



Ressources naturelles  
Canada

Natural Resources  
Canada

Service canadien des forêts

CENTRE CANADIEN SUR LA FIBRE DE BOIS

Gestion de la végétation forestière

# Rôles, méthodes de recharge aux herbicides chimiques et enjeux

Nelson Thiffault

Service canadien des forêts, Ressources naturelles Canada  
Centre canadien sur la fibre de bois, Québec, QC, Canada

Rapport d'information  
FI-X-023  
2021

Canada

Le Centre canadien sur la fibre de bois réunit des chercheurs du secteur forestier afin de développer pour les industries canadiennes du secteur de la fibre ligneuse des solutions responsables sur le plan environnemental. Sa mission est de créer des connaissances novatrices pour accroître les possibilités économiques afin que le secteur forestier tire un meilleur profit de la fibre ligneuse canadienne. Une partie du mandat du Centre canadien sur la fibre de bois est de travailler étroitement avec FPInnovations et d'autres partenaires au développement et à l'adoption par des utilisateurs de la recherche relative à la fibre ligneuse.

De l'information additionnelle sur le Centre canadien sur la fibre de bois est disponibles sur le web, à l'adresse [cfb.rncan.gc.ca](http://cfb.rncan.gc.ca). Pour télécharger ou commander des exemplaires supplémentaires de cette publication, visitez Les Publications du Service canadien des forêts à [scf.rncan.gc.ca/publications](http://scf.rncan.gc.ca/publications).



Ressources naturelles  
Canada

Natural Resources  
Canada

Gestion de la végétation forestière  
**Rôles, méthodes de recharge  
aux herbicides chimiques et enjeux**

Nelson Thiffault

Service canadien des forêts, Ressources naturelles Canada  
Centre canadien sur la fibre de bois, Québec, QC, Canada

Rapport d'information  
FI-X-023  
2021

Canada

© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, représentée par le ministre de Ressources naturelles Canada, 2021

N° de cat. : Fo4-151/1-2021F-PDF

ISBN : 978-0-660-38446-7

Ressources naturelles Canada

Service canadien des forêts

580, rue Booth

Ottawa (Ontario) K1A 0E4

Une version électronique de ce rapport est disponible à partir du site des Publications du Service canadien des forêts : <https://scf.rncan.gc.ca/publications>.

This publication is available in English under the title: *Forest vegetation management – Key functions, alternatives to chemical herbicides and challenges*.

ATS : 613-996-4397 (Appareil de télécommunication pour sourds)

Le contenu de cette publication peut être reproduit en tout ou en partie, et par quelque moyen que ce soit, sous réserve que la reproduction soit effectuée uniquement à des fins personnelles ou publiques, mais non commerciales, sans frais ni autre permission, à moins d'avis contraire.

On demande seulement :

- de faire preuve de diligence raisonnable en assurant l'exactitude du matériel reproduit;
- d'indiquer le titre complet du matériel reproduit et l'organisation qui en est l'auteur;
- d'indiquer que la reproduction est une copie d'un document officiel publié par Ressources naturelles Canada, et que la reproduction n'a pas été faite en association avec Ressources naturelles Canada ni avec l'appui de celui-ci.

La reproduction et la distribution à des fins commerciales sont interdites, sauf avec la permission écrite de Ressources naturelles Canada. Pour de plus amples renseignements, veuillez communiquer avec Ressources naturelles Canada à [copyright-droitdauteur@rncan-rncan.gc.ca](mailto:copyright-droitdauteur@rncan-rncan.gc.ca).



## Table des matières

1. Introduction . . . . .	5
2. Pourquoi gérer la végétation forestière? . . . . .	7
3. Comment gérer la végétation forestière? . . . . .	11
4. Autres enjeux, opportunités et considérations . . . . .	17
5. Conclusion . . . . .	19
6. Remerciements . . . . .	21
7. Références . . . . .	23





## **Avant-propos**

Ce rapport est une adaptation d'un mémoire déposé en mai 2021 au Comité permanent des changements climatiques et de l'intendance de l'environnement, un comité multipartite de l'Assemblée législative du Nouveau-Brunswick. Il avait été rédigé en réponse à une invitation à soumettre un mémoire relativement à la question de l'utilisation dans la province des pesticides et des herbicides, notamment le glyphosate.





## Résumé

La gestion de la végétation forestière, d'abord considérée comme une pratique qui consiste à aménager efficacement les ressources environnementales des sites pour favoriser la croissance d'essences désirées plutôt que celle d'espèces végétales non commerciales, a évolué au cours des dernières décennies. Elle vise maintenant à contrôler la succession forestière pour l'atteinte d'une variété de services écosystémiques. La gestion de la végétation forestière n'est pas une fin en soi – elle est un outil, parmi d'autres, qui permet de réaliser les aspirations de la société à l'égard de ses forêts, aspirations qui sont identifiées dans le processus de l'aménagement forestier. La gestion de la végétation a généralement pour but d'accroître la production ligneuse de fibre de bois basée sur les conifères. Cela dit, elle peut également servir à l'atteinte d'autres objectifs, comme celui de limiter l'envahissement de milieux naturels par des espèces exotiques ou la propagation de maladies. La gestion de la végétation comporte une boucle préventive (p. ex., choix des coupes, des saisons d'intervention, gestion des débris), qui contribue à limiter ou à éviter la nécessité de procéder à des traitements correctifs. À ce titre, les traitements mécaniques, comme l'utilisation de la débroussailleuse, ont démontré leur capacité à augmenter la survie et la croissance des arbres sélectionnés, même sur des sites présentant un fort niveau de compétition végétale. Toutefois, de tels traitements comportent des risques pour les travailleurs et s'avèrent dispendieux. De plus, ils doivent généralement être combinés avec d'autres traitements au sein d'une stratégie intégrée de gestion de la végétation afin d'assurer leur efficacité. Une intégration imparfaite peut mener à l'échec de l'établissement des essences souhaitées, mettant en péril l'atteinte des objectifs. Il n'y a pas de solution unique qui convient à tous les contextes. Les traitements de gestion de la végétation ne sont pas intrinsèquement bons ou mauvais. Le choix des méthodes de gestion de la végétation repose sur plusieurs enjeux qu'il importe d'identifier et de discuter au sein du processus d'aménagement forestier. Par ailleurs, nos connaissances quant aux relations de compétition entre les espèces et l'effet des traitements sylvicoles sur celles-ci doivent être mises à jour au regard des changements climatiques. De même, une meilleure compréhension du rôle de la facilitation écologique entre les espèces permettrait d'identifier les occasions de conserver ou de favoriser des espèces accompagnatrices tout en maintenant, voire en améliorant la productivité des essences d'intérêt commercial. Sur la base des nouvelles connaissances concernant la complémentarité des niches écologiques des espèces, la gestion de la végétation pourrait être raffinée afin de favoriser des combinaisons qui augmenteraient la productivité des écosystèmes en optimisant l'utilisation des ressources environnementales disponibles. Il importe de poursuivre la recherche afin d'identifier des approches efficaces et efficaces pour faire face à la question des espèces exotiques envahissantes, et de combiner la science et la technologie du 21<sup>e</sup> siècle aux connaissances autochtones traditionnelles quant à l'élaboration de nouvelles approches en gestion de la végétation.





## 1. Introduction

Le concept de gestion de la végétation forestière a évolué au fil du temps. Au cours des années 1980, alors que les objectifs de la foresterie étaient principalement axés sur la production de bois, la gestion de la végétation forestière s'inspirait directement du monde agricole. Elle était alors vue comme une pratique consistant à aménager efficacement les ressources environnementales des sites forestiers (la lumière, l'eau, les éléments nutritifs du sol) pour favoriser la croissance d'essences désirées plutôt que celle d'espèces végétales non commerciales (Walstad et Kuch 1987). En d'autres termes, il s'agissait alors de limiter la croissance des espèces végétales qui ne contribuaient pas à la production des produits désirés, ou de les éliminer.

Au fil des années, l'aménagement forestier s'est graduellement transformé, notamment en adoptant les principes d'aménagement durable des ressources mis de l'avant dans le rapport Brundtland (1987). La définition de la gestion de la végétation forestière a ainsi été élargie pour reconnaître qu'elle doit permettre l'atteinte d'objectifs écologiques, économiques et sociaux selon les principes de l'aménagement forestier durable, sur la base d'un processus de gestion intégrée de la végétation (Wagner 1994). La gestion intégrée de la végétation forestière repose, notamment, sur l'intégration des connaissances de l'autécologie des espèces concurrentes, telles que leur phénologie, leurs exigences d'habitats et leurs modes de reproduction (Bell 1991; Jobidon 1995; Wagner et Zasada 1991).

Les paradigmes de l'aménagement forestier, qui ont continué d'évoluer dans les années 1990 et 2000, s'appuient maintenant sur des concepts comme celui de l'aménagement écosystémique. L'aménagement écosystémique vise à assurer le maintien de la biodiversité et la viabilité des écosystèmes en diminuant les écarts entre la forêt aménagée et la forêt naturelle (Gauthier et al. 2008). Ce paradigme est maintenant au cœur de plusieurs régimes forestiers au Canada, dont ceux du Québec et de l'Ontario. La gestion de la végétation forestière s'inscrit dans cette évolution et

visait maintenant la gestion de la succession forestière pour l'atteinte d'une variété de services écosystémiques (Bell et al. 2011c), comme le maintien de la qualité de l'eau, la fixation du carbone atmosphérique et l'apport d'habitats fauniques.

Malgré l'évolution de ces concepts au fil des dernières décennies, la maximisation de la production ligneuse demeure le principal objectif des traitements de gestion de la végétation forestière au Canada. Encore aujourd'hui, à quelques exceptions près (notamment au Québec et en Saskatchewan), la gestion de la végétation forestière consiste principalement en l'application de phytocides chimiques au Canada, une pratique qui présente un faible niveau d'acceptabilité sociale (Ammer et al. 2011; Nadeau et al. 2008; Wagner et al. 1998a; Wagner et al. 1998b) et qui est incompatible avec la vision du monde des Premières Nations (Kayahara et Armstrong 2015). Dans ce contexte, les gouvernements municipaux et provinciaux, à qui incombe la responsabilité de légiférer et de réglementer les pratiques sur leur territoire, sont régulièrement appelés à mener des exercices de consultation et d'information portant sur la gestion de la végétation forestière. L'accès à la connaissance scientifique est un des éléments clés du succès de ces processus (Wyatt et al. 2011).

L'objectif de ce rapport consiste à présenter, dans un langage clair et de manière concise, le contexte de l'utilisation de la gestion de la végétation forestière et certains des concepts scientifiques qui lui sont associés. Nous décrivons et expliquons d'abord le rôle de la gestion de la végétation forestière en sylviculture et en aménagement forestier. Ensuite, nous présentons les principales méthodes documentées et disponibles de gestion de la végétation forestière, en mettant l'accent sur les méthodes de rechanges à l'utilisation des phytocides chimiques. Finalement, nous identifions certains enjeux ainsi que de nouvelles opportunités et perspectives qui émergent de la recherche la plus récente en écologie.

