périphérie du tronc laisse une fine trace blanchâtre de tissus vascularisés les reliant au parenchyme de la moelle et des rayons médullaires (Kramer et Kozlowski, 1960). Avec les années, les bourgeons dormants se dédoublent à l'intérieur de l'arbre et en génèrent d'autres. Le nombre de bourgeons dormants augmente donc avec le diamètre du tronc. Pour la plupart, ils sont interconnectés et plus nombreux au pied, à moins de 15 cm de hauteur.

La migration des bourgeons dormants s'arrête au bout d'une décennie chez le bouleau jaune et l'érable à sucre. Elle ralentit au bout de deux ou trois décennies chez le bouleau à papier, l'érable rouge et le chêne rouge, mais elle se poursuit beaucoup plus longtemps chez le tilleul d'Amérique.

Pour leur part, les bourgeons adventifs apparaissent spontanément sur le tronc, les racines ou le pied à un moment quelconque de la vie de l'arbre (Meier *et al.*, 2012). On les nomme aussi « prompts bourgeons », parce qu'ils se forment dans le cambium sitôt après la coupe et génèrent les pousses épicormiques sur le tronc, les drageons sur les racines et les rejets latéraux sur la souche des arbres coupés depuis moins d'un an. Bref, les bourgeons adventifs prennent naissance dans le cambium et l'écorce interne (le phelloderme), et se développent sans trop tarder, en réaction à un dérangement important (Lust et Mohammady, 1973).

LES REJETS DU COLLET, DU PIED ET LES REJETS LATÉRAUX

Les bourgeons dormants et adventifs sont à l'origine de nouvelles pousses sur l'arbre, lorsque l'équilibre physiologique est rompu. En fait, les nouvelles pousses sur le tronc, le pied ou les racines d'arbres vivants sont symptomatiques d'un désordre physiologique dû à un dérèglement hormonal (Kramer et Kozlowski, 1960). Par exemple, les arbres en stress produisent souvent des rejets tardifs au pied dont le diamètre correspond à moins de 25 % de la circonférence (< 1 face)(planche 2a).

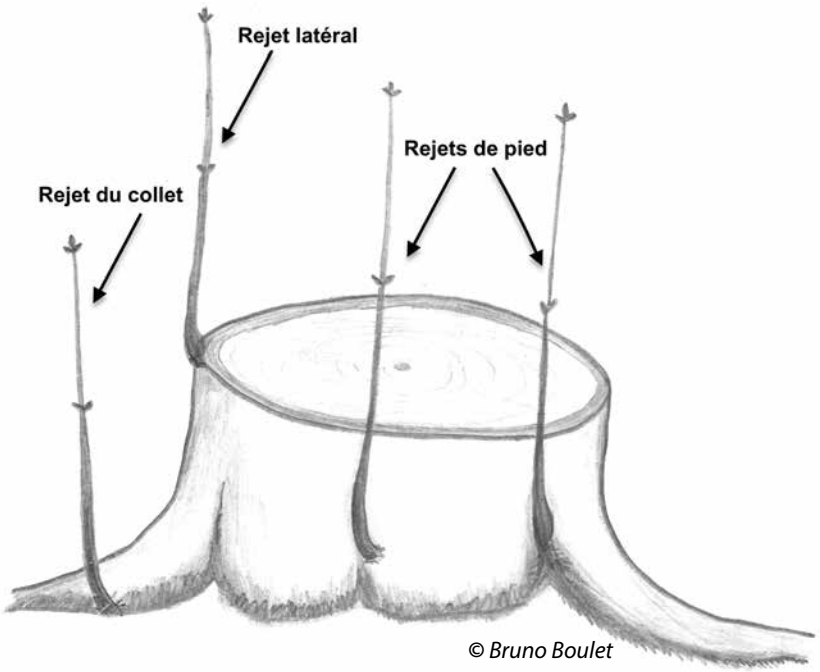
Après coupe, les rejets du collet partent d'une grosse racine ou sur la souche, à ras le sol. Pour la plupart, les rejets du pied partent au-dessus du collet, à moins de 15 cm de la plus haute racine. Ces derniers se distinguent des rejets latéraux sur le plan physiologique, bien qu'ils apparaissent à peu près au même moment sur la souche des arbres coupés (Meier *et al.*, 2012).

Les rejets du collet et du pied se développent vigoureusement à partir de bourgeons dormants et pérennes, situés à moins de 15 cm du sol chez les souches de petites dimensions (figure 2). Leur origine endogène fait en sorte qu'ils ont une connexion directe entre eux et avec le cœur de l'arbre, parce que les bourgeons dormants ont évolué avec l'activité du cambium. Les rejets du pied ou du collet sont solidement ancrés dans le bois, après quelques années seulement. Leur longévité est supérieure à celle des rejets latéraux. Les rejets d'érable rouge s'approvisionnent d'abord à partir de racines de la souche, mais avec le temps, ils deviennent peu à peu semi-autonomes en développant de nouvelles racines qui prennent le relais (Lees, 1981). Les rejets du collet développent leurs propres racines au fur et à mesure que la souche se dégrade.

Les rejets latéraux sont exogènes c'est-à-dire qu'ils émergent de bourgeons adventifs nouvellement formés dans le cambium après la coupe (figure 2). Leur nombre et leur croissance augmentent avec la hauteur de la souche et le périmètre du cambium, d'où naissent les bourgeons adventifs (Kozlowski *et al.*, 1991; Khan et Tripathi, 1989).

Pour plusieurs raisons, ils sont inaptes à produire des tiges viables chez la plupart des feuillus (Wilson, 1968; Lust et Mohammady, 1973; Tubbs, 1978; Del Trecidi, 2001) :

- les rejets latéraux de l'année (brins) sont faiblement ancrés dans le cambium et le dernier cerne de l'aubier;
- les brins se brisent facilement au cours de la première année après la coupe;
- pour la plupart, les brins partent à 15 cm ou plus de hauteur ou à l'arête de la souche;
- les brins tardent à se lignifier en automne : ils sont sensibles au gel et davantage broutés par les animaux;
- les brins aux feuilles surdimensionnées, parfois difformes (chez les chênes) sont à peine vascularisés en raison d'une constriction du tissu conducteur au point de jonction avec le cambium et le dernier cerne de l'aubier;
- les brins sont sensibles à la sécheresse, aux maladies causant la brûlure des pousses (*Venturia* sp.) et l'anthracnose (*Discula* sp.);
- les rejets latéraux de plus d'un an requièrent beaucoup de lumière pour se développer;
- les rejets latéraux survivants sont les premières victimes de la carie généralisée de la souche et enfin,
- les rejets latéraux ne vivent pas longtemps et n'ont qu'un rôle accessoire dans la multiplication végétative des arbres (Kramer et Kozlowski, 1960).



© Bruno Boulet

Figure 2 — Rejets au collet et au pied issus de bourgeons dormants et rejet latéral issu d'un bourgeon adventif formé dans le cambium à l'arête de la souche.

LES SEMIS-REJETS

Le semis-rejet est une pousse issue d'un bourgeon dormant. Par convention, on a défini depuis longtemps que le semis-rejet se développe au collet des gaules de 5 cm ou moins de diamètre (McIntyre, 1936, cité dans Del Trecidi, 2001; Eyre et Zillgitt, 1953; Lust et Mohammady, 1973). Le semis-rejet se dresse à la base d'une gaule disparue ou détruite par le feu. Il est apte à croître rapidement tout en conservant les attributs du semis à l'origine d'une tige de belle venue (figure 3). Le recépage est d'ailleurs une pratique parfois utilisée en pépinière pour générer des semis-rejets (figure 4). Le recépage stimule les racines et revigore les plants avant le repiquage.

En milieu naturel, les semis-rejets peuvent mourir et se régénérer plusieurs fois au fil des ans dans le sous-étage de la forêt jusqu'au moment où le couvert laisse pénétrer suffisamment de lumière nécessaire à leur croissance en hauteur. Par conséquent, l'âge de la tige issue d'un semis-rejet peut avoir de 10 à 20 ans d'écart voire plus avec l'âge réel des racines (Del Trecidi, 2001; Johnson, 1977). Les racines âgées et surdimensionnées confèrent aux semis-rejets une grande résistance à la sécheresse et de meilleures chances de survivre en attendant de profiter de l'ouverture du couvert pour se tailler une place au soleil (Del Trecidi, 2001).

Plusieurs feuillus ont une propension naturelle à produire des semis-rejets : les chênes, les frênes, les noyers, les ormes, les saules, le tilleul d'Amérique, l'ostryer de Virginie et le champion parmi tous, le cerisier tardif (Del Trecidi, 2001). Le bouleau jaune et l'érable à sucre n'en produisent presque jamais. L'érable rouge en produit moins que les autres feuillus puisque les rejets poussent d'ordinaire sur les souches de plus fort diamètre. Les semis-rejets génèrent des gaules pourvues d'une déviation à la base rappelant le profil d'un bâton de golf. Ce défaut persiste parfois jusqu'au stade perchis et finalement il cicatrise et disparaît avec l'âge (figure 4).

Figure 3 — Semis-rejet issu d'une gaule disparue de 5 cm ou moins de diamètre.

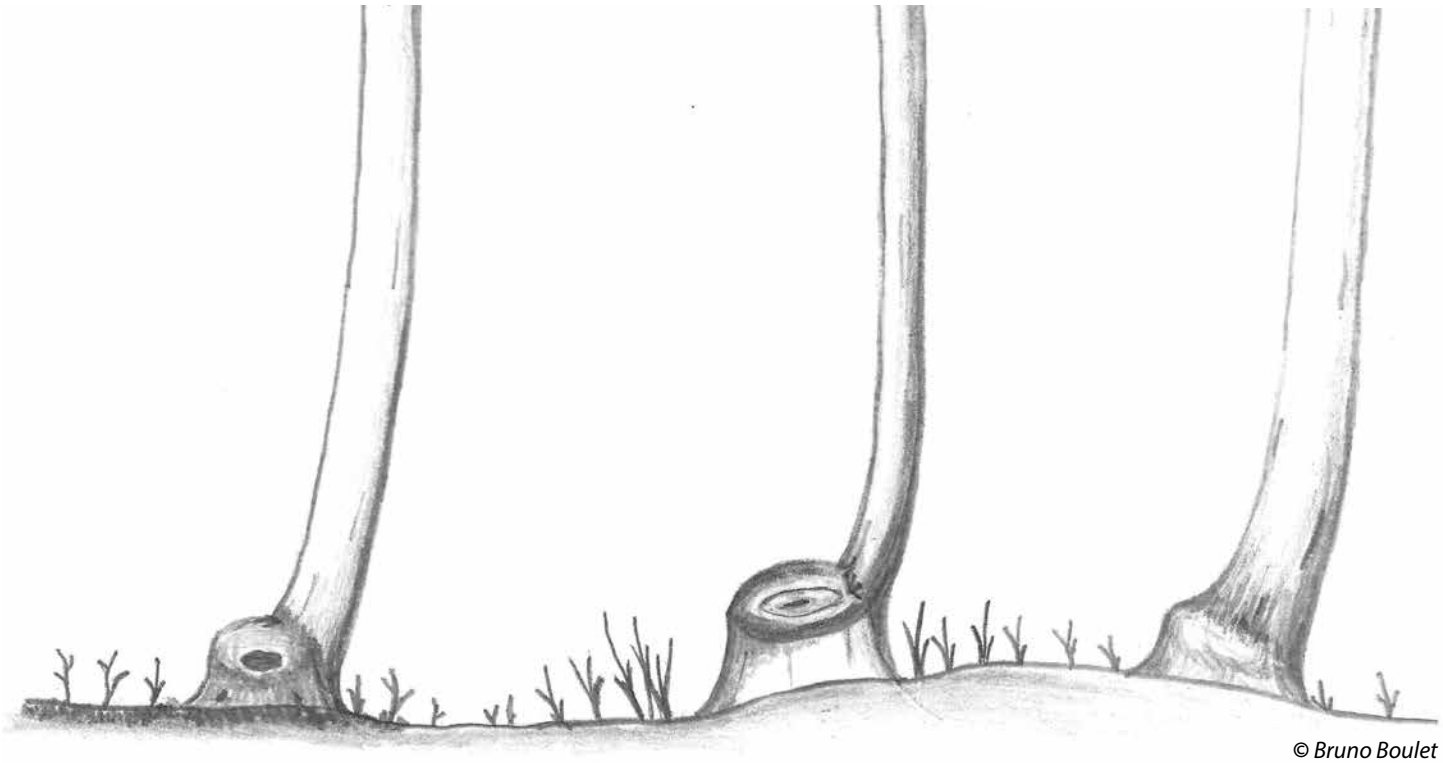


Figure 4 — Semis-rejets issus d'un recépage : un cal circulaire épouse et recouvre peu à peu la cicatrice de pied, conférant à la tige la forme typique d'un bâton de golf.

LA PROPENSION NATURELLE À PRODUIRE DES REJETS

La poussée de rejets de souche après coupe est tributaire de plusieurs facteurs dont les plus importants sont l'essence, le moment de l'année où la coupe a eu lieu, la grosseur des souches et enfin, la qualité de la station en lien étroit avec la vigueur des arbres (Roth et Hepting, 1943; Lust et Mohammady, 1973). Ces facteurs influent sur l'abondance, la croissance, la qualité, la longévité des rejets.

LES ESSENCES FORESTIÈRES

Les feuillus, pour la plupart, produisent des rejets à un moment ou l'autre de leur développement, mais leur propension naturelle varie beaucoup selon l'espèce (tableau 1).

L'érable rouge se régénère aussi bien au moyen de semis que par la voie végétative. Cependant, les rigueurs du climat provoquent souvent le gel tardif des fleurs et annihilent la production de disamares à la limite nord de distribution où les incendies récurrents stimulent la poussée de rejets (Lalonde, 1991). Les rejets croissent deux fois plus vite que les semis (Vézina et Roberge, 1981). L'érable rouge compense tout changement de son environnement grâce aux rejets qui envahissent l'étage inférieur et dominent leurs concurrents par la suite. Il est certes le plus prolifique des feuillus nordiques dans toute son aire de distribution (Solomon et Blum, 1967).

Les chênes produisent aussi des rejets partout où ils poussent. Toutefois, les chênes dans le sud de la région des Appalaches en produisent plus qu'ailleurs au nord (Cook *et al.*, 1998, cité dans Atwood *et al.*, 2009).

Les feuillus ayant une grande propension au drageonnement, comme les peupliers et le hêtre, perdent la capacité de produire des rejets à un âge plus précoce que les espèces incapables de drageonner (Del Trecidi, 2001).

Les espèces adaptées à vivre dans les milieux xériques (chênes, ostryers, caryers et hêtres) ou issues de fréquentes perturbations

Tableau 1 — Propension naturelle des essences forestières à produire des rejets de souche viables (adapté de Stroempl, 1983).

TRÈS GRANDE	GRANDE	MOYENNE	FAIBLE OU NULLE
Tilleul d'Amérique	Frêne blanc	Chêne blanc	Bouleau jaune
Cerisier tardif	Frêne rouge	Orme d'Amérique	Érable à sucre[ab]
Ostryer de Virginie[cd]	Bouleau à papier[d]	Bouleau à papier	Hêtre à grandes feuilles[c]
Érable rouge[ad]	Chêne rouge	Peuplier deltoïde[d]	Peupliers[c]
Bouleau gris[c]	Chêne bicolore[d]	Frêne noir[d]	Noyer cendré[d]
	Érable argenté		Chêne à gros fruits[d]
	Caryers[cd]		

a. Solomon et Blum, 1967; b. Prager et Goldsmith, 1977; c. Del Trecidi, 2001; d. MFFP, 2013

(peupliers) dépendent davantage de la poussée de rejets ou de drageons. Les espèces mésophytes, comme le bouleau jaune et l'érable à sucre, occupent les milieux où les perturbations sont rares et comptent plutôt sur une réserve de semis préétablis sous le couvert forestier, et les rejets ne sont qu'un accessoire.

L'érable rouge et le hêtre à grandes feuilles sont les plus opportunistes de tous les feuillus, car ils produisent à la fois des semis, des rejets ou des drageons à la suite de perturbations. Ces deux espèces nuisent beaucoup à l'établissement et à la croissance des autres arbres.

LES SAISONS

LA PHÉNOLOGIE DES REJETS

Les bourgeons adventifs s'activent au printemps avant les bourgeons dormants de sorte que les premiers rejets latéraux apparaissent avant les autres dans la partie supérieure des souches d'érable rouge (Wilson, 1968). Les brins ancrés à l'arête de la souche s'allongent plus vite que les autres et après seulement quelques mois, leurs bourgeons apicaux produisent une hormone (l'auxine) qui inhibe le réveil des bourgeons encore dormants à la base de la souche (Wilson, 1968). Le nombre de rejets ne s'accroît plus sur les souches de 2 ans et tend à diminuer dès la troisième année après coupe dans les cépées les plus denses d'érable rouge, de bouleau gris, de cerisier tardif et de frêne blanc (Kays et Canham, 1991).

Le printemps venu, les bourgeons dormants sur les souches d'arbres coupés l'hiver précédent débourrent en même temps que les bourgeons des rameaux aériens des arbres voisins (Meier *et al.*, 2012). Les souches d'érables rouges abattus au printemps ou au début de l'été produisent des rejets de deux à cinq semaines plus tard (Wilson, 1968). Le débourrement sur les souches est retardé si la coupe a lieu en juillet et en août et le nombre de rejets par souche tend à diminuer tout autant sur l'érable à sucre (MacDonald et Powell, 1985).

Le mois d'août correspond à une baisse de la durée du jour de sorte qu'à cette période, la coupe contribue aussi à diminuer le nombre et la vigueur des rejets, même si les arbres ont déjà commencé à refaire leur réserve d'amidon (Wargo, 1979). C'est pourquoi les rejets de chênes coupés après la mi-août n'émergent que le printemps suivant (Roth et Hepting, 1943).

LA PÉRIODE DE COUPE ET LA RÉSERVE D'AMIDON

L'amidon emmagasiné dans les racines est au plus bas pendant la phase d'élongation des nouvelles pousses. La coupe effectuée en juillet génère des rejets d'érable à sucre peu nombreux et sans vigueur (MacDonald et Powell, 1985). Les érables rouges coupés de la mi-juin à la mi-août produisent moins de rejets, et leur croissance est plus lente que ceux poussant sur les arbres coupés en période de dormance (Kays et Canham, 1991; Babeux et Mauffette, 1994). De plus, les rejets latéraux et les drageons sont menacés de mourir dans une plus grande proportion si un épisode de sécheresse survient au cœur de l'été, tant chez l'érable rouge que le hêtre à grandes feuilles. La repousse est à la fois peu vigoureuse et sensible aux aléas de la météo lorsque les réserves d'amidon dans la souche sont au plus bas.

La situation est renversée au printemps et à l'automne. Les réserves de glucides sont maximales après la chute des feuilles et avant la venue des grands froids (Wargo, 1979). La coupe des arbres effectuée pendant la période de dormance stimule la poussée de rejets et leur procure un avantage concurrentiel le printemps suivant. Avec le dégel printanier, l'afflux de sève provenant des racines incite alors les bourgeons dormants et adventifs à se développer, générant des rejets de souche vigoureux et difficiles à contenir la saison suivante, chez plusieurs feuillus (tableau 2).

La souche produit de nouveaux vaisseaux conducteurs chargés de rediriger la sève brute vers la base des rejets nouvellement formés au pied et au collet. Une connexion vasculaire directe s'établit avec tout le système racinaire et non pas seulement dans la portion étroite de l'aubier, sous-jacente au point d'ancrage du rejet. Cette particularité confère aux rejets d'érable rouge un apport nutritionnel et un avantage concurrentiel de première importance (Lyford et Wilson, 1964).

Tableau 2 — Avantage concurrentiel de la croissance en hauteur des rejets au cours des années suivant la saison de coupe.

Saison de coupe	Avantage concurrentiel des rejets		
	Grand	Moyen	Faible ou nul
Printemps	2e année[cg]	1re année[c] 3e année[a]	4e - 10e années[be]
Été (mi-saison)		3e année[ag]	1re - 2e années[adeg]
Été + sécheresse			1re - 3e années[h]
Automne - Hiver	1re - 2e années[c]	3e année[a]	4e - 10e année[be]

a. Err : Babeux et Mauffette, 1994;
b. Err, Ch, Cet : Wendel, 1975;
c. Ch : Buckley et Evans, 2004;
d. Ers : MacDonald et Powell, 1985;
e. Ch : Roth et Hepting, 1943;
f. Err : Wilson, 1968;
g. Err, Bog, Fra, Cet : Kays et Canham,1991;
h. Heg (rejets et drageons) : Observations personnelles.

LA CROISSANCE PRÉDÉTERMINÉE ET INDÉTERMINÉE

Le rythme de croissance des nouvelles pousses pendant la saison de végétation diffère selon les essences (Timbal *et al.*, 1994). Chez les espèces à croissance indéterminée, comme l'érable rouge, l'érable negundo et les bouleaux, les ramilles s'allongent en continu, du printemps jusqu'à la chute des feuilles en automne. Par conséquent, les racines de ces arbres tardent en été à reconstituer leurs réserves d'amidon.

