



Gestion de la végétation pour la régénération de la couverture forestière sur des sites pétroliers et gaziers





Gestion de la végétation pour la régénération de la couverture forestière sur des sites pétroliers et gaziers

Remerciements

Nous désirons souligner le soutien de l'Alliance canadienne pour l'innovation dans les sables bitumineux (COSIA), qui a rendu ce projet possible. Nous tenons également à remercier Matthew Pyper et Sonya Odsen (Fuse Consulting), Michael Cody (Cenovus Energy), Dani Degenhardt (InnoTech Alberta), Janet Mitchell et Virginia Hudson (FPInnovations), Jeannine Goehing et Amanda Schoonmaker (Institut de recherche boréale du NAIT), et Chris Powter (Enviro Q&A Services) pour leur contribution à ce guide.

Pour obtenir des renseignements sur les droits de reproduction, veuillez communiquer avec Ressources naturelles Canada à nrcan.copyrightdroitdauteur.nrcan@canada.ca.

Cat. No. Fo4-132/2018F-PDF
ISSN 978-0-660-27616-8

© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, représentée par le ministre des Ressources naturelles, 2019



Papier recyclé

Table des matières



Avant-propos	2
1. Introduction, définitions et planification	4
2. Lutte mécanique	9
2.1 Culture	10
2.2 Suppression manuelle.....	11
2.3 Coupe et fauchage mécanique	11
2.4 Paillage	12
2.5 Solarisation (paillage plastique)	13
2.6 Brûlage prescrit.....	15
3. Lutte chimique et lutte biologique	17
3.1 Herbicides.....	18
3.2 Lutte biologique	21
3.3 Fumigation du sol	24
3.4 Traitement à la vapeur.....	26
4. Lutte culturale	28
4.1. Culture-abri.....	29
4.2. Plantation de passagères clandestines	32
4.3. Plantation en bosquet.....	34
5. Gestion intégrée de la végétation	36
6. Références	42
7. Lecture recommandée	46

Figures

Figure 1. Équipement mécanique et outils utilisés pour la culture.....	10
Figure 2. Feuilles de plastique utilisées pour la lutte contre la végétation – solarisation.....	14
Figure 3. Culture-abri d’herbes indigènes	30
Figure 4. Terrain d’essai de la castillejia rouge (<i>Castilleja mineata</i>)	30
Figure 5. Plante herbacée indigène, la verge d’or du Canada (<i>Solidago canadensis</i>)	31
Figure 6. Stock de passagères clandestines, première saison	32
Figure 7. Stock de passagères clandestines, deuxième et troisième saisons	33
Figure 8. Plantation en bosquet après deux saisons de croissance.....	36
Figure 9. Plantation en bosquet après une saison de croissance.....	36
Figure 10. Matrice de décision de la GIV	36
Figure 11. Priorités de la GIV en matière de gestion	40
Figure 12. Le site après la quatrième saison de croissance	41

Tableaux

Tableau 1. Paillis disponibles pour la lutte contre les mauvaises herbes.....	12
Tableau 2. Ingrédients actifs communs utilisés dans la réhabilitation d’un terrain	19
Tableau 3. Agents de lutte biologique	22
Tableau 4. Facteurs affectant la fumigation du sol	25
Tableau 5. Fumigants de sol	26
Tableau 6. Efficacité du traitement à la vapeur	27

Avant-propos



La sylviculture est une pratique qui consiste à contrôler l'établissement, la croissance, la composition, la santé et la qualité des forêts à l'échelle du peuplement afin de répondre à divers besoins et diverses valeurs. Les pratiques sylvicoles peuvent avoir une incidence forte et bénéfique sur la remise en état des zones associées à l'extraction *in situ* des ressources pétrolières et gazières.

La préparation du terrain, la régénération forestière et la gestion de la végétation sont tous des aspects importants de la sylviculture et de la remise en état des forêts. De multiples pratiques et techniques peuvent optimiser le succès de la remise en état, qui dépend de nombreux facteurs, y compris des propriétés physiques, chimiques et biologiques du site.

Une partie de la grande richesse des connaissances sylvicoles traditionnellement utilisées par l'industrie forestière sera expliquée dans une série de guides, de fiches d'information et de vidéos.

Le présent guide explique les outils et les techniques de gestion de la végétation. Le Service canadien des forêts (SCF) de Ressources naturelles Canada (RNC) a préparé ce guide pour aider à la restauration réussie sur place des sites perturbés. Bien que les outils et les techniques décrits dans ce guide puissent être appliqués à des sites perturbés dans toute la forêt boréale au Canada, ce guide est axé sur l'Alberta.

Avis de non-responsabilité : Ce guide ne fournit que des conseils sur les meilleures pratiques. Nous recommandons au lecteur de s'assurer de la conformité réglementaires avant de choisir la meilleure technique ou le meilleur outil.

De multiples pratiques et techniques peuvent optimiser le succès de la remise en état . . .

1. Introduction, définitions et planification



Développement de la végétation à la suite d'une perturbation

La présence d'espèces adventices et indésirables sur les terrains ciblés pour la remise en état soulève plusieurs préoccupations, y compris les coûts élevés associés à la lutte contre les espèces de mauvaises herbes, tant sur le site qu'à l'extérieur de celui-ci.

Un aspect de la gestion de la végétation consiste à respecter la responsabilité légale de contrôler les mauvaises herbes (décrite dans la section sur les règlements et les lignes directrices). La gestion de la végétation est également nécessaire pour établir les espèces végétales cibles désirées et atteindre les objectifs de remise en état.

A la suite de perturbations industrielles, la végétation se développera selon les conditions du site (climat, éléments nutritifs du sol, humidité du sol) et les facteurs externes, comme le type de perturbation (plateforme d'exploitation, profil sismique, pipeline), la nature des perturbations (sévérité et contamination), et les activités de gestion. Tous ces facteurs influenceront la capacité d'un site à se régénérer en végétation forestière et à atteindre rapidement les objectifs de remise en état.

Les deux principaux **objectifs de remise en état** des sites industriels perturbés sont :

- le rétablissement des communautés de plantes forestières indigènes et fonctionnelles qui sont compatibles avec l'utilisation prévue des terres et les caractéristiques d'une communauté forestière, en début de succession, de l'écosite ciblé;
- le respect des conditions d'approbation et/ou des critères de remise en état de l'*Environmental Protection and Enhancement Act* de l'Alberta pour obtenir un certificat de réhabilitation, si des aménagements industriels ont lieu sur des terrains spécifiés¹.

L'un des principaux défis liés à l'établissement de communautés forestières sur des terrains remis en état est la compétition entre les espèces cibles souhaitables et les espèces indésirables et adventices pour les ressources du site. Un autre défi est que certaines des espèces herbacées qui sont en concurrence avec les arbres pour les ressources du site sont également désirables, et sont mêmes des espèces cibles pour l'établissement de communautés de plantes forestières diversifiées sur des terrains perturbés.

Ces défis sont particulièrement pertinents pour les sites des secteurs miniers et des sables bitumineux. Les zones forestières perturbées par le développement des

sables bitumineux peuvent être rapidement colonisées et dominées par des espèces non indigènes qui croissent souvent rapidement et sont très compétitives. Plus la perturbation et la circulation sur les installations de production industrielle et les routes sont importantes, et plus le site reste actif longtemps, plus la probabilité que les espèces de mauvaises herbes se propagent et s'établissent est élevée. L'élaboration d'un plan efficace de gestion de la végétation et la promotion de la mise en place rapide d'un couvert forestier sont donc des objectifs clés pour la plupart des exploitants forestiers.

Quelles sont les espèces végétales désirables ?

Les espèces souhaitables pour les terres forestières sont des espèces caractéristiques de l'écosite visé et semblables aux communautés végétales indigènes et non perturbées de la végétation hors site environnante. La communauté végétale désirée contiendra à la fois des espèces herbacées et ligneuses indigènes caractéristiques de la communauté de début de succession de l'écosite ciblé. Les guides d'écosites fournissent des listes d'espèces typiques des différents écosites de l'Alberta.

En général, les espèces de mauvaises herbes répertoriées sont des espèces à croissance rapide, souvent très compétitives, qui peuvent se propager rapidement.

Quelles sont les espèces végétales et les mauvaises herbes indésirables?