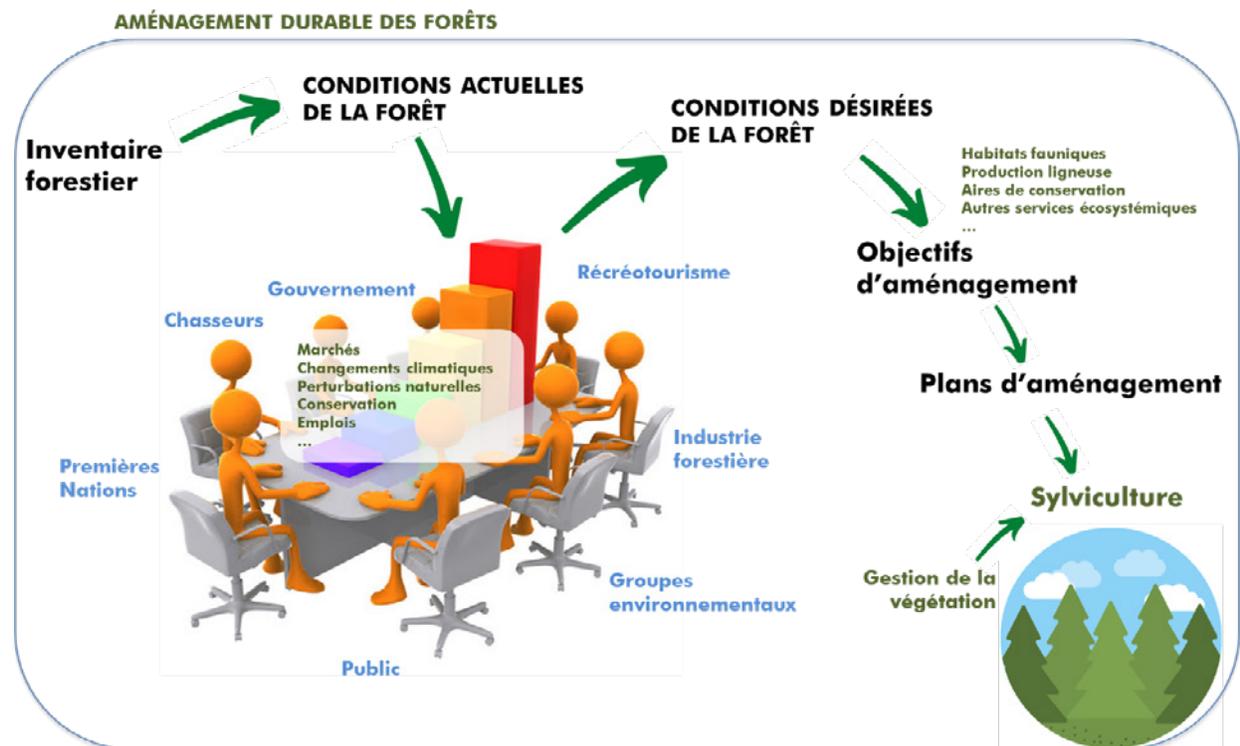




## 2. Pourquoi gérer la végétation forestière?

La gestion de la végétation forestière est l'une des pratiques de foresterie qui sert d'outil aux sylviculteurs pour atteindre les objectifs de l'aménagement forestier. Les conditions actuelles de la forêt sur un territoire donné soulèvent en effet des enjeux et occasions de différentes natures, liés, entre autres, à la valeur intrinsèque des forêts pour les Premières Nations, à la production de matière ligneuse, à la conservation d'écosystèmes, au maintien de l'activité économique, à la séquestration du carbone et à la lutte aux changements

climatiques, ainsi qu'à l'accès au territoire pour mener des activités récréotouristiques. Les défis de l'aménagement forestier consistent, notamment, à définir ces enjeux et opportunités, à les soupeser, à déterminer les conditions désirées de la forêt et à mettre au point des stratégies qui permettront d'atteindre des objectifs d'aménagement consensuels (Fig. 1). La gestion de la végétation forestière n'est pas une fin en soi - elle est un outil, parmi d'autres, qui permet de réaliser les aspirations de la société à l'égard de ses forêts.



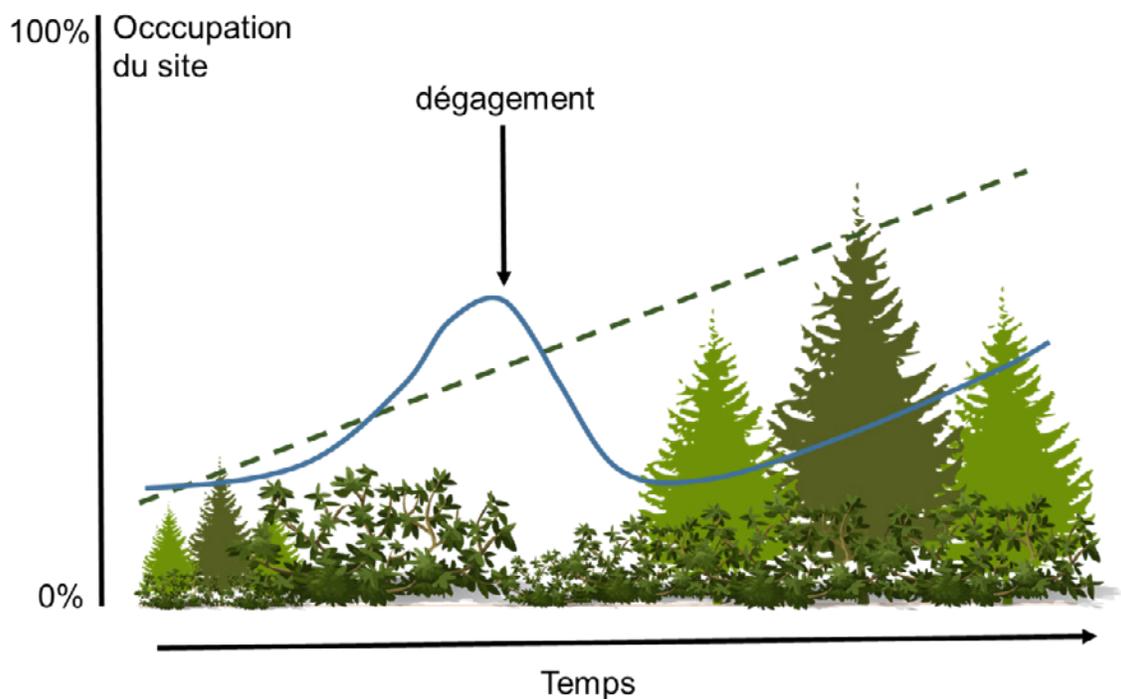
**Figure 1.** Description simplifiée du processus d'aménagement forestier et de la place qu'y occupe la gestion de la végétation forestière. La gestion de la végétation fait partie des outils sylvicoles dont disposent les forestiers afin d'atteindre les objectifs d'aménagement d'un territoire donné. Ces objectifs sont fixés en amont des décisions sylvicoles, selon des mécanismes qui varient d'une juridiction à l'autre, le plus souvent basés sur des formes de consultation ou de participation des diverses parties prenantes. Au Canada, l'aménagement forestier des terres publiques respecte les principes de l'aménagement durable des ressources.

La sylviculture utilise la gestion de la végétation pour manipuler les communautés végétales et orienter leur évolution vers l'atteinte des objectifs d'aménagement (Bell et al. 2011c). Encore aujourd'hui, la gestion de la végétation a généralement pour but d'accroître la production ligneuse de fibre de bois basée sur les conifères (p. ex., l'épinette; *Picea* spp. et le sapin; *Abies* spp.) après les coupes forestières (Fig. 2). Cela dit, elle peut également servir à l'atteinte d'autres objectifs, comme celui de limiter l'envahissement de milieux naturels par des espèces de plantes exotiques (p. ex., le nerprun bourdaine; *Frangula alnus* Mill.), lesquelles menacent l'intégrité écologique des écosystèmes (Nagel et al. 2008). Elle peut aussi tenir un rôle essentiel pour limiter la propagation de maladies. Notamment, la maîtrise des *Ribes* spp. est une méthode sylvicole qui permet de lutter contre l'infection des pins blancs (*Pinus strobus* L.) par la rouille vésiculeuse, un parasite exotique originaire de l'Asie qui a besoin de cet arbuste pour compléter son cycle de vie (Muzika 2017).

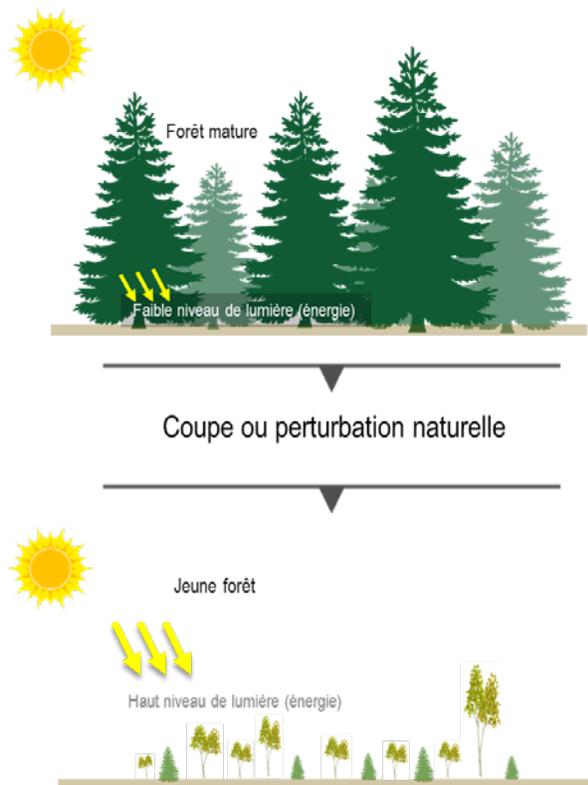
Les communautés végétales qui se régénèrent après une coupe forestière comportent de nombreuses espèces

de plantes et d'essences d'arbres qui sont bien adaptées aux conditions environnementales particulières que l'on trouve à ce stade de développement des peuplements (Bell et al. 2011b). En effet, contrairement aux conditions que l'on retrouve dans le sous-bois des forêts avant les coupes, les parterres coupés jouissent d'un fort ensoleillement, lequel réchauffe l'air et le sol et stimule ainsi la décomposition de la matière organique dans le sol (libérant les nutriments nécessaires à la croissance des plantes), la germination de graines enfouies et de nombreux autres mécanismes écologiques (Fig. 3).

Les conditions environnementales des sites récemment coupés favorisent l'établissement d'espèces végétales qui se reproduisent par graines, par rejets de souches (de nouvelles tiges qui poussent sur ou à proximité de la souche) ou par drageonnement (de nouvelles tiges issues directement de la racine). Dans tous les cas, de telles espèces poussent rapidement (Jobidon 1995; Oliver et Larson 1996). Ne présentant parfois qu'un faible intérêt commercial, selon les objectifs d'aménagement, elles dominent les parterres au détriment des essences les plus souvent recherchées, comme les conifères.



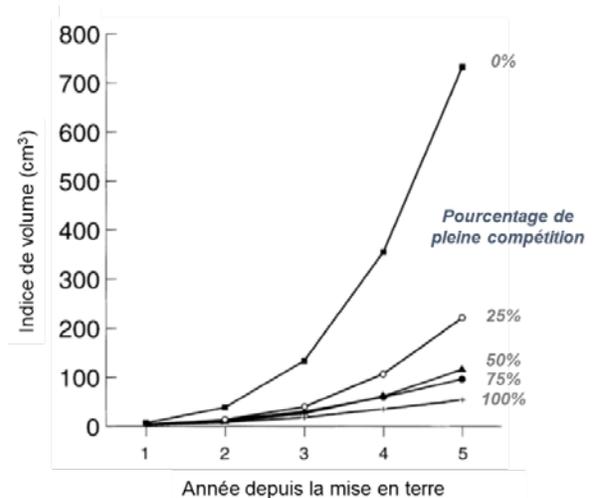
**Figure 2.** Illustration schématique de l'occupation d'un site forestier par la végétation accompagnatrice arbustive (ligne bleue pleine) et les essences désirées, ici représentées par des conifères (ligne verte pointillée), pendant la première décennie suivant une coupe forestière. La gestion de la végétation arbustive, ici représentée par un traitement sylvicole de dégagement, diminue la compétition et permet aux essences désirées de dominer le site sans toutefois éliminer les autres espèces. Adapté de Grossnickle (2000).



**Figure 3.** La coupe forestière modifie drastiquement les conditions environnementales présentes sur les parterres de coupe. Certaines espèces de plantes et d'essences d'arbres, comme le bouleau blanc (*Betula papyrifera* Marsh.), le peuplier faux-tremble (*Populus tremuloides* Michx.) ou l'érable rouge (*Acer rubrum* L.), sont bien adaptées à ces conditions et poussent très rapidement; elles sont appelées des essences « de début de succession ». D'autres essences, comme plusieurs des conifères d'intérêt commercial (par exemple, les épinettes), croissent plus lentement et sont mieux adaptées aux conditions qui prévalent plus tard dans la succession forestière.