La période d'élongation des nouvelles pousses est réglée à l'avance chez les espèces à croissance prédéterminée, comme l'érable à sucre, le frêne blanc, le hêtre à grandes feuilles, le tilleul d'Amérique, le caryer cordiforme et le cerisier tardif (Bellefleur et Villeneuve, 1984; Millet, 1997).

La croissance est semi-déterminée chez le chêne rouge, c'est-à-dire que l'élongation des ramilles dure de 10 à 15 jours après le débourrement. Elle précède l'étalement complet des nouvelles feuilles, dont la durée varie en fonction de la disponibilité des ressources, comme l'eau (Hanson *et al.*, 1986). Les ramilles cessent normalement de s'allonger tôt en saison avec l'apparition hâtive des bourgeons terminaux (Timbal *et al.*, 1994). Or, les sucres s'accumulent dans les racines à partir du moment où la croissance des ramilles commence à ralentir. Les espèces à croissance prédéterminée ou semi-déterminée sont alors disposées à accumuler des réserves plus tôt en période estivale.

Ce trait fonctionnel devient un avantage opérationnel au service du sylviculteur soucieux de maîtriser la repousse de rejets d'essences indésirables après coupe. La croissance indéterminée de l'érable rouge offre une large fenêtre d'intervention, d'environ 85 jours, de juin à la mi-août, afin de ralentir la poussée de rejets de souches. La fenêtre d'intervention est réduite à 42 jours à partir de la date d'étalement des nouvelles feuilles chez le bouleau gris. Les réserves d'amidon sont au plus bas dans les racines de frêne blanc pendant seulement une vingtaine de jours dès la fin de la période d'élongation des nouvelles pousses en juin (Kays et Canham, 1991). La fenêtre est un peu décalée dans le temps selon la latitude.

UN AVANTAGE DE COURTE DURÉE

L'avantage concurrentiel des rejets dominants issus d'une coupe en période de dormance s'exprime par une croissance accrue en diamètre et en hauteur surtout pendant les premières années après l'abattage (tableau 2).

Au contraire, la coupe effectuée en été atténue pendant un certain temps la vigueur des rejets indésirables au bénéfice des semis et des plants d'essences nobles à promouvoir. Toutefois, retenons que l'effet saisonnier sur la croissance différentielle des rejets est de courte durée. Les différences s'estompent après deux ou trois saisons de végétation sur les souches d'érable rouge, d'érable à sucre, de frêne blanc et après 4 ou 5 ans sur les souches de chêne (Roth et Hepting, 1943; Kays et Canham, 1991; Babeux et Mauffette, 1994). L'effet saisonnier disparaît complètement après une dizaine d'années chez l'érable rouge, le chêne rouge, le chêne blanc et le cerisier tardif (Wendel, 1975).

LA GROSSEUR DES SOUCHES

En général, les probabilités de germination de bourgeons dormants et adventifs diminuent avec l'augmentation de l'âge de l'arbre parent et du diamètre de la souche (Weigel et Peng, 2002). En effet, il arrive un temps où l'écorce externe (le suber) devient trop épaisse, empêchant ainsi le débourrement des bourgeons dormants enfouis dans le liber et le cambium (Kramer et Kozlowski, 1960). Le tilleul d'Amérique fait cependant exception en produisant des rejets viables sur des souches de 50 cm (MFFP, 2013). Un an après la coupe, l'érable à sucre produit parfois des rejets latéraux sur des grosses souches, mais leur viabilité à long terme n'a jamais été démontrée (MacDonald et Powell, 1983).

Le taux de mortalité des rejets latéraux sur les souches de 11 cm ou plus de diamètre augmente significativement, 3 ans après la coupe chez le micocoulier occidental et le frêne rouge occupant les terres basses en milieu riverain (Olson et Knapp, 2017).

Les souches de chêne blanc de 12 à 15 cm de diamètre sont prolifiques, mais la taille des cépées périclite sur les souches de 30 cm ou plus (Stroempl 1983; Atwood *et al.*, 2009). La poussée de rejets de chêne rouge est maximale vers l'âge de 35 ans sur les souches de 20 cm ou moins de diamètre (MRNO, 1998) et elle s'estompe sur les souches de plus fort diamètre (Stroempl 1983; Johnson, 1975).

La poussée de rejets d'érable rouge augmente avec le diamètre pour atteindre un plateau autour de 23 à 30 cm et décroître sur les souches de 40 cm ou plus (Prager et Goldsmith, 1977; Mroz *et al.*,1985) (figure 5). Il en est de même chez l'érable argenté. La probabilité que l'érable rouge produise des rejets viables sur les souches de 30 cm de diamètre est de l'ordre de 80 % (Fei et Steiner, 2009), mais elle chute à 10 % sur les souches de 40 cm ou plus (Stroempl, 1983).

Les rejets latéraux les plus vigoureux poussent d'ordinaire sur les souches d'érable rouge de 15 à 25 cm de hauteur (Jobidon, 1995). Les rejets d'érable rouge issus de souches de petit diamètre peuvent atteindre 0,9 m de hauteur voire plus, dès la première année, mais leur croissance ralentit par la suite (Wilson, 1968; Walters et Yawney, 1990).

La poussée de rejets varie selon la latitude : les souches d'érable à sucre du phénotype nordique en produisent plus que celles du phénotype du sud (Kramer et Kozlowski, 1960). En Pennsylvanie, le nombre de rejets périclite de 80 % sur les souches d'érable à sucre dont le diamètre varie de 5 cm à 15 cm (Solomon et Blum, 1967) et il y en a peu sur les plus grosses souches (Prager et Goldsmith, 1977; Del Trecidi, 2001). Au Nouveau-Brunswick, 85 % des souches d'érable à sucre de 5 à 15 cm de diamètre sont porteuses de rejets, un an après la coupe, mais la proportion décroît peu à peu jusqu'à 30 % sur les souches de 40 à 65 cm de diamètre (MacDonald et Powell, 1983). En général, le nombre et la longueur des rejets décroît sur les souches d'érable à sucre dont le diamètre varie de 10 à 25 cm, mais les résultats diffèrent un peu d'une étude à l'autre (MacDonald et Powell, 1983; Solomon et Blum, 1967).

Les souches de bouleau jaune ne produisent pas de rejets viables (Solomon et Blum, 1967), contrairement à celles du bouleau à papier âgées de 40 ans ou moins, et exposées en plein soleil (MFFP, 2013).

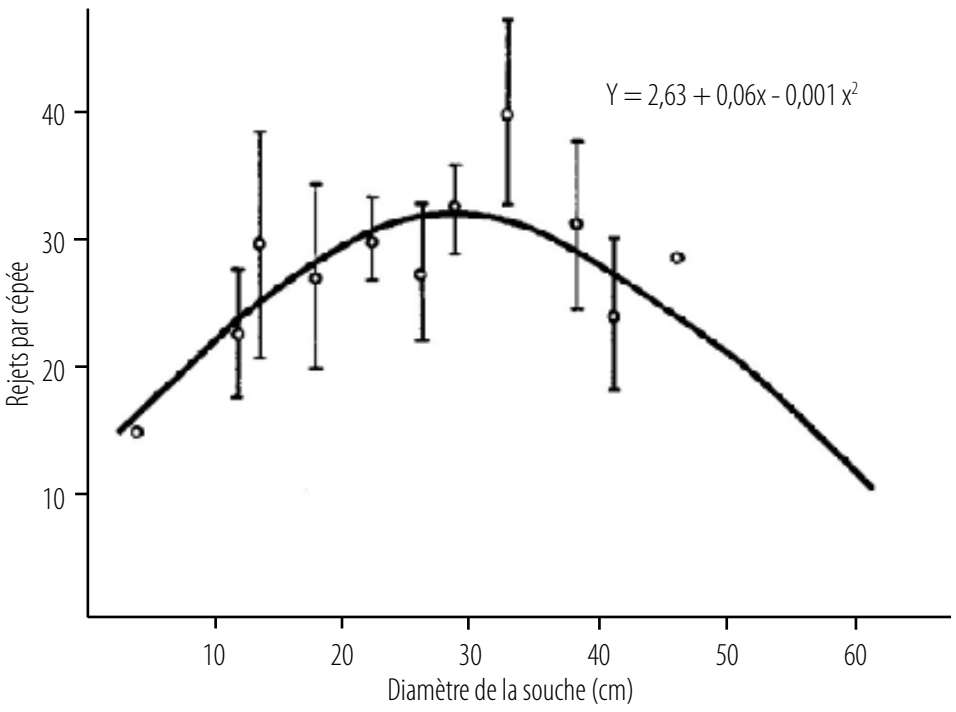


Figure 5 — Nombre de rejets d'érable rouge par cépée (Y) en fonction du diamètre de la souche de l'arbre parent (x), 7 ans après la coupe rase de deux peuplements mixtes de la Nouvelle-Écosse (tiré de Prager et Goldsmith, 1977).

LA QUALITÉ DE LA STATION

En général, les rejets sont plus vigoureux lorsque les arbres poussent sur un bon site (Weigel et Peng, 2002). Le chêne blanc établi sur un site mésique et convenant bien au chêne rouge tend à produire un grand nombre de bourgeons dormants et adventifs (Kesner, 1986). La croissance en hauteur du rejet dominant et le nombre de rejets par cépée de chêne rouge augmentent avec la qualité de la station (Johnson, 1975). Les rejets de cerisier de Pennsylvanie sont nombreux et poussent vite sur un bon site surtout si la coupe a été effectuée pendant la période de dormance (Kramer et Kozlowski, 1960). Les rejets d'érable, de frêne et de chêne ont une plus forte croissance sur un site mésique ou subhydrique, que ceux établis sur un sol sec et mince (Naka et Cannon, 2004). Les rejets d'érable argenté et d'orme d'Amérique ont une forte croissance en hauteur procurant un net avantage concurrentiel sur les autres feuillus poussant en milieu riverain (Olson et Knapp, 2017). Or, un certain nombre d'études révèlent des variations régionales de la performance des rejets de chêne selon la qualité de la station. La piètre qualité du site est même associée à une meilleure performance des rejets de chêne blanc dans l'État de l'Indiana (Weigel et Peng, 2002). Le nombre de rejets augmente lorsque la qualité du site diminue, dans le sud de la région des Appalaches (Cook *et al.*, 1998 cité dans Atwood *et al.*, 2009). Dans l'État de la Virginie occidentale, le nombre de rejets de chêne rouge par souche à la fin de la première et de la dixième année après la coupe n'est pas corrélé à la qualité du site ni à la vigueur de l'arbre parent (Wendel, 1975). Pour la plupart, les espèces établies sur un sol sec produisent des rejets de pied en réaction à un stress hydrique chronique ou exceptionnel (Annecou, 2020).

Malgré la divergence des résultats en lien avec la qualité de la station (tableau 3), il faut retenir que la propension à produire des rejets et surtout leur aptitude à pousser rapidement s'atténuent avec le temps en raison de la vive concurrence des voisins, surtout sur les sites fertiles (Weigel et Peng, 2002). De plus, la performance des rejets après 10 ans pourrait bien aussi dépendre du volume et de l'étendue du système racinaire de la souche parente et de sa capacité de puiser l'eau et les nutriments nécessaires à leur croissance (Wenger, 1953). En effet, la capacité à stocker l'amidon est largement tributaire de la grosseur des racines (Wargo, 1976).

Chez l'érable rouge, le nombre de rejets par souche ne varie pas selon la qualité de la station ou après un apport d'engrais. Par contre, la croissance en hauteur des rejets est stimulée sur les stations les plus fertiles (Mroz *et al.*,1985).

Tableau 3 — Vigueur des rejets selon les essences et la qualité de la station.

Indice de vigueur des rejets	Érable rouge	Chêne rouge Chêne blanc	Érable argenté Orme d'Amérique	Cerisier de Pennsylvanie	Érable à sucre Frêne blanc
	Qualité de la station				
	☹ → ☺	☹ → ☺	☹ → ☺	☹ → ☺	☹ → ☺
Nombre de rejets par cépée	stable[a]	décroissante[fh] croissante[b] stable[gh]	non disponible	croissante[c]	non disponible
Croissance en hauteur (cm/an)	croissante[a]	croissante[b]	croissante[d]	croissante[c]	croissante[e]

a.Mroz et al.,1985; b. Johnson, 1975; c. Kramer et Kozlowski, 1960; d. Olson et Knapp, 2017; e. Naka et Cannon, 2004; f. Atwood et al., 2009; g. Wendel, 1975; h. Weigel et Peng, 2002.

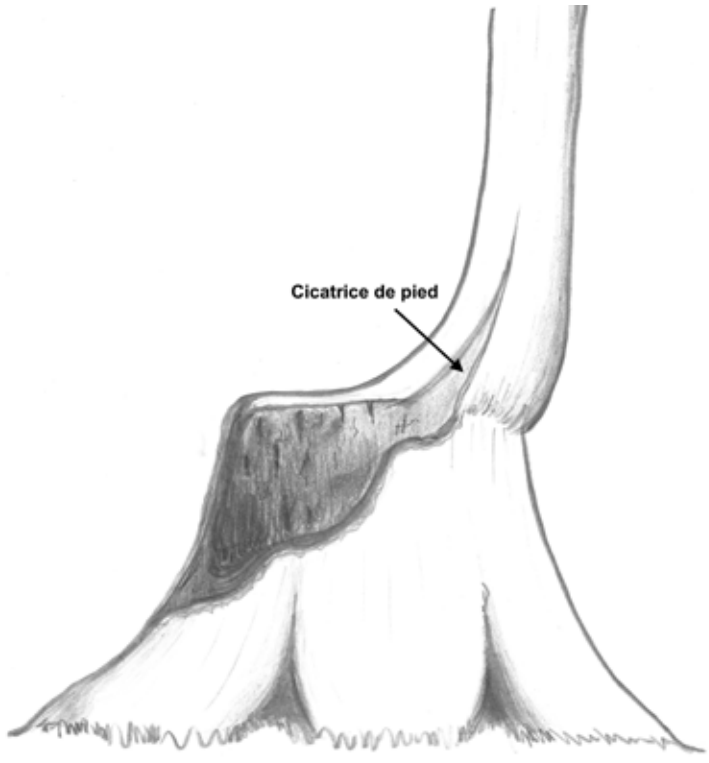
LE POTENTIEL DES REJETS COMME TIGES D'AVENIR

Un rejet de pied unique issu d'une tige disparue de 5 cm ou moins de diamètre est le plus apte à produire une tige d'avenir (Johnson, 1977; Tubbs, 1978; Berry, 1982). Les gaules issues d'un semis-rejet sont plus grandes, plus robustes et poussent plus vite que les semis, car leurs racines sont mieux développées. Le sylviculteur avisé devrait les dégager de la concurrence en priorité, si elles ont atteint le stade gaulis ou perchis (Smith et Lamson, 1986). Rappelons que ces tiges sont faciles à repérer sur le terrain grâce à leur profil de bâton de golf.

Le recépage en automne des gaules et des perches de chêne rouge de 10 à 15 cm de diamètre et de forme médiocre génère des pousses pouvant atteindre 2 m de hauteur, l'été suivant. Leur croissance en hauteur est suffisamment rapide pour permettre aux bourgeons apicaux d'échapper au broutage des cerfs de Virginie et générer des tiges d'avenir (Marquis et Brenneman, 1981; Rogers et McRoberts, 1992).

Le risque d'infection des rejets par la carie augmente avec le diamètre et la hauteur de la souche (Roth et Hepting, 1969). Les rejets latéraux de piètre qualité sont d'ordinaire plus nombreux sur les souches de 15 cm de hauteur ou plus (Tubbs, 1978)(photo 2). Les pousses partant de l'arête de la souche et attenantes au cambium ne sont pas viables, parce qu'elles ne tiennent qu'à un fil, et le point d'ancrage s'affaiblit avec la dégradation de la souche (figure 6). Ces pousses peuvent donc rompre à tout moment (Smith et Lamson, 1986).

Photo 2 — Souche haute d'un jeune érable rouge coupé en hiver, garnie de rejets dont un seul issu du collet (flèche) est viable à long terme.



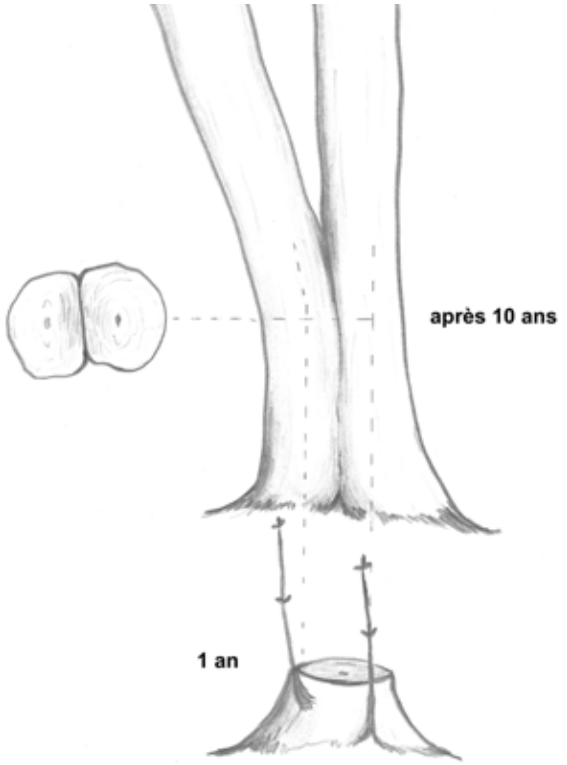
© Bruno Boulet

Figure 6 — Rejet latéral faiblement ancré sur une souche dont le cœur est creux : la cicatrice de pied sur une face ou plus rend la tige fragile à la rupture.

Parmi les rejets multiples issus de grosses souches, seuls ceux isolés des autres et partant du collet ou de la base poussent convenablement (Berry, 1982). Libre de croître, les rejets de pied et du collet les plus vigoureux finissent par dominer les autres et cicatrisent mieux les nœuds et les blessures au pied. Ils ont donc de meilleures chances de produire des tiges d'avenir de qualité supérieure. Dans une étude comparative visant à mesurer la qualité des rejets de 8 à 12 ans après une coupe totale, Lamson (1983) a observé que 89 % des souches de feuillus avaient au moins un rejet dominant ou codominant partant du collet. Néanmoins, la proportion relative des tiges de bonne qualité décroissait selon l'espèce : le cerisier tardif (46 %), le chêne rouge (20 %), l'érable rouge (20 %) et le tilleul d'Amérique (15 %). Les fourches basses se sont avérées problématiques chez les rejets de chêne et d'érable suggérant que l'éclaircie doit être accompagnée d'une taille de formation, afin d'augmenter le nombre de tiges d'avenir à l'hectare (Lamson, 1983).

Les arbres coupés à ras le sol ont de meilleures chances de produire des rejets du collet viables aptes à générer des tiges d'avenir (photo 14). À des hauteurs de souche de 15 cm ou plus, les rejets latéraux sont plus nombreux chez l'érable de Pennsylvanie, l'érable à épis et le bouleau blanc et les cépées sont les plus vigoureuses sur les souches de 45 et de 75 cm de hauteur (Jobidon, 1997). Il en est de même chez l'ostryer de Virginie et l'érable rouge (voir photo, p. 5).

Les rejets trop près l'un de l'autre se fusionnent à la base et engendrent une fourche en V avec des inclusions d'écorces (figure 7). Ces rejets dégénèrent les premiers, car la carie dévorant la souche s'immisce par la base (Boyce, 1961; Boulet, 2015). Les rejets multiples, distants l'un de l'autre ou formant à la base une fourche en U sont moins sensibles à la carie et le risque d'infection réduit au minimum (photo 9)(Berry, 1982). Dans les pentes fortes, les rejets situés du côté en amont du bouquet ont de meilleures chances de survie que les autres (Smith et Lamson, 1986) (planche 1 h).



© *Bruno Boulet*

Figure 7 — Tiges jumelles dominantes issues d'une petite souche : un éclaircissage hâtif évite la formation d'une fourche en V et la fusion des tiges à la base.

LA DÉGRADATION DU BOIS PAR LA CARIE

LES PRINCIPAUX AGENTS INFECTIEUX

Les arbres en bouquet sont plus sensibles à la carie du pied que ceux issus de semis. Les stérées (Stereum sp.) provoquent une carie blanche de l'aubier. Les petits champignons sont légion sur les vieilles souches et au pied des chênes rouges en bouquet (Roth et Hepting, 1969; Boyce, 1961).

Ils s'étalent en croûte et le rebord est ondulé et lisse en dessous (photo 3). La carie brune cubique attribuable au polypore soufré est tout aussi sournoise, parce que les hyphes microscopiques s'immiscent à la fois à la base des rejets et dans les nœuds mal cicatrisés (Boulet, 2003).