De manière générale, les espèces indésirables sont celles qui appartiennent à l'une des catégories suivantes :

- elles ralentissent ou entravent l'établissement de la végétation cible par la concurrence;
- elles se propagent rapidement, entraînant une baisse de productivité sur les terres adjacentes;
- elles sont répertoriées comme mauvaises herbes dans la législation de l'Alberta

¹ Si les aménagements ne se trouvent pas sur un terrain spécifié, le bureau de l'Alberta Lands Dispositions établit des critères pour obtenir une lettre d'autorisation.

Les mauvaises herbes sont généralement définies comme des espèces végétales indésirables. En Alberta, les mauvaises herbes sont des espèces végétales inscrites dans le *Weed control Regulation* (Règlement sur le contrôle des mauvaises herbes) du *Weed Control Act* (Loi sur le contrôle des mauvaises herbes). Le règlement énumère 75 espèces de mauvaises herbes, dont 29 sont désignées comme **mauvaises herbes nuisibles**, et 46, comme mauvaises herbes **nuisibles interdites**².

La détection précoce et la destruction rapide des mauvaises herbes nuisibles interdites sont obligatoires en vertu du règlement.

En général, les espèces de mauvaises herbes répertoriées sont des espèces à croissance rapide, souvent très compétitives, qui peuvent se propager rapidement. Les plantes désignées comme mauvaises herbes nuisibles sont largement distribuées et considérées comme impossibles à extirper. La gestion des mauvaises herbes nuisibles cible donc les stratégies de confinement, y compris les méthodes qui entravent ou détruisent leur croissance. En revanche, les plantes désignées comme mauvaises herbes nuisibles interdites ne se trouvent pas actuellement en Alberta ou ne se trouvent que dans peu d'endroits, ce qui rend l'extirpation possible. La détection précoce et la destruction rapide des mauvaises herbes nuisibles interdites sont obligatoires en vertu du règlement.

Pourquoi les espèces indésirables posent-elles problème?

Les espèces indésirables qui poussent sur les terres remises en état présentent plusieurs défis. Ces espèces :

- interfèrent avec les espèces végétales désirables en rivalisant pour les ressources du site;
- retardent ou entravent la succession naturelle vers la communauté désirée de plantes forestières;
- déplacent la végétation indigène;

- se propagent rapidement aux terres adjacentes, entraînant potentiellement une baisse de la productivité forestière;
- nécessitent des programmes coûteux de lutte contre les mauvaises herbes pour contrôler et/ou détruire les mauvaises herbes sur et hors site;
- sont réglementées par le *Weed Control Act*;
- sont réglementées par les *2010 Reclamation Criteria for Wellsites and Associated Facilities for Forested Lands*.

On sait que les écosystèmes de la région boréale du Nord ont un degré de résistance plus élevé à l'invasion des mauvaises herbes que ceux des systèmes agricoles cultivés dans les zones climatiques plus chaudes. Les variables environnementales telles que la température, l'intensité lumineuse, la disponibilité des éléments nutritifs, l'acidité du sol et les communautés végétales, en particulier la présence de bryophytes, jouent un rôle important dans la résistance contre les mauvaises herbes. Quelques espèces de mauvaises herbes agronomiques se sont développées dans la zone boréale et ont colonisé ces écosystèmes. Cependant, le déclin de leur abondance après les quelques premières années suggère une résistance biotique.

Règlements et lignes directrices

En vertu du *Weed Control Act*, les propriétaires fonciers ou les occupants des terres sont légalement tenus de lutter contre les mauvaises herbes nuisibles et de détruire les mauvaises herbes nuisibles interdites.

La « lutte contre les mauvaises herbes » comprend les méthodes de gestion qui inhibent leur croissance et leur dissémination ou détruisent leur croissance, y compris leurs graines.

La « destruction des mauvaises herbes » comprend des méthodes qui détruisent toutes leurs parties en croissance ou rendent leurs mécanismes de reproduction non viables.

Le *Weed Control Act* interdit en outre le déplacement d'équipements et de véhicules susceptibles de répandre des mauvaises herbes nocives et interdites.

² Remarquez que les municipalités sont en mesure de désigner des espèces de mauvaises herbes dans leur territoire de compétence (*Weed Control Regulation*, article 9). Il est donc important de déterminer le statut des mauvaises herbes dans chaque territoire de compétence où un opérateur travaille.

Les *2010 Reclamation Criteria for Wellsites and Associated Facilities for Forested Lands* exigent que les mauvaises herbes nuisibles fassent l'objet d'un désherbage, que les mauvaises herbes nuisibles interdites soient éliminées et que la densité et la répartition des mauvaises herbes sur les lieux soient comparables à celles des témoins hors site.

Rôle de la gestion de la végétation

La gestion de la végétation fait référence aux méthodes et outils utilisés pour retirer et/ou ajouter sélectivement des espèces végétales (arbres, arbustes, espèces herbacées et graminéoïdes) dans un site ou une zone.

Les objectifs de la gestion de la végétation pour la remise en état comprennent :

- s'assurer que la végétation cible a les meilleures conditions de croissance possibles;
- prévenir et minimiser l'établissement d'espèces indésirables;
- lutter contre les mauvaises herbes nuisibles;
- détruire les mauvaises herbes nuisibles interdites.

Historiquement, la gestion de la végétation sur les terres forestières remises en état visait une revégétalisation rapide des sites en utilisant des espèces agronomiques, y compris des graminées et des fourrages. Les objectifs de remise en état des terres boisées ont changé et ciblent maintenant le développement de communautés de plantes forestières fonctionnelles, y compris une diversité d'espèces ligneuses et herbacées indigènes. La gestion de la végétation est essentielle à l'établissement de communautés végétales souhaitables et à la réalisation des objectifs de remise en état.

La gestion de la végétation sur les terres boisées récupérées vise la suppression temporaire des espèces indésirables. Une fois la communauté forestière cible établie, l'impact de la concurrence diminue, et la gestion de la végétation devient moins pertinente. Par conséquent, l'un des principaux objectifs de la gestion de la végétation est de faire l'une des choses suivantes :

- protéger les investissements réalisés pendant la plantation;

- augmenter le succès de la régénération naturelle, en réduisant la concurrence durant la période d'établissement, lorsque ces arbres et les espèces du sous-étage sont les plus vulnérables à la concurrence.

Méthodes de gestion de la végétation

Divers outils peuvent aider à gérer les espèces indésirables tout en soutenant simultanément les espèces souhaitables. Les méthodes communes sont discutées en détail dans ces chapitres :

- « Lutte mécanique »
- « Lutte chimique et lutte biologique »
- « Lutte culturelle »

Les méthodes de gestion de la végétation doivent être choisies en fonction de la communauté de plantes désirée, des populations de mauvaises herbes existantes sur place et hors site, des conditions du site et des exigences réglementaires.

L'intégration de plusieurs mesures de lutte contre les mauvaises herbes peut accroître l'efficacité globale du programme de gestion de la végétation et aider à atteindre les objectifs de remise en état. La gestion intégrée de la végétation (GIV) sera abordée dans le chapitre « Gestion intégrée de la végétation ».

La gestion de la végétation sur les terres boisées récupérées vise la suppression temporaire des espèces indésirables.

Étapes d'une gestion efficace de la végétation

L'élaboration et la mise en œuvre d'un plan de gestion de la végétation comportent quatre étapes principales :

1. Développer un plan de gestion de la végétation.
2. Prévenir les mauvaises herbes et préparer un site pour promouvoir les espèces souhaitables.

3. Choisir les méthodes appropriées pour la maîtrise de la végétation.
4. Surveillance et évaluation.

L'élaboration d'un plan de gestion des mauvaises herbes est une étape essentielle de la gestion efficace de la végétation, mais elle est souvent négligée. Un plan de gestion des mauvaises herbes comprendra des objectifs de gestion, un inventaire des populations de mauvaises herbes existantes (plus efficace lorsque la majorité des plantes sont en fleur de juin à septembre), des mesures de prévention et des méthodes de lutte.

Les évaluations avant la perturbation et avant la remise en état aideront à déterminer les sites où des espèces indésirables suscitent des préoccupations, à identifier les espèces et leur distribution, et à guider les mesures de gestion.