Au cours de la phase d'établissement des plantations de conifères, la végétation qui s'établit naturellement s'accapare des ressources environnementales et les utilise efficacement, réduisant, le plus souvent, la croissance des essences plantées (Wagner et al. 2001). Cet effet de la végétation accompagnatrice sur les essences plantées, combiné à la compétition entre les individus pour les ressources comme la lumière, l'eau et les éléments nutritifs, a été documenté dans plusieurs écosystèmes et pour plusieurs essences à travers le monde (Wagner et al. 2006). À titre d'exemple, la compétition exercée par des essences feuillues comme le bouleau à papier, le peuplier faux-tremble et le cerisier de Pennsylvanie (*Prunus pensylvanica* L.f.),

réduit le diamètre de l'épinette blanche plantée (*Picea glauca* (Moench) Voss) par un facteur de trois, seulement 5 années après la mise en terre (Jobidon 2000) (Fig. 4).



**Figure 4.** La croissance en volume de tiges d'épinette blanche plantées sur un site récemment coupé est directement influencée par l'abondance des feuillus de lumière comme le peuplier faux-tremble, lesquels exercent une forte compétition pour les ressources environnementales (particulièrement la lumière). Les tiges d'épinette blanche soumises à la pleine compétition présentent une croissance linéaire; elles ne présentent pas la croissance exponentielle typique attendue dans les jeunes plantations. Par ailleurs, même un faible niveau de compétition exercé par des feuillus de lumière entraîne une perte importante de croissance. Adapté de Jobidon (2000).

Dans un contexte d'aménagement (voir la Fig. 1) qui requiert la production de matière ligneuse concentrée sur les épinettes, une essence sensible à la compétition et qui a besoin d'un bon niveau d'ensoleillement, la gestion de la végétation est nécessaire pour garantir la croissance des arbres plantés à un rythme qui correspond aux objectifs de production. Bien que d'autres objectifs, comme la production de pin blanc, une essence plus tolérante à l'ombre et particulièrement vulnérable à différents insectes et maladies en début de vie, requièrent des approches différentes (p. ex., le maintien d'un couvert partiel pour éviter l'ensoleillement direct associé à la maîtrise de la végétation herbacée; Pitt et al. 2016), la gestion de la végétation demeure essentielle pour assurer la survie des arbres et ainsi l'atteinte des objectifs d'aménagement.



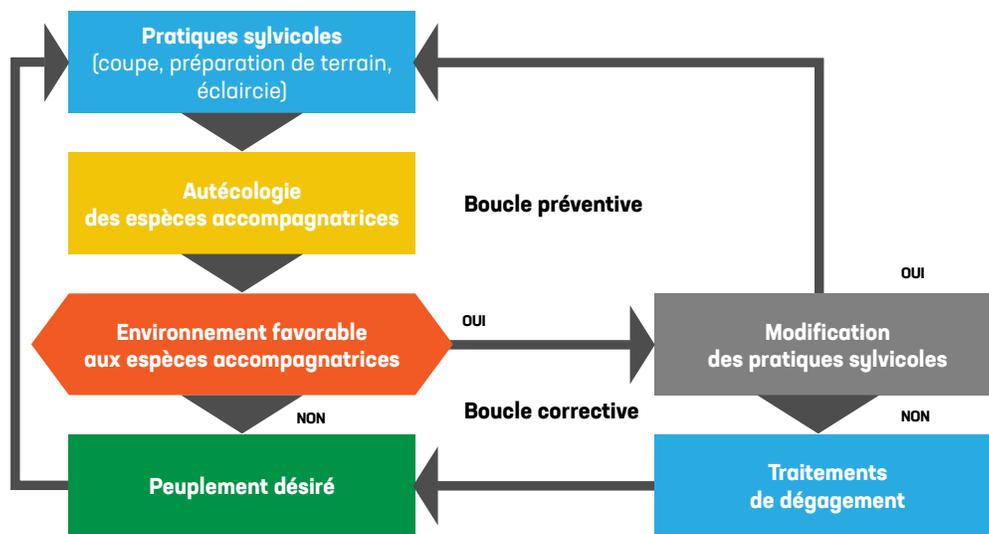


### 3. Comment gérer la végétation forestière?

La gestion de la végétation peut être divisée en deux boucles principales : la boucle préventive et la boucle corrective (Fig. 5). Comme son nom l'indique, la boucle préventive consiste en des traitements ou pratiques qui visent à éviter la domination des sites forestiers par des espèces peu ou pas compatibles avec les objectifs d'aménagement. Par exemple, l'utilisation de coupes qui limitent la perturbation du sol ou qui conservent un couvert partiel, ou encore de coupes réalisées pendant la saison hivernale qui limitent l'établissement d'espèces dont les graines sont dispersées par le vent ou qui forment des banques de graines dans le sol (Wiensczyk et al. 2011). Par ailleurs, alors que ces pratiques peuvent offrir l'avantage de protéger la régénération préétablie des essences désirées (Waters et al. 2004), elles peuvent aussi favoriser la régénération abondante d'autres espèces très compétitives.

De même, la gestion des débris de coupe (soit leur récolte pour la filière de la bioénergie, leur empilement

ou encore leur distribution uniforme sur les sites) peut limiter ou stimuler la croissance de la végétation (Gouge et al. 2021). En effet, les débris créent une barrière physique qui diminue l'exposition du sol et influence la végétation concurrente, le microclimat et la disponibilité des éléments nutritifs (Harrington et al. 2013). Ces effets varient d'un site à l'autre, notamment selon l'autécologie des espèces, les caractéristiques du sol et le climat (Trottier-Picard et al. 2014; Trottier-Picard et al. 2016). La connaissance approfondie et la prise en compte de l'autécologie des espèces (p. ex., Jobidon 1995), de même que l'élaboration et l'utilisation d'un cadre écologique et d'informations qui permettent de prédire l'abondance des espèces (p. ex., Thiffault et al. 2015), sont essentielles afin de demeurer dans la boucle préventive de la gestion de la végétation. Par exemple, des scénarios de plantation inspirés des trajectoires de succession de la forêt naturelle favorisent des plantations productives pour lesquelles les besoins de dégagement sont limités, voire absents (Barrette et al. 2021).



**Figure 5.** Processus de décision en gestion de la végétation forestière. Le processus comprend deux boucles principales, l'une visant le maintien de conditions qui évitent la domination des sites par les espèces accompagnatrices qui limitent l'atteinte des objectifs d'aménagement, l'autre, visant leur maîtrise une fois que ces espèces sont établies. Adapté de Wagner et al. (2001) et Wiensczyk et al. (2011).

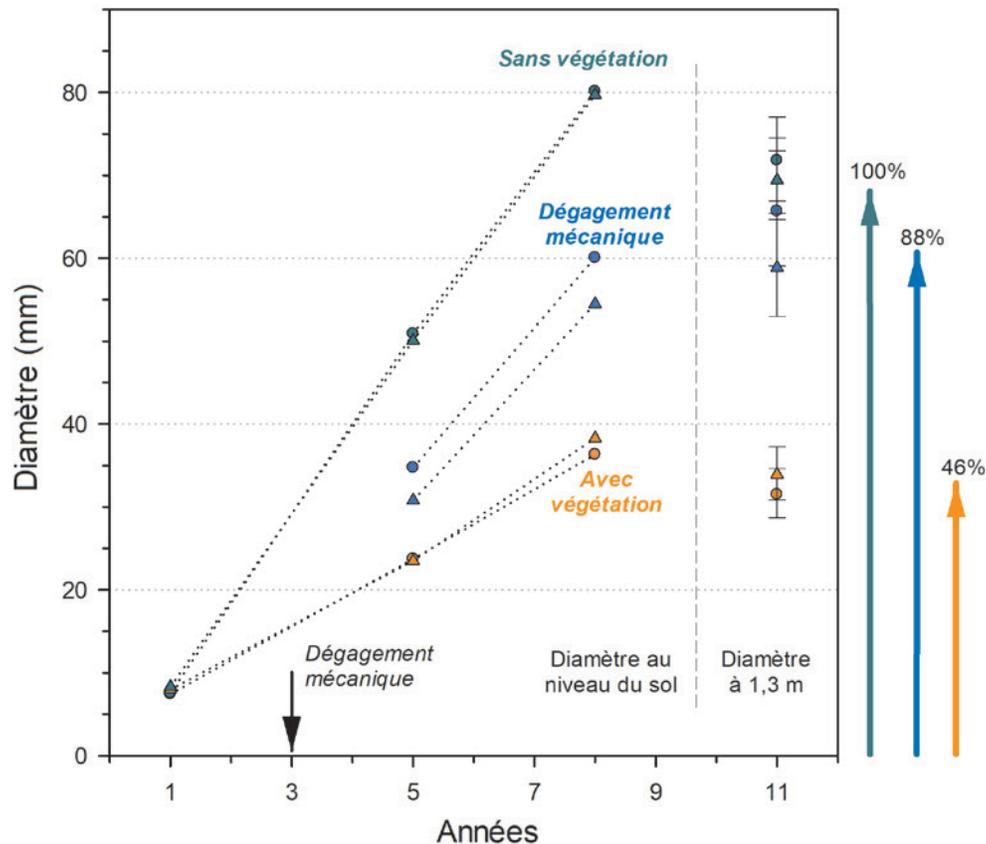
Dans la boucle correctrice (Fig. 5), la gestion de la végétation forestière consiste généralement en des traitements sylvicoles appliqués en jeune âge pour libérer la régénération d'essences désirées ou créer des conditions propices à son établissement. De nombreux ouvrages et articles de synthèse sont consacrés à la description des différentes méthodes disponibles pour la gestion de la végétation forestière. Par exemple, Bell (1991), Wagner et al. (2001) ou encore Thiffault et Hébert (2013) décrivent les variantes et les modalités des grandes catégories de traitements et discutent des facteurs qui en conditionnent la réussite dans le contexte canadien. Thompson et Pitt (2003) synthétisent les efforts de recherche dans le domaine et décrivent l'évolution des pratiques au pays. Quant à eux, Wiensczyk et al. (2011) offrent probablement le survol le plus complet des diverses options disponibles et ayant été testées au Canada, en mettant l'accent sur leur capacité à maîtriser la végétation de compétition sans causer de dommages à la régénération forestière.

Les deux variantes les plus utilisées pour gérer la végétation dans la boucle correctrice sont les phytocides chimiques et les coupes mécaniques. Les méthodes mécaniques et chimiques diffèrent grandement quant à leur productivité et leur coût (Bell et al. 1997; Fortier et Messier 2006), les approches chimiques présentant un ratio bénéfice-coût plus élevé selon un strict point de vue économique (Homagain et al. 2011). L'utilisation des phytocides chimiques comme méthode de maîtrise de la végétation forestière, particulièrement les phytocides à base de glyphosate, est en effet reconnue pour être efficace et efficiente (Newton 2006; Wagner et al. 2004). Les effets de l'utilisation de phytocides chimiques sur la productivité forestière, la biodiversité ou d'autres composantes des écosystèmes ne sont pas abordés plus en profondeur dans ce rapport. Toutefois, il est

possible d'en apprendre davantage en consultant les nombreuses études et synthèses disponibles sur le sujet (p. ex., Bell et al. 2011a; Benbrook 2016; Botten et al. 2021; Comeau et Fraser 2018; Dampier et al. 2007; Deighton et al. 2021; Edge et al. 2021; Fu et al. 2008; Man et Bell 2018; Mihajlovich et al. 2012; Peter et Harrington 2018; Relyea 2012; Rolando et al. 2017; Royo et al. 2019; Stokely et al. 2018; Thompson et al. 2012; Urli et al. 2017; Wood 2019).

Pour leur part, les coupes mécaniques incluent d'abord des méthodes manuelles qui comportent des outils comme des machettes, des haches, des serpes ou des sécateurs. Bien qu'intéressantes et efficaces à l'échelle de l'arbre individuel, de telles méthodes sont peu applicables dans un contexte d'aménagement forestier à grande échelle. Elles peuvent toutefois trouver leur utilité dans des milieux sensibles de petites superficies.

Les coupes mécaniques englobent également des méthodes motorisées qu'il est possible d'utiliser dans un contexte opérationnel, comme la débroussailleuse ou la scie mécanique, ou encore des approches où les outils sont installés sur des tracteurs ou des débardeurs (Wiensczyk et al. 2011). Les modalités manuelles et motorisées de maîtrise de la végétation permettent d'augmenter la survie et la croissance des arbres sélectionnés (Cyr et Thiffault 2009; Deighton et al. 2021) et ont l'avantage d'être sélectives; il est effectivement possible de couper certains concurrents ciblés. Lorsqu'il est appliqué au sein d'une approche intégrée de gestion de la végétation (décrite plus bas), le dégagement mécanique avec débroussailleuses permet d'atteindre les objectifs de production, même sur des sites présentant un fort niveau de compétition végétale (Thiffault et al. 2014b) (Fig. 6).