La tramète versicolore (*Trametes versicolor*) s'en prend surtout aux bouquets de frêne, d'érable rouge et de bouleau à papier. Le ganoderme résineux (*Ganoderma resinaceum*) est le plus à craindre sur les souches pourries d'érable, d'orme et de frêne occupant les basses-terres argileuses et les milieux riverains souvent inondés au printemps (Boulet, 2003). Les pholiotes (*Pholiota adiposa, P. limonella*) sont associées à la carie du pied et du tronc chez le tilleul d'Amérique. Les vieux tilleuls issus de rejets sont parfois creux de l'intérieur, bien qu'ils n'affichent habituellement aucun signe ni symptôme.

Les bouquets d'érable rouge cachent les plus graves problèmes causés par les champignons de carie. Le polypore aggloméré (*Inonotus glomeratus*) infecte les nœuds mal cicatrisés à l'origine de chancres révélant une dégradation généralisée du cœur. Pour choisir les meilleurs rejets d'érable parvenus au stade perchis, le marteleur doit retenir que les défauts du tronc sont aussi graves que ceux situés à la base (Shigo, 1965a, b; Boulet, 2015).

La tramète unicolore (*Cerrena unicolor*) est le deuxième en importance sur l'érable rouge (photo 4). Il pousse sur les moignons de rejets coupés ou disparus pour infecter tous les rejets issus de la même souche qui n'ont alors aucun avenir (Campbell, 1939). L'ustuline chancrelle (*Kretzschmaria deusta*) s'en prend d'abord à la souche avant de se propager à la base des rejets (Eyre et Zillgitt, 1953). Les bouquets de bouleau à papier sont tout aussi sensibles aux infections attribuables à la tramète unicolore, la tramète versicolore et l'ustuline chancrelle (Boulet, 2003).

Photo 3 — *Stereum hirsutum* teinté de jaune et d'orangé poussant sur une souche de chêne rouge.

Photo 4 — Érables rouges en bouquet infectés par *Cerrena unicolor* à l'origine de la nécrose du cambium (NC).

LA PROPAGATION DES CHAMPIGNONS

LE POURRIDIÉ-AGARIC

La croissance en hauteur et le nombre de rejets sur une souche révèlent la vigueur de l'arbre avant la coupe dont l'activité physiologique persiste pendant quelques années au moins (Roth et Hepting, 1943). Le corollaire voudrait que des arbres qui, de leur vivant, étaient affaiblis par la pourriture des racines laissent des souches produisant peu de rejets. Or, il n'en est rien. Les sporophores du pourridié-agaric sont nombreux sur les souches de bouleau à papier, de la première jusqu'à la huitième année après une coupe partielle dans une bétulaie de 70 ans, bien que les rejets de souche soient encore vigoureux et nombreux (286 tiges / ha), dix ans après la coupe (Godbout, 2018).

C'est un fait démontré que la présence du pourridié-agaric n'a pas d'influence sur la vigueur initiale des rejets de souche. Le champignon ne les infecte pas directement, au moins pendant les 7 premières années après la coupe (Lee, 2016; Roth et Hepting, 1943). Il semble en effet que la vigueur de la souche stimule la croissance initiale des rejets plus fortement que la propagation de l'agent pathogène (Brazee, 2011, cité dans Lee, 2016).

Chez les chênes à tout le moins, l'autoéclaircie précoce des rejets serait plutôt attribuable à la vive concurrence pour les ressources limitées, comme la lumière et l'eau en provenance des racines encore fonctionnelles de la souche malade (Roth et Hepting, 1943). Ce n'est que plusieurs années plus tard que les moignons de rejets disparus deviennent une porte d'entrée au champignon pathogène qui se propage alors aux rejets dominants (Campbell, 1939). Le processus serait d'ailleurs exacerbé à la suite d'épisodes de sécheresse répétés.

LES CHAMPIGNONS SAPROPHYTES

Les champignons de carie sont omniprésents dans le bois mort et les souches pourries. Leurs spores se propagent à l'automne et s'immiscent dans les blessures, les nœuds et les moindres fissures de l'écorce des arbres vivants. Certains champignons opportunistes infectent les souches et se propagent ensuite à la base des rejets (Boulet, 2003).

La saison de coupe n'a pas d'effet sur l'incidence à long terme de la pourriture dans les rejets. Les gros arbres dont le pied était déjà infecté au moment de la coupe laissent des souches creuses qui se dégradent bien avant les autres avec un risque accru d'infection des rejets avant l'âge de 30 ans (Roth et Hepting, 1969).

Les rejets latéraux sont les plus sensibles, parce qu'ils partent dans le haut de la souche pourrie et le point d'ancrage s'affaiblit avant même que de nouvelles racines se développent avec le temps (figure 6). Le cœur des souches de fort diamètre se décompose et les rejets épousent le rebord de la cavité.

Une cicatrice de pied (Campbell 1938) désigne la plaie béante en forme d'ogive à la base d'un rejet du côté attenant à la souche disparue (Kramer et Kozlowski, 1960) (photo 5). Les rejets latéraux sont les plus sujets à développer une anomalie du pied (planche 1 e-f). Ces rejets ne sont pas viables et peuvent rompre à tout moment, même ceux dominant les autres. La carie de la souche se propage d'abord aux rejets latéraux au cours de la première décennie après la coupe et ces derniers sont les premiers à disparaître par autoéclaircie. Les rejets partant au ras du sol et plus petits que les premiers disparus prennent alors le relais. Ils sont solides, sains et mieux disposés à constituer le capital forestier du futur peuplement (Roth et Hepting, 1943;1969).

Avec le temps, d'autres défauts importants apparaissent dans les bouquets : fentes de pied, chicots, moignons et cavités au pied. Les rejets disparus laissent des chicots à la base des bouquets denses. Les moignons engendrent des cavités au pied des survivants (Campbell, 1938; Berry, 1982). La carie attribuable à *Cerrena unicolor* est le plus à craindre. On l'a dit, la carie se transmet à retardement aux rejets voisins dans les vieux bouquets d'érable rouge de plus de 30 ans (Campbell, 1939). Les rejets partant du pied sont solides, mais avec le temps ils deviennent à leur tour sujets à la pourriture lorsque la souche a atteint un stade avancé de décomposition. Rappelons que les rejets du pied sont issus de bourgeons dormants jadis interconnectés avec le cœur de l'arbre parent (Kramer et Kozlowski, 1960).

Bref, la carie se développe d'abord dans la souche et se propage ensuite aux rejets latéraux. Plus tard, les moignons accolés à la base des rejets de pied deviennent la principale source d'infection (Campbell, 1938; Berry, 1982). Seuls les rejets issus du collet réussissent à ériger des barrières naturelles de protection efficaces et à se développer convenablement. Les vieux rejets d'érable ou de chêne partant près du sol sont autonomes et exempts de carie, parce qu'ils ne sont pas connectés avec le cœur de la souche (Shigo, 1997; Roth et Hepting, 1943; Wilson, 1968).

Photo 5 — Cicatrice de pied (flèche) dans un bouquet d'érables rouges de plus de 40 ans et issus de rejets.

La sensibilité à la carie des rejets latéraux et des rejets de pied décroît selon les espèces dans l'ordre suivant : l'érable rouge, le bouleau à papier, le tilleul d'Amérique, le cerisier tardif, le frêne blanc et les chênes (Tubbs, 1978; Eyre et Zillgitt, 1953; Campbell, 1938).

Les rejets de pied chez les chênes et le cerisier tardif sont résistants parce que le cœur de la souche tarde à se décomposer laissant le temps aux rejets de générer des barrières de défense et bloquer les infections (Campbell, 1938).

La coloration du cœur des vieux rejets de frêne blanc touche seulement les 2 premiers mètres du tronc, alors qu'elle s'étend sur toute la longueur des tiges d'érable rouge (photo 8).

Le tilleul d'Amérique pourtant sensible à la carie produit aussi de nombreux rejets viables issus du collet. Le tilleul est le plus prolifique de tous les feuillus et c'est pourquoi il reste toujours assez de rejets du collet pour générer des bouquets de 2 à 4 arbres, distants l'un de l'autre, qui se développent pleinement jusqu'à la maturité (Johnson et Godman, 1983).

LES MESURES PRÉVENTIVES POUR MAÎTRISER L'ÉRABLE ROUGE

L'INTENSITÉ DE LA COUPE

La maîtrise des rejets d'érable rouge est possible si la coupe partielle ne cible que les arbres de 90 ans ou plus (Solomon et Blum, 1967) ou dont le diamètre de la souche est supérieur à 50 cm (figure 5; photo 17). Néanmoins, cette situation est plutôt marginale sous nos conditions et ce type d'intervention est rarement applicable, car l'érable rouge, d'âges variés, occupe souvent tous les étages du couvert.

Dans les jeunes peuplements, la densité du couvert après une coupe partielle n'a pas vraiment d'effet sur la hauteur des rejets d'érable rouge âgés de 2 ans, et qui poussent bien à l'ombre, rappelons-le (Solomon et Blum, 1967). Les coupes partielles, même celles de faible intensité, sont inefficaces pour maîtriser la poussée de rejets d'érable rouge dans les forêts de feuillus tolérants établies sur un site mésique (Atwood *et al.*, 2009).

Les coupes partielles de faible intensité sont tout aussi inappropriées pour régénérer le chêne rouge ou le bouleau jaune, parce que la lumière est insuffisante pour stimuler la croissance des rejets, des semis et des gaules. Les rejets d'érable rouge croissent en touffes denses après une coupe partielle et la situation est encore pire après une coupe de forte intensité. La coupe totale de peuplements composés d'une forte proportion d'érables rouges crée un taillis dense et mono-spécifique, empêchant les autres espèces de s'installer et croître même si les semis étaient déjà établis sous le couvert avant la coupe (Fournier *et al.*, 1977).

LA SAISON DE COUPE

Le sylviculteur peut difficilement maîtriser les rejets d'érable rouge en modulant seulement l'intensité de la coupe. Or, les fluctuations saisonnières de la repousse végétative revêtent une importance considérable sur le plan sylvicole. Les efforts consentis en été afin de maîtriser les espèces indésirables sont profitables, parce que la croissance des rejets et des drageons est moins vigoureuse qu'au printemps et en automne.

Maîtriser en été l'érable rouge de l'étage inférieur du couvert permet à la régénération d'essences à promouvoir de s'établir pendant les quelques années précédant la coupe partielle des arbres du couvert (Kramer et Kozlowski, 1960). Le but est d'éviter que cette essence envahissante domine le peuplement après coupe. En misant sur la régénération préétablie, les gaules d'érable à sucre, de chêne rouge et de bouleau jaune ont ainsi de meilleures chances de devancer la concurrence des rejets d'érable rouge avec une ouverture partielle du couvert forestier dont l'intensité varie en fonction de la tolérance à l'ombre des essences à promouvoir.

UNE INTERVENTION PAR ÉTAPES

La maîtrise des rejets en sous-étage est une première étape nécessaire dans les forêts où l'érable rouge est omniprésent dans la régénération et les étages subordonnés du couvert. En négligeant de prendre ces précautions, les érables rouges conserveront leur avantage initial après la coupe partielle, en survivant en plus grand nombre et en poussant plus vite en hauteur que les autres espèces à promouvoir (Fei et Steiner, 2009; Ward et Stephens, 1993).

L'AMÉNAGEMENT DES TAILLIS ET DES FUTAIES SUR SOUCHES

Le taillis est un boisé de seconde venue, régénéré naturellement par les drageons et les rejets de souche. Comme il est issu d'une coupe totale, les tiges ont le même âge, même si avec le temps, elles se différencient en hauteur et en diamètre. Le taillis d'érable rouge peut aussi renfermer des drageons de peuplier, d'autres feuillus et parfois quelques conifères, comme le pin blanc.

Le rendement des interventions effectuées dans les taillis dépend de l'âge des rejets, de la composition en essences et de la fertilité du sol. L'éclaircie pré-commerciale convient aux taillis constitués surtout de gaules et de jeunes perches. Les expériences hors Québec ont montré que l'éclaircie systématique, l'éclaircie sélective individuelle et la coupe partielle avec enrichissement sont plus appropriées pour traiter les taillis d'érable rouge abandonnés depuis plusieurs décennies et devenus des futaies sur souches.

L'ÉCLAIRCIE DES TAILLIS

L'éclaircie pré-commerciale par puits de lumière stimule la croissance des jeunes boisés bien stockés et issus surtout de semis. Ce traitement peut aussi s'appliquer aux taillis de feuillus, mais dans ce cas, l'éclaircissage (ou le balivage) consiste à enlever les rejets en trop dans les bouquets (photo 6). L'opération vise à ne laisser que ceux les plus prometteurs (les baliveaux) pour conduire le taillis vers la futaie sur souches. Les bouquets de chêne rouge et de cerisier tardif se prêtent bien à ce type d'éclaircie hâtive, car les rejets partant du collet réagissent promptement et sont durables. Rappelons qu'il faut agir sans tarder, parce que le chêne rouge et le chêne blanc affichent les plus fortes baisses de capacité à concurrencer les arbres voisins après seulement 10 ans (Weigel et Peng, 2002).

Dans le cas de l'érable rouge, les interventions les plus prometteuses sont réalisées en priorité sur les sites les plus fertiles où les bouquets d'érable poussent avec d'autres feuillus tolérants. Le sylviculteur peut ainsi améliorer la composition du futur peuplement, compter sur une repousse de rejets vigoureux, et le cas échéant, sur une cicatrisation rapide des blessures de pied et des nœuds.

La croissance des cépées d'érable rouge est rapide aux stades gaulis et jeune perchis. Pour se situer dans le temps, le diamètre moyen à hauteur de poitrine (dhp) des rejets et la hauteur totale moyenne sont de 5,3 cm et 6,6 m après 8 ans, atteignant 8 cm et 9,5 m, 12 ans après la coupe (Lamson, 1976). Par ailleurs, le couvert se ferme vers l'âge de 9 à 12 ans, lorsque la dominance des rejets les plus vigoureux s'exprime clairement (Wendel, 1975; Walters et Yawney, 1990).

Idéalement, il faut éclaircir avant que les tiges dominantes ne deviennent des perches de 15 cm ou plus de diamètre à hauteur de poitrine (Stroempl, 1983). Sinon, les rejets trop nombreux se fusionnent à la base en grandissant, ce qui restreint le choix des meilleures tiges à dégager (figure 7, photo 15).

Photo 6 — Rejets d'érable rouge âgés de 10 ans aptes à un éclaircissage (X) pour dégager les tiges d'avenir (Ta) distantes l'une de l'autre (tirée de Wendel, 1975).

En se fusionnant à la base, les rejets dont le dhp est supérieur à 15 cm ne peuvent être éclaircies sans engendrer de cicatrices au pied. Si les bouquets d'érable rouge sont laissés à eux-mêmes, l'autoéclaircie engendre des moignons et la carie se propage à tous les rejets dominants (Johnson et Godman, 1983).

La fenêtre temporelle idéale pour éclaircir les taillis d'érables rouges se situe donc de 10 à 20 ans après la coupe selon la qualité de la station, car il est plus facile de choisir les meilleures tiges bien conformées (Campbell, 1938; Tubbs, 1978; Berry, 1982). Les arbres en bouquet sont alors formés de tiges dominantes de 8 cm ou plus de diamètre et la hauteur moyenne varie de 8 à 12 m selon l'essence et la qualité de la station.

DES OBJECTIFS DE PRODUCTION RÉALISTES

L'éclaircissage des jeunes peuplements vise à dégager le houppier des rejets qui offrent les meilleures chances de produire du bois de sciage ou encore, d'atteindre le plus vite possible le diamètre minimal requis pour entailler les érables. En principe, le martelage positif consiste à repérer et marquer les tiges à dégager par puits de lumière. Elles sont réparties le plus uniformément possible, afin d'obtenir le plein boisement dans le peuplement final. Par exemple, dégager un arbre d'avenir tous les 6 m environ permet d'obtenir de 250 à 300 tiges / ha qui se développeront jusqu'à la maturité (tableau 4).

Tableau 4 — Tiges d'avenir à dégager selon l'origine et le stade de développement des essences à promouvoir.

Espacement moyen (m)	Tiges d'avenir (nombre/ha)	Origine	Stade de développement	Essences à promouvoir	Références
5 x 5	400	Semis	Gaulis	Bop	Guillemette *et al.*, 2016
5,75 x 5,75	300	Semis Rejets	Gaulis	Bop	Guillemette *et al.*, 2016
6,3 x 6,3	250	Semis	Gaulis	Ers — Boj	Guillemette *et al.*, 2016 Lamson, 1989
7 x 7	200	Rejets	Gaulis	Ers — Boj Chr — Cet — Err — Fra	Smith et Lamson, 1986 Erdmann *et al.*, 1985
8 x 8	150	Semis Rejets	Jeune futaie Gaulis	Err Chr — Cet — Err — Fra	Strong *et al.*, 2006 Smith et Lamson, 1986
9 x 9	125	Semis Rejets	Gaulis	Ers — Boj Chr — Cet — Err — Fra	Guillemette *et al.*, 2016 Smith et Lamson, 1986

Bop : bouleau à papier; Boj : bouleau jaune; Ers : érable à sucre; Err : érable rouge; Chr : chêne rouge; Cet : cerisier tardif; Fra : frêne blanc.

Dans le cas d'un taillis d'érable rouge, le défi sur le terrain consiste à marquer le meilleur rejet comportant le minimum de risque de blessures découlant de l'éclaircissage des rejets concurrents. Pour y arriver, il faut créer un puits de lumière en coupant toutes les tiges concurrentes dans un rayon de 0,75 à 1 m au pourtour du houppier de la tige à conserver (Guillemette *et al.*, 2016)(photos 6 et 13).

Le jugement du marteleur est crucial dans le choix des rejets à dégager. Un exemple concret est celui où il y a deux rejets proches l'un de l'autre et qu'on ne peut en couper un sans endommager l'autre à conserver. Dans ce cas, il faut dégager le pourtour des houppiers comme s'il s'agissait d'un seul arbre. Ce choix convient lorsque la plupart des arbres sont issus de rejets. Johnson (1975) a estimé que de 75 à 100 cépées de chêne rouge à l'hectare correspondent à près de 30 % du volume d'un peuplement à l'âge de 20 ans. De plus, conserver deux des meilleures tiges d'un bouquet procure l'ombrage suffisant pour prévenir les dégâts d'insolation et maîtriser les pousses adventives sur le tronc des tiges dégagées (Stroempl, 1983). Heureusement, l'érable rouge en produit moins que d'autres feuillus nordiques, après l'ouverture du couvert forestier (tableau 5).

Tableau 5 — Propension naturelle des essences à produire des pousses épicormiques sur le tronc après une éclaircie (adapté de Trimble et Seegrist, 1973).

Très grande	Grande	Moyenne	Faible
Chêne blanc	Tilleul d'Amérique	Érable à sucre	Frêne blanc
Chêne rouge	Cerisier tardif	Érable rouge	Érable rouge[a]
Peuplier hybride[a]	Bouleau jaune[a]	Hêtre à grandes feuilles	Frêne rouge[a]
Chêne bicolore[a]	Ostryer de Virginie[a]	Caryers	Orme d'Amérique[a]
Chêne à gros fruits[a]	Érable argenté[a]	Bouleau à papier[a]	Peupliers[a]
	Frêne noir[a]		

a. MFFP, 2013

Le sylviculteur doit retenir qu'un bouquet dense d'érable rouge de 7 à 8 m de hauteur occupe un espace de 4 à 5 m de diamètre (Fei et Steiner, 2009). L'espace vital d'un bouquet d'érable rouge est plus grand que celui d'un arbre issu de semis (encart 1). La coupe d'un bouquet de rejets multiples d'érable rouge de 7 à 8 m de hauteur crée une ouverture 12,5 à 19,6 m^2, profitant aux arbres dominants situés en périphérie. La trouée devient alors improductive pour un certain temps, si l'enrichissement de feuillus nobles n'a pas été envisagé.

Viser le plein boisement est souvent irréalisable dans les érablières à érable rouge issues de rejets, car le nombre de tiges convenables à l'hectare peut s'avérer insuffisant, surtout si l'intervention est réalisée au stade de jeune futaie sur souches. Il est encore plus difficile de les répartir uniformément, puisque les bons arbres ne sont pas toujours situés à l'endroit voulu et le retrait d'un seul érable rouge à tiges multiples crée une trouée importante.

1 L'ESPACE VITAL D'UN ARBRE D'AVENIR EN FORÊT

L'espace vital est l'étendue libre autour d'un arbre et disponible à son développement. Un arbre possède un espace vital qui varie selon l'espèce. Le houppier d'un bouleau à papier poussant en forêt a un diamètre moyen de 10 m (78,5 m^2), alors que celui d'un bouleau jaune est d'environ 15 m (176,6 m^2). Un bouleau jaune occupe 2,25 fois plus d'espace qu'un bouleau à papier.

Le sylviculteur peut espérer obtenir le plein boisement à maturité en favorisant la croissance de 300 à 400 jeunes bouleaux à papier à l'hectare, alors que de 200 à 250 bouleaux jaunes suffisent à obtenir le même résultat (tableau 4). En prévision d'un dégagement par puits de lumière, la tâche du marteleur consiste à sélectionner au préalable les meilleurs sujets à dégager afin que chacun puisse bénéficier de l'espace vital nécessaire à son plein développement dans le couvert forestier.