La surveillance aidera à déterminer si les traitements appliqués ont atteint les objectifs et à déterminer si des traitements de suivi sont nécessaires.

Il est essentiel de connaître les espèces trouvées sur chaque site ainsi que de comprendre les ressources disponibles pour établir les méthodes de traitement et le calendrier appropriés. Les questions à traiter comprennent :

- le cycle de vie de la mauvaise herbe (p. ex. annuelle par rapport à semestrielle ou vivace);
- le mécanisme de reproduction de la mauvaise herbe;
- la répartition de la mauvaise herbe (populations locales et régionales, populations étendues et populations marginales);

- la résistance des mauvaises herbes à certaines méthodes (p. ex. résistance aux herbicides);
- Les dommages potentiels aux ressources naturelles, en particulier aux ressources forestières ou agricoles;
- les ressources disponibles.

La deuxième étape consiste à empêcher les mauvaises herbes de s'établir sur les sites remis en état et à trouver la méthode la plus rentable. Les exploitants forestiers doivent s'assurer que le personnel sur place et les entrepreneurs connaissent et adhèrent aux mesures préventives, notamment :

- éviter de déplacer du matériel dans des zones infestées;
- laver l'équipement pour enlever les sols et les mauvaises herbes avant de le déplacer sur un nouveau site;
- n'utiliser que des semences certifiées exemptes de mauvaises herbes;
- réduire la perturbation du sol et le sol nu en procédant à une restauration temporaire et provisoire avec des espèces souhaitables (voir le chapitre « Lutte culturale »).

La lutte contre les populations de mauvaises herbes établies constitue la troisième étape et peut nécessiter des investissements importants. Une extirpation rapide des mauvaises herbes est donc fortement recommandée, car elle peut limiter la dissémination, réduire les coûts et, en fin de compte, fournir de meilleures conditions de croissance à la végétation souhaitable.

La dernière étape est la surveillance — elle joue un rôle crucial dans tout programme de gestion de la végétation et devrait être effectuée fréquemment. La surveillance aidera à déterminer si les traitements appliqués ont atteint les objectifs et à déterminer si des traitements de suivi sont nécessaires. Une surveillance opportune aidera à détecter la dissémination précoce des mauvaises herbes et permettra ainsi des interventions de traitement rapides et proactives.

2. Lutte mécanique



La lutte contre les mauvaises herbes nécessite la réduction ou l'éradication des plantes existantes, des propagules et des graines d'espèces indésirables de manière à ce qu'elles n'interfèrent plus et ne concurrencent plus la croissance de la végétation souhaitable. L'objectif primordial est d'atteindre les objectifs d'utilisation finale et d'obtenir une certification de remise en état, au besoin.

Ce chapitre donne un aperçu de la lutte contre les mauvaises herbes et de leur éradication par des moyens mécaniques. Les avantages et les limites associés à la mise en œuvre, ainsi que les fréquences et le calendrier d'application, sont discutés en détail pour aider les gestionnaires, les consultants et les exploitants forestiers à trouver les méthodes les plus applicables à mettre en œuvre dans le cadre de leur plan de gestion intégrée de la végétation.

2.1 Culture

La culture est l'une des techniques les plus anciennes utilisée pour lutter contre les espèces indésirables et vise à endommager physiquement les plantes. Elle est accomplie en utilisant l'équipement de culture mécanique (c.-à-d. charrues, disques et cultivateurs) ou en utilisant des outils à main (houes, bêches et cultivateurs à main) (figure 1). Bien que grandement non sélective, la culture est un élément important d'un programme intégré de gestion des mauvaises herbes, en particulier pour les mauvaises herbes rhizomateuses.

Mode d'action

La culture est réalisée à l'aide d'un équipement mécanique ou à la main pour perturber la racine des plantes cibles, soit en coupant le sommet des plantes des racines et/ou en rompant la connexion entre les racines et le sol.

Avantages

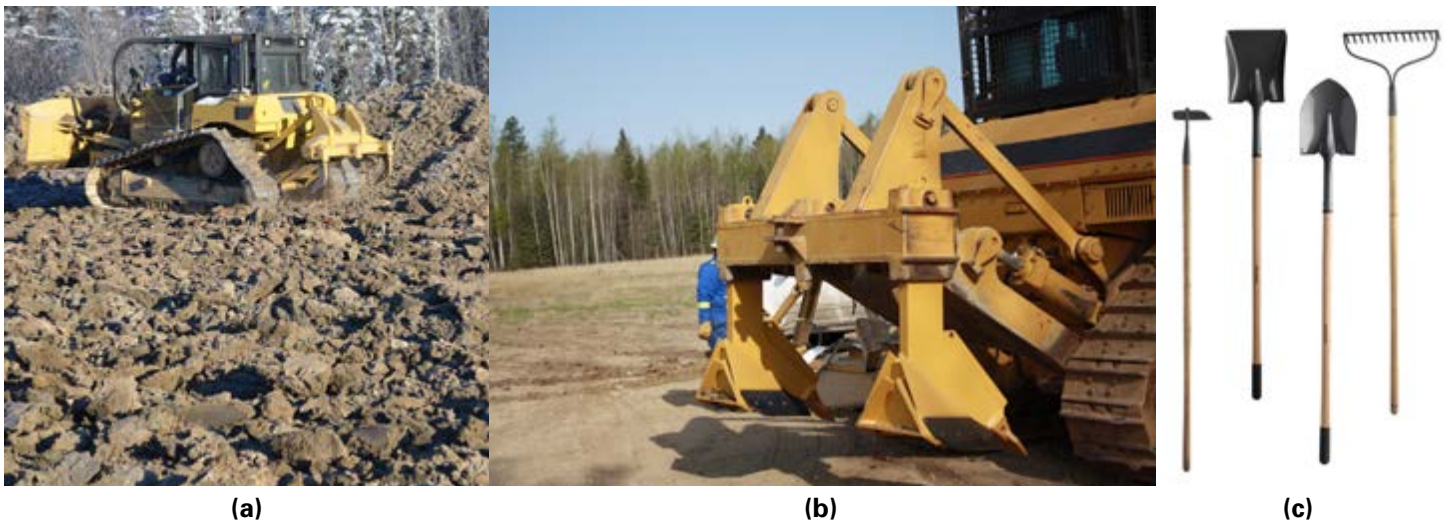
- Les résultats sont immédiats.

- Cette méthode est efficace sur les mauvaises herbes annuelles et hivernales.
- La culture mécanique est relativement peu coûteuse, mais les coûts peuvent s'accumuler si plusieurs traitements sont nécessaires au cours d'une saison de croissance.
- La culture est très utile dans le cadre d'une gestion intégrée de la végétation pour les espèces qui se reproduisent à partir des racines. Elle est utilisée pour briser les racines afin de stimuler l'émergence, suivi d'un traitement avec un herbicide foliaire.

Limites

- La culture mécanique est non sélective et peut aller de traitements légers (en utilisant des équipements agricoles tels que les disques et les cultivateurs) à des traitements plus lourds (en utilisant de l'équipement forestier, par exemple des charrues défonceuses). Les traitements plus lourds peuvent causer une perturbation importante du sol (mélange potentiel des couches de sol) et des plantes utiles.
- La culture mécanique nécessite également une énergie importante et génère des émissions de gaz à effet de serre (GES).
- La culture manuelle à l'aide de houes et de râteliers peut être très sélective, mais coûteuse et peu pratique pour de grandes surfaces.

Figure 1. Équipement mécanique et outils utilisés pour la culture



Remarque : (a) Dessoucheuse à dent droite pour le travail du sol de 0 à 30 cm. (b) Excavatrice RipPlow® pour le travail du sol à plus de 30 cm. (c) Outils à main (râteau, pelle et houe pour un sol gelé en surface de plus de 15 cm.).

- La culture peut réduire la stabilité du sol et augmenter le potentiel d'érosion du sol.
- Les traitements répétitifs sont presque toujours nécessaires, car les effets sur les mauvaises herbes sont de très courte durée.
- La culture, si elle est utilisée isolément, peut entraîner une augmentation de la propagation des espèces rhizomateuses.
- Les dommages aux arbres constituent un risque avec l'utilisation de l'équipement (lorsqu'il est utilisé après la plantation).