**Figure 6.** Croissance de plants de reboisement d'épinette noire (*Picea mariana* (Mill.) BSP) mis en terre sur un site présentant un niveau élevé de compétition végétale. Cette expérience compare des plants de fortes dimensions (avec une hauteur initiale de plus de 35 cm et un diamètre initial de plus de 6 mm) produits en récipients (les symboles ronds) ou à racines nues (les symboles triangulaires). Les plants mis en terre l'année suivant la coupe forestière ont été soumis à un traitement témoin à compétition élevée (c.-à-d., sans aucun traitement de dégagement; les symboles orange), un traitement opérationnel de dégagement mécanique avec débroussailluse à l'année 3 (les symboles bleus), ou un environnement sans aucune végétation de compétition (les symboles verts). En considérant que ce dernier traitement expérimental représente le plein potentiel des plants, sans contraintes de compétition à leur croissance, le dégagement mécanique permet d'exprimer près de 90% de cette productivité. Adapté de Thiffault et al. (2014b).

Le dégagement mécanisé comporte toutefois des risques, notamment la coupe accidentelle de semis d'essences désirées, en plus d'exposer les travailleurs forestiers à des charges physiques importantes pouvant affecter leur santé (Borz et al. 2019; Sorică et al. 2018; Toupin et al. 2007). Par ailleurs, les espèces concurrentes présentent, pour la plupart, une forte capacité de reproduction végétative (soit par rejets de souche, par drageonnement ou les deux à la fois). Ainsi, le dégagement mécanique ne tue pas les individus; la couverture végétale se reforme rapidement après la coupe des tiges (Pitt et al. 2000; Pitt et al. 2004). Alors que ceci présente potentiellement un avantage du point de vue du maintien de la biodiversité (Hartley 2002), la régénération végétative rapide des espèces coupées

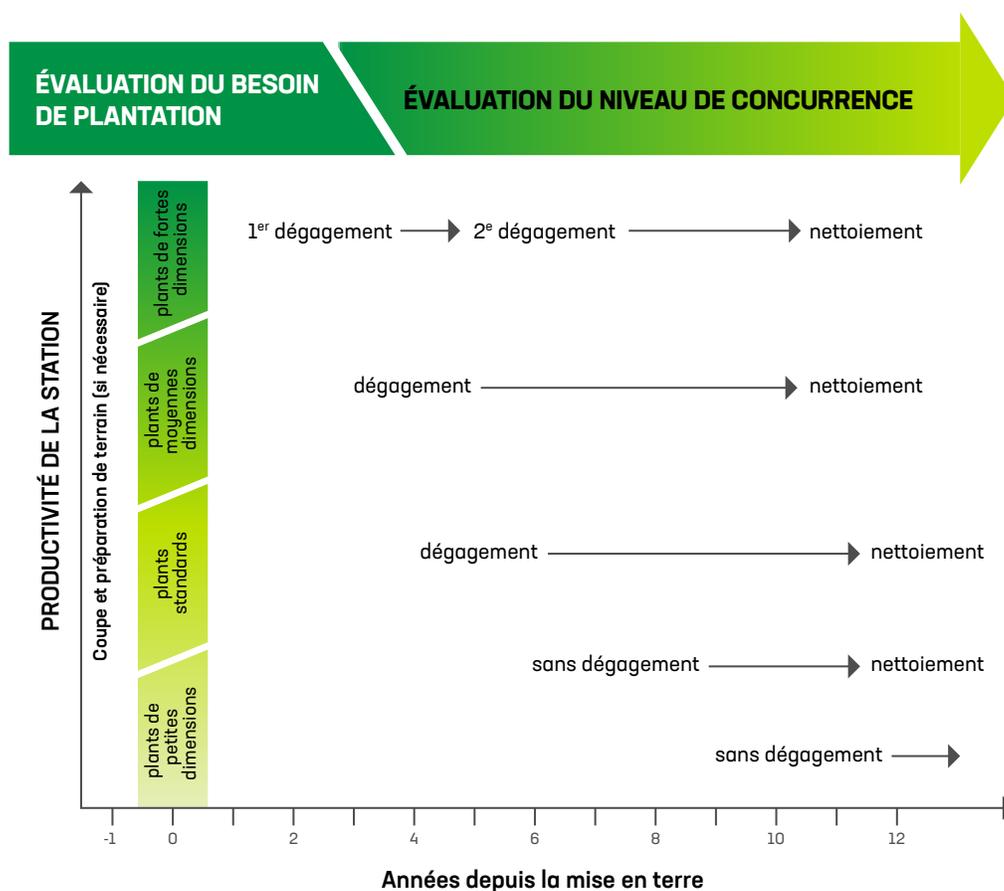
fait en sorte qu'un second dégagement est parfois nécessaire, avec les coûts élevés qui s'y rattachent.

Les travaux de recherche sur le dégagement mécanique ont permis d'en préciser les meilleures conditions de réalisation. Par exemple, le dégagement réalisé au moment où les espèces à maîtriser sont en pleine feuillaison (généralement en juillet et en août) conduit aux meilleurs résultats de croissance des essences dégagées (Jobidon et Charette 1997). La hauteur de coupe a également un effet significatif sur l'efficacité du dégagement mécanique réalisé à l'aide de débroussailluses (Bell et al. 1999; Jobidon 1997). Par ailleurs, le moment optimal pour réaliser le dégagement en regard du nombre d'années depuis la coupe forestière

dépend des espèces à maîtriser et du contexte bioclimatique (Thiffault et al. 2014a). Il n'y a donc pas de recette unique.

Les travaux récents ont démontré qu'afin d'assurer l'efficacité du dégagement mécanique dans les situations de forte compétition (p. ex., celle illustrée en Fig. 6), il est nécessaire de le combiner avec d'autres traitements au sein d'une stratégie intégrée de gestion de la végétation (Fig. 7). Notamment, le dégagement mécanique doit s'accompagner d'une évaluation adéquate des besoins en préparation mécanique du sol afin que son intensité ne dépasse pas le niveau requis pour assurer

l'établissement des plants (Buitrago et al. 2015; Thiffault et al. 2003; Thiffault et al. 2017). Parmi ces autres traitements se trouve la mise en terre hâtive des plants, soit au printemps suivant la récolte finale, qui permet à ceux-ci de profiter de conditions d'établissement et de croissance favorables, alors que le parterre de coupe n'est pas encore envahi par la végétation de compétition. Il importe d'utiliser des plants aux dimensions initiales qui leur confèrent une plus grande capacité photosynthétique, une meilleure croissance et un meilleur accès aux ressources environnementales, principalement la lumière (Jobidon et al. 1998; Jobidon et al. 2003). Il sera ensuite nécessaire d'assurer un suivi



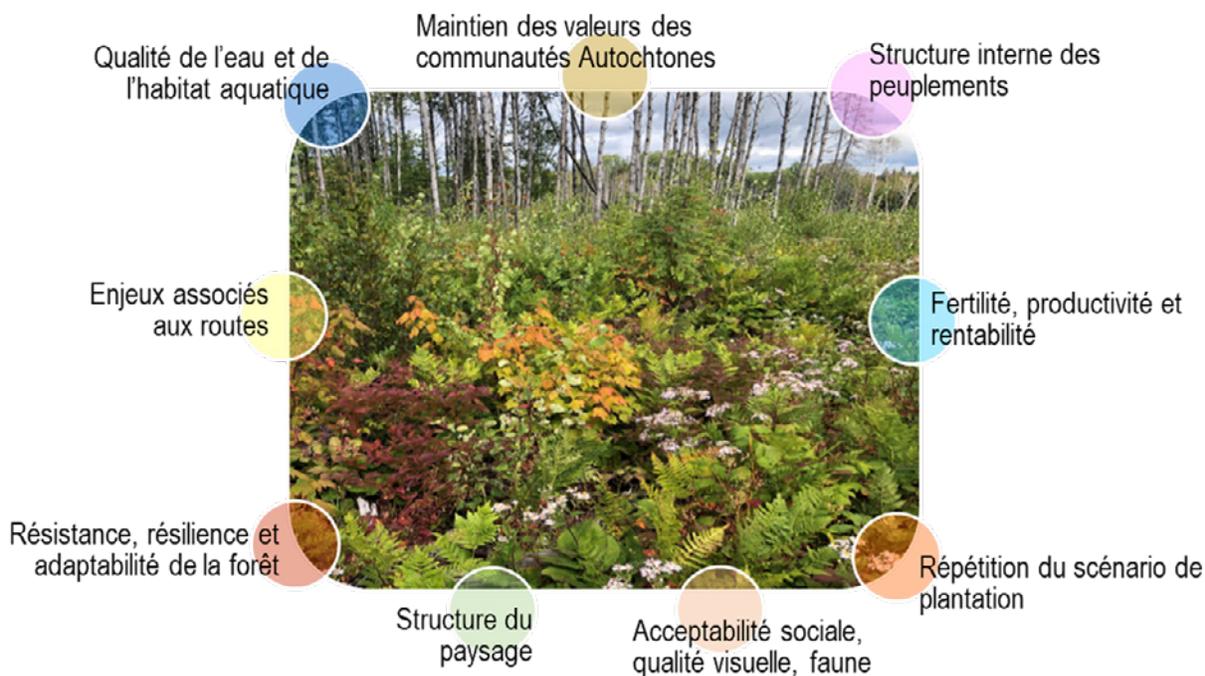
**Figure 7.** Représentation conceptuelle d'une stratégie de gestion de la végétation forestière en plantation qui tient compte de la productivité (la fertilité) des sites forestiers, laquelle influence le niveau attendu de compétition par les espèces accompagnatrices. Les stations les plus riches et potentiellement les plus productives requièrent l'utilisation de plants de fortes dimensions, plus aptes à acquérir les ressources environnementales. Les besoins en dégagement apparaissent plus tôt sur les stations les plus fertiles et plusieurs traitements risquent d'être nécessaires dans de telles conditions. Dans tous les cas, la mise en terre hâtive des plants (l'année suivant la coupe) leur fournira des conditions d'établissement et de croissance favorables avant l'envahissement des sites par les espèces accompagnatrices. Reproduit de Thiffault (2010); adapté de Thiffault et Roy (2011).

de l'état compétitif des plants et de les dégager dès qu'il y a détection d'une situation de compétition. Plusieurs approches ont été élaborées au fil des années pour identifier le moment opportun de procéder au dégagement (p. ex., Jobidon 1992; Jobidon 1994; Towill et Archibald 1991; Wagner et Robinson 2006). Comme principe général, les critères de décisions doivent tenir compte de l'autécologie de l'essence désirée, celles des espèces accompagnatrices, leurs dimensions ou recouvrement relatif ainsi que les objectifs de production.

Une intégration imparfaite des différentes étapes décrites ci-haut peut mener à l'échec de l'établissement des plantations. Un délai trop long entre la coupe et la mise en terre, le mauvais choix du type de plants, l'absence d'un suivi adéquat, ou la combinaison de

plusieurs de ces erreurs mettent en péril l'atteinte des objectifs de production (Bureau du forestier en chef 2015; Thiffault et Roy 2011).

En somme, le choix des méthodes de gestion de la végétation repose sur plusieurs enjeux (Deighton et al. 2021) qu'il importe d'identifier et de discuter au sein du processus d'aménagement forestier (Fig. 1). Ces enjeux peuvent comprendre la productivité des forêts, la qualité des habitats fauniques et de l'eau ou la rentabilité des travaux sylvicoles et de l'aménagement (Fig. 8). À ce titre, il n'y a pas de solution unique qui convient à toutes les situations. Les traitements de gestion de la végétation ne sont pas intrinsèquement bons ou mauvais; tout dépend des objectifs et du contexte (Boîte 1).



**Figure 8.** Exemples d'enjeux associés à la gestion de la végétation dans un contexte d'aménagement qui vise le maintien des différentes fonctions des écosystèmes et qui repose sur les principes de l'aménagement durable des ressources. Adapté de Barrette et al. (2014).