Le dégagement des arbres dans un vieux taillis peut donner une production plus modeste qu'un jeune boisé issu de semis. Dégager 250 à 300 rejets d'érables rouges à l'hectare peut s'avérer difficile, sachant que bon nombre de tiges disponibles sont défectueuses. C'est pourquoi recourir à un enrichissement d'essences nobles peut s'avérer nécessaire afin de combler les secteurs improductifs générés par la coupe des bouquets en perdition. L'enrichissement par trouées devient incontournable dans les futaies sur souches puisque le nombre d'érables rouges en perdition augmente avec l'âge.

Le coût des opérations pour libérer les tiges d'avenir dépend de plusieurs facteurs, mais les efforts consentis à la sélection judicieuse des meilleurs rejets sont déterminants.

Le défi est encore plus grand sur les sites où les conditions de croissance sont suboptimales. Par exemple, sur les sites sableux, pauvres en éléments nutritifs et exposés à la sécheresse, un large espacement des arbres est approprié même si cette décision provoque l'émergence de pousses épicormiques et la dépréciation de la qualité du bois chez plusieurs essences feuillues (tableau 5). Par exemple, il y a souvent moins de 125 tiges / ha renfermant du bois de sciage dans les peuplements de chênes issus de rejets et parvenus à maturité, vu la mauvaise qualité des tiges en général (Smith et Lamson, 1986). L'enrichissement avec des pins blancs , des chênes rouges et des chênes blancs s'avère approprié dans ce cas (B. Truax, comm. pers.).

UNE PRESCRIPTION SYLVICOLE ADAPTÉE

Pour formuler la prescription sylvicole, l'ingénieur forestier doit au préalable réaliser l'inventaire diagnostique pendant la période de feuillaison afin d'évaluer la vigueur révélée grâce au taux de cime vivante (TCV) des arbres. Quelques parcelles temporaires suffisent pour trouver des réponses précises aux questions que soulève une telle intervention. Par exemple, noter la présence d'espèces envahissantes comme les nerpruns et recueillir des indications de base sur la fertilité du site sont utiles pour évaluer la pertinence de faire l'éclaircie et le cas échéant, de procéder à un enrichissement avec des essences nobles adaptées aux conditions du site (B. Truax, comm. pers). L'envahissement des nerpruns peut en effet annihiler tout effort de restauration (Hamelin *et al.*, 2016).

Les données d'inventaire servent à fixer le nombre de tiges à dégager à l'hectare selon l'âge des arbres, leur état de santé et la composition forestière d'une part et d'autre part, à déterminer l'espacement moyen convenant le mieux à une répartition uniforme des meilleurs arbres à dégager dans un taillis (tableau 4). L'inclusion de tiges d'érable rouge de l'étage intermédiaire dont le TCV est supérieur à 40 % est envisageable afin d'augmenter le nombre de tiges de qualité convenable (Erdmann et al, 1985; Guillemette *et al.*, 2016). La taille de formation visant à éliminer les doubles têtes à 2,5 m ou moins de hauteur à l'aide d'un sécateur pourrait s'avérer tout aussi utile, afin d'augmenter le nombre de tiges d'avenir à l'hectare.

Un inventaire permet aussi de repérer, et éventuellement, de délimiter les secteurs les moins bien garnis en tiges d'avenir en vue d'établir des trouées élargies. L'enrichissement de feuillus nobles, comme l'érable à sucre, le noyer noir, les caryers est l'avenue à privilégier dans les taillis d'érable rouge où le nombre de tiges de qualité convenable s'avère insuffisant, en autant que le sol soit fertile et bien drainé. Un mauvais drainage restreint beaucoup le choix des feuillus nobles à planter et les rendements sont peu encourageants (Truax *et al.*, 2018). L'enrichissement avec du pin blanc n'est d'ailleurs pas recommandé dans les sites mal drainés et envahis de gadelliers, en raison des risques élevés d'infection par la rouille vésiculeuse du pin blanc.

LE MARTELAGE DES TIGES D'AVENIR

Les rejets à dégager sont choisis et marqués pendant la saison de végétation, parce qu'il est facile d'évaluer l'état des houppiers. Par contre, réaliser la coupe tard en automne est à la fois rapide et pratique. La repousse sur les souches risque d'être vigoureuse le printemps suivant, mais elle n'est pas préoccupante dans les jeunes boisés denses (Wilson, 1968). Le sylviculteur peut s'attendre à ce que la repousse dans les larges trouées comble l'espace libéré après la coupe (Fei et Steiner, 2009).

Les jeunes peupliers faux-trembles croissent plus vite que les rejets de feuillus tolérants et pourraient à moyen terme dominer le couvert et annihiler le gain de croissance des tiges d'avenir (Marquis, 1969; Walters et Yawney, 1990). Avant qu'ils nuisent, il est préférable de les couper dans un rayon de 2 m autour du houppier des arbres marqués pour rester (photo 7). Attendre à plus tard serait une erreur, parce qu'il ne sera plus possible de les récupérer sans endommager les arbres sélectionnés.

Le choix des meilleurs rejets s'appuie sur des critères simples en respectant le plus possible un ordre de priorité précis.

1. Dégager d'abord les tiges uniques d'érable issues de semis ou de semis-rejets, même si elles font partie de l'étage intermédiaire du couvert; la consigne est aussi valable pour les feuillus nobles et les pins blancs habituellement peu nombreux dans les taillis d'érable rouge.

2. Conserver un rejet issu du collet au détriment de ceux souvent plus gros partant de l'arête de la souche ou à 15 cm ou plus de hauteur (Roth et Hepting, 1943; Eyre et Zillgitt, 1953; Smith et Lamson, 1986) (planche 1 a, b, c).

3. Conserver le rejet partant d'une souche de petit diamètre au détriment de ceux issus d'une grosse souche (Berry, 1982)(planche 1 c, d). Sur ce point, il n'y a pas de règles strictes sur le diamètre maximal de la souche, car il varie selon la sensibilité des essences à la carie (Eyre et Zillgitt, 1953). Les rejets de tilleul, de bouleau blanc et d'érable rouge sur les souches de moins de 15 cm de diamètre sont préférables, car la cicatrice de pied doit refermer le plus vite possible (Campbell, 1938; Berry, 1982). Les rejets de chêne, de frêne et de cerisier tardif sur les souches de 25 cm ou moins de diamètre sont de belle venue, si la croissance est assez rapide pour cicatriser la blessure de pied avant l'âge de 35 ans (Campbell, 1938).

4. Conserver un rejet isolé dont la cicatrice de pied est inférieure à une face sur les souches de 15 à 25 cm de diamètre au détriment de ceux poussant sur des souches plus grosses souvent dégradées (Berry, 1982)(planche 1 f). Ces tiges représentent un faible danger d'infection à long terme selon l'essence et la largeur de la cicatrice de pied. L'important n'est pas la taille de la souche, mais le temps requis pour cicatriser la blessure au pied du rejet choisi (Campbell, 1938; Eyre et Zillgitt, 1953). Si la cicatrice de pied est supérieure à une face, elle restera ouverte en permanence et l'arbre risque de rompre avant d'atteindre le diamètre minimal requis pour l'entaillage ou la production de bois d'œuvre (Boulet, 2015).

Photo 7 — Martelage d'un peuplier faux-tremble pour dégager le houppier d'un bouleau à papier (tirée de Marquis, 1969).

5. Conserver un ou deux rejets isolés, distants l'un de l'autre et issus de souches de plus de 25 cm de diamètre, mais dont la cicatrice de pied correspond à une face ou moins (planche 1 e).

Le meilleur rejet issu du collet n'est pas forcément dominant : il est droit, sans branche fourchue ni double tête ni coude ni chicot dressé ni baïonnette avec seulement de petites branches latérales et des petits nœuds (Shigo, 1965a). Au stade de jeune futaie, les nœuds mal cicatrisés sur le tronc des érables rouges en bouquet sont plus dégradants que les cicatrices de pied (Shigo, 1965b). Un rejet dominant de frêne, de cerisier tardif et de chêne issu d'une grosse souche offre néanmoins un bon potentiel de croissance, même si la base de l'arbre est défectueuse (Campbell, 1938).

L'ÉCLAIRCIE DES FUTAIES SUR SOUCHES

L'éclaircie dans les vieux taillis de plus 25 ans représente un défi de taille afin de produire du bois d'œuvre surtout chez les feuillus sensibles à la carie du pied et à la coloration du cœur, comme chez l'érable rouge. L'éclaircie commerciale conventionnelle est inappropriée puisqu'il n'est généralement pas possible de sélectionner de 250 à 300 tiges d'avenir à l'hectare.

L'éclaircie sélective individuelle par puits de lumière consiste à favoriser seulement les arbres les plus aptes à constituer le peuplement final, quelque soit l'étage du couvert où ils se trouvent. Cette opération devrait néanmoins permettre de dégager au moins 125 tiges / ha dans les futaies sur souches d'érable (tableau 4). Le sylviculteur peut ainsi accroître le diamètre des meilleures tiges, récolter un peu de bois de chauffage et le cas échéant, un certain volume de bois d'œuvre lors d'une éclaircie ultérieure. Ce type d'intervention légère peut toutefois s'avérer non rentable.

Le sylviculteur devrait aussi envisager une coupe partielle de plus forte intensité dans l'éventualité où les vieux bouquets d'érable affichent pour la plupart des signes ou des symptômes de pourriture du cœur et que le nombre de tiges d'avenir de qualité acceptable est insuffisant (< 250 tiges / ha). Dans ce cas particulier, la coupe des bouquets en perdition commande un enrichissement de feuillus nobles et de pins blancs dans des trouées élargies. L'enrichissement dans des trouées de 110 m^2 (6 m de rayon) est une méthode éprouvée pour l'établissement et la croissance de plants d'essences nobles (Truax *et al.*, 2018).

L'ENRICHISSEMENT D'ESSENCES NOBLES

La mise en valeur des futaies sur souches requiert un enrichissement en raison de la piètre qualité des tiges en général (Boyce, 1961). La plantation de pins blancs et de feuillus nobles, comme les chênes, les caryers, le noyer noir, le cerisier tardif et l'érable à sucre, est profitable à long terme. Par exemple, l'expérience d'enrichissement réalisée à St-Benoît du Lac (région des Cantons de l'Est) a montré une production moyenne 150 m^3/ha avec un taux de survie de 97 % après 18 ans pour le chêne rouge planté dans une forêt dégradée dominée par le peuplier faux-tremble (Truax *et al.*, 2015; 2016).

Les plants profitent du couvert partiel et de l'ombrage latéral des arbres voisins. En fait, le puits de lumière force le plant à pousser en hauteur, de sorte qu'il exige le minimum de soins, comme la taille de formation et l'élagage, pour produire une tige de bonne qualité.

Soulignons toutefois que les rejets d'érable rouge après coupe attirent les cerfs de Virginie (encart 2). L'enrichissement avec des feuillus nobles et du pin blanc prend alors toute son importance, mais il nécessite des mesures de protection qui sont efficaces et peu coûteuses, contrairement aux idées reçues.

La seule protection vraiment nécessaire est le manchon forestier (type K) une fois l'éclaircie effectuée (Truax *et al.*, 2018). Le manchon de protection est nécessaire, le temps que les gaules atteignent une hauteur suffisante (de 5 à 10 ans) pour leur permettre de croître librement (Marquis *et al.*, 1992; Truax *et al.*, 2018). Un protecteur spiralé placé à la base du tronc peut s'avérer utile afin de prévenir les dégâts de rongeurs, jusqu'à ce que le diamètre au collet atteigne environ 10 cm (Fortin, 2016). Il faut parfois craindre les blessures que les cerfs mâles infligent localement aux arbres avec leur panache. Le pin blanc, le tilleul d'Amérique et le chêne rouge sont les plus sensibles (Fortin, 2016).

2 L'ATTRAIT DE L'ÉRABLE ROUGE POUR LES GRANDS MAMMIFÈRES

L'orignal (*Alces alces*) broute les ramilles d'érable rouge bien que ce ne soit pas sa nourriture préférée (Parker et Morton, 1978). Le broutage de l'érable rouge est néanmoins intense et les dégâts sont importants surtout dans les aires d'hivernage.

Le cerf de Virginie (*Odocoileus virginianus*) préfère se nourrir de l'érable à épis, du bouleau jaune et du sorbier des oiseaux. Il est enclin à délaisser l'érable rouge et le hêtre à grandes feuilles, parce que les bourgeons et les pousses sont peu digestes en raison des tanins, et qu'ils ont une faible valeur nutritive surtout en hiver (Hughes et Fahey 1991; Abell et Gilbert, 1974).

Par contre, les cerfs métabolisent 46,5 % en poids sec les feuilles et les ramilles de rejets d'érable rouge ingérées en automne (Pekins et Mautz, 1989). En proportion du poids ingéré, les ramilles d'érable rouge représentent 11 % de la diète estivale des cerfs, et les rejets ont une plus grande valeur nutritive que les semis (Pekins et Mautz, 1989).

Néanmoins, les jeunes pousses succulentes d'érable rouge peuvent être détruites en partie ou en totalité dans les zones à forte densité de population de cerfs de Virginie (Marquis *et al.*, 1992).

LES BOUQUETS EN PERDITION

Le problème du cœur noir dans les futaies sur souches d'érable rouge annihile tout espoir de produire du bois d'œuvre de qualité (MFFP, 2013); il compromet aussi la production soutenue de sirop d'érable surtout chez les arbres dont la croissance en diamètre est faible (photo 8). Le cœur rouge dans les vieux rejets de bouleau blanc réduit tout autant la valeur du bois d'œuvre (Campbell, 1938). Dans les bouquets où les tiges dominantes sont commercialisables (dhp > 10 cm), l'éclaircie des tiges en surplus devient difficile à réaliser sans créer de blessures au pied des arbres à conserver. Le trait de scie mécanique dans l'aubier peut créer un point de faiblesse entraînant le bris de la tige dégagée, quelques années plus tard. Sinon, les blessures de coupe engendrent la coloration du cœur et la carie du bois à brève échéance.

De plus, les bouquets denses d'érable rouge de plus de 40 ans sont constitués d'une forte proportion de tiges qui ont tardé à s'éclaircir et par conséquent, elles sont défectueuses et encore trop nombreuses (photos 5 et 16). Les défauts externes et internes les plus courants sont énumérés ci-après par ordre d'importance des effets débilitants menaçant leur avenir (codes de défauts selon Boulet, 2015).

DÉFAUTS EXTERNES

- Carie chanceuse du tronc (SP09A, SP09X, NC01E) et nœuds pourris (EN02E) en raison de la forte densité des bouquets d'érable rouge surtout.
- Chancre en cible sur le tronc (NC07X, NC07E, NC07A).
- Champignons de carie du pied (SP01X, SP12S, SP12X).
- Branche(s) morte(s) dans le houppier des bouquets denses (HP02S, HP04X).
- Coude accompagné d'un trou ou d'un chicot de branche inséré à angle aigu sur la tige (DB09A, DB09E).
- Cicatrice de pied avec un chicot, un moignon ou de la pourriture touchant la tige sur deux faces ou moins de largeur (PR02X, PR02E, PR03X, PR03E, PR03A).
- Fente touchant la zone du pied, partant d'une fourche en V située sous le dhp (FE16X, FE16E et FE16A).
- Courbure prononcée à la base de la tige (DB10X).
- Fourche en V à l'origine d'un double tronc ou d'une double tête.
- Blessures de cervidés qui établissent souvent leurs quartiers d'hiver dans les taillis denses (DB06E, DB06X, DB06A).

DÉFAUTS INTERNES

- Coloration du cœur touchant le tronc de l'érable rouge sur toute la longueur (photo 8).
- Carie blanche spongieuse du pied touchant l'aubier sur les 2 premiers mètres du tronc et révélée par la présence de champignons (SP01X, SP05X, SP14X, SP13X, SP20X)(photo 4).

Photo 8 — La coloration brune ou noirâtre envahit le bois de cœur d'érable rouge qui est alors prédisposé à la carie.

LE MARTELAGE POSITIF DES ARBRES D'AVENIR

Les recommandations suivantes visent à choisir et dégager les meilleurs arbres à conserver dans les futaies sur souches d'érable rouge, tout en gardant à l'esprit que l'intervention ne peut redonner aux arbres les qualités requises à la production du bois haut de gamme. L'essentiel des consignes suivantes est résumé dans l'encart 3 :

- Les tiges droites sans bifurcation, ni fourche, ni nœud pourri sont les meilleurs sujets; la consigne est valable pour tous les feuillus y compris l'érable rouge; une taille de formation peut s'avérer utile afin d'élaguer les longues branches basses, les rejets tardifs ou d'enlever une fourche compromettante sur le tronc et dont le diamètre à la base est inférieur à 10 cm. Les branches de moins de 10 cm de diamètre et coupées à ras le tronc sont sans danger d'infection (Campbell, 1938; Boulet, 2015).
- Les rejets tardifs (< 1 face) partant du collet ou à moins de 15 cm de hauteur peuvent être éliminés sans risque, parce qu'ils ne sont pas connectés au bois de cœur (Shigo, 1997; Stroempl, 1983; Roth et Hepting, 1943; Wilson, 1968)(planche 2 a).
- Les rejets tardifs (< 1 face) partant à 15 cm ou plus de hauteur et à 10 cm ou plus de diamètre sont conservés intacts parce que la coupe engendre la carie dans la tige principale (photo 11).
- Les chicots de tous diamètres sont coupés sans laisser de moignon afin de favoriser leur cicatrisation.
- Les tiges de 10 cm ou plus de diamètre à la base et manifestement issues d'un semi-rejet (figure 4) sont dégagées en priorité, car elles sont les plus aptes à produire des tiges d'avenir de qualité (Berry, 1982).
- La tige dominante d'un bouquet est choisie si aucune autre de même diamètre ne vient se fusionner à la base. Dans ce cas, la coupe de tous les autres rejets est sans danger d'infection pour la tige sélectionnée (Smith et Lamson, 1986)(planche 2 b).
- Les rejets de qualité espacés et formant une fourche en U, à 15 cm ou plus de hauteur sont conservés comme un seul arbre (figure 8); les tiges sont connectées par le cœur et la coupe de l'un risquerait de dégrader l'autre avec le temps.
- La tige isolée ou celle partant du collet ou à moins de 15 cm de hauteur à partir de la plus haute racine est conservée au détriment des autres rejets (Smith et Lamson, 1986) (photos 9 et 10).
- Les bouquets de 2 ou 3 arbres bifurquant à la base à 15 cm ou plus de hauteur avec une fourche en V doivent être dégagés comme un seul arbre si au moins une tige vigoureuse et sans défaut débilitant domine les autres (Smith et Lamson, 1986)(planche 2 c).
- Les tiges multiples dont les dominantes bifurquent en forme de U à la base, en dessous de 15 cm de hauteur, devraient aussi être éclaircies, afin de conserver la meilleure tige (Berry, 1982; Smith et Lamson, 1986) (planche 2 d).
- Sur les sites en pente, il faut choisir la tige la plus droite possible située en amont (Smith et Lamson, 1986). Cette mesure est aussi valable pour les jeunes bouquets (planche 1 h).
- Dans les endroits venteux ou en lisière d'un bois, le rejet de pied ou du collet face au vent dominant est le plus résistant (planche 1 g). Par précaution, on peut conserver 2 tiges viables plutôt qu'une, dans le cas d'un jeune bouquet.

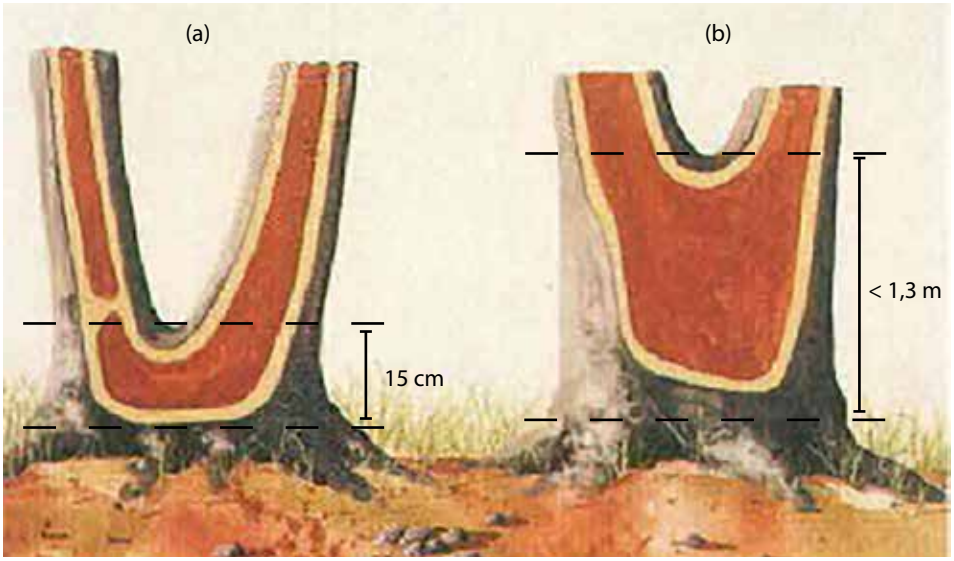


Figure 8 — Bifurcation en U de tiges jumelles illustrant la connexion du bois de cœur en fonction de la hauteur de la fourche : connexion du bois de cœur d'un bouquet (a) partant à 15 cm ou plus au-dessus du centre de la plus haute racine; (b) partant du tronc à moins de 1,3 m de hauteur (< dhp) (adapté de Berry, 1982).