Fréquence et moment propice

- Pour l'éradication à long terme, les traitements de culture peuvent être effectués pendant plusieurs années si les graines restent dans le sol et continuent à germer.
- La culture devrait être faite avant que les plantes n'ensemencent leurs graines, généralement deux à trois fois au cours de la saison de croissance.

2.2 Suppression manuelle

L'enlèvement manuel des plantes est l'une des techniques les plus anciennes utilisées pour lutter contre les mauvaises herbes. Cependant, en raison du coût et de l'efficacité marginale, l'enlèvement manuel ne devrait être utilisé que sur de petites infestations de mauvaises herbes nuisibles dans des zones où d'autres traitements ne peuvent pas être déployés.

Mode d'action

La méthode d'extraction à la main élimine les plantes du sol ou brise les sommets des plantes ligneuses.

Avantages

- Efficace pour les petites infestations et les mauvaises herbes annuelles ou bisannuelles à petits rhizomes.
- Très sélective et possède un faible impact environnemental.
- Perturbation minimale adaptée aux zones écologiquement sensibles où l'équipement ne peut pas être utilisé (zones aquatiques ou riveraines).

Limites

- Intensive en temps et en main-d'œuvre (coût plus élevé) avec un succès marginal et à court terme.
- Pas efficace pour les grandes zones ouvertes.
- Les graines peuvent encore être viables si les mauvaises herbes arrachées ont ensemencé le sol et ne sont pas retirées du champ.
- Cette méthode n'est pas aussi efficace pour les mauvaises herbes rhizomateuses, car les couronnes des racines et leurs racines adventives doivent être éliminées, ou les plantes peuvent repousser. Ceci est souvent difficile à moins que le sol ne soit très humide.

Fréquence et moment propice

- Une extraction annuelle à la main, effectuée au moins deux ou trois fois par année, augmentera l'éradication à long terme.
- Si des graines dormantes restent dans le sol, ce traitement devra être répété sur plusieurs années pour éradiquer complètement les mauvaises herbes.

2.3 Coupe et fauchage mécanique

Couper ou faucher les plantes enlève directement la biomasse aérienne de la plante, ce qui réduit ses réserves d'énergie dans les racines et limite ainsi la croissance future.

Mode d'action

L'utilisation d'un équipement manuel à moteur (scie d'éclaircissage ou scie mécanique) ou motorisé (tondeuse ou débroussailleuse) pour réduire la biomasse aérienne des espèces ligneuses et/ou herbacées.

Avantages

- Gestion rapide des petites zones pour réduire la biomasse aérienne (en particulier des espèces ligneuses et herbacées).
- Peut servir en combinaison avec d'autres méthodes de lutte ou en prétraitement (p. ex., l'application d'un herbicide sur les surfaces exposées à la végétation ligneuse après la coupe).

- La litière produite par le fauchage agira comme un paillis, augmentant la disponibilité de l'humidité et l'activité biologique (par la décomposition). Une fois la litière décomposée, elle ajoutera des éléments nutritifs au sol.

Limites

- La tonte peut fragmenter les racines et augmenter le nombre de propagules dans le sol.
- Non sélective.
- Pas une option pour terrain accidenté ou rocailleux.
- Pas une option pour éradiquer les plantes à faible croissance (moins que la hauteur de tonte).
- Légèrement efficace pour contrôler les espèces qui se propagent par les rhizomes.
- Des traitements répétitifs peuvent être nécessaires pour obtenir une réduction plus durable de la croissance aérienne.

Fréquence et moment propice

- La tonte ou la coupe doit être faite avant que les plantes ne produisent des graines, de préférence au stade de la floraison pour les plantes herbacées ou au stade de la fin montaison des graminées (lorsque la tête de la graine en développement commence à pousser à travers la gaine foliaire supérieure).
- Pour l'éradication à long terme, les traitements peuvent être répétés pendant plusieurs années si les graines restent dans le sol et continuent à germer.

- Cette méthode est généralement effectuée deux ou trois fois au cours de la saison de croissance.

2.4 Paillage

Le paillage est l'une des méthodes les plus traditionnelles de gestion des espèces indésirables. Le matériau utilisé pour le paillis peut être organique et inorganique (naturel et synthétique) (voir le tableau 1). Le paillis peut être créé en déchiquetant du bois, des détritiques, du foin ou de la paille d'origine locale.

Les sources organiques ont les avantages supplémentaires suivants :

- améliorent la teneur en humidité du sol (en réduisant l'évaporation de l'humidité et en augmentant l'infiltration d'eau);
- améliorent la structure du sol;
- affectent positivement les champignons et les insectes nuisibles;
- modèrent la température du sol;
- augmentent l'activité biologique du sol.

L'efficacité du paillis organique dépend des éléments suivants :

- le type de matériau utilisé;
- la densité du matériau de paillis;

Tableau 1. Paillis disponibles pour la lutte contre les mauvaises herbes

Biologiques	Inorganiques et naturels	Inorganiques et synthétiques *
Copeaux de bois Sciure Morceaux d'écorce de feuillus Morceaux d'écorce de résineux Aiguilles d'épinette et de pin Foin et paille Paillis pulvérisé **	Sable Gravier Galets et petites roches	Géotextiles Tissus pour aménagement paysager Polyéthylène, toile de jute, fibres naturelles Feuilles de plastique Polypropylène

* Tissu filé-lié (haute résistance à la traction), non-tissé, tissé (tissu aiguilleté ou toile de jute naturelle); installé en utilisant des clous en forme de U, des crampons pour tissu pour aménagement paysager, des sacs de sable ou des pierres.

** Boues de déchets de papier journal recyclés et de paille de céréales (< 5 cm de profondeur).

- le mouvement des matériaux de paillis (par le vent, les inondations, les animaux, etc.), qui peuvent laisser la surface du sol exposée à la croissance des plantes envahissantes.

Par conséquent, les paillis organiques peuvent être utilisés en combinaison avec des tissus pour aménagement paysager ou des feuilles de plastique pour un contrôle plus efficace et à long terme des espèces indésirables. Plusieurs nouveaux produits de paillis organiques à pulvériser existent. Ils utilisent des déchets de papier journal recyclés et de la paille de céréales hachée qui réduisent le mouvement du paillis au fil du temps.

Mode d'action

Le paillage consiste à ajouter tout genre de matériau sur le sol pour modifier l'énergie (c.-à-d. la lumière) et le flux d'eau requis pour la germination des graines et la croissance des plantes.

Avantages

- Le matériau de paillis peut être inorganique (naturel et synthétique) ou organique (c.-à-d. des copeaux de bois). Souvent, les matières organiques peuvent également améliorer la rétention de l'eau du sol, les échanges gazeux, les éléments nutritifs du sol, la structure du sol et l'activité biologique.
- Le paillis peut également réduire l'évaporation et l'érosion et augmenter les activités biologiques du sol en augmentant la température et l'humidité du sol au fil du temps.
- Certains matériaux organiques peuvent être disponibles sur place, réduisant ainsi les coûts de transport.
- Le paillis est efficace sur la plupart des plantes et des rhizomes.

Limites

- Le paillage peut modifier la population microbienne du sol (densité et communauté) en raison du changement des conditions du sol.
- Peut altérer la fertilité du sol et le rapport carbone-azote (effet secondaire de la photolyse).
- Non sélectif.

- Pas aussi efficace sur les mauvaises herbes vivaces, les mauvaises herbes bulbeuses ou les graines de mauvaises herbes avec des téguments durs.
- Les paillis épais réduisent le potentiel de recolonisation naturelle. Les feuilles de plastique peuvent nuire à la croissance des espèces désirables en raison de la diminution de l'infiltration d'eau dans le sol et du réchauffement excessif du sol. Le paillage peut être coûteux et nécessiter beaucoup de main-d'œuvre, et l'utilisation de feuilles de plastique peut ne pas être réalisable sur de grandes surfaces, en particulier si le matériau doit être retiré après quelques années.

Fréquence et moment propice

- L'efficacité du paillis en tant que désherbant dépend du matériau utilisé (épaisseur et longévité), du tassement et de la mise en place du paillis et du mouvement du matériau de paillis.
- Le matériau de paillis inorganique synthétique (c'est-à-dire le tissu de polypropylène) peut se dégrader à la lumière UV avec le temps, il ne devrait donc pas être utilisé seul comme stratégie de gestion à long terme des mauvaises herbes. Au lieu de cela, il devrait être placé sous la matière organique et/ou inorganique naturelle pour supprimer les mauvaises herbes.