## Boîte 1. L'analogie de la scie

Les traitements de gestion de la végétation ne sont pas intrinsèquement bons ou mauvais. Pour illustrer cette idée, nous pouvons faire une analogie et comparer les choix que doit faire le sylviculteur quant aux traitements de gestion de la végétation à utiliser à ceux que doit faire le menuisier lorsqu'il est nécessaire de couper un morceau de bois. Tout comme le sylviculteur, le menuisier a plusieurs outils à sa disposition pour accomplir cette tâche; de nombreux types de scies se trouvent sur son établi, lesquelles présentent toutes des avantages et des inconvénients dont il doit tenir compte pour faire son choix. Par exemple, le banc de scie (1) est un outil puissant, rapide, qui permet notamment de couper les pièces de bois dans le sens de la longueur. Il s'agit cependant d'un outil dangereux et bruyant, ne pouvant être utilisé que dans un environnement contrôlé (l'atelier). La scie circulaire à onglet (2) offre, quant à elle, la possibilité de couper les pièces avec précision selon plusieurs combinaisons d'angles. Elle est toutefois limitée dans la dimension des morceaux qu'elle peut couper. La scie alternative (3) est très versatile et permet de couper des pièces de bois dans les endroits difficiles à atteindre. Elle offre toutefois peu de contrôle sur l'alignement des coupes, lesquelles peuvent dévier du haut vers le bas des pièces coupées. Finalement, avec sa lame petite et étroite, la scie sauteuse (4) est très maniable et permet de scier des formes arrondies ou suivant un tracé librement choisi. Elle n'est toutefois pas efficace pour couper des morceaux de grosses dimensions.



1. Banc de scie



2. Scie circulaire à onglet



3. Scie alternative



4. Scie sauteuse

Les types de scies ne sont pas intrinsèquement bons ou mauvais; c'est l'objectif et le contexte de leur utilisation qui dictent celui qui est le plus approprié. Le choix de la meilleure scie à utiliser dépend de l'objectif, p. ex., couper un madrier, couper une planche dans le sens de la longueur, raccourcir la patte d'un meuble, ou agrandir une ouverture dans un mur, et du contexte, p. ex., un endroit sécurisé et contrôlé comme un atelier ou une pièce habitée de la maison où circulent d'autres membres de la famille. Chacun des outils présente un danger intrinsèque; dans tous les cas, le menuisier doit s'assurer de respecter les règles de sécurité entourant son utilisation pour ainsi limiter l'exposition et diminuer les risques. Le risque associé à l'utilisation d'un traitement de gestion de la végétation, qu'il soit mécanique ou chimique, dépend du danger intrinsèque qu'il représente et de l'exposition des personnes, des plantes, des animaux ou des autres composantes de l'écosystème à son utilisation. Alors que le danger intrinsèque est une caractéristique inhérente à la méthode ou l'outil, le risque peut être diminué en contrôlant l'exposition.

### Danger intrinsèque

La propriété ou capacité d'une substance, d'un équipement, d'une méthode de travail, etc., susceptible de causer un dommage aux personnes, aux animaux, ou aux écosystèmes.

X

### Exposition

Le degré et la fréquence avec lesquels un danger atteint les personnes, les animaux ou les écosystèmes.

=

### Risque

Le résultat de l'exposition à un danger. Pour un équipement ou une méthode de travail présentant un danger intrinsèque donné, le risque à la santé des personnes, des animaux et des écosystèmes peut être réduit en diminuant l'exposition.

Par ailleurs, certaines situations nécessitent de combiner l'utilisation de plusieurs types de scies pour atteindre l'objectif. Chose certaine, il n'y a pas de solution unique : un seul type de scie ne peut convenir à toutes les circonstances. Tout comme le sylviculteur, le menuisier doit pouvoir compter sur un coffre d'outils diversifié afin de réaliser ses plans.



## 4. Autres enjeux, opportunités et considérations

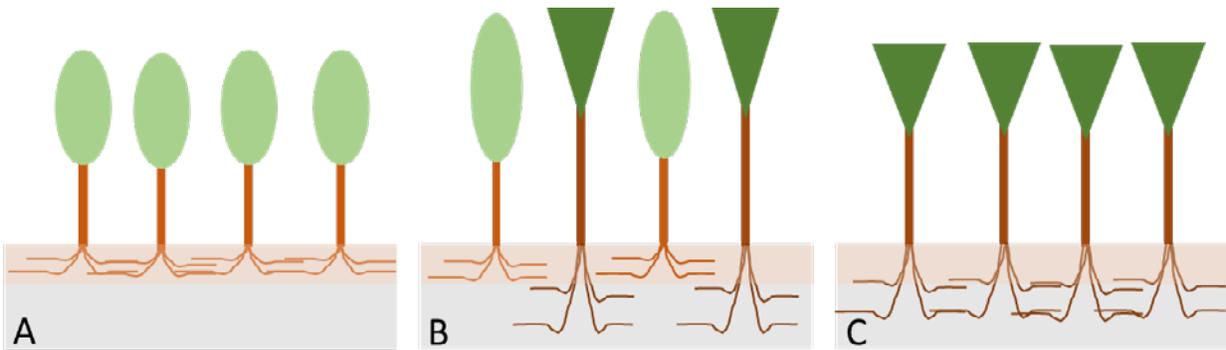
Les préférences et limites de tolérance aux facteurs écologiques des espèces accompagnatrices (leur autécologie) a fait l'objet de nombreuses études. À ce titre, Bell et al. (2011b) présentent une synthèse de l'information disponible pour les principales espèces au Canada. Beudet et al. (2013) fournissent, pour leur part, des tableaux comparatifs pour de nombreuses espèces herbacées, arbustives et arborées. Cependant, les changements climatiques sont susceptibles de modifier la phénologie des espèces concurrentes et commerciales (Fridley 2012; Marty et al. 2020). Par exemple, les périodes de floraison, de feuillaison, de fructification et d'entrée en dormance sont appelées à se modifier avec le réchauffement des températures. Ainsi, il importe de mettre à jour nos connaissances quant aux relations de compétition entre les espèces et l'effet des traitements sylvicoles sur celles-ci afin de bien cibler les mesures de gestion de la végétation et d'assurer leur efficacité. Les changements climatiques font en sorte que le passé n'est pas garant de l'avenir. La sylviculture, incluant la gestion de la végétation, doit s'adapter à ces nouvelles réalités afin de maintenir la résistance ou la résilience des écosystèmes, ou encore favoriser leur transition vers de nouvelles compositions adaptées aux climats futurs (Achim et al. 2021).

Les espèces végétales interagissent de nombreuses façons et la compétition n'est qu'une des facettes de leurs interactions. La facilitation est une autre forme importante d'interaction végétale (Wright et al. 2017). Il s'agit d'un processus par lequel la présence d'une espèce bénéficie, via la création de conditions favorables, de l'installation, la survie ou la croissance d'une autre espèce. Or, certaines espèces considérées comme des compétiteurs peuvent s'avérer avoir, dans certaines conditions, des effets bénéfiques sur la survie et la croissance des essences désirées (Thiffault et Hébert 2017; Urli et al. 2020). Notre compréhension des mécanismes de facilitation et des circonstances dans lesquelles ils peuvent l'emporter sur les interactions compétitives demeure limitée. Une meilleure connaissance du rôle de la facilitation écologique entre

les espèces permettrait d'identifier les opportunités de conserver, voire de favoriser des espèces accompagnatrices tout en maintenant, et même, en améliorant la productivité des essences d'intérêt commercial.

Par ailleurs, la recherche a démontré que dans des communautés végétales composées de plusieurs espèces à l'architecture aérienne, souterraine, et aux besoins en ressources différents, on peut observer une utilisation plus efficace des ressources du milieu, et donc, une augmentation de la productivité globale (Justes et al. 2014). Cet effet est appelé la « complémentarité de niche », la niche étant la « position » qu'occupe une espèce dans l'écosystème. De plus en plus d'études tendent à démontrer de tels effets bénéfiques de la diversité sur la productivité forestière (Liang et al. 2016; Paquette et al. 2009; Paquette et Messier 2011; Ruiz-Benito et al. 2013; Williams et al. 2017). Sur la base des nouvelles connaissances développées dans ce domaine (p. ex., Rissanen et al. 2019), la gestion de la végétation pourrait être raffinée afin de favoriser des combinaisons d'espèces qui augmenteraient la productivité des écosystèmes en optimisant l'utilisation des ressources environnementales disponibles (Fig. 9).

Les changements à l'échelle planétaire, qui comprennent non seulement les changements climatiques, mais aussi une augmentation des échanges commerciaux, permettent à plusieurs espèces végétales d'étendre leur aire de distribution (Hulme 2009). Ces espèces, considérées comme des espèces exotiques, envahissent alors les écosystèmes (Mack et al. 2000). Leur présence peut avoir des effets néfastes sur la biodiversité et le fonctionnement des écosystèmes naturels (Krumm et Vítková 2016; Vilà et al. 2011). Les espèces exotiques envahissantes peuvent être plus compétitives que les espèces indigènes dans des contextes de production de bois ou de restauration (Hamelin et al. 2017; Hamelin et al. 2016; Lanzer et al. 2017). Ces espèces, telles que le nerprun bourdaine, présentent des défis particuliers en gestion de la végétation (Nagel et al. 2008),



**Figure 9.** Représentation schématique d'un effet de complémentarité de niches entre deux essences d'arbres qui utilisent des espaces aérien et souterrain différents (en B), par rapport à des peuplements monospécifiques de chacune des essences où tous les individus puisent les mêmes ressources aux mêmes endroits (en A et C). La productivité est accrue (représentée par la taille plus grande des arbres en B par rapport à A et C) si la compétition entre des individus de différentes espèces est plus faible que la compétition entre des individus d'une même espèce et que les ressources de l'écosystème sont, au final, mieux exploitées. Adapté de Trogisch et al. (2021).

notamment lorsque les herbicides de synthèse ne peuvent être utilisés (Debar et al. 2018). Par ailleurs, la maîtrise de certaines espèces arbustives indigènes comme les *Ribes* spp. qui servent d'hôtes secondaires à des maladies exotiques comme la rouille vésiculeuse du pin blanc, est également difficile à réaliser sans l'utilisation de produits chimiques. Il importe de poursuivre la recherche afin d'identifier des approches efficaces et efficaces pour faire face à cet enjeu.

Il importe de combiner la science et la technologie du 21<sup>e</sup> siècle aux connaissances autochtones traditionnelles dans l'élaboration de nouvelles approches en gestion de la végétation. De telles interactions, menées en respect des protocoles et suivant un consentement libre, préalable et éclairé des participants autochtones, offriront l'opportunité d'élargir les options sylvicoles et, ainsi, de tirer pleinement parti des connaissances de sources autochtones et occidentales. Par conséquent, le secteur forestier bénéficiera d'un contrat social renforcé (Moffat et al. 2015), qui démontrera son engagement envers l'innovation et le respect des droits et des valeurs de la population et des communautés autochtones (Wyatt et al. 2011).

Le *Herbicide Alternative Program 2.0* (HAP 2.0), qui se déroule dans la région Nord-Est de l'Ontario, est un exemple probant d'une telle initiative. HAP 2.0 est l'évolution du programme initié en 2011 (Kayahara et Armstrong 2015). Il poursuit l'objectif de régénérer les forêts en utilisant des méthodes de recharge à l'application de phytocides chimiques. À cette fin, HAP 2.0 favorise les interactions entre le savoir autochtone, la recherche en écologie et en sylviculture et la technologie de pointe. En plus d'être une plateforme de collaboration et de codéveloppement de pratiques innovantes et d'outils d'aide à la décision en matière de gestion de la végétation, HAP 2.0 offre des cobénéfices quant à la formation et la promotion de carrières en foresterie pour les jeunes autochtones, une participation accrue des communautés dans l'aménagement des ressources et l'établissement d'une relation durable et de confiance entre les collaborateurs du projet.