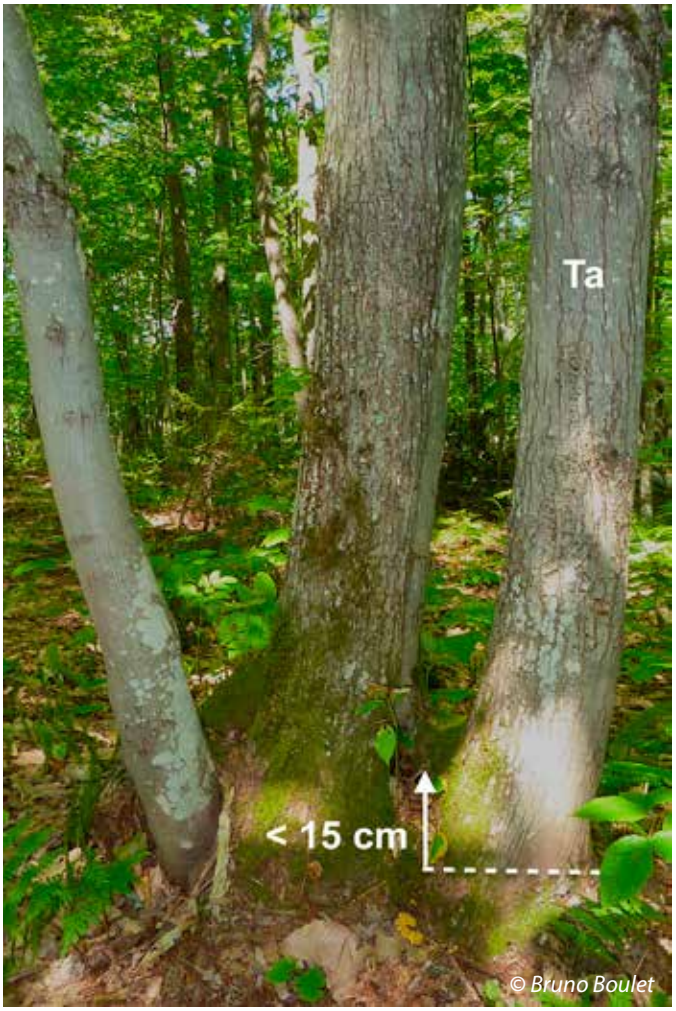


Photo 9 — Bouquet de trois érables rouges aptes à une éclaircie.

Photo 10 — Bouquet de trois érables rouges dont on a conservé qu'une seule tige issue du collet et isolée des autres (Ta) (tirée de Marquis, 1969)

3 LA RÈGLE DU 15-15-10

Le choix des tiges d'avenir les plus prometteuses dans les bouquets d'érable rouge se résume à trois règles simples à appliquer :

A Sélectionner en priorité une tige d'avenir bifurquant à moins de 15 cm de hauteur à partir de la plus haute racine de l'arbre à conserver (photos 9, 10, 12);

B Sélectionner en priorité une tige d'avenir partant d'une souche de moins de 15 cm de diamètre (planche 1c);

C Éliminer sans risque les tiges de moins de 10 cm de diamètre à la base sans laisser de moignons (planche 2a).

LE MARTELAGE NÉGATIF DES ARBRES EN PERDITION

Les recommandations suivantes s'appliquent au repérage des bouquets en perdition à couper en priorité, afin de favoriser la relève naturellement établie ou la croissance rapide de plants de feuillus nobles et de pins blancs mis en terre dans les trouées créées après la coupe :

- Les bouquets d'érable rouge infectés par les champignons *Cerrena unicolor, Trametes versicolor, Trichaptum pargamenum,* et *Kretzsmaria deusta* (codes SP01X, SP12X, SP12S, SP20X dans Boulet, 2015) sont abattus afin de favoriser la plantation d'autres essences compagnes mieux adaptées aux conditions du sol.
- Les bouquets d'érable rouge dont les tiges dominantes sont dépérissantes (HP02S, HP04X) n'ont aucun avenir, parce que les racines sont infectées par le pourridié-agaric.
- Les tiges porteuses de chancres (NC01E, NC07S, NC07E, NC07A) ou de nœuds infectés (SP09A, SP09X, EN02E) doivent être récupérées, car elles sont infectieuses, victimes de la carie du tronc et à moyen terme, elles menacent de rompre (Boulet, 2015).
- Les arbres en bouquet porteurs d'un moignon ou d'un gros chicot pourri à la base ou encore, ceux qui ont déjà fait l'objet d'une coupe d'éclaircie tardive et porteurs de vieilles cicatrices sont défectueux (PR02E, PR03E, PR03A) ou susceptibles de le devenir (photo 11). La seule option est de les récupérer en bois de chauffage ou en bois à pâte, à brève échéance (Boyce, 1961).

LE CAS DES TIGES JUMELLES

Les tiges jumelles chez les conifères ne sont pas issues de rejets, car aucun conifère dans l'est de l'Amérique du Nord n'en produit. Il s'agit plutôt d'un plant dont la tête a séché à la suite d'un choc de transplantation, par exemple, et dont les ramilles basses ont survécu en se redressant pour générer les tiges jumelles. Dans le cas des conifères la règle est simple : ne jamais laisser qu'une seule tige. Les tiges jumelles de conifères de tous diamètres sont coupées si elles nuisent ou laissées en place si il n'y a rien d'autre de mieux pour occuper l'espace.

Les tiges jumelles posent un problème chez les feuillus, puisqu'aucune méthode cohérente n'est appliquée lors des éclaircies. Les tiges jumelles ne sont pas forcément issues de rejets, mais il faut agir tout comme si c'était le cas. Chez l'érable rouge et les chênes, les tiges jumelles de même diamètre sont souvent issues de rejets dominants partant d'une petite souche et bifurquant en dessous du dhp (figures 7). La situation est différente chez le bouleau jaune : il s'agit plutôt de semis qui ont poussé sur une souche pourrie.

Les tiges jumelles sont conservées intactes si la fourche se situe à 15 cm ou plus de hauteur sinon, il faut couper les deux (Berry, 1982; Smith et Lamson, 1986; MRNO, 1998). Laisser une seule tige est la pire chose à faire chez les arbres à double tronc, en raison de la carie qui menace d'envahir le cœur avant que la blessure ne cicatrise (figure 8; planche 2 c; photo 11).

Par contre, le risque de dégradation est réduit si les tiges jumelles partent du collet ou à moins de 15 cm de hauteur à partir de la plus haute racine de la tige à conserver (Berry, 1982). On peut alors conserver la tige dominante et couper l'autre sans laisser de moignon (photo 12). Les directives touchant les tiges jumelles sont applicables aux feuillus de tous diamètres (encart 4).

Photo 11 — Moignon pourri (diamètre >10 cm) sur le tronc d'un érable rouge dont le cœur a été infecté par la carie après la coupe.

Photo 12 — Cicatrice de coupe ancienne d'une tige jumelle d'érable rouge, sans danger pour la tige restante.

4 UNE RÈGLE ÉTABLIE DEPUIS DES LUSTRES

On sait depuis longtemps que les feuillus coupés à ras le sol (photo 14) produisent des rejets de souche aptes à développer leur propre système racinaire et devenir des individus autonomes (Roth et Hepting, 1943). Au XVI[e] siècle, la réglementation dans le sud-ouest de l'Allemagne stipulait qu'il fallait couper les arbres à moins de 30 cm du sol afin de favoriser une repousse vigoureuse. Environ 120 ans plus tard, ce seuil était réduit à 15 cm (Bauer, 1979, cité dans Pyttel *et al.*, 2013). Les rejets partant du sol sont solides et peu susceptibles à une infection en provenance de la souche pourrie (Roth et Hepting, 1969; Wilson, 1968).

LES DIRECTIVES OPÉRATIONNELLES

L'éclaircissage des taillis et l'éclaircie des futaies sur souches exigent un savoir-faire non seulement pour sélectionner les meilleures tiges, mais aussi pour réduire le coût des travaux et les risques d'accident chez les ouvriers sylvicoles. La coupe des tiges excédentaires dans les taillis n'est réalisable qu'au moyen d'une scie mécanique, afin d'éviter de blesser les tiges à conserver. Une scie légère et maniable est appropriée surtout dans les taillis denses. Les éléments pratiques à considérer lors des opérations sont les suivants :

- La coupe de rejets issus de l'intérieur d'un bouquet dense parvenu au stade perchis ou de jeune futaie pourrait contrevenir aux règles d'usage et de sécurité à respecter pour éviter les accidents avec une scie mécanique. Le marteleur doit être conscient des difficultés auxquelles l'ouvrier sylvicole est exposé pour réaliser son travail. De plus, la coupe directionnelle des tiges à enlever n'est pas toujours facile à maîtriser obligeant l'opérateur à déposer sa scie et faire des manœuvres supplémentaires afin de disposer des tiges coupées et encombrantes.
- L'éclaircissage des bouquets peut se faire à l'automne après la chute des feuilles (photo 6). Il est ainsi plus facile de dégager les meilleures tiges et d'évaluer l'effet attendu et la qualité du travail réalisé (Smith et Lamson, 1986)(encart 5).
- L'éclaircissage peut aussi se faire en été avant l'aoûtement afin de réduire le nombre et la vigueur des rejets au cours des 2 saisons suivantes. Deux ou trois interventions successives pendant la même saison de croissance pour maîtriser les rejets n'ont pas plus d'effet qu'une seule coupe réalisée au moment opportun (Babeux et Mauffette, 1994). On l'a dit, la coupe effectuée en période de sécheresse estivale donne d'excellents résultats afin de maîtriser la repousse d'essences indésirables.
- L'éclaircissage effectué au moment du débourrement est par contre déconseillé en raison du risque de blesser les tiges d'avenir. De plus, la coulée printanière de la sève sur les plaies et les souches d'érables et de bouleaux crée un substrat favorable à la prolifération de bactéries et de moisissures prédisposant le bois à la pourriture (Shortle et Dudzik, 2012; Boulet, 2003; Shigo, 1965b). La repousse est aussi trop vigoureuse.

5 LA PÉRIODE IDÉALE POUR FAIRE LA COUPE

Les opérations de coupe à l'automne après la chute des feuilles facilitent le dégagement des tiges d'avenir et la visualisation de l'effet attendu de l'intervention. La coupe en été est préférable si l'éclaircie est couplée avec un enrichissement de feuillus nobles et de pins blancs. La coupe au printemps est à proscrire en raison du grand risque de blessures et d'infections fongiques.

- La coupe de rejets indésirables doit se faire près du sol sans laisser de moignons ni d'éclisse à la base, et ce, pour les motifs suivants :
    - éviter que les moignons pourris n'infectent les rejets viables;
    - favoriser la repousse de rejets du collet, viables et vigoureux, assurant ainsi la relève des tiges coupées (Kramer et Kozlowski, 1960).
- Un travail méthodique est de rigueur afin d'enlever les rejets en excès dans les bouquets denses et éviter de blesser les tiges à conserver (Berry, 1982). Le travail est fait en trois étapes (photo 13) :
    1. Il faut d'abord couper les longues branches basses et les rejets extérieurs du bouquet afin d'accéder à ceux plus gros, poussant de l'intérieur;
    2. La seconde coupe à environ 60 cm du sol vise à écimer les rejets indésirables et à dégager la tige à conserver. On évite ainsi de coincer la lame et prévenir un mouvement de recul inattendu de la scie;
    3. Enfin, la coupe des moignons à 15 cm ou moins du niveau du sol peut alors s'effectuer aisément et avec soin.
- Par précaution, il vaut mieux laisser des moignons de 15 cm de longueur en terrain rocailleux ou accidenté pour éviter d'émousser la chaîne de la scie sur une pierre.
- Les tiges dominantes bifurquant à 15 cm ou plus de hauteur doivent être traitées comme un seul arbre : soit elles sont coupées, soit elles sont conservées (Berry, 1982) (figure 8; planche 2 c).

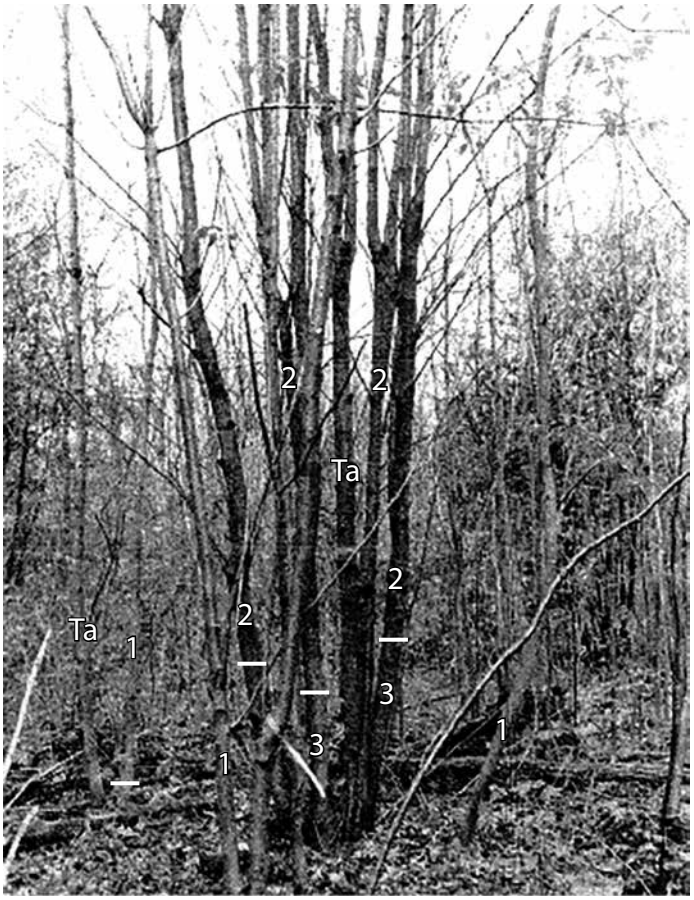
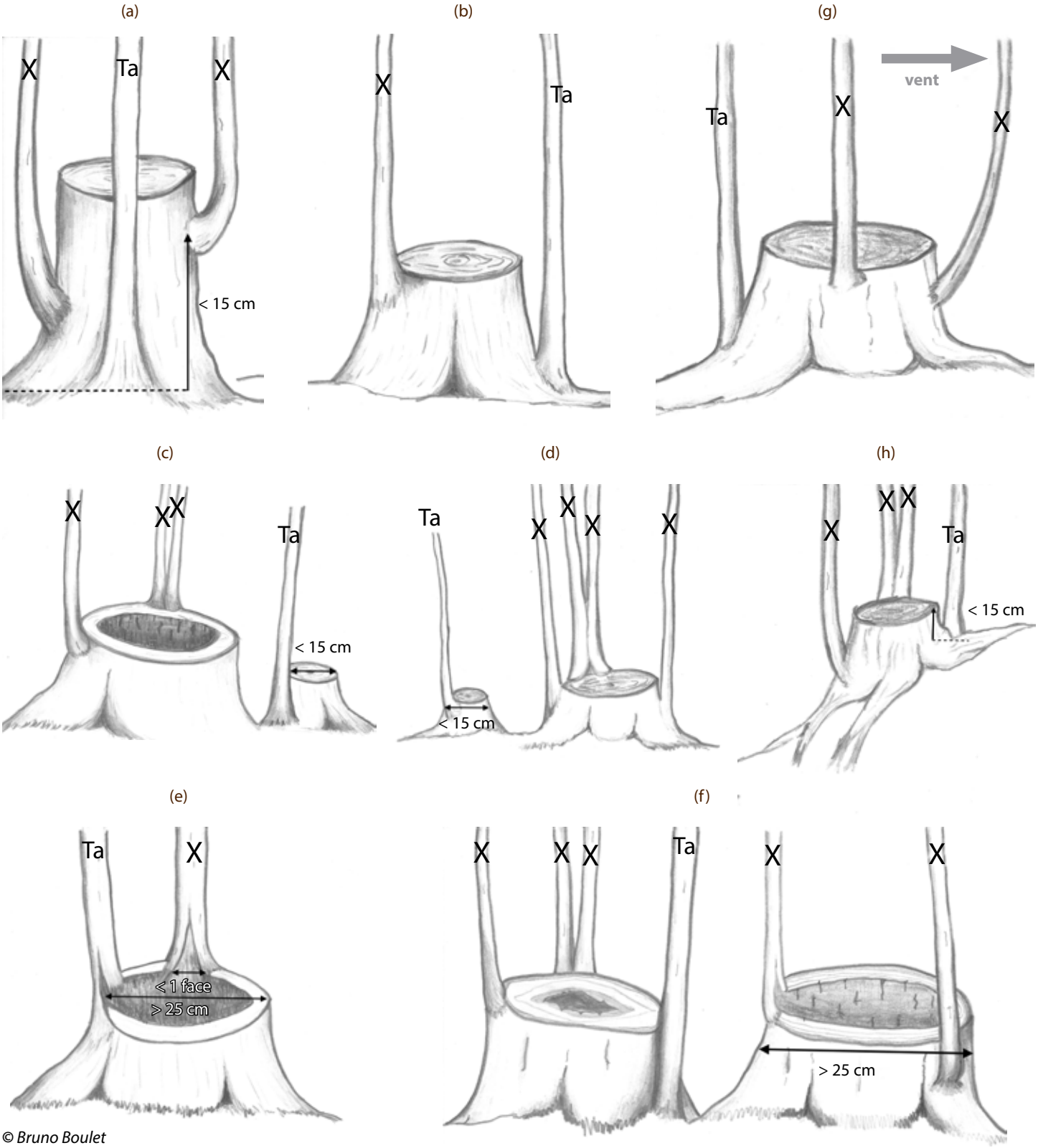


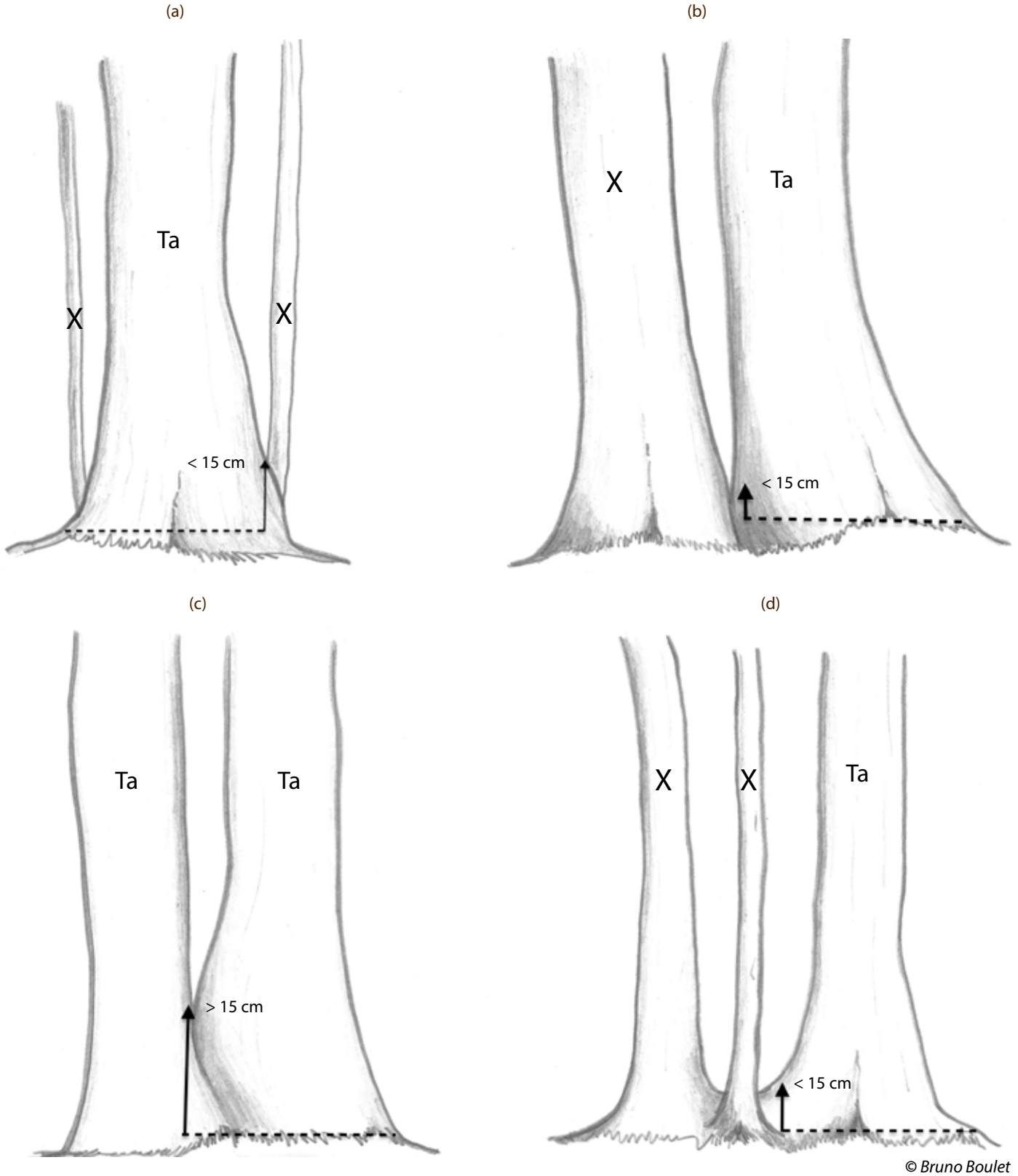
Photo 13 — Éclaircissage en 3 étapes de 3 tiges d'avenir (Ta) dans deux bouquets de cerisier tardif et d'érable rouge âgés de 10 ans (tiré de Wendel, 1975).