2.5 Solarisation (paillage plastique)

La solarisation (connue sous le nom de paillage plastique) est un traitement d'éradication de la végétation non sélectif et pré-émergent semblable au paillage. Cependant, la solarisation utilise la chaleur générée sous la matière pour éliminer la végétation indésirable plutôt que de modifier la quantité de lumière et d'eau pour empêcher la germination des graines et la croissance des plantes.

Mode d'action

Couvrez la zone avec de fines feuilles de plastique (voir la figure 2) pour capturer l'énergie radiante du soleil, qui sert à dessécher et éliminer la végétation grâce à la chaleur générée sous les feuilles. Les feuilles de plastique peuvent être transparentes ou noires et avoir différentes largeurs et épaisseurs.

Le plastique noir absorbe la plupart du rayonnement solaire et n'en transmet qu'une quantité limitée, mais le plastique transparent transmet de 85 % à 95 % du rayonnement solaire et en absorbe très peu. Cela signifie que le plastique transparent peut être plus efficace pour augmenter la température du sol que le plastique noir, ainsi que pour tuer les plantes. La solarisation à double couche devrait être envisagée dans les climats plus humides pour une isolation plus efficace.

La solarisation utilise la chaleur générée sous la matière pour éliminer la végétation indésirable plutôt que de modifier la quantité de lumière et d'eau pour empêcher la germination des graines et la croissance des plantes.

Avantages

- Efficace pour tuer la partie dormante des mauvaises herbes (c.-à-d. couronnes radiculaires) et réduire la banque de graines d'espèces non désirées.

- Contrôle efficace contre les champignons pathogènes, les bactéries et les nématodes en plus de contrôler les mauvaises herbes.
- Régule également l'humidité du sol et réduit la perte d'éléments nutritifs par le lessivage.

Limites

- La solarisation est non sélective.
- Ce traitement doit être utilisé avant de planter des semis, ce qui peut limiter la fenêtre d'application.
- Nécessite un contact étroit entre les feuilles de plastique à la surface du sol, par conséquent, la tonte ou la coupe mécanique doit être complétée en premier.
- Peut ne pas être efficace pour de grandes surfaces en raison des coûts du matériel.
- Peut altérer le biote du sol (densité d'impact et communauté de champignons et de bactéries)
- Peut altérer la chimie du sol (effet secondaire de la photolyse).
- Peut être moins efficace si la pluie s'accumule sur le dessus des feuilles, réduisant ainsi la température du sol.

Figure 2. Feuilles de plastique utilisées pour la lutte contre la végétation – solarisation



(a)



(b)

Remarque : (a) Feuilles de plastique polyéthylène transparent. (b) Feuilles de plastique polyéthylène noir.

- La profondeur où la solarisation est efficace est d'environ 10 cm.
- Pas aussi efficace sur les mauvaises herbes vivaces, les mauvaises herbes bulbeuses ou les graines de mauvaises herbes avec des téguments durs.
- L'efficacité dépend de l'intensité de la lumière et de la quantité de lumière du jour pendant la période de traitement.
- Peut favoriser la germination et la croissance si la température du sol n'atteint pas des niveaux sublétaux.
- Des déchirures et des trous peuvent se former dans les feuilles de plastique, ce qui réduira l'efficacité de la solarisation.
- Peut produire une grande quantité de déchets plastiques. Des feuilles de plastique biodégradables sont disponibles, mais peuvent ne pas durer avec une utilisation répétée.
- Pas efficace sur les pentes exposées au nord ou dans les zones où l'exposition à la lumière est insuffisante.

Fréquence et moment propice

- Les temps de traitement typiques vont de 4 à 14 semaines selon la direction des feuilles. La différence réside dans le fait que les plaques nord-sud chauffent beaucoup plus que celles placées dans la direction est-ouest, en raison de l'angle du rayonnement solaire au lever et au coucher du soleil.
- La solarisation répétée d'un site peut annuler la biodiversité indigène et globale, par conséquent, la fréquence devrait être surveillée.

2.6 Brûlage prescrit

Le feu est une composante naturelle de la forêt boréale et une grande partie de la végétation de cet écosystème s'est adaptée aux perturbations causées par le feu. Des feux bien gérés (brûlage dirigé) ont été utilisés pour la gestion de la végétation, soit comme traitement de

préparation du site avant la plantation ou pour la gestion des espèces envahissantes non indigènes couvrant de vastes zones de terrain. Cette technique de gestion de la végétation à court terme peut également favoriser la régénération naturelle des espèces indigènes, améliorer la croissance et le rendement des forêts, gérer les ravageurs (insectes, champignons et mauvaises herbes), contrôler les maladies, augmenter la floraison et améliorer l'établissement des semis.

Le feu peut favoriser la croissance de certaines graminées et plantes herbacées indigènes ainsi que de certaines espèces d'arbres et d'arbustes (lorsqu'elles sont présentes) avec des systèmes racinaires profonds.

Mode d'action

Les incendies gérés peuvent être utilisés pour lutter contre les ravageurs (y compris les mauvaises herbes, les insectes et les agents pathogènes) sur de vastes zones, tout en favorisant la régénération naturelle des espèces indigènes.

Avantages

- Un prétraitement efficace pour l'application d'herbicides.
- Le feu peut favoriser la croissance de certaines graminées et plantes herbacées indigènes ainsi que de certaines espèces d'arbres et d'arbustes (lorsqu'elles sont présentes) avec des systèmes racinaires profonds.
- Améliore la mise en place d'espèces adaptées au feu telles que le pin gris et le pin tordu latifolié, si des cônes sont présents sur le site.

- La combustion peut libérer des éléments nutritifs de vieilles plantes.
- Enlève et/ou réduit les couches organiques du tapis forestier nécessaires aux lits de semence pour créer des microsites.
- Accélère les taux de minéralisation dans les sols et augmente la concentration de cations et d'anions (ou d'éléments nutritifs) disponibles pour l'absorption végétale.

Limites

- L'efficacité dépend de l'intensité et de la durée de l'incendie.
- Peut ne pas être efficace sur certaines graminées indésirables (c.-à-d. phalaris roseau et brome inerme).
- Peut même stimuler la production de tiges supplémentaires et conduire à la dominance de l'herbe, à moins que le feu ne brûle à travers toute la couche de gazon.
- Des coûts plus élevés pour le carburant et l'équipement que ce qui est requis pour l'application d'herbicides.
- Émet des gaz à effet de serre.
- Des coûts de responsabilité plus élevés sont dus à des dommages accidentels causés par un incendie et nécessitent des gestionnaires de feux qualifiés et des stratégies de confinement, en particulier dans les climats plus secs.
- Limitations saisonnières (c.-à-d. interdictions de feu).

Fréquence et moment propice

- L'efficacité de cette technique dépend de plusieurs variables qui contrôlent l'intensité et la durée de l'incendie, ainsi que le moment de l'application.
- Les variables importantes à considérer avant l'application comprennent l'humidité relative, la température de l'air et la vitesse du vent. La combustion ne devrait pas avoir lieu si les conditions peuvent entraîner une propagation du feu à l'extérieur de la zone contrôlée (humidité relative inférieure à 20%, température de l'air supérieure à 27 °C et vitesse du vent supérieure à 30 km/h).
- Application unique (ne peut pas être utilisé annuellement en raison du manque de carburant pour brûler).

3. Lutte chimique et lutte biologique



Il existe plusieurs moyens chimiques et biologiques pour contrôler et éradiquer la végétation indésirable. Ce chapitre donne un aperçu de ces moyens, ainsi que les avantages, les limites, les fréquences d'application et le moment propice associés à chaque méthode de lutte.

Il est important de noter que le plan de gestion de la végétation le plus efficace consiste à éviter la présence de végétation indésirable en établissant une végétation souhaitable. Pour déterminer si la gestion de la végétation est requise, effectuez une évaluation de la végétation et appliquez ensuite une stratégie de lutte intégrée (chimique, biologique et mécanique) pour respecter les objectifs généraux d'atteindre le but d'utilisation final et d'obtenir une certification de réhabilitation si nécessaire.