## 5. Conclusion

Ce rapport décrit de manière succincte le rôle de la gestion de la végétation en foresterie. L'aménagement forestier est une science appliquée qui intègre les principes de plusieurs sciences, dont l'écologie, la biologie, l'analyse quantitative, les sciences sociales, ainsi que les sciences économiques et politiques, pour ne nommer que celles-ci (Larouche et al. 2013). Qui plus est, la sylviculture est elle-même une discipline scientifique dont les paradigmes sont en évolution et qui s'adapte aux nouveaux outils technologiques et à la réalité des changements climatiques (Achim et al. 2021). Ainsi, dans ce rapport, les descriptions liées à ces disciplines et à leurs processus sont volontairement simplifiées et ne sauraient rendre justice à leur réelle complexité. Néanmoins, nous espérons qu'elles permettront de bien saisir les relations qui les unissent et de comprendre comment elles s'influencent les unes les autres.

Ce rapport aborde quelques-unes des méthodes documentées et disponibles de gestion de la végétation forestière. Nous avons volontairement mis l'accent sur les traitements de rechanges aux phytocides chimiques, ceux-ci étant généralement moins connus que les approches axées sur les produits de synthèse. Cependant, la liste des traitements décrits ici est loin d'être exhaustive. En effet, d'autres méthodes de rechange aux phytocides chimiques que celles abordées dans ce document ont fait l'objet d'études et de rapports. Par exemple, des études expérimentales ou opérationnelles ont été menées sur l'utilisation de paillis qui limitent l'établissement et la croissance de la végétation accompagnatrice, l'ensemencement d'une végétation basse qui empêche la germination

d'autres espèces, le broutement par des animaux, ou encore le brûlage dirigé (Wiensczyk et al. 2011). Alors qu'elles peuvent offrir un certain potentiel dans des circonstances particulières, ces approches demeurent toutefois marginales pour l'instant ou requièrent un niveau élevé de planification technique. Par ailleurs, il existe des herbicides biologiques qui sont efficaces pour contrôler les espèces concurrentes (p. ex., Gosselin et al. 1999; Hamberg et al. 2020). Ces produits, basés sur l'utilisation de champignons naturellement présents dans les écosystèmes forestiers, s'attaquent aux souches des arbustes récemment coupés de manière mécanique et limitent le nombre de rejets de souche ou de drageons. Bien que conceptuellement intéressants, leur efficacité réelle dans un contexte forestier demeure, à ce jour, assez limitée (Laine et al. 2019; Roy et al. 2010; Willoughby et al. 2015). La recherche sylvicole et opérationnelle doit se poursuivre afin d'en améliorer les performances.

Finalement, nous identifions certains enjeux et de nouvelles perspectives à prendre en compte dans l'évolution des traitements de gestion de la végétation. Les incertitudes associées aux changements globaux et les défis de gestion des espèces et des maladies exotiques sont considérables. L'évolution des connaissances concernant les interactions entre les espèces offre, quant à elle, des perspectives nouvelles à explorer en matière de traitements sylvicoles. L'intégration des connaissances traditionnelles autochtones aux plus récentes avancées scientifiques ouvre la voie à une nouvelle étape dans l'évolution du concept de gestion de la végétation forestière.





## 6. Remerciements

Je remercie M<sup>me</sup> Kim Chapman, M. Michael Hoepting et les D<sup>rs</sup> Frank Grenon et Vincent Roy du Service canadien des forêts (SCF) - Ressources naturelles Canada (RNCan), ainsi que M<sup>me</sup> Isabelle Martineau du Centre de services scolaire des Premières-Seigneuries, et M<sup>mes</sup> Laura Thiffault et Myriam Madore de l'Université Laval qui ont fourni des commentaires constructifs sur des versions préliminaires de ce texte. Mes remerciements s'étendent également à M. Anthony Bourgoïn qui a géré le processus d'édition du document. Ce rapport a été préparé dans le cadre du projet de recherche collaboratif *Produire de la fibre pour soutenir le secteur forestier et la bioéconomie émergente*, au sein du programme *Développer des solutions durables pour la fibre de bois* du Service canadien des forêts.





## 7. Références

- Achim, A., Moreau, G., Coops, N.C., Axelson, J.N., Barrette, J., Bédard, S., Byrne, K.E., Caspersen, J., Dick, A.R., D'Orangeville, L., Drolet, G., Eskelson, B.N.I., Filipescu, C.N., Flamand-Hubert, M., Goodbody, T.R.H., Griess, V.C., Hagerman, S.M., Keys, K., Lafleur, B., Montoro Girona, M., Morris, D.M., Nock, C.A., Pinno, B.D., Raymond, P., Roy, V., Schneider, R., Soucy, M., Stewart, B., Sylvain, J.-D., Taylor, A.R., Thiffault, E., Thiffault, N., Vepakomma, U., et White, J.C. 2021. The changing culture of silviculture. *Forestry*. doi: 10.1093/forestry/cpab047
- Ammer, C., Balandier, P., Bentsen, N.S., Coll, L., et Löff, M. 2011. Forest vegetation management under debate: an introduction. *Eur. J. For. Res.* 130(1): 1-5. doi: 10.1007/s10342-010-0452-6.
- Barrette, M., Leblanc, M., Thiffault, N., Paquette, A., Lavoie, L., Bélanger, L., Bujold, F., Côté, L., Lamoureux, J., Schneider, R., Tremblay, J.-P., Côté, S., Boucher, Y., et Deshaies, M.-È. 2014. Enjeux et solutions pour la sylviculture intensive de plantations dans un contexte d'aménagement écosystémique. *For. Chron.* 90(6): 732-747. doi: 10.5558/tfc2014-146
- Barrette, M., Thiffault, N., et Auger, I. 2021. Resilience of natural forests can jeopardize or enhance plantation productivity. *For. Ecol. Manage.* 482. doi: 10.1016/j.foreco.2020.118872.
- Beaudet, M., Cauboue, M., Thiffault, N., Cartier, P., Martineau, P., et Boulet, B. 2013. L'autécologie des espèces concurrentes. *Dans Le guide sylvicole du Québec. Tome 1. Les fondements biologiques de la sylviculture. Édité par B. Boulet and M. Huot. Les Publications du Québec, Québec, QC. pp. 180-279.*
- Bell, F.W. 1991. Critical silvics of conifer crop species and selected competitive vegetation in northwestern Ontario. Canada-Ontario Forest Resource Development Agreement. Northwestern Ontario Forest Technology Development Unit Technical Report. 19.
- Bell, F.W., Dacosta, J., Penner, M., Morneault, A., Stinson, A., Towill, B., Luckai, N., et Winters, J. 2011a. Longer-term volume trade-offs in spruce and jack pine plantations following various conifer release treatments. *For. Chron.* 87(02): 235-250. doi: 10.5558/tfc2011-011.
- Bell, F.W., Kershaw, H.M., Aubin, I., Thiffault, N., Dacosta, J., et Wiensczyk, A. 2011b. Ecology and traits of plant species that compete with boreal and temperate forest conifers: An overview of available information and its use in forest management in Canada. *For. Chron.* 87(2): 161-174. doi: 10.5558/tfc2011-006.
- Bell, F.W., Pitt, D.G., Morneault, A.E., et Pickering, S.M. 1999. Response of immature trembling aspen to season and height of cut. *North. J. Appl. For.* 16(2): 108-114. doi: 10.1093/njaf/16.2.108.
- Bell, F.W., Ride, K.R., St-Amour, M.L., et Ryans, M. 1997. Productivity, cost, efficacy and cost effectiveness of motor-manual, mechanical, and herbicide release of boreal spruce plantations. *For. Chron.* 73(1): 39-46. doi: 10.5558/tfc73039-1.
- Bell, F.W., Thiffault, N., Szuba, K., Luckai, N.J., et Stinson, A. 2011c. Synthesis of silviculture options, costs, and consequences of alternative vegetation management practices relevant to boreal and temperate conifer forests: Introduction. *For. Chron.* 87(2): 155-160. doi: 10.5558/tfc2011-005.
- Benbrook, C.M. 2016. Trends in glyphosate herbicide use in the United States and globally. *Environ. Sci. Eur.* 28(1): 3. doi: 10.1186/s12302-016-0070-0.
- Borz, S.A., Talagai, N., Cheța, M., Chiriloiu, D., Gavilanes Montoya, A.V., Castillo Vizueté, D.D., et Marcu, M.V. 2019. Physical strain, exposure to noise and postural assessment in motor-manual felling of willow short rotation coppice. *Croat. J. For. Eng.* 40(2): 377-388. doi: 10.5552/crojfe.2019.550.

- Botten, N., Wood, L.J., et Werner, J.R. 2021. Glyphosate remains in forest plant tissues for a decade or more. *For. Ecol. Manage.* 493. doi: 10.1016/j.foreco.2021.119259.
- Brundtland, G. 1987. Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future. United Nations General Assembly document A/42/427.
- Buitrago, M., Paquette, A., Thiffault, N., Bélanger, N., et Messier, C. 2015. Early performance of planted hybrid larch: effects of mechanical site preparation and planting depth. *New For.* 46(3): 319-337. doi: 10.1007/s11056-014-9463-3.
- Bureau du forestier en chef. 2015. Succès des plantations. Avis du Forestier en chef. FEC-AVIS-04-2015.
- Comeau, P., et Fraser, E. 2018. Plant community diversity and tree growth following single and repeated glyphosate herbicide applications to a white spruce plantation. *Forests* 9(3): 107. doi: 10.3390/f9030107.
- Cyr, G., et Thiffault, N. 2009. Long-term black spruce plantation growth and structure after release and juvenile cleaning: A 24-year study. *For. Chron.* 85(3): 417-426. doi: 10.5558/tfc85417-3.
- Dampier, J.E.E., Luckai, N.J., Bell, F.W., et Towill, W.D. 2007. Do tree-level monocultures develop following Canadian boreal silviculture? Tree-level diversity tested using a new method. *Biodivers. Conserv.* 16(10): 2933-2948. doi: 10.1007/s10531-007-9151-0.
- Debar, S., Hébert, F., Barrette, M., Brousseau, M., et Thiffault, N. 2018. Effets comparatifs de la préparation mécanique du sol et de l'application répétée d'un phytocide chimique pour maîtriser le nerprun et favoriser la croissance en plantations forestières. *For. Chron.* 94(1): 68-74. doi: 10.5558/tfc2018-009.
- Deighton, H.D., Bell, F.W., Thiffault, N., Searle, E.B., Leitch, M., Sharma, M., et Dacosta, J. 2021. Trade-offs among release treatments in jack pine plantations: Twenty-five year responses. *Forests* 12(3): 370. doi: 10.3390/f12030370.
- Edge, C.B., Brown, M.I., Hartz, S., Thompson, D., Ritter, L., et Ramadoss, M. 2021. The persistence of glyphosate in vegetation one year after application. *Forests* 12(5): 601. doi: 10.3390/f12050601.
- Fortier, J., et Messier, C. 2006. Are chemical or mechanical treatments more sustainable for forest vegetation management in the context of the TRIAD? *For. Chron.* 82(6): 806-818. doi: 10.5558/tfc82806-6.
- Fridley, J.D. 2012. Extended leaf phenology and the autumn niche in deciduous forest invasions. *Nature* 485(7398): 359-362. doi: 10.1038/nature11056.
- Fu, S., Chen, H.Y.H., Bell, F.W., Sharma, M., Delaney, J.R., et Peterson, G. 2008. Effects of timing of glyphosate application on jack pine, black spruce, and white spruce plantations in northern Manitoba. *For. Chron.* 84(1): 37-45. doi: 10.5558/tfc84037-1.
- Gauthier, S., Vaillancourt, M.A., Kneeshaw, D., Drapeau, P., De Grandpré, L., Claveau, Y., et Paré, D. 2008. Aménagement forestier écosystémique : origines et fondements. *Dans Aménagement écosystémique en forêt boréale. Édité par S. Gauthier and M.A. Vaillancourt and A. Leduc and L. De Grandpré and D. Kneeshaw and H. Morin and P. Drapeau and Y. Bergeron.* Presse de l'Université du Québec, Québec, QC. pp. 13-40.
- Gosselin, L., Jobidon, R., et Bernier, L. 1999. Biological control of stump sprouting of broadleaf species in rights-of-way with *Chondrostereum purpureum*: Incidence of the disease on nontarget hosts. *Biol. Control* 16(1): 60-67. doi: 10.1006/bcon.1999.0736.
- Gouge, D., Thiffault, E., et Thiffault, N. 2021. Biomass procurement in boreal forests affected by spruce budworm: Effects on regeneration, costs and carbon balance. *Can. J. For. Res.* doi: 10.1139/cjfr-2021-0060.
- Grossnickle, S.C. 2000. Ecophysiology of Northern Spruce Species. *The Performance of Planted Seedlings.* NRC Research Press, Ottawa, ON.
- Hamberg, L., Saksa, T., et Hantula, J. 2020. Role and function of *Chondrostereum purpureum* in biocontrol of trees. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 105(2): 431-440. doi: 10.1007/s00253-020-11053-5.
- Hamelin, C., Gagnon, D., et Truax, B. 2017. Exotic invasive shrub glossy buckthorn reduces restoration potential for native forest herbs. *Sustainability* 9(2): 249. doi: 10.3390/su9020249.
- Hamelin, C., Truax, B., et Gagnon, D. 2016. Invasive glossy buckthorn impedes growth of red oak and sugar maple under-planted in a mature hybrid poplar plantation. *New For.* 47(6): 897-911. doi: 10.1007/s11056-016-9551-7.
- Harrington, T.B., Slesak, R.a., et Schoenholtz, S.H. 2013. Variation in logging debris cover influences competitor abundance, resource availability, and early growth of planted Douglas-fir. *For. Ecol. Manage.* 296: 41-52. doi: 10.1016/j.foreco.2013.01.033.
- Hartley, M.J. 2002. Rationale and methods for conserving biodiversity in plantation forests. *For. Ecol. Manage.* 155(1-3): 81-95. doi: 10.1016/S0378-1127(01)00549-7.