Planche 1 — Directives de martelage applicables à un taillis de feuillus : (a, b) rejets à couper au profit d'un rejet du collet (Ta); (c et d) rejets issus d'une grosse souche à couper au profit d'un rejet sur une petite souche (Ta); (e) rejet sans avenir avec une cicatrice de pied > 1 face à couper au profit de l'autre; (f) rejets sans avenir sur deux grosses souches adjacentes à couper au profit de la meilleure tige issue du collet (Ta); (g) tige d'avenir face au vent à conserver (Ta); (h) tige d'avenir (Ta) en amont de la pente à conserver.



© *Bruno Boulet*

Planche 2 — Directives de martelage des tiges d'avenir (Ta) applicables à la futaie sur souches d'érable rouge de plus de 25 ans :(a) rejets tardifs touchant 1 face ou moins de la tige principale à récupérer; (b) tige partant à moins de 15 cm de hauteur à éliminer; (c) tiges jumelles fusionnées à 15 cm ou plus de hauteur; (d) tiges distantes de la tige dominante à récupérer.



© Bruno Boulet

Agence Forestière des Bois-Francs 2020

LES RENDEMENTS PROVENANT D'EXPÉRIENCES HORS QUÉBEC

LE TAILLIS

L'expérience montre que le gain de croissance des gaules de chêne est maximal dans les bouquets éclaircis 4 ans après la coupe et dans lesquels la tige dominante a été dégagée (Johnson et Godman, 1983). Les tiges dominantes dégagées dans les taillis âgés de 7 ans montrent aussi une forte croissance en diamètre chez les érables, les frênes et les chênes (Naka et Cannon, 2004). L'éclaircie pré-commerciale pratiquée vers l'âge de 10 ans correspond au début du pic de croissance en diamètre du bouleau à papier (Godbout, 2019). En fait, les bouleaux qui n'ont pas crû à leur maximum pendant le pic de croissance ne peuvent pas récupérer le retard, en raison de la vive concurrence des tiges voisines qui réduit grandement le volume de feuillage (Godbout, 2019).

Hélas, il y a peu d'information disponible sur le rendement des jeunes taillis d'érable rouge ayant bénéficié d'un éclaircissage (encart 6). L'accroissement moyen en diamètre, 5 ans après une éclaircie, serait 30 % supérieur à celui des rejets non dégagés dans un jeune taillis d'érable rouge (Smith et Lamson, 1986) et les effets seraient marqués chez les rejets codominants (Trimble Jr, 1974). Le gain de croissance en diamètre des rejets d'érable rouge paraît bien modeste, puisqu'il est possible d'obtenir un gain de 65 % après 5 ans avec une éclaircie pré-commerciale dans un boisé de feuillus tolérants âgés de 20 ans et issus de semis, avec le plein boisement, et sans compter l'amélioration de la qualité des tiges et de la composition du peuplement à long terme (Marquis, 1969).

LA FUTAIE SUR SOUCHES

La coupe d'éclaircie dans les bouquets d'érable rouge de plus de 25 ans n'est pas la panacée puisqu'il est difficile de prévoir l'amélioration la qualité des arbres et la valeur des produits qu'on peut en tirer.

Les conditions gagnantes permettant d'augmenter la croissance et la qualité des tiges ne sont pas connues dans les vieux taillis d'érable rouge. Les expériences mesurant les effets d'une éclaircie tardive dans les futaies sur souches sont aussi rares. De plus, les résultats fragmentaires obtenus chez certaines essences ne peuvent pas s'appliquer à l'érable rouge dans les conditions de croissance prévalant au Québec (encart 6).

Quoi qu'il en soit, nos voisins du sud ont montré que retarder de 5 à 10 ans l'éclaircissage de bouquets de chêne rouge réduit l'accroissement en diamètre des tiges de 12 %, vers l'âge de 25 ans. Un retard de15 à 20 ans réduit le gain de croissance en diamètre de 23 % à 30 % (Johnson et Godman, 1983; Johnson et Rogers, 1984; Rogers et Johnson, 1989). L'éclaircie tardive des bouquets de chêne de 25 ans ou plus n'apporte pas un gain de croissance suffisant et ne justifie pas l'intervention (Dwyer *et al.*, 1993). Il en est de même chez d'autres essences intolérantes à l'ombre, comme le bouleau à papier (Godbout, 2019). Or, les bouquets d'érable rouge maintiennent longtemps une forte densité, parce qu'ils sont tolérants à l'ombre (Anderson *et al.*, 2001). En principe, l'éclaircie tardive peut augmenter le diamètre des tiges d'érable rouge.

L'ÉCLAIRCIE SYSTÉMATIQUE

Une expérience intéressante a été réalisée dans la région des provinces maritimes. Une érablière à érable rouge âgée de 35 ans et issue d'une coupe totale a été éclaircie en réduisant chaque bouquet à l'une des meilleures tiges. Le nombre de tiges d'érable rouge est passé de 2 610 à 560 tiges / ha après l'éclaircie. Dix ans plus tard, le volume avait plus que doublé par rapport aux témoins, atteignant 63,8 m^3 / ha (Walters et Yawney, 1990), mais aucune information n'est ressortie à propos des effets sur la qualité des tiges destinées à constituer le capital forestier en croissance (encart 6).

6 LES LACUNES DANS LES CONNAISSANCES

Les rares données dont nous disposons devraient convaincre les professionnels de la forêt de la nécessité de se donner le moyen de mesurer les effets des interventions pour mettre en valeur les érablières à érable rouge issues de rejets. L'ingénieur responsable devrait proposer aux producteurs concernés de laisser au moins un bloc témoin (0,1 ha) attenant au secteur traité en éclaircie et représentatif du peuplement.

Avec le temps, les producteurs forestiers seraient alors en mesure de se rendre compte de visu que les travaux de mise de valeur répondent à leurs attentes. Tout serait alors en place pour éventuellement amorcer une étude destinée à mesurer les effets réels des traitements et le cas échéant, proposer des pistes d'amélioration répondant aux particularités locales dans le contexte du Québec.

La justification économique des dépenses encourues afin de mettre en valeur les futaies sur souches d'érable rouge repose sur les quatre points suivants :

- un gain substantiel en diamètre à court terme (10 ans);
- une production de bois de meilleure qualité à moyen terme;
- une repousse viable et performante à long terme, issue de la régénération naturelle et de plants d'essences nobles, comme le chêne rouge dont la croissance est vigoureuse sous un couvert d'érables rouges (B. Truax, comm. pers.);
- Une amélioration de la biodiversité et de la résilience de la forêt dans le contexte des changements climatiques.

Il importe dès lors de répondre aux questions que soulève la mise en œuvre d'une programme de réhabilitation des érablières à érable rouge. L'enjeu est de taille, considérant la place prépondérante qu'elles occupent surtout dans la plaine du fleuve Saint-Laurent.

Néanmoins, le sylviculteur peut s'attendre à ce que la croissance en diamètre des perches d'érable rouge soit meilleure que celle de l'érable à sucre, du hêtre, du bouleau jaune et du chêne rouge à la suite d'une coupe d'éclaircie dans une forêt de feuillus tolérants âgés de 40 ans ou moins (Walters et Yawney, 1990; Ward et Stephens, 1993). Les érables rouges en bouquet croissent tout de même moins vite que le peuplier faux-tremble, le bouleau à papier et le frêne blanc profitant du plein ensoleillement. Dans les basses-terres et les milieux riverains, la croissance des rejets d'érable rouge après coupe est comparable à celle d'autres feuillus, sauf l'orme d'Amérique et l'érable argenté dont le rendement est supérieur (Walters et Yawney, 1990; Olson et Knapp, 2017).

L'éclaircie systématique stimule les érables rouges et le gain de croissance en diamètre est proportionnel à l'intensité de la coupe. Néanmoins, couper trop fort peut entraîner la poussée de branches épicormiques et dégrader la qualité des tiges (Erdmann *et al.*,1985; Stroempl, 1983). Le sylviculteur ne peut sacrifier la qualité des grumes de sciage au profit d'une croissance plus rapide en diamètre et c'est pourquoi il faut faire des compromis. Erdmann *et al.* (1985) soutiennent qu'il faut conserver une surface terrière d'au moins 14 m^2 / ha après coupe dans les boisés d'érable rouge parvenus au stade de perchis ou de jeune futaie. La recommandation est valable pour d'autres feuillus nordiques ayant le même âge. Or, les érables rouges dominants et codominants ont un houppier plus étroit que celui de l'érable à sucre, du bouleau jaune, du chêne rouge et du frêne blanc (encart 1). Par conséquent, il est souhaitable de conserver un capital forestier variant de 17 à 18,5 m^2 / ha de surface terrière dans les érablières à érable rouge, afin d'obtenir le meilleur compromis de croissance en diamètre et de qualité des tiges (Strong et Erdmann, 2000). Conserver la végétation du sous-étage crée un bourrage latéral et accélère l'élagage naturel des tiges d'avenir après l'éclaircie de l'étage supérieur du couvert (Strong et Erdmann, 2000). L'important est de dégager la cime des arbres d'avenir.

L'ÉCLAIRCIE SÉLECTIVE INDIVIDUELLE

Une autre expérience réalisée dans le nord de l'État du Michigan a montré que l'éclaircie sélective individuelle (*crop tree management*) accroît le diamètre des érables rouges âgés de 50 ans et établis sur un bon site (Erdmann *et al.*,1985; Johnson *et al.*, 1987). Les érables rouges dont le houppier est dégagé sur 1,5 m ou plus au-delà de son périmètre croissent plus vite que les témoins (+90 %) et ceux dont le houppier a été dégagé sur une ou deux faces (+33 %). Libérer complètement la cime des érables rouges dominants, codominants et intermédiaires améliore la croissance en diamètre de 25 %, 55 % et 22 %, respectivement. Les érables rouges dont le dhp varie de 13,7 cm à 31,7 cm maintiennent une croissance en diamètre supérieure aux témoins pendant au moins 7 ans après la coupe, mais elle ralentit par la suite (Erdmann *et al.*,1985). Toutefois, les érables intermédiaires dotés d'un petit houppier sont enclins à produire des pousses épicormiques sur le tronc après la coupe, d'où l'importance de dégager en priorité les tiges les plus vigoureuses qui en produisent beaucoup moins (Erdmann *et al.*,1985).

À la lumière des résultats obtenus 22 ans plus tard dans les mêmes peuplements d'érables rouges, Strong *et al.* (2006) concluent qu'il aurait fallu dégager à nouveau 150 tiges / ha dans un rayon de 1 ou 2 m. La deuxième éclaircie par puits de lumière réalisée de 10 à 12 ans après la première coupe aurait maintenu la croissance en diamètre des codominants et des intermédiaires tout en améliorant la qualité des fûts.

Selon Erdmann *et al.* (1985) et Strong *et al.* (2006), les éclaircies régulières peuvent produire des érables rouges dont le diamètre moyen peut atteindre 46 cm vers l'âge de 85 ans, alors que sans intervention, il aurait fallu 42 années de plus pour produire des tiges de même diamètre.

Dans l'éventualité d'une amélioration modeste de la qualité du bois d'œuvre d'érables rouges issus de rejets, le gain de croissance en diamètre obtenu après une ou deux éclaircies offre tout de même la possibilité de mettre en production acéricole des érablières à érable rouge dans un délai projeté plus court que le scénario du laisser-aller.

LE SCÉNARIO DU LAISSER-ALLER

Sans intervention, le sylviculteur doit savoir, qu'au Québec, l'érablière à érable rouge établie sur une station mésique de bonne qualité produit tout de même 179 m^3 / ha à 50 ans, comparativement à 142 m^3 / ha dans une érablière à érable rouge et à frêne noir occupant les stations subhydriques de moindre qualité (Bégin *et al.*, 1990).

C'est le devoir de l'ingénieur forestier d'informer les propriétaires de ces faits avant d'élaborer une prescription sylvicole adaptée à l'âge, à l'état de santé des arbres et à la qualité de la station. Il doit être en mesure de bien évaluer la fertilité du site afin de proposer l'enrichissement d'essences bien adaptées.

Le retour sur l'investissement justifiant les efforts consentis pour améliorer les futaies sur souches d'érable rouge n'est pas garanti surtout sur les sites de mauvaise qualité où le sol est trop acide. Le nombre d'érables rouges de belle venue à l'hectare y est souvent insuffisant et l'enrichissement avec de l'érable à sucre n'est malheureusement pas toujours la meilleure solution. De plus, les effets du cœur noir de l'érable rouge sur le rendement acéricole ne sont pas connus et nul ne sait combien de temps les érables rouges défectueux peuvent demeurer rentables pour la production de sirop (photo 8).

En contrepartie, le laisser-aller n'est pas la meilleure option pour les érablières à érable rouge poussant sur un bon site. Les touffes denses tardent à s'éclaircir, les tiges sont enclines à se fusionner de la base et la séquence temporelle est rapide surtout au début (photos 14, 15 et 16).

Or, il faut savoir qu'un érable rouge en bouquet est un système dynamique. Les rejets mourants libèrent au pourtour de la souche des espaces qui sont comblés par de nouvelles pousses. Dans les vieux bouquets d'érable rouge âgés de 70 ans, au moins trois générations de rejets peuvent cohabiter sur le même système racinaire, mais la vigueur des tiges décroît à chaque génération. Les rejets d'érable rouge s'alimentent à la fois à partir de nouvelles racines et de vieilles racines des générations précédentes (Lees, 1981). Le système racinaire des rejets d'érable rouge n'est pas complètement autonome, même à un âge avancé (Lees, 1981). Les grosses tiges dominantes dans les bouquets d'érable rouge âgés de 25 ans ont de meilleures chances de survivre jusqu'à 55 ans que les petites tiges (Ward et Stephens, 1993). La dégradation précoce des érables rouges en bouquet est inévitable, parce que les moignons des petites tiges disparues infectent les grosses tiges survivantes (Campbell, 1939).

Les érables rouges en bouquet vieillissent donc prématurément, rongés par la pourriture du pied. La carie de la souche et des vieilles racines se propage dans le tronc. Le risque de chablis ou de bris augmente rapidement avec l'âge. La vive concurrence entre les tiges affaiblit les bouquets d'érable rouge. Les tiges ont une faible croissance compromettant la production acéricole ou ligneuse à long terme (photo 16).

En optant pour le scénario du laisser-aller, la voie est déjà tracée dans les futaies sur souches d'érable rouge établies sur les sites mal drainés et de mauvaise qualité. L'issue à long terme est en effet connue. Le sylviculteur ne peut espérer y produire guère plus de 108 m^3 / ha à 50 ans sur les stations de mauvaise qualité (Bégin *et al.*, 1990). La coupe du bois à pâte peut remettre en production ces superficies vouées à devenir improductives. Les futaies sur souches atteignent la maturité pathologique bien avant que les érables n'atteignent leur plein développement.

Photo 14 — Cépée d'érable rouge âgée de 2 ans, trop jeune pour un éclaircissage.

Photo 15 — Gaules d'érable rouge issues d'une souche pourrie, laissées à elles-mêmes et vouées à se dégrader avec l'âge sans une intervention immédiate.

Photo 16 — Érables rouges à maturité de piètre qualité dont les racines épousent encore les contours de la souche disparue.

L'ÉRABLE ROUGE FACE AUX CHANGEMENTS

L'HISTOIRE DES PERTURBATIONS

La maîtrise des feux de forêts, l'abandon des terres agricoles et les coupes sélectives ont contribué à la prolifération de l'érable rouge. Rappelons qu'au siècle dernier, l'essence était une composante mineure des forêts de l'est de l'Amérique (Abrams, 1998).

L'utilisation des terres grises argileuses et des terres noires en milieu humide asséchées pour l'agriculture a transformé le paysage surtout dans les régions écologiques de la plaine du Saint-Laurent (région 2 b), du bas Outaouais et de l'archipel de Montréal (région 1a). Laissées à elles-mêmes, les terres fertiles abandonnées ont produit avec le temps une riche forêt où s'entremêlaient le caryer ovale, le caryer cordiforme, le noyer cendré, le frêne rouge, le frêne noir, le chêne à gros fruits, le chêne rouge, l'orme et le tilleul d'Amérique, le pin blanc et la pruche du Canada (Marie-Victorin, 1964).

De nos jours, la composition de ces forêts s'est appauvrie pour maintes raisons, au profit de l'érable rouge qui devient une essence clé de remplacement surtout sur les sites riverains où le noyer cendré, l'orme d'Amérique, le frêne noir et le frêne rouge sont désormais décimés par les insectes et les maladies exotiques (Boulet et Bussières, 2018).

La pérennité de l'érable rouge dans le couvert forestier est assurée, parce qu'il se maintient dans tous les étages du couvert et qu'il se régénère à l'ombre au moyen de semis. Les samares se dispersent au début de l'été et germent aussitôt, procurant aux semis un net avantage concurrentiel sur la plupart des essences associées, comme l'érable à sucre. Une réserve de semis se constitue souvent sous le couvert forestier au détriment des autres essences, si le couvert n'est pas trop dense.

Ces traits d'adaptation remettent en question son statut d'essence de mi-succession et vouée à disparaître au profit d'essences encore plus tolérantes à l'ombre (Lorimer, 1984; Pszwaro, 2015). L'érable rouge forme des peuplements stables surtout sur les sites subhydriques. En fait, le taux de mortalité des érables rouges tend à diminuer au fur et à mesure que les arbres gagnent en hauteur pour atteindre l'étage supérieur du couvert (Ward et Stephens, 1993). Par ailleurs, le vieil adage stipulant que l'érable rouge n'a pas une grande longévité est bien ancré dans l'esprit des forestiers, mais les faits publiés le confirmant sont rares (Lorimer, 1984). La carie interne réduit certes l'espérance de vie des érables issus de rejets et susceptibles de renverser, casser ou dépérir prématurément. Toutefois, les érables rouges issus de semis qui ont échappé aux incendies et aux tempêtes de verglas atteignent un fort diamètre et peuvent vivre 100 ans voire plus sur les meilleurs sites (Lorimer, 1984) (photo 17).

L'abondance de l'érable rouge à l'échelle du paysage varie selon les régions. Son expansion résulte de sa grande faculté d'adaptation à des habitats variés (Johnson *et al.*, 1987; Abrams, 1998). L'érable rouge occupe surtout les sols de texture fine ou grossière et tolère diverses conditions de drainage (Alderman Jr. *et al.*, 2005; MFFP, 2013). L'érable rouge est insensible aux précipitations acides et aux épidémies d'insectes phyllophages, comme la livrée des forêts (*Malacosoma disstria*).

L'érable rouge atteint de 18 à 19 m de hauteur à 50 ans dans les sols moyennement drainés ou bien drainés et propices à sa croissance (Erdmann *et al.*, 1985; Strong *et al.*, 2006; Johnson, 1987). Les érables rouges de fortes dimensions ne sont pas exceptionnels sur les stations à sol loameux, profond et humide (Jobidon, 1995)(photo 17). Dans

Photo 17 — Érables rouges de 75 cm de diamètre poussant sur un sol loameux, profond et humide, en mélange avec la pruche du Canada, et ne montrant aucun défaut ni symptôme de sénescence.

la plaine de Drummondville, au centre du Québec, l'érablière rouge à érable à sucre établie sur un site mésique atteint 20,9 m de hauteur à 50 ans (Bégin *et al.*, 1990). Néanmoins, les sols de nature calcaire limitent sa croissance au profit de l'érable à sucre et de l'érable noir surtout dans la région écologique du bas Outaouais et de l'archipel de Montréal (région 1a) (Rousseau, 1974).

L'érable rouge pousse aussi en mélange avec le peuplier faux-tremble, le bouleau à papier, le bouleau gris et le pin blanc dans les sols sableux, secs ou trop humides, et boudés par l'agriculture. L'érable rouge tolère assez bien la sécheresse. Les érablières à érable rouge sont plutôt résilientes, de sorte que les épisodes de sécheresse ne sont pas assez graves pour empêcher les arbres d'atteindre l'étage supérieur du couvert et s'y maintenir (Lorimer, 1984).

L'érablière rouge à némopanthe mucroné et l'érablière rouge à frêne noir (photo 18) atteignent respectivement 17,1 m et 19,4 m de hauteur à 50 ans sur les sites mal drainés de la plaine de Drummondville (Bégin *et al.*, 1990).