Tous les produits de lutte chimique et biologique doivent être utilisés uniquement conformément aux instructions de l'étiquette du produit afin d'assurer l'efficacité et la conformité réglementaire.

3.1 Herbicides

L'herbicide est un moyen de lutte chimique très efficace et efficient utilisé pour gérer la végétation indésirable. L'application d'herbicide doit être faite par du personnel muni d'un certificat d'applicateur de pesticides. Les herbicides sont généralement appliqués selon deux stratégies : soit avant la plantation (préparation chimique du site), soit après la plantation des semis (soins sylvicoles ou dégagement).

Le moment opportun est un aspect critique de l'utilisation des herbicides. Le meilleur moment pour lutter contre les mauvaises herbes dépend de plusieurs variables, notamment le moment de l'émergence des mauvaises herbes, la densité des mauvaises herbes, la capacité concurrentielle des mauvaises herbes par rapport aux semis et les facteurs environnementaux.

Les herbicides varient également considérablement dans leur impact sur les espèces végétales. Un certain nombre d'ingrédients actifs dans les herbicides sont homologués pour la remise en état d'un écosystème forestier (tableau 2). Ainsi, il est impératif de comprendre et de sélectionner les herbicides les plus appropriés pour lutter contre les espèces végétales indésirables parmi les plantes désirables. Les herbicides contenant du glyphosate ne sont pas sélectifs et sont généralement utilisés avant la plantation. Cependant, en fonction des différences dans le début de la dormance saisonnière entre les conifères, les arbres à feuilles caduques et les espèces herbacées indigènes, d'autres herbicides

peuvent être utilisés pour lutter contre les espèces indésirables de graminées et de feuillus.

Pour réduire les risques pour la santé humaine et l'environnement, plusieurs paramètres et pratiques opérationnelles doivent être pris en compte lors de l'application de l'herbicide. Premièrement, la demi-vie ou la persistance des herbicides est importante, car le transfert d'herbicides dans le sol peut avoir un impact négatif sur les plantes désirables. La largeur des zones tampons vers les zones sensibles (c.-à-d. les plans de surface) est également essentielle pour protéger la santé environnementale. D'autres stratégies communes à employer incluent :

- la signalisation;
- la gestion soigneuse des concentrations d'herbicides pour assurer l'efficacité, mais limiter les pertes excessives;
- la pulvérisation avec des pratiques d'application appropriées (c.-à-d. buses, pression de pulvérisation, hauteur d'application);
- des conditions météorologiques optimales (pas de vent, température fraîche) pour optimiser le ciblage et réduire la dérive potentielle des herbicides vers les zones adjacentes.

... il est impératif de comprendre et de sélectionner les herbicides les plus appropriés pour lutter contre les espèces végétales indésirables parmi les plantes désirables.

Mode d'action

Les herbicides sont des produits chimiques utilisés pour tuer les plantes indésirables, retarder leur croissance et altérer sélectivement la couverture végétale sans endommager les plantes désirables. Le tableau 2 résume les ingrédients actifs communs utilisés dans la réhabilitation d'un terrain, ainsi que leur mode d'action, la sélectivité, les contrôles et les options d'application.

Tableau 2. Ingrédients actifs communs utilisés dans la réhabilitation d'un terrain

Groupe d'herbicides	Mode d'action	Ingrédient actif	Sélectif ¹	Contrôle efficacement ²	Options d'application
2	Inhibiteurs de l'ALS (ou AHAS)*. Ces produits chimiques bloquent la fonction normale de l'ALS, essentielle dans la synthèse des protéines.	Imazapyr	Non sélectifs	Mauvaises herbes à feuilles larges, arbustes, herbes et arbres	Foliaire (pas aérienne)
		Metsulfuron	Graminées	Mauvaises herbes à feuilles larges, arbres	Foliaire (pas aérienne)
4	Auxines synthétiques. Ces produits chimiques perturbent la croissance des cellules végétales dans les tiges et les feuilles nouvellement formées. Ils affectent la synthèse des protéines et la division cellulaire normale, causant la distorsion de la tige, le bombement des feuilles et éventuellement la mort.	2, 4-D	Graminées	Mauvaises herbes à feuilles larges, broussailles, arbres	Foliaire (et aérienne)
		Aminocyclopyrachlore	Graminées	Mauvaises herbes à feuilles larges, broussailles, arbres	Foliaire (et aérienne)
		Aminopyralide	Graminées	Mauvaises herbes à feuilles larges, broussailles	Foliaire (et aérienne)
		Clopyralide	Graminées	Mauvaises herbes à feuilles larges, broussailles	Foliaire (et aérienne)
		Dicamba	Graminées	Mauvaises herbes à feuilles larges, arbustes	Foliaire (et aérienne)
		MCPA	Graminées	Mauvaises herbes à feuilles larges	Foliaire (et aérienne)
		Picloram	Graminées	Mauvaises herbes à feuilles larges, arbustes	Foliaire (et aérienne)
		Triclopyr	Graminées	Mauvaises herbes à feuilles larges, broussailles, arbres feuillus	Foliaire (et aérienne)
5	Un herbicide systémique facilement absorbé par les racines et le feuillage, qui migre vers le haut. Inhibe la photosynthèse au photosystème II.	Hexazinone	Non sélectif	Mauvaises herbes à feuilles larges, graminées	Foliaire (pas aérienne)
		Simazine	Non sélectif	Mauvaises herbes à feuilles larges, graminées	Foliaire (et aérienne)
7	Inhibe la photosynthèse au photosystème II.	Linuron	Arbres à feuilles caduques, quelques herbes	Mauvaises herbes à feuilles larges	Foliaire, sol
9	Inhibiteurs de l'EPSPS*. Ces produits chimiques inhibent la synthèse des protéines.	Glyphosate	Non sélectifs	Mauvaises herbes à feuilles larges, graminées, broussailles	Foliaire (et aérienne)
29	Inhibe la biosynthèse de la cellulose	Indaziflam	Graminées, arbres	Mauvaises herbes à feuilles larges, graminées	Foliaire (pas aérienne)

Remarque : Les herbicides sont classés par groupes en fonction de leur famille chimique, de leurs principes actifs et de leurs modes d'action.

* ALS : acétolactate synthase, appelé aussi AHAS : acétohydroxyacide synthase. EPSPS : 5-énolpyruvylshikimate-3-phosphate synthase.

¹ Sélectif : Signifie que l'herbicide n'endommagera ni ne blessera les espèces mentionnées.

² Un contrôle efficace signifie que l'herbicide limitera les parties aériennes des espèces mentionnées durant au moins deux saisons de croissance.

Les techniques d'application foliaire consistent à appliquer des herbicides sur les feuilles des plantes. Les approches d'application vont de la pulvérisation aérienne à la pulvérisation localisée. Pour minimiser l'effet sur la végétation environnante, l'un des objectifs du traitement herbicide devrait être de minimiser la zone de traitement tout en contrôlant efficacement les espèces indésirables. Il est important de noter que les plantes peuvent développer une résistance à l'herbicide à la suite de l'application répétée d'herbicides du même groupe (ASRD, 2004). Par conséquent, un plan de gestion intégrée de la végétation qui utilise plusieurs autres contrôles (c.-à-d. des contrôles mécaniques et/ou culturels) en plus de l'herbicide est nécessaire pour éviter l'adaptation des plantes aux produits chimiques.

Pour obtenir des directives sur l'utilisation des herbicides en foresterie, la sélection des herbicides, le taux d'épandage, le moment opportun et les limites, les utilisateurs doivent consulter le *Forest Management Herbicide Reference Manual* et le guide *Crop protection* le plus récent www.agriculture.alberta.ca/bluebook. L'utilisation non indiquée sur l'étiquette (c.-à-d. le non-respect des instructions d'utilisation du produit sur l'étiquette) de tout herbicide n'est pas recommandée, bien qu'un permis d'usage limité puisse être accordé par l'Alberta Agriculture and Forestry selon certains scénarios, si les coordonnateurs des usages limités le jugent approprié.