- Homagain, K., Shahi, C., Luckai, N., Leitch, M., et Bell, F.W. 2011. Benefit-cost analysis of vegetation management alternatives: An Ontario case study. *For. Chron.* 87(2): 260-273. doi: 10.5558/tfc2011-013.
- Hulme, P.E. 2009. Trade, transport and trouble: managing invasive species pathways in an era of globalization. *J. Appl. Ecol.* 46(1): 10-18  
doi: 10.1111/j.1365-2664.2008.01600.x.
- Jobidon, R. 1992. Measurement of light transmission in young conifer plantations: A new technique for assessing herbicide efficacy. *North. J. Appl. For.* 9(3): 112-115.  
doi: 10.1093/njaf/9.3.112.
- Jobidon, R. 1994. Light threshold for optimal black spruce (*Picea mariana*) seedling growth and development under brush competition. *Can. J. For. Res.* 24(8): 1629-1635.  
doi: 10.1139/x94-211.
- Jobidon, R. 1995. Autécologie de quelques espèces de compétition d'importance pour la régénération forestière au Québec. *Revue de littérature. Ministère des Ressources naturelles, Direction de la recherche forestière. Mémoire de recherche forestière.* 117.
- Jobidon, R. 1997. Stump height effects on sprouting of mountain maple, paper birch and pin cherry - 10 year results. *For. Chron.* 73(5): 590-595. doi: 10.5558/tfc73590-5.
- Jobidon, R. 2000. Density-dependent effects of northern hardwood competition on selected environmental resources and young white spruce (*Picea glauca*) plantation growth, mineral nutrition, and stand structural development - a 5-year study. *For. Ecol. Manage.* 130(1-3): 77-97. doi: 10.1016/S0378-1127(99)00176-0.
- Jobidon, R., et Charette, L. 1997. Effets, après 10 ans, du dégagement manuel simple ou répété et de la période de coupe de la végétation de compétition sur la croissance de l'épinette noire en plantation. *Can. J. For. Res.* 27(12): 1979-1991. doi: 10.1139/x97-166.
- Jobidon, R., Charette, L., et Bernier, P.Y. 1998. Initial size and competing vegetation effects on water stress and growth of *Picea mariana* (Mill.) BSP seedlings planted in three different environments. *For. Ecol. Manage.* 103(2-3): 293-305. doi: 10.1016/S0378-1127(97)00228-4.
- Jobidon, R., Roy, V., et Cyr, G. 2003. Net effect of competing vegetation on selected environmental conditions and performance of four spruce seedling stock sizes after eight years in Québec (Canada). *Ann. For. Sci.* 60(7): 691-699. doi: 10.1051/forest:2003063.
- Justes, E., Bedoussac, L., Corre-Hellou, G., Fustec, J., Hinsinger, P., Jeuffroy, M.H., Journet, E.P., Louarn, G., Naudin, C., et Pelzer, E. 2014. Les processus de complémentarité de niche et de facilitation déterminent le fonctionnement des associations végétales et leur efficacité pour l'acquisition des ressources abiotiques. *Innov. Agron.* 40: 1-24.
- Kayahara, G.J., et Armstrong, C.L. 2015. Understanding First Nations rights and perspectives on the use of herbicides in forestry: A case study from northeastern Ontario. *For. Chron.* 91(2): 126-140. doi: 10.5558/tfc2015-024.
- Krumm, F., et Vitková, L. (éditeurs). 2016. Introduced tree species in European forests: opportunities and challenges. European Forest Institute, Freiburg, Germany.
- Laine, T., Hamberg, L., Saarinen, V.-M., et Saksa, T. 2019. The efficacy of *Chondrostereum purpureum* against sprouting of deciduous species after mechanized pre-commercial thinning. *Silva Fenn.* 53(3): Article id 10195.  
doi: 10.14214/sf.10195.
- Lanzer, N.B., Lee, T.D., Ducey, M.J., et Eisenhaure, S.E. 2017. Sapling white pine (*Pinus strobus* L.) exhibits growth response following selective release from competition with glossy buckthorn (*Frangula alnus* P. Mill) and associated vegetation. *For. Ecol. Manage.* 404: 280-288.  
doi: 10.1016/j.foreco.2017.08.049.
- Larouche, C., Guillemette, F., Raymond, P., et Saucier, J.P. (éditeurs). 2013. Le guide sylvicole du Québec. Tome 2. Les concepts et l'application de la sylviculture. Les Publications du Québec, Québec, QC.
- Liang, J., Crowther, T.W., Picard, N., Wiser, S., Zhou, M., Giorgio, Alberti, Schulze, E.-D., McGuire, A.D., Bozzato, F., Pretzsch, H., de-, S., Miguel, Paquette, A., Hérault, B., Scherer-Lorenzen, M., B., C., Barrett, Glick, H.B., Hengeveld, G.M., Nabuurs, G.-J., Sebastian, Pfautsch, Viana, H., Vibrans, A.C., Ammer, C., Schall, P., David, Verbyla, Tchebakova, N., Fischer, M., Watson, J.V., Chen, H.Y.H., Lei, X., Schelhaas, M.-J., Lu, H., Gianelle, D., Parfenova, E.I., Salas, C., Lee, E., Lee, B., Kim, H.S., Bruelheide, H., Coomes, D.A., Piotta, D., Sunderland, T., Schmid, B., Gourlet, S., Fleury, Sonké, B., Tavani, R., Zhu, J., Brandl, S., Jordi, Vayreda, Kitahara, F., Searle, E.B., Neldner, V.J., Ngugi, M.R., Baraloto, C., Frizzera, L., Bałazy, R., Oleksyn, J., Zawila-Niedźwiecki, T., Bouriaud, O., Bussotti, F., Finér, L., Jaroszewicz, B., Jucker, T., Valladares, F., Jagodzinski, A.M., Peri, P.L., Gonmadje, C., Marthy, W., O'Brien, T., Martin, E.H., R., A., Marshall, Rovero, F., Bitariho, R., Niklaus, P.A., Alvarez-P., Loayza, Chamuya, N., Valencia, R., Mortier, F., Wortel, V., L., N., Engone-Obiang, Ferreira, L.V., Odeke, D.E., Vasquez, R.M., L., S., Lewis, et Reich, P.B. 2016. Positive biodiversity-productivity relationship predominant in global forests. *Science* 354(6309). : aaf8957. doi:10.1126/science.aaf8957.

- Mack, R.N., Simberloff, D., Lonsdale, W.M., Evans, H., Clout, M., et Bazzaz, F.A. 2000. Biotic invasions: Causes, epidemiology, global consequences, and control. *Ecol. Appl.* 10(3): 689-710. doi: 10.1890/1051-0761(2000)010[0689:BICEGC]2.0.CO;2.
- Man, R., et Bell, F.W. 2018. Temporal changes of understory plant community in response to pre- and post-harvesting herbicide treatments and partial cutting in aspen-dominated boreal mixedwood stands. *Eur. J. For. Res.* 137(3): 337-348. doi: 10.1007/s10342-018-1107-2.
- Marty, C., Piquette, J., Dussault-Chouinard, É., Morin, H., Thiffault, N., Houle, D., Bradley, R.L., Ouimet, R., Simpson, M.J., et Paré, M.C. 2020. Canopy nitrogen addition and soil warming affect conifer seedlings' phenology but have limited impact on growth and soil n mineralization in boreal forests of eastern Canada. *Front. For. Glob. Change* 3: Article 581363. doi: 10.3389/ffgc.2020.581363.
- Mihajlovich, M., Odsen, S., et Chicoine, D. 2012. Review of herbicide use for forest management in Alberta, 1995-2009. *For. Chron.* 88(3): 328-339. doi: 10.5558/tfc2012-060.
- Moffat, K., Lacey, J., Zhang, A., et Leipold, S. 2015. The social licence to operate: a critical review. *Forestry*: 89(5): 477-488. doi: 10.1093/forestry/cpv044.
- Muzika, R.M. 2017. Opportunities for silviculture in management and restoration of forests affected by invasive species. *Biol. Invasions* 19(11): 3419-3435. doi: 10.1007/s10530-017-1549-3.
- Nadeau, S., Beckley, T.M., Kennedy, E.H., McFarlane, B.L., et Wyatt, S. 2008. Public views on forest management in New Brunswick: Report from a provincial survey. *Nat. Res. Canada, Can. For. Ser., Atl. For. Cent. Info. Rep. M-X-222E*.
- Nagel, L.M., Corace III, R.G., et Storer, A.J. 2008. An experimental approach to testing the efficacy of management treatments for glossy buckthorn at Seney National Wildlife Refuge, Upper Michigan. *Ecol. Restor.* 26(2): 136-142. doi: 10.3368/er.26.2.136.
- Newton, M. 2006. Taking charge in forest vegetation management. *Can. J. For. Res.* 36(10): 2357-2363. doi: 10.1139/x06-089.
- Oliver, C.D., et Larson, B.C. 1996. *Forest Stand Dynamics*. Updated Edition. John Wiley & Sons, Inc., New York, NY. pp. 520.
- Paquette, A., Hawryshyn, J., Senikas, A.V., et Potvin, C. 2009. Enrichment planting in secondary forests : a promising clean development mechanism to increase terrestrial carbon sinks. *Ecol. Soc.* 14(1): 31.
- Paquette, A., et Messier, C. 2011. The effect of biodiversity on tree productivity: from temperate to boreal forests. *Glob. Ecol. Biogeogr.* 20: 170-180. doi: 10.1111/j.1466-8238.2010.00592.x.
- Peter, D.H., et Harrington, T.B. 2018. Effects of forest harvesting, logging debris, and herbicides on the composition, diversity and assembly of a western Washington, USA plant community. *For. Ecol. Manage.* 417: 18-30. doi: 10.1016/j.foreco.2018.01.045.
- Pitt, D., Hoepfing, M., Parker, W., Morneault, A., Lanteigne, L., Stinson, A., et Farrell, J. 2016. Optimum vegetation conditions for successful establishment of planted eastern white pine (*Pinus strobus* L.). *Forests* 7(8): 25. doi: 10.3390/f7080175.
- Pitt, D.G., Morneault, A.E., Bunce, P., et Bell, F.W. 2000. Five years of vegetation succession following vegetation management treatments in a jack pine ecosystem. *North. J. Appl. For.* 17(3): 100-109. doi: 10.1093/njaf/17.3.100.
- Pitt, D.G., Wagner, R.G., et Towill, W.D. 2004. Ten years of vegetation succession following ground-applied release treatments in young black spruce plantations. *North. J. Appl. For.* 21(3): 123-134. doi: 10.1093/njaf/21.3.123.
- Relyea, R.A. 2012. New effects of Roundup on amphibians: predators reduce herbicide mortality; herbicides induce antipredator morphology. *Ecol. Appl.* 22(2): 634-647. doi: 10.1890/11-0189.1.
- Rissanen, K., Martin-Guay, M.-O., Riopel-Bouvier, A.-S., et Paquette, A. 2019. Light interception in experimental forests affected by tree diversity and structural complexity of dominant canopy. *Agric. For. Meteorol.* 278: 107655. doi: 10.1016/j.agrformet.2019.107655.
- Rolando, C., Baillie, B., Thompson, D., et Little, K. 2017. The risks associated with glyphosate-based herbicide use in planted forests. *Forests* 8(6): 208. doi: 10.3390/f8060208.
- Roy, V., Dubeau, D., et Auger, I. 2010. Biological control of intolerant hardwood competition: Silvicultural efficacy of *Chondrostereum purpureum* and worker productivity in conifer plantations. *For. Ecol. Manage.* 259(8): 1571-1579. doi: 10.1016/j.foreco.2010.01.033.
- Royo, A.A., Pinchot, C.C., Stanovick, J.S., et Stout, S.L. 2019. Timing is not everything: Assessing the efficacy of pre- versus post-harvest herbicide applications in mitigating