L'érable rouge y côtoie le sapin baumier, l'épinette rouge, le frêne noir et le thuya occidental. Les racines d'érable rouge s'étalent en forme d'assiette et tolèrent les inondations printanières récurrentes en milieu riverain et dans les basses-terres de la plaine du fleuve Saint-Laurent.

Photo 18 — Érablière rouge à frêne noir occupant les sites mal drainés où l'impatiente du Cap et l'iris versicolore colonisent les étangs vernaux desséchés et formant des clairières en été.

Photo 19 — Érablière rouge dominant un coteau de la région de Montmagny.

LE RÉCHAUFFEMENT CLIMATIQUE

L'histoire des perturbations du passé nous apprend que l'érable rouge est difficile à déloger une fois qu'il est bien établi. Le stock sur pied en érable rouge a augmenté surtout au cours des 3 ou 4 dernières décennies dans le nord-est de son aire de distribution. Ces changements se sont produits au Québec, comme ailleurs dans les États du Michigan, du Wisconsin et du Minnesota (Lorimer, 1984; Fei et Steiner, 2007; Pszwaro, 2015), de même que du Maine, de New York et de la Pennsylvanie (Alderman Jr. *et al.*, 2005).

Dans le nord-ouest du Québec, sa distribution se limitait jadis aux abords du lac Témiscamingue (Marie-Victorin, 1964) avec une enclave près de Duparquet, en Abitibi (Rousseau 1974). Cependant, tout indique que l'érable rouge a déjà amorcé sa marche migratoire vers le nord atteignant de nos jours la portion méridionale de la sapinière à bouleau à papier, juste en deçà du 50^{e} parallèle (Jobidon, 1995; MFFP, 2013). La structure actuelle des peuplements et la démographie de l'espèce confirment l'abondance relative de l'espèce et son expansion probable au cours des prochaines décennies (Pszwaro *et al.*, 2016). Les modèles de croissance et de rendement prédisent en effet que l'érable rouge réagira favorablement aux changements du climat prévus dans l'est du Canada, d'ici 2100 (Dombroskie *et al.*, 2010).

Une expérience en laboratoire a d'ailleurs montré que les semis d'érable rouge répondent favorablement à l'augmentation globale de la teneur en CO_2 de l'air en haussant leur croissance à un taux supérieur à celui réellement observé dans les conditions normales actuelles (Mohan *et al.*, 2004). Néanmoins, il faut savoir que les conditions climatiques actuelles n'ont pas encore d'effet important sur la croissance radiale des érables rouges dominant le couvert (photo 19). En d'autres mots, les différences de croissance dans les érablières à érable rouge sont pour l'heure attribuables à l'âge des arbres, à la densité du couvert, à la qualité de la station et à l'origine des perturbations plutôt qu'aux variations régionales du climat, même dans un large spectre de conditions futures probables (Pszwaro *et al.*, 2016; Zhang *et al.*, 2015).

LA MENACE DU LONGICORNE ASIATIQUE

Le longicorne asiatique (*Anoplophora glabripennis*) est l'un des ravageurs exotiques les plus à craindre dans le monde et surtout en Amérique du Nord, en raison de l'importance écologique et économique des érablières. Ce longicorne venu de la Chine et de la Corée est polyphage. Il fore l'aubier des arbres vivants et s'en prend à plusieurs espèces appartenant aux genres *Acer, Aesculus, Salix, Platanus, Ulmus, Betula* et *Populus* (Kimoto *et al.*, 2004).

Introduit accidentellement en Amérique du Nord, ce longicorne a été l'objet de mesures énergiques d'éradication depuis le milieu des années 1990 dans plusieurs villes aux États-Unis et au Canada, y compris New York (NY, 1996), Chicago (IL, 1998), Jersey City (NJ, 2002), Toronto (Ont., 2003), Carteret (NJ, 2004), Worcester (MA, 2008) et plus récemment, Boston (MA, 2010)(Haack *et al.*, 2010). Ces infestations en milieu urbain ont été contenues avec succès, parce qu'elles étaient isolées des forêts naturelles.

Les dégâts dans la ville de Worcester et ses environs sont révélateurs. L'insecte a été trouvé plus souvent sur l'érable rouge que sur l'érable à sucre et l'érable de Norvège. Parmi les hôtes disponibles, 94 % des érables rouges, 30 % des érables de Norvège et 11 % des érables à sucre étaient infestés (Dodds et Orwig, 2011). Les dégâts étaient plus graves sur les gros arbres dont la croissance radiale est plus lente que les arbres non infestés. Le diamètre moyen des érables infestés (26,6 ± 1,8 cm) était plus grand que celui des érables non infestés (11.3 ± 0.8 cm)(Dodds et Orwig, 2011). Ces résultats suggèrent que les érablières à érable rouge dont la croissance est lente seraient plus sensibles aux attaques du longicorne asiatique que les jeunes érablières à érable à sucre. Plusieurs facteurs pourraient expliquer le choix préférentiel du longicorne pour un hôte particulier, comme l'épaisseur de l'écorce, l'abondance du flux de sève ou encore l'émission de composés volatils attractifs ou répulsifs (Nehme *et al.*, 2009; Morewood *et al.*, 2004).

Pour l'heure, l'infestation de Worcester est la première épidémie qui a franchi les limites d'une zone urbaine pour s'étendre aux forêts avoisinantes. De plus, elle est la plus importante en termes d'arbres infestés (>18 800) et d'arbres enlevés (>20 000) et l'étendue de la zone de quarantaine (243 km^2) est la plus grande jamais vue pour cet insecte en Amérique du Nord (Dodds et Orwig, 2011). Des efforts sans précédent sont consentis pour assainir la ville de Worcester et ses environs, mais nul ne sait si on réussira cette fois à éradiquer ce ravageur comme ce fut le cas pour les épidémies précédentes.

Il appert que l'érable rouge est un hôte sensible même dans les peuplements mixtes (Dodds et Orwig, 2011). Considérant sa vaste distribution dans une gamme variée d'habitats (Abrams, 1998), l'érable rouge pourrait devenir le principal facteur de propagation d'arbre en arbre du longicorne dans divers écosystèmes forestiers de l'est de l'Amérique du Nord. Le cas échéant, le longicorne asiatique a le potentiel de modifier profondément le paysage forestier de la forêt feuillue de la zone tempérée nordique (Dodds et Orwig, 2011).

GLOSSAIRE

ARBRES EN BOUQUET

Tiges multiples (2 ou plus) poussant en touffes sur une souche, souvent fusionnées à la base, et se divisant en dessous du diamètre à hauteur de poitrine (photos 4 et 9).

BALIVAGE

Opération qui consiste à choisir les tiges d'avenir (baliveaux) dans un taillis pour constituer à terme une futaie sur souches (photo 6).

Note : selon le pays, les baliveaux désignent les tiges de franc pied, issues de semis ou de semis-rejets, et par extension, celles aussi choisies et dégagées sur les souches pour constituer le futur peuplement.

BOURGEON DORMANT

Bourgeon latent se développant dans l'aubier et pointant dans le liber, juste sous la surface de l'écorce, et doté d'une connexion vasculaire avec la moelle ou le cœur de l'arbre.

BOURGEON ADVENTIF

Prompt bourgeon formé spontanément sur la souche d'un arbre coupé depuis moins d'un an, sans connexion vasculaire avec la moelle ou le cœur, et naissant dans le cambium et l'écorce interne (le phelloderme).

BRIN

Rejet poussent sur une souche coupée depuis moins d'un an (figure 2).

BRINDILLE ADVENTIVE

Gourmand de deux ans ou plus, habituellement ramifié et issu d'un bourgeon dormant ou adventif, poussant spontanément, seul ou en grappes serrées sur la tige principale ou une grosse branche.

Voir Pousse adventive.

CÉPÉE

Ensemble des rejets se développant sur la souche d'un arbre ou d'un arbuste coupé (photo 14).

CICATRICE DE PIED

Plaie béante en forme d'ogive à la base d'un rejet du côté attenant à la souche pourrie ou disparue (photo 5; figure 6).

COMPARTIMENTAGE

Mécanisme de cloisonnement chimique et anatomique qui s'amorce dans l'arbre à la suite d'une blessure pour limiter la propagation des champignons de coloration et de carie du bois.

CROISSANCE INDÉTERMINÉE

En botanique, se dit des pousses annuelles d'une plante dont l'élongation est continue ou polycyclique, du printemps jusqu'à la chute des feuilles en automne.

Note : la période d'élongation des nouvelles pousses est réglée à l'avance chez d'autres espèces à croissance prédéterminée (monocyclique) qui est rapide au printemps et au début de l'été pour ensuite stagner jusqu'à l'automne.

DÉVELOPPEMENT DURABLE

Développement répondant aux besoins actuels sans compromettre la capacité des générations futures à satisfaire leurs propres besoins.

ÉCLAIRCISSAGE

Intervention sylvicole visant à réduire la densité des tiges dans un jeune peuplement forestier (taillis) issu en grande partie de rejets de souches (photo 13).

Note : l'opération précède la première éclaircie commerciale et ne génère pas ou peu de produits marchands tout comme l'éclaircie pré-commerciale couramment pratiquée dans les jeunes peuplements et les plantations issues de semis.
Synonyme : balivage, éclaircie pré-commerciale.

ENRICHISSEMENT

Plantation à faible densité de plants forestiers de fortes dimensions, réalisée sous couvert ou par trouées en vue d'améliorer la valeur, la diversité et la résilience d'un peuplement forestier existant.

Note : l'opération commande d'ordinaire de prendre des mesures minimales de protection pour prévenir le broutage des animaux.

FUTAIE SUR SOUCHES

Peuplement feuillu comportant une forte proportion de tiges de dimensions commerciales issues de rejets de souches (photos 5 et 9).

MATURITÉ PATHOLOGIQUE

Âge correspondant à l'état d'un arbre où le taux de dégradation de la matière ligneuse par les champignons de carie dépasse celui de l'accroissement en volume.

MÉSIQUE

Se dit d'un habitat frais ni trop humide ni trop sec.

PARENCHYME

Tissu cellulaire vivant remplissant tout l'espace laissé par les tissus vasculaires des arbres, notamment.

Note : le parenchyme axial occupe la moelle, le parenchyme du xylème se rencontre dans les rayons médullaires, le parenchyme libérien dans le phloème et le parenchyme traumatique dans le tissu cicatriciel formé au pourtour des blessures.

PHÉNOLOGIE

Étude des influences climatiques sur les phases du développement saisonnier des arbres, comme le débourrement, l'aoûtement, la coloration automnale, la coulée de l'eau d'érable, etc.

PHÉNOTYPE

Ensemble des caractères physiques observables d'un individu qui dépendent à la fois de l'expression de ses gènes et de son environnement.

Note : par exemple, le bouleau jaune en possède deux : les individus à écorce dorée occupent le bas des pentes où le sol est humide tandis que celui à écorce argentée pousse sur les terrains en pente mieux drainés. L'érable rouge renferme aussi de nombreuses formes et variétés reconnues dont A. rubrum var. drummondii et A. rubrum var. trilobum. L'érable rouge s'hybride naturellement avec l'érable argenté : Acer X freemanii. De nombreux cultivars ont aussi été sélectionnés et plantés dans les villes pour l'intensité du coloris du feuillage en automne ou pour faciliter leur adaptation aux conditions de croissance parfois hostiles.

PHYLLOPHAGE

Se dit d'un insecte dont les larves se nourrissent des feuilles ou des aiguilles des arbres.

POLYPORE

Champignon basidiomycète vivant généralement sur les arbres, caractérisé par un hyménium (couche fertile générant les spores) tapissant l'intérieur de tubes parallèles formant une surface poreuse (photo 4).

POUSSE ADVENTIVE

Gourmand âgé de 2 ans ou moins issu d'un bourgeon dormant ou adventif, non ramifié et mesurant 15 cm ou moins de longueur.

Synonyme : poil

PUITS DE LUMIÈRE

Ouverture partielle du couvert forestier (trouée) favorisant la croissance en hauteur de la régénération de semis ou de baliveaux aptes à s'établir et profitant d'un apport de lumière à travers le couvert forestier.

RECÉPAGE

Coupe d'un jeune arbre (baliveau) effectuée près du sol à un moment opportun pour générer la poussée d'une ou plusieurs nouvelles tiges plus fortes (figure 4).

REJET DU COLLET

Pousse issue d'un bourgeon dormant et interconnecté au cœur se développant sur une souche coupée depuis moins d'un an, près du sol ou sur une grosse racine (figure 2).

REJET DU PIED

Pousse issue d'un bourgeon dormant et interconnecté au cœur se développant sur une souche coupée depuis moins d'un an, au-dessus du sol et à moins de 15 cm de hauteur mesurée à partir de l'axe de la plus haute racine (figure 2).

REJET LATÉRAL

Pousse issue d'un bourgeon adventif (prompt bourgeon) se développant sur une souche coupée depuis moins d'un an à 15 cm ou plus de hauteur mesurée à partir de l'axe de la plus haute racine (figure 2).

REJET TARDIF

Pousse suppléante se développant tardivement au pied d'un arbre à la suite d'un stress et dont le diamètre correspond à moins de 25 % de la circonférence (< 1 face)(planche 1a).

RÉSILIENCE

Capacité d'un écosystème, d'un habitat, d'une population ou d'une espèce à retrouver un fonctionnement ou un développement normal après avoir subi une perturbation importante.

RÉVOLUTION

Nombre d'années requis pour établir et amener un peuplement équienne à l'âge de maturité.

SEMIS

Jeune tige ligneuse issue d'une graine.

Note : le semis préétabli est une jeune tige capable de s'établir à l'ombre des grands arbres en attendant un apport de lumière suffisant pour se développer.

SEMIS-REJET

Jeune pousse issue d'un bourgeon dormant se développant à la base d'une gaule disparue de 5 cm ou moins de diamètre et apte à croître librement tout en conservant les attributs du semis (figure 3).

SPOROPHORE

Structure fongique qui génère et dissémine les spores sexuées chez les champignons (photo 3).

Synonyme : console.

SURFACE TERRIÈRE

Mesure rapide de la densité d'un peuplement qui correspond à la surface que représenteraient toutes les sections de tronc des arbres qu'on aurait coupées à 1,30 m de hauteur sur un hectare de forêt.

Note : la mesure est prise sur le terrain avec un prisme et s'exprime en mètres carrés à l'hectare (m^2/ha) pour comparer les mesures de place en place.

TAILLE DE FORMATION

Coupe des branches d'un jeune arbre pour prévenir le développement de défauts à l'âge adulte et donner au houppier et au tronc la forme souhaitée.

TAILLIS

Partie d'un bois ou d'une forêt où il n'y a que des arbres de faibles dimensions essentiellement issus de rejets de souche ou de drageons (photo 1).

Voir Futaie sur souches.

TAUX DE CIME VIVANTE

Indice approximatif de l'aptitude du houppier d'un arbre à maintenir sa vigueur.

Note : l'indice TCV est le pourcentage de la hauteur totale de la tige (Ht) portant des branches vivantes (Hv). Le TCV sert à diagnostiquer la vigueur des jeunes feuillus et l'état de sénescence des sapins, des pins gris, des pruches, des mélèzes et des thuyas qui mourront avant la prochaine rotation, mais il est inefficace en ce qui concerne la sénescence des pins blancs, des pins rouges et des épinettes. Le TCV (%) = Hv/Ht x 100, est évalué de façon oculaire.

RÉFÉRENCES

Abell D.H. et F.F. Gilbert, 1974. Nutrient content of fertilized deer browse in Maine. The Journal of Wildlife Management, 38 : 517-524.

Abrams M.D.,1998. The red maple paradox - What explains the widespread expansion of red maple in eastern forests?. Bioscience, 48 (5) : 355-364. Disponible en ligne à : doi:10.2307/1313374.

[AFBF] Agence forestière des Bois-Francs, 2015. Plan de protection et de mise en valeur des forêts privées du Centre-du-Québec, Tome 2 – Portrait des forêts, 96 p. Disponible en ligne à : www.afbf.qc.ca/ppmv Alderman Jr. D.R., Bumgardner M.S. et J.E. Baumgras, 2005. An Assessment of the Red Maple Resource in the Northeastern United States. Northern Journal of Applied Forestry, 22 (3) : 181-189.

Anderson H.W., Boysen E.P., Dey D.C. et J.A. Rice, 2001. Natural Regeneration of Hardwoods. pp. 650 *dans* Wagner, R.G. et S.J. Colombo (éd.), Regenerating the Canadian Forest : Principles and Practice for Ontario. Fitzhenry and Whiteside, Markham, ON, Canada.

Annecou C., 2020. Mémoire de maîtrise, Faculté de foresterie et de géomatique, Université Laval, Québec, Qc, (en préparation).

Atwood C.J., Fox T.R. et D.L. Loftis, 2009. Effects of alternative silviculture on stump sprouting in the southern Appalachians. Forest Ecology and Management, 257 : 1305-1313.

Babeux P. et Y. Mauffette, 1994. The effects of early and late spring cuts on the sprouting success of red maple (*Acer rubrum*) in northwestern Quebec. Canadian Journal of Forest Research, 24 : 785-791.

Bégin J., Bélanger L., Pfalzgraf J. et M. Pineau. 1990. Qualité de station et production dans les érablières rouges de la plaine de Drummondville, Québec. The Forestry Chronicle, 66 (4) : 377-387.

Bellefleur P. et M. Villeneuve, 1984. Évolution des taux de croissance juvéniles d'espèces forestières sous trois régimes expérimentaux de compétition. Annales des sciences forestières, 41 (4) : 427-438.

Berry F.H., 1982. Reducing Decay Losses in High-Value Hardwoods — A Guide for Woodland Owners and Managers. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station, Delaware, Ohio, Agriculture Handbook no 595, 21 p.

Boulet B., 2003. Les champignons des arbres de l'est de l'Amérique du Nord. Les Publications du Québec, Québec. 727 p.

Boulet B., 2015. La carie des arbres — Fondements, diagnostic et application, 3e édition, Les Publications du Québec, Québec, 347 p.

Boulet B. et G. Bussières, 2018. Regard nouveau sur la biologie du polypore ponctué : *Fomitiporia punctata* (P. Karsten) Murrill. Le Naturaliste canadien, 142 (3) : 59-72. Disponible en ligne à : https://doi.org/ 10.7202/1050999ar

Boyce J.S., 1961. Forest Pathology. 3e Édition. McGraw-Hill Book Co., New York, Toronto, London. 572 p.

Buckley D.S. et R.M. Evans, 2004. Effect of Season of Cutting on the Production and Growth of White and Shumard Oak Stump Sprouts in Tennessee. pp. 45-51 *dans* Yaussy D.A., Hix D.M., Long R.P. et P.C. Goebel (éd.), Proceedings, 14 th Central Hardwood Forest Conference, March 16-19, Wooster, OH. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Research Station, Newtown Square, PA. General Technical Report no NE-316, 539 p.

Campbell W.A. 1938. Preliminary report on decay in sprout northern hardwoods in relation to timber stand improvement. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station, New Haven, CT, Occasional Paper no 7, 8 p.

Campbell W.A., 1939. *Daedalea unicolor* decay and associated cankers of maples and other hardwoods. Journal of Forestry, 372 : 974-977.

Carvell K.L., 1986. Effect of Past History on Present Stand Composition and Condition. pp. 1-7 *dans* Smith H.C et M.C. Eye (éd.), Guidelines for Managing Immature Appalachian Hardwood Stands. Workshop Proceedings, Morgantown, May, 28-30. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station, Parsons, WV, SAF Publication 86-02.

Coe J.M. et S.B. McLaughlin, 1980. Winter season corticular photosynthesis in *Cornus florida, Acer rubrum, Quercus alba*, and *Liriodendron tulipifera*. Forest Science, 26 : 561-566.

Del Tredici P., 2001. Sprouting in Temperate Trees : A Morphological and Ecological Review. The Botanical Review, 67 (2) : 121-140.

Dodds K.J. et D.A. Orwig, 2011. An invasive urban forest pest invades natural environments — Asian longhorned beetle in northeastern US hardwood forests. Canadian Journal of Forest Research, 41 : 1729-1742. Disponible en ligne à : doi:10.1139/X11-097

Dombroskie S., McKendy M., Ruelland C., Richards W., Bourque C.P.A. et F.R. Meng, 2010. Assessing impact of projected future climate on tree species growth and yield : development of an evaluation strategy. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, 15 (4) : 307-320. Disponible en ligne à : doi:10.1007/s11027-010-9218-1.

Dwyer J.P., Dey D.C. et W.B. Kurtz, 1993. Profitability of Precommercially Thinning Oak Stump Sprouts. Northern Journal of Applied Forestry, 10 (4) : 179-183.

Erdmann G.G., R.M. Peterson Jr R.M. et R.R. Oberg, 1985. Crown releasing of red maple poles to shorten high-quality sawlog rotations. Canadian Journal of Forest Research, 15 : 694-700.

Eyre F.H. et W.M. Zillgitt, 1953. Partial Cuttings in Northern Hardwoods of the Lake States: Twenty-Year Experimental Results. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Washington, DC, Technical Bulletin no 1076. 124 p.

Fei S.L. et K.C. Steiner, 2007. Evidence for increasing red maple abundance in the eastern United States. Forest Science, 53 (4) : 473-477.

Fei S. et K.C. Steiner, 2009. Rapid capture of growing space by red maple. Canadian Journal of Forest Research, 39 : 1444-1452. Disponible en ligne à : http:l/doi:10.1139/X09-065

Fortin C., 2016. Croissance et développement de feuillus nobles en plantation, après 20 à 23 ans dans le comté de Bellechasse. Progrès forestier, Hiver 2016 : 38-41.

Fournier M., Bordeleau C. et M. Roberge, 1977. État d'une érablière rouge dix ans après éclaircie. Le Fond de recherches de l'Université Laval, Faculté de foresterie et de géodésie, Québec, Qc, Note technique no 4. 17 p.

Gagnon D., Truax B. et S. Barrette, 2003. Aménagement et sylviculture du chêne rouge en Estrie via la connaissance des peuplements naturels. Rapport final, Agence de mise en valeur de la foret privée de l'Estrie. 30 p.

Godbout C., 2018. Éclaircie commerciale d'une bétulaie à bouleau à papier de 70 ans au Témiscamingue : résultats 10 ans après la coupe. Gouvernement du Québec, ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, Direction de la recherche forestière. Mémoire de recherche forestière no 180, 41 p.

Godbout C., 2019. Mieux vaut éclaircir le bouleau à papier en bas âge!. Gouvernement du Québec, ministère des Forêts de la Faune et des Parcs, Direction de la recherche forestière. Avis de recherche forestière no 118, 2 p. Disponible en ligne à : www.mffp.gouv.qc.ca/forets/connaissances/recherche

Guillemette F., Bédard S., Gravel J. et C. Larouche, 2016. L'éclaircie précommerciale par puits de lumière de peuplements feuillus. Direction de l'aménagement et de l'environnement forestiers et Direction de la recherche forestière, Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, Québec, Qc, Fiche d'aide à la décision no F-003, 4 p. Disponible en ligne à : http://mffp.gouv.qc.ca/forets/entreprises/entreprises-traitements.jsp

Haack R.A., Hérard F., Sun J. et J.J. Turgeon, 2010. Managing invasive populations of Asian longhorned beetle and citrus longhorned beetle : aworldwide perspective. Annual Revue of Entomology, 55 (1) : 521 - 546. Disponible en ligne à : doi:10. 1146/annurev- ento-112408-085427. PMID:19743916.

Hamelin C., Truax B. et D. Gagnon, 2016. Invasive glossy buckthorn impedes growth of red oak and sugar maple under-planted in a mature hybrid poplar plantation. New Forests, 47 : 897-911. Disponible en ligne à : http://link.springer.com/article/10.1007/s11056-016-9551-7

Hanson P.J., Dickson R.E., Isebrands J.G., Crow T.R. et R.K. Dixon, 1986. A morphological index of *Quercus* seedling ontogeny for use in studies of physiology and growth. Tree Physiology, 2 (1-2-3) : 273-281. Disponible en ligne à : https://doi.org/10.1093/treephys/2.1-2-3.273

Hughes J.W. et T.J. Fahey, 1991. Availability, quality, and selection of browse by white-tailed deer after clearcutting. Forest Science, 37 : 261-270.

Jobidon R., 1995. Autécologie de quelques espèces de compétition d'importance pour la régénération forestière au Québec — Revue de littérature. Gouvernement du Québec, Ministère des Ressources naturelles, Direction de la recherche forestière. Mémoire de recherche forestière n° 117. 180 p.

Jobidon R., 1997. Stump height effects on sprouting of mountain maple, paper birch and pin cherry-10 year results. The Forestry Chronicle, 73 (5) : 590-595.

Johnson J.E., Haag C.L., Bockheim J.G. et G.G. Erdmann, 1987. Soil–site relationships and soil characteristics associated with even-aged red maple (*Acer rubrum*) stands in Wisconsin and Michigan. Forest Ecology and Management, 21 (1-2) : 75-89. Disponible en ligne à : doi:10.1016/0378-1127(87)90073-9.

Johnson P.S., 1975. Growth and structural development of red oak sprout clumps. Forest Science, 21 : 413-418.

Johnson P.S., 1977. Predicting oak stump spouting and sprout development in the Missouri Ozarks. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, North Central Forest Experiment Station, St. Paul, MN, Research Paper no NC-149, 11 p.

Johnson P.S. et R.M. Godman,1983. Precommercial thinning of oak, basswood, and red maple sprout clumps. pp. 124-142 *dans* Silviculture of established stands in north central forests, SAF Region 5 technical conference, September 14-16, University of Wisconsin, Duluth, MN, Madison, WI.

Johnson P.S. et R. Rogers, 1984. Predicting 25th-year diameters of thinned stump sprouts of northern red oak. Journal of Forestry, 82 (10) : 616-619.

Kays J. et C.D.. Canham, 1991. Effects of Time and Frequency of Cutting on Hardwood Root Reserves and Sprout Growth. Forest Science,37 (2) : 524-539.

Kelly J.M. et J.K. Kelly, 2001. Phosphorus and potassium uptake kinetics in red maple seedlings. Forest Science, 47 : 397-402.

Kesner A.L., 1986. Characteristics of and Management for Veneer Quality Hardwood Logs. pp. 22-32 *dans* Smith H.C et M.C. Eye (éd.), Guidelines for Managing Immature Appalachian Hardwood Stands. Workshop Proceedings, Morgantown, May, 28-30. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station, Parsons, WV, SAF Publication 86-02.

Khan M.L. et R.S. Tripathi, 1989. Effects of stump diameter, stump height and sprout density on the sprout growth of four tree species in burnt and unburnt forest plots. Acta oecologica-Oecologia applicata, 10(D) : 303-316.

Kimoto T.M., Duthie-Holt M. et L. Dumouchel, 2004. Guide des insectes forestiers exotiques. Agence Canadienne d'Inspection des Aliments (ACIA), Ottawa, ON, 120 p.

Kozlowski T.T., Kramer P.J. et S.G. Pallardy, 1991. The Physiological Ecology of Woody Plants. Academic Press, San Diego, Ca, 657 p.

Kramer P.J. et T.T. Kozlowski, 1960. Physiology of trees. McGraw-Hill Book Cie, New York, Toronto, London, 642 p.

Lalonde D., 1991. Distribution et dynamique des communautés d'érables rouges à leur limite nord de distribution en Abitibi (Québec). Mémoire de maîtrise, Université du Québec, Montréal, Qc, 154 p. + annexes.

Lamson N.I., 1976. Appalachian Harwood Stump Sprouts Are Potential Sawlog Crop Trees. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station, Upper Darby, PA, Research Paper no NE-229, 4 p.

Lamson N.I., 1983. Precommercial thinning insures diameter growth of Appalachian hardwood stump sprouts. Southern Journal of Applied Forestry, 7 : 93-97.

Lamson N.I., 1989. Silvicultural Treatments In Sapling Stands. pp. 157-159 *dans* Clark F.B. et J.G. Hutchinson (éd.), Central Hardwood Notes, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, North Central Forest Experiment Station, Columbia, Missouri, 372 p.

Lee C.A., 2016. The Ecology of Root Disease Fungi in Missouri Forests. Thèse de doctorat, Université Missouri-Columbia, 179 p.

Lees J.C., 1981. Three generations of red maple stump sprouts. Environment Canada, Canadian Forestry Service, Maritimes Forest Research Centre, Fredericton, New Brunswick. Information Report M-X-119, 9 p. Disponible en ligne à : http://cfs.nrcan.gc.ca/pubwarehouse/pdfs/7742.pdf

Lorimer C.G., 1984. Development of the Red Maple Understory in the Northeastern Oak Forests. Forest Science, 30 (1) : 3-22.

Lyford W.H. et B.F. Wilson, 1964. Development of the root system of *Acer rubrum* L.. Harvard University, Petersham, MA, Harvard Forest Paper no 10, 17 p.

Lust N. et M. Mohammady, 1973. Regeneration of coppice. Silva Gandavensis, 39 : 1-28. Disponible en ligne à : https://doi.org/10.21825/sg.v39i0.980

MacDonald E. et G.R. Powell, 1983. Relationships between stump sprouting and parent-tree diameter in sugar maple in the 1st year following clear-cutting. Canadian Journal of Forest Research, 13 : 390-394.

MacDonald E. et G.R. Powell, 1985. First growing period development of *Acer saccharum* stump sprouts arising after different dates of cut. Canadian Journal of Botany, 63 : 819-828.

Marie-Victorin Fr., 1964. Flore laurentienne, 2e édition, Les Presses de l'Université de Montréal, Montréal, Qc. 925 p.

Marquis D.A., 1969. Thinning in Young Northern Hardwoods : 5-years Results. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station, Upper Darby, PA, Research Paper no NE-139, 22 p.

Marquis D.A. et R. Brenneman, 1981. The impact of deer on forest vegetation in Pennsylvania, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station, Upper Darby, PA, General Technical Report no NE-65.

Marquis D.A., Ernst R.L. et S.L. Stout, 1992. Prescribing Silviculture Treatments in Hardwood Stands of the Alleghenies (Revised). U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station, Radnor, PA, General Technical Report no NE-9, 108 p.

Meier A.R, Saunders M.R. et C.H. Michler, 2012. Epicormic buds in trees : a review of bud establishment development and dormancy release. Tree Physiology, 32 : 565-584. Disponible en ligne à : https://doi:10.1093/treephys/tps040

[MFFP] Ministère des forêts de la faune et des parcs, 2013. Le guide sylvicole du Québec, Tome 1, Les fondements biologiques de la sylviculture. Ouvrage collectif sous la supervision de B. Boulet et M. Huot, Les Publications du Québec, Québec. 1044 p.

Millet J., 1997. Rapports entre le mode de développement architectural des arbres et le statut successionnel des espèces dans le Québec méridional. Thèse de doctorat, Département de Sciences biologiques, Faculté des Arts et des Sciences, Université de Montréal, 159 p. + Annexe.

Mohan J.E., Clark J.S. et W.H. Schlesinger, 2004. Genetic variation in germination, growth, and survivorship of red maple in response to subambient through elevated atmospheric $C0_2$. Global Change Biology, 10, 233-247. Disponible en ligne à:https://doi.org/10.1046/j.1365-2486.2004.00726.x

Morewood W.D., Hoover K., Neiner P.R., McNeil J.R. et J.C. Sellmer, 2004. Host tree resistance against the polyphagous wood-boring beetle *Anoplophora glabripennis*. Entomologia Experimentalis et Applicata 11 0 (1) : 79 - 86. Disponible en ligne à : doi:10.1111/j. 0013-8703.2004.00120.x.

[MRNO] Ministère des Ressources naturelles de l'Ontario, 1998. A silvicultural guide for the tolerant hardwood forest in Ontario. Ontario Ministry of Natural Resources, Queen's Printer for Ontario, Toronto. 500 p.

Mroz G.D., Frederick D.J. et M.F. Jurgensen, 1985. Site and fertilizer effects on northern hardwood stump sprouting. Canadian Journal of Forest Research, 15 : 535-543.

Naka K. et P.G. Cannon, 2004. Sprout Singling in North Alabama Hardwoods. pp. 509-512 *dans* Connor K.F. (éd.), Proceedings of the 12th Biennial Southern Silvicultural Research Conference, Asheville, NC. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Research Station, General Technical Report no SRS-71, 594 p.

Nagel J.M., Griffin K.L., Schuster W.S.F., Tissue D.T., Turnbull M.H., Brown K.J., et D. Whitehead, 2002. Energy investment in leaves of red maple and co-occurring oaks within a forested watershed. Tree Physiology, 22 : 859-867.

Nehme M.E., Keena M.A., Zhang A., Baker T.C. et K. Hoover, 2009. Attraction of *Anoplophora glabripennis* to male-produced pheromone and plant volatiles. Environmental Entomolology, 38 (6) : 1745-1755. Disponible en ligne à :doi:10.1603/022.038.0628. PMID:20021771.

Olson M.G. et B.O. Knapp, 2017. Early Stump Sprouting after Clearcutting in a Northern Missouri Bottomland Hardwood Forest. pp. 99-109 *dans* Kabrick J.M., Dey D.C., Knapp B.O., Larsen D.R. Shifley S.R. et H.E. Stelzer (éd.), Proceedings of the 20th Central Hardwood Forest Conference, 2016 March 28— April 1, Columbia, MO, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northern Research Station, Newtown Square, PA, General Technical Report no NRS-P-167.

Palik B.J. et K.S. Pregitzer, 1992. The age and height structure of red maple (*Acer rubrum*) populations in northern Michigan bigtooth aspen (*Populus grandidentata*) forests. Canadian Journal of Forest Research, 22 : 1449-1462.

Parker G.R. et L.D. Morton, 1978. The estimation of winter forage and its use by moose on clearcuts in northcentral Newfoundland. Journal of Range Management, 31 : 300-304.

Pekins P.J. et W.W. Mautz, 1989. Forage-nutritional advantages of small fuelwood cuts for deer. Northern Journal of Applied Forestry, 6 : 72-74.

Prager U.E. et F.B. Goldsmith, 1977. Stump sprout formation by red maple (*Acer rubrum* L.) in Nova Scotia Proceedings of the Twenty-eighth Meeting of the Nova Scotian Institute of Science. Dalhousie University, Department of Biology, Halifax, 28 (1-2) : 93-99. Disponible en ligne à : http://hdl.handle.net/10222/13910

Pszwaro J.L., 2015. Growth and stand dynamics of Red maple-dominated forests in the Upper Great Lakes Region, USA. Mémoire de maîtrise, Université du Minnesota. 89 p. Disponible en ligne à : http://hdl.handle.net/ 11299/170823.

Pszwaro J.L., D'Amato A.W., Burk T.E., Russell M.B., Palik B.J. et T.F. Strong, 2016. Analysis of stand basal area development of thinned and unthinned *Acer rubrum* forests in the upper Great Lakes region, USA. Canadian Journal of Forest Research, 46 : 645-655. Disponible en ligne à : dx.doi.org/10.1139/cjfr-2015-0411

Pyttel P.L., Fischer U.F., Suchomel C., Gärtner S.M. et J. Bauhus, 2013. The effect of harvesting on stump mortality and re-sprouting in aged oak coppice forests. Forest Ecology and Management, 289 :18-27.

Rogers L.L. et R.E. McRoberts, 1992. Estimation of shrub leaf biomass available to white-tailed deer. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, North Central Forest Experiment Station, St. Paul, MN, Research Paper no NC-307. 16 p.

Rogers R. et P.S. Johnson, 1989.Thinning Sprout Clumps. pp. 199-201 *dans* Clark F.B. et J.G. Hutchinson (éd.), Central Hardwood Notes, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, North Central Forest Experiment Station, Columbia, Missouri, 372 p.

Roth E.R. et G.H. Hepting, 1943. Origin and development of oak stump sprouts as affecting their likelyhood to decay. Journal of Forestry, 41 : 27-36.

Roth E.R. et G.H. Hepting, 1969. Prediction of butt rot in newly regenerated sprout oak stands. Journal of Forestry, 67 : 750-756.

Rousseau C., 1974. Géographie floristique du Québec/Labrador — Distribution des principales espèces vasculaires. Les Presses de l'Université Laval, Sainte-Foy, Qc. 799 p.

Roussel L., 1978. Lumière, gourmands et rejets de souche. Revue forestière française, 3 : 186-197.

Shigo A.L., 1965a. Decay and discoloration in sprout red maple. Phytopatholgy, 55 (9) : 957-962. 23 p.

Shigo A.L., 1965b. Organism Interactions in Decay and Discoloration in Beech, Birch, and Maple. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station, Upper Darby, PA, Research Paper no NE-43.

Shigo A.L., 1997. A New Tree Biology: Facts, Photos, and Philosophies on Trees - Facts, photos and philosophies and Their Problems and Proper Care, 2e éd., Shigo and Trees, Associates, Durham, NH, 618 p.

Shortle W.C. et K.R. Dudzik, 2012. Wood decay in living and dead trees: A pictorial overview. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northern Research Station, Newtown Square, PA. General Technical Report no NRS-97. 26 p.

Smith H.C et N.I. Lamson, 1986. Cultural Practices in Appalachian Hardwood Saplings Stands - If Done, How to Do Them ?. pp. 46-61 dans Smith H.C et M.C. Eye (éd.), Guidelines for Managing Immature Appalachian Hardwood Stands. Workshop Proceedings, Morgantown, May, 28-30. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station, Parsons, WV, SAF Publication 86-02.

Solomon D.S. et B.M. Blum, 1967. Stump sprouting of four northern hardwoods. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station, Upper Darby, PA, Research Paper no NE-59, 16 p.

Spinelli R., Magagnotti N. et J. Schweier, 2017. Trends and Perspectives in Coppice Harvesting. Croatian Journal of Forest Engineering, 38 (2) : 219-230.

Stroempl G., 1983. Thinning clumps of northern hardwood stump sprouts to produce high quality timber. Ontario Ministry of Natural Resources, Forest Research Information Paper no 118, 17 p.

Strong T.F., Hubbell A.E., Weise A.H. et G.G. Erdmam, 2006. Effects of Crown Release on Growth and Quality of Even-Aged Red Maple Stands. Northern Journal of Applied Forestry, 23 (4) : 229-233.

Strong T.F. et G.G. Erdmann, 2000. Effects of residual stand density on growth and volume production in even-aged red maple stands. Canadian Journal of Forest Research, 30 : 372-378.

Timbal J., Kremer A., Le Goff N. et G. Nepveu, 1994. Le chêne rouge d'Amérique. Éditions INRA, Paris, 564 p.

Trimble Jr. G.R., 1974. Response to Crop-Tree Release by 7-year-old Stems of Red Maple Stump Sprouts and Northern Red Oak Advance Reproduction. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station, Upper Darby, PA, Research Note no NE-303 8 p.

Truax, B., Gagnon D., Lambert F. et J. Fortier, 2015. Multiple Zoning for private forest owners in agricultural landscapes : a case study. Forests, 6 (10) : 3614-3664. Disponible en lige à : https://doi.org/10.3390/f6103614

Truax B., Gagnon D., Lambert F. et J. Fortier J., 2016. Restauration du chêne rouge et du chêne à gros fruits : rendements inattendus après 18 ans dans différents environnements. Progrès Forestier, Hiver : 8-13.

Truax B., Gagnon D., Fortier J., Lambert F. et M.-A. Pétrin, 2018. Ecological Factors Affecting White Pine, Red Oak, Bitternut Hickory and Black Walnut Underplanting Success in a Northern Temperate Post- Agricultural Forest. Forests, 9 : 50-73. Disponible en ligne à : http://doi:10.3390/f9080499

Tubbs C.H., 1978. Natural regeneration of northern hardwoods in the northern Great Lakes region. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, North Central Forest Experiment Station, St Paul, MN, Research, 20 p.

Vézina P.E. et M. Roberge, 1981. Comment aménager nos forêts?. Les Presses de l'Université Laval, Sainte-Foy, Qc. 273 p.

Walters R.S. et H.W. Yawney, 1990. Acer rubrum L. — red maple. pp. 60-69 dans Burns R.M., Honkala B.H. (tech. coord.), Silvics of North America. Vol. 2. Hardwoods, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Washington, DC, Agriculture Handbook 654.

Ward J.S. et G.R. Stephens, 1993. Influence of Crown Class, Diameter, and Sprout Rank on Red Maple (Acer rubrum L.) Development During Forest Succession in Connecticut. pp. 342-352 dans Gillespie A.R., Parker, G.R., Pope P.E. et G. Rink (éd.), Proceedings of the 9th Central Hardwood Forest Conference, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, North Central Forest Experiment Station, St. Paul, MN, General Technical Report no NC-161.

Wargo P.M., 1976. Variation of starch content among and within roots of red and white oak trees. Forest Science, 22 : 468-471.

Wargo P.M., 1979. Starch storage and radial growth in woody roots of sugar maple. Canadian Journal of Forest Research, 9 : 49-56.

Weigel D.R. et C.Y.J. Peng, 2002. Predicting stump sprouting and competitive success of five oak species in southern Indiana. Canadian Journal of Forest Research, 32 : 703-712.

Wendel G.W., 1975. Stump Sprout Growth and Quality of Several Appalachian Hardwood Species After Clearcutting. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station, Upper Darby, PA, Research Note no NE-329, 12 p.

Wenger K.F., 1953. The sprouting of sweet gum (Liquidambar styraciflua) in relation to season of cutting and carbohydrate content. Plant Physiology, 28 (1) : 35-49.

Wilson B.F., 1968. Red maple stump sprout development the first year. Harvard University, Petersham, MA, Harvard Forest Paper no 18. 10 p.

Zhang Y., Bergeron Y., Zhao X.-H. et I. Drobyshev, 2015. Stand history is more important than climate in controlling red maple (*Acer rubrum L.*) growth at its northern distribution limit in western Quebec, Canada. Journal of Plant Ecology, 8 (4) : 368-379. Disponible en ligne à : http:l/doi:10.1093/jpe/tu029.

Agence Forestière des Bois-Francs