Avantages

- Méthode très rentable pour supprimer rapidement les mauvaises herbes.
- Il existe une vaste gamme d'herbicides (non sélectifs, sélectifs et jusqu'aux herbicides à large spectre) qui peuvent fournir un contrôle sélectif adéquat des mauvaises herbes.
- Hautement efficace et réalisable à toutes les échelles (de la pulvérisation ponctuelle en petites parcelles, à un pulvérisateur tiré par un tracteur, à une pulvérisation aérienne sur de grandes surfaces)
- Les nouveaux herbicides ont tendance à avoir une toxicité faible ou nulle pour l'environnement et la santé humaine, un court temps de résidence et une teneur plus faible en ingrédients actifs.

- L'application aérienne n'est pas limitée par les conditions physiques du site (terrain accidenté, rocailleux, arbres).
- Certains herbicides ont une activité résiduelle pour aider à contrôler la population de mauvaises herbes au cours des années suivantes.
- De faibles taux d'application d'herbicides sur des plantes non désirables peuvent supprimer certaines espèces et modifier la dominance de la communauté, même si les plantes non désirables ne sont pas éradiquées.
- L'application d'herbicide peut être utilisée conjointement avec des mesures de lutte mécaniques ou biologiques dans un plan de gestion intégrée de la végétation.

Pour minimiser l'effet sur la végétation environnante, l'un des objectifs du traitement herbicide devrait être de minimiser la zone de traitement tout en contrôlant efficacement les espèces indésirables.

Limites

- L'application d'herbicide doit être prise en charge par du personnel muni d'un certificat d'applicateur de pesticides.
- Des mauvaises herbes résistantes aux herbicides peuvent se développer après l'application prolongée du même groupe d'herbicides.
- Certains ingrédients actifs et surfactants présents dans les herbicides peuvent avoir un impact sur les microorganismes du sol.
- Ne peut pas être utilisé dans ou à proximité des zones riveraines ou des milieux aquatiques

- L'efficacité de l'herbicide dépend des conditions environnementales (exigences en matière de résistance à la pluie - durée de séchage ou d'absorption de l'herbicide par les tissus végétaux, de sorte qu'il sera toujours efficace après les précipitations ou l'irrigation).
- L'application de l'herbicide devrait être faite dans des conditions calmes pour assurer peu ou pas de dérive.
- Les résidus ou les reports d'herbicide peuvent avoir un effet phytotoxique sur les espèces désirables.
- Des demandes de suivi sur plusieurs années peuvent être nécessaires pour obtenir l'éradication totale des mauvaises herbes.
- L'application d'herbicides peut réduire la richesse des espèces en créant des niches de communautés végétales.
- L'efficacité et le report de l'herbicide peuvent varier en fonction de la teneur en matière organique du sol.
- Certaines communautés des Premières Nations ont indiqué que l'utilisation d'herbicides entraînait une protection insuffisante des plantes sauvages à des fins alimentaires, médicinales et cérémonielles, et limitait le développement durable des produits forestiers non ligneux (par exemple, les champignons et les bleuets).
- L'opinion publique et la perception des risques associés à l'utilisation d'herbicides peuvent nécessiter une signalisation supplémentaire, la sensibilisation du public ou l'engagement des intervenants.
- Pour un contrôle maximal, l'application d'herbicides devrait être effectuée au début du printemps (c.-à-d. en mai) pour les espèces qui sont des primeurs ou au début de l'été (juin) au stade tardif de rosette, de montée à graines ou de bourgeonnement. Parfois, une deuxième application est faite à l'automne pour contrôler la deuxième poussée des mauvaises herbes.
- La pulvérisation doit avoir lieu avant la production de semences pour aider à épuiser la banque de graines dans le sol et lutter contre les espèces annuelles indésirables.

3.2 Lutte biologique

La lutte biologique comprend l'introduction d'insectes, de bactéries ou de champignons pour attaquer, infecter et détruire une espèce invasive non indigène particulière. Ces prédateurs naturels peuvent comprendre des organismes non autosuffisants (p. ex. des mâles stériles, des produits chimiques biologiques ou des agents pathogènes) ou des organismes autosuffisants (des populations capables de se reproduire). Habituellement, les agents de lutte biologique doivent être propres à l'hôte pour prévenir les effets néfastes sur les organismes non ciblés; dans certains cas, l'alimentation des prédateurs avec des espèces végétales étroitement apparentées est autorisée. Le résultat est une population réduite d'une espèce non indigène ciblée au fil du temps.

Le moyen biologique le plus couramment utilisé est la libération d'insectes pour lutter contre les mauvaises herbes envahissantes. Ils peuvent inclure les insectes qui se nourrissent de la tête de la graine, des graines, qui extraient les racines, qui se nourrissent des feuilles, qui extraient les tiges et les insectes cécidogènes. L'utilisation d'agents biologiques comme mesure de lutte contre les mauvaises herbes lors de réhabilitation d'un terrain n'est pas très répandue, car les agents de lutte biologique peuvent présenter un risque pour l'environnement en étant potentiellement nuisibles ou porteurs de parasites. De plus, l'efficacité de certains de ces agents de contrôle dans le nord de la région boréale pourrait nécessiter une validation supplémentaire.

En vertu de la *Loi sur la protection des végétaux* régie par l'Agence canadienne d'inspection des aliments (ACIA), l'importation, la manipulation et la libération d'agents

Le résultat est une population réduite d'une espèce non indigène ciblée au fil du temps.

Fréquence et moment opportun

- Les applications d'herbicides sont généralement effectuées avant la plantation, dans le cadre des activités de préparation du terrain ou après la plantation, au besoin.

biologiques sont strictement réglementées. Avant qu'un agent biologique puisse être libéré dans l'environnement canadien pour la première fois, une demande et des renseignements sur la sécurité de l'organisme doivent être déposés auprès de l'ACIA. Une liste d'agents de lutte biologique approuvés provenant de sources commerciales

sur le site Web de l'ACIA est exemptée du processus de demande ([inspection.gc.ca/plants/plant-pests-invasive-species/directives/imports/d-12-02/appendix-1 / eng / 1433209372739/1433209373489](https://inspection.gc.ca/plants/plant-pests-invasive-species/directives/imports/d-12-02/appendix-1/eng/1433209372739/1433209373489)). Une liste d'agents de lutte biologique testés et préalablement approuvés pour utilisation au Canada est présentée dans le tableau 3.

Tableau 3. Agents de lutte biologique

Les espèces végétales	Catégorie	Agents de lutte biologique	Description*	Moment opportun et taux d'application
Chardon du Canada	Nuisible	<i>Rhinocyllus conicus</i>	Coléoptère séminiphage	Printemps (200 individus)
		<i>Urophora cardui</i>	Mouche du chardon cauliphage	Printemps (50-100 individus)
		<i>Hadroplontus litura</i>	Coléoptère phyllophage et cauliphage	Été (200 individus)
Linaire à feuilles larges	Nuisible	<i>Mecinus janthinus</i>	Coléoptère cauliphage	Printemps/mi-été
		<i>Rhinusa neta</i>	Coléoptère ravageur de la tête des graines	Fin du printemps
Centaurée diffuse	Interdite nocive	<i>Agapeta zoegana</i>	Papillon radiciphage	Transfert en tant que larves, fin de l'automne/printemps
		<i>Cyphocleonus achates</i>	Coléoptère radiciphage	Fin de l'été (50-100 individus)
		<i>Larinus minutus</i>	Coléoptère ravageur de la tête des graines	Été (200 individus)
		<i>Larinus obtusus</i>	Coléoptère ravageur de la tête des graines	Été (200 individus)
		<i>Metzneria paucipunctella</i>	Papillon ravageur de la tête des graines	Printemps; transférer les plantes infectées
		<i>Pterolonche dispersa</i>	Papillon radiciphage	Printemps; transférer les plantes infectées
		<i>Sphenoptera jugoslavica</i>	Coléoptère radiciphage	Été (50-200 individus)
		<i>Urophora affinis</i>	Mouche séminiphage	Printemps; transférer des plantes infectées
<i>Urophora quadrifasciata</i>	Mouche séminiphage	Printemps; transférer des plantes infectées		
Cynoglosse officinale	Nuisible	<i>Mogulones crucifer</i>	Coléoptère radiciphage	Avril à mai; aspirateur eau et poussière
Euphorbe esule	Nuisible	<i>Aphthona cyparissiae</i>	Altise radiciphage	Milieu de l'été (200-300 individus)
Chardon des marais	Interdit nocif	<i>Rhinocyllus conicus</i>	Coléoptère séminiphage	Printemps (200 individus)
Centaurée des prés	Interdite nocive	<i>Agapeta zoegana</i>	Papillon radiciphage	Transfert en tant que larves, fin de l'automne/printemps
		<i>Cyphocleonus</i>	Coléoptère radiciphage	Fin de l'été (50-100 individus)
		<i>Larinus obtusus</i>	Coléoptère séminiphage	Été (200 individus)
		<i>Metzneria paucipunctella</i>	Papillon séminiphage	Été (200 individus)
		<i>Urophora quadrifasciata</i>	Mouche séminiphage	Printemps; transférer les plantes infectées
Chardon penché	Interdit nocif	<i>Rhinocyllus conicus</i>	Coléoptère séminiphage	Printemps (200 individus)
Chardon épineux	Interdit nocif	<i>Rhinocyllus conicus</i>	Coléoptère séminiphage	Printemps (200 individus)

Tableau 3. Agents de lutte biologique (suite)

Les espèces végétales	Catégorie	Agents de lutte biologique	Description*	Moment opportun et taux d'application
Salicaire pourpre	Interdit nocif	<i>Galerucella californiensis</i>	Coléoptère phyllophage	Printemps, été (100-200 individus)
		<i>Galerucella pusilla</i>	Coléoptère phyllophage	Printemps, été (100-200 individus)
		<i>Hylobius transversovittatus</i>	Coléoptère racidiphage	Milieu-fin de l'été (100-200 individus)
		<i>Nanophyes marmoratus</i>	Coléoptère floriphage	Été (100-200 individus)
Centaurée de Russie	Interdite nocive	<i>Aulacidea acroptilonica</i>	Cynipidé	Printemps; transférer les plantes infectées
		<i>Jaapiella invannikovi</i>	Téphrite gallicole	Printemps; transférer les plantes infectées
		<i>Subanguina picridis</i>	Nématode	Transfert au sol à l'automne
Matricaire inodore	Nuisible	<i>Omphalopion hookeria</i>	Coléoptère ravageur de la tête des graines	Printemps/fin de l'été (200 individus)
		<i>Micoplontus edentulous</i>	Coléoptère cauliphage	Printemps (100 -200 individus)
		<i>Rhopalomyia tripleurospermi</i>	Téphrite gallicole	Printemps (50 -100 individus)
Centaurée maculée	Interdite nocive	<i>Agapeta zoegana</i>	Papillon radiciphage	Transfert en tant que larves, fin de l'automne/printemps
		<i>Cyphocleonus achates</i>	Coléoptère radiciphage	Fin de l'été (50-100 individus)
		<i>Larinus minutus</i>	Coléoptère séminiphage	Été (200 individus)
		<i>Larinus obtusus</i>	Coléoptère séminiphage	Été (200 individus)
		<i>Metzneria paucipunctella</i>	Papillon séminiphage	Printemps; transférer les plantes infectées
		<i>Pterolonche dispersa</i>	Papillon radiciphage	Printemps; transférer les plantes infectées
		<i>Sphenoptera jugoslavica</i>	Root feeding beetle	Été (50-200 individus)
		<i>Urophora affinis</i>	Coléoptère radiciphage	Printemps; transférer les plantes infectées
Séneçon jacobée	Interdit nocif	<i>Botanophila seneciella</i>	Mouche séminiphage	Début du printemps; asticots dans le sable
		<i>Cochylis atricapitana</i>	Papillon ravageur du collet	Transférer les larves; printemps
		<i>Longitarsus jacobaeae</i>	Altise radiciphage	Fin de l'été/automne (200 individus)
		<i>Tyria jacobaeae</i>	Papillon phyllophage	Transférer les larves; saison de croissance
Linaire vulgaire	Nuisible	<i>Mecinus janthinus</i>	Coléoptère cauliphage	Printemps/mi-été
		<i>Rhinusa neta</i>	Coléoptère ravageur de la tête des graines	Fin du printemps
		<i>Eteobalea seratella</i>	Papillon phyllophage	Milieu de l'été

* Cauliphage : mineur de tiges. Floriphage : brouteur de bouton floraux, de fleurs. Phyllophage : mangeur de feuilles. Radiciphage : mangeur d'organes souterrains (racines, bulbes, tubercules). Séminiphage : mangeur de grains.

Remarques :

- Le tableau comprend le moment opportun d'application et les doses approuvées pour une utilisation au Canada, dans le but de lutter contre les plantes envahissantes que l'on retrouve couramment en Alberta.
- Les mauvaises herbes « nocives interdites » doivent être détruites, et les mauvaises herbes « nuisibles » doivent être contrôlées. Le tableau n'inclut pas les agents de lutte biologique qui ne sont pas autorisés par l'Agence canadienne d'inspection des aliments, qui n'ont pas été approuvés pour l'établissement (sur la base de populations soutenues) et qui sont actuellement à l'étude.

Mode d'action

Utiliser des insectes ou des agents de lutte biologique spécifiques pour réduire la population de mauvaises herbes en détruisant les graines en développement ou en endommageant les feuilles ou les capitules.

Avantages

- Les agents peuvent être utilisés pour contrôler sélectivement une population précise de mauvaises herbes sur place, selon qu'elles ressemblent ou non aux espèces désirables.
- Faibles répercussions environnementales.
- Ne sont pas limités par les conditions physiques du site (terrain accidenté, rocaillies, arbres).
- Une fois établis, la gestion et la surveillance à long terme peuvent être rentables, permanentes et autosuffisantes.

Limites

- Limités aux plus petites zones.
- Peuvent être coûteux selon la sélection de l'agent de lutte biologique.
- L'efficacité et la persistance peuvent être limitées en raison de divers facteurs (c.-à-d. présence d'autres ravageurs antagonistes, climat).
- Les agents de lutte biologique peuvent nécessiter des tests pour prouver leur efficacité, leurs risques et leurs avantages. Alberta Environment and Parks et l'Agence canadienne d'inspection des aliments (ACIA) (*Loi sur la protection des végétaux*) peuvent exiger une approbation et une surveillance continue additionnelle.
- Les agents de lutte biologique sont souvent difficiles à obtenir et ne sont actuellement pas disponibles pour toutes les espèces végétales envahissantes. De nombreuses espèces dont l'utilisation est approuvée aux États-Unis ne sont pas approuvées pour une utilisation au Canada.
- Il existe une incertitude quant au niveau de contrôle atteint en raison d'un manque de systèmes prédateur-proie pour les espèces importées, en plus des changements climatiques récents.

- Les agents peuvent prendre de deux à dix ans pour s'établir suffisamment pour endommager les plantes cibles.
- Plusieurs agents peuvent être tenus d'avoir un impact mesurable sur la vigueur et la population des plantes envahissantes.
- Un équipement et une expertise spécialisés sont requis pour le transport, la libération, la distribution et la surveillance des agents de lutte biologique. Par conséquent, le coût est plus élevé que pour les autres méthodes de lutte.
- Il existe une incertitude quant à savoir si les agents de lutte biologique auront un impact sur les plantes et la faune indigènes, parce que certains agents causent des dommages non ciblés aux espèces désirables.

Fréquence et moment propice

- La période et les taux d'application des agents de lutte biologique applicables sont présentés dans le tableau 3.

3.3 Fumigation du sol

La fumigation du sol est généralement utilisée dans le cadre de la préparation du site avant la plantation ou l'ensemencement comme méthode chimique de lutte contre les mauvaises herbes avant leur émergence. Cette technique est souvent mise en œuvre pour les zones plus petites et confinées qui sont éloignées des zones sensibles (c.-à-d. les plans d'eau de surface). Cette technique est idéale pour les sols empruntés à des sites connus pour le grand nombre de graines indésirables qu'ils contiennent dans la banque de graines.

Mode d'action

La fumigation du sol implique l'incorporation de solutions liquides ou de granules dans le sol pendant la phase de reconstruction du sol (avant la plantation) pour éliminer les mauvaises herbes. Le produit chimique ajouté au sol sera décomposé par les microbes et produira des composés gazeux tels que le méthyl