- the burgeoning birch phenomenon in regenerating hardwood stands. *Forests* 10(4): 324. doi: 10.3390/f10040324.
- Ruiz-Benito, P., Gómez-Aparicio, L., Paquette, A., Messier, C., Kattge, J., et Zavala, M.A. 2013. Diversity increases carbon storage and tree productivity in Spanish forests. *Glob. Ecol. Biogeogr.* 23(3): 311-322. doi: 10.1111/geb.12126.
- Sorică, E., Vlăduț, V., Cârdei, P., Sorică, C., et Brăcăcescu, C. 2018. Comparative analysis of the noise and vibration transmitted to the operator by a brush cutter. *Dans Acoustics and Vibration of Mechanical Structures–AVMS-2017*. pp. 165-172.
- Stokely, T.D., Verschuyf, J., Hagar, J.C., et Betts, M.G. 2018. Herbicides and herbivory interact to drive plant community and crop-tree establishment. *Ecol. Appl.* 28(8): 2011-2023. doi: 10.1002/eap.1777.
- Thiffault, N. 2010. Dégagement mécanique et nettoyage de plantation : étude de leurs effets combinés après 24 ans. *Direction de la recherche forestière, Ministère des Ressources naturelles et de la Faune. Avis de recherche forestière.* 22.
- Thiffault, N., Grondin, P., Noël, J., et Poirier, V. 2015. Ecological gradients driving the distribution of four Ericaceae in boreal Quebec, Canada. *Ecol. Evol.* 5(9): 1837-1853. doi: 10.1002/ece3.1476.
- Thiffault, N., et Hébert, F. 2013. Le dégagement et le nettoyage. *Dans Le guide sylvicole du Québec. Tome 2. Les concepts et l'application de la sylviculture. Édité par C. Larouche and F. Guillemette and P. Raymond and J.-P. Saucier, Québec, QC.* pp. 244-271.
- Thiffault, N., et Hébert, F. 2017. Mechanical site preparation and nurse-plant facilitation for the restoration of subarctic forest ecosystems. *Can. J. For. Res.* 47(7): 926-934. doi: 10.1139/cjfr-2016-0448.
- Thiffault, N., Hébert, F., Charette, L., et Jobidon, R. 2014a. Large spruce seedling responses to the interacting effects of vegetation zone, competing vegetation dominance and year of mechanical release. *Forestry* 87(1): 153-164. doi: 10.1093/forestry/cpt048.
- Thiffault, N., Jobidon, R., et Munson, A.D. 2003. Performance and physiology of large containerized and bare-root spruce seedlings in relation to scarification and competition in Québec (Canada). *Ann. For. Sci.* 60(7): 645-655. doi: 10.1051/forest.
- Thiffault, N., Jobidon, R., et Munson, A.D. 2014b. Comparing large containerized and bareroot conifer stock on sites of contrasting vegetation composition in a non-herbicide scenario. *New For.* 45(6): 875-891. doi: 10.1007/s11056-014-9443-7.
- Thiffault, N., Paquette, A., et Messier, C. 2017. Early silvicultural guidelines for intensive management of hybrid larch plantations on fertile sub-boreal sites. *Silva Fenn.* 51(2): article id 1716. doi: 10.14214/sf.1716.
- Thiffault, N., et Roy, V. 2011. Living without herbicides in Québec (Canada): historical context, current strategy, research and challenges in forest vegetation management. *Eur. J. For. Res.* 130(1): 117-133. doi: 10.1007/s10342-010-0373-4.
- Thompson, D.G., Leach, J., Noel, M., Odsen, S., et Mihajlovich, M. 2012. Aerial forest herbicide application: Comparative assessment of risk mitigation strategies in Canada. *For. Chron.* 88(2): 176-184. doi: 10.5558/tfc2012-034.
- Thompson, D.G., et Pitt, D.G. 2003. A review of Canadian forest vegetation management research and practice. *Ann. For. Sci.* 60(7): 559-572. doi: 10.1051/forest:2003060.
- Toupin, D., LeBel, L., Dubeau, D., Imbeau, D., et Bouthillier, L. 2007. Measuring the productivity and physical workload of brushcutters within the context of a production-based pay system. *Forest Policy Econ.* 9(8): 1046-1055. doi: 10.1016/j.forpol.2006.10.001.
- Towill, W.D., et Archibald, D.A. 1991. A competition index methodology for northwestern Ontario. *Northwestern Ontario Boreal Forest Management, Ministry of Natural Resources. Technical Notes. TN-10.*
- Trogisch, S., Liu, X., Rutten, G., Xue, K., Bauhus, J., Brose, U., Bu, W., Cesarz, S., Chesters, D., Connolly, J., Cui, X., Eisenhauer, N., Guo, L., Haider, S., Härdtle, W., Kunz, M., Liu, L., Ma, Z., Neumann, S., Sang, W., Schuldt, A., Tang, Z., van Dam, N.M., von Oheimb, G., Wang, M.-Q., Wang, S., Weinhold, A., Wirth, C., Wubet, T., Xu, X., Yang, B., Zhang, N., Zhu, C.-D., Ma, K., Wang, Y., et Bruehlheide, H. 2021. The significance of tree-tree interactions for forest ecosystem functioning. *Basic Appl. Ecol.* 55: 33-52. doi: 10.1016/j.baee.2021.02.003.
- Trottier-Picard, A., Thiffault, E., DesRochers, A., Paré, D., Thiffault, N., et Messier, C. 2014. Amounts of logging residues affect planting microsites: A manipulative study across northern forest ecosystems. *For. Ecol. Manage.* 312: 203-215. doi: 10.1016/j.foreco.2013.10.004.

- Trottier-Picard, A., Thiffault, E., Thiffault, N., DesRochers, A., Paré, D., et Messier, C. 2016. Complex impacts of logging residues on planted hybrid poplar seedlings in boreal ecosystems. *New For.* 47(6): 877-895. doi: 10.1007/s11056-016-9550-8.
- Urli, M., Thiffault, N., Barrette, M., Bélanger, L., Leduc, A., et Chalifour, D. 2017. Key ecosystem attributes and productivity of boreal stands 20 years after the onset of silviculture scenarios of increasing intensity. *For. Ecol. Manage.* 389: 404-416. doi: 10.1016/j.foreco.2017.01.007.
- Urli, M., Thiffault, N., Houle, D., Gauthier, S., et Bergeron, Y. 2020. Role of green alder in boreal conifer growth: competitor or facilitator? *Facets* 5(1): 166-181. doi: 10.1139/facets-2019-0064.
- Vilà, M., Espinar, J.L., Hejda, M., Hulme, P.E., Jarošík, V., Maron, J.L., Pergl, J., Schaffner, U., Sun, Y., et Pyšek, P. 2011. Ecological impacts of invasive alien plants: a meta-analysis of their effects on species, communities and ecosystems. *Ecol. Lett.* 14(7): 702-708. doi: 10.1111/j.1461-0248.2011.01628.x.
- Wagner, R.G. 1994. Toward integrated forest vegetation management. *J. For.* 92(11): 26-30. doi: 10.1093/jof/92.11.26.
- Wagner, R.G., Bell, F.W., et Campbell, R.A. 2001. Vegetation Management. *Dans Regenerating the Canadian Forest: Principles and Practices for Ontario. Édité par R.G. Wagner and S.J. Columbo.* Fitzhenry & Whiteside, Markham, ON. pp. 431-457.
- Wagner, R.G., Flynn, J., et Gregory, R. 1998a. Public perceptions of risk and acceptability of forest vegetation management alternatives in Ontario. *For. Chron.* 74(5): 720-727. doi: 10.5558/tfc74720-5.
- Wagner, R.G., Flynn, J., Mertz, C.K., Slovic, P., et Gregory, R. 1998b. Acceptable practices in Ontario's forests: Differences between the public and forestry professionals. *New Forests* 16: 139-154. doi: 10.1023/A:1006577019706.
- Wagner, R.G., Little, K.M., Richardson, B., et McNabb, K. 2006. The role of vegetation management for enhancing productivity of the world's forests. *For.* 79(1): 57-79. doi: 10.1093/forestry/cpi057.
- Wagner, R.G., Newton, M., Cole, E.C., Miller, J.H., et Shiver, B.D. 2004. The role of herbicides for enhancing forest productivity and conserving land for biodiversity in North America. *Wildl. Soc. Bull.* 32(4): 1028-1041. doi: 10.2193/0091-7648(2004)032[1028:TROHFE]2.0.CO;2.
- Wagner, R.G., et Robinson, A.P. 2006. Critical period of interspecific competition for four northern conifers: 10-year growth response and associated vegetation dynamics. *Can. J. For. Res.* 36(10): 2474-2485. doi: 10.1139/X06-058.
- Wagner, R.G., et Zasada, J.C. 1991. Integrating plant autecology and silvicultural activities to prevent forest vegetation management problems. *For. Chron.* 67(5): 506-513. doi: 10.5558/tfc67506-5.
- Walstad, J.D., et Kuch, P.J. 1987. *Forest Vegetation Management for Conifer Production.* Wiley, New York, NY.
- Waters, I., Kembel, S.W., Gingras, J.-F., et Shay, J.M. 2004. Short-term effects of cut-to-length versus full-tree harvesting on conifer regeneration in jack pine, mixedwood, and black spruce forests in Manitoba. *Can. J. For. Res.* 34(9): 1938-1945. doi: 10.1139/x04-064.
- Wiensczyk, A., Swift, K., Morneau, A.E., Thiffault, N., Szuba, K., et Bell, F.W. 2011. An overview of the efficacy of vegetation management alternatives for conifer regeneration in boreal forests. *For. Chron.* 87(2): 175-200. doi: 10.5558/tfc2011-007.
- Williams, L.J., Paquette, A., Cavender-Bares, J., Messier, C., et Reich, P.B. 2017. Spatial complementarity in tree crowns explains overyielding in species mixtures. *Nat. Ecol. Evol.* 1: article 0063. doi: 10.1038/s41559-016-0063.
- Willoughby, I.H., Seier, M.K., Stokes, V.J., Thomas, S.E., et Varia, S. 2015. Synthetic herbicides were more effective than a bioherbicide based on *Chondrostereum purpureum* in reducing resprouting of *Rhododendron ponticum*, a host of *Phytophthora ramorum* in the UK. *Forestry* 88(3): 336-344. doi: 10.1093/forestry/cpv004.
- Wood, L.J. 2019. The presence of glyphosate in forest plants with different life strategies one year after application. *Can. J. For. Res.* 49(6): 586-594. doi: 10.1139/cjfr-2018-0331.
- Wright, A.J., Wardle, D.A., Callaway, R., et Gaxiola, A. 2017. The overlooked role of facilitation in biodiversity experiments. *Trends Ecol. Evol.* 32(5): 383-390. doi: 10.1016/j.tree.2017.02.011.
- Wyatt, S., Rousseau, M.H., Nadeau, S., Thiffault, N., et Guay, L. 2011. Social concerns, risk and the acceptability of forest vegetation management alternatives: Insights for managers. *For. Chron.* 87(2): 274-289. doi: 10.5558/tfc2011-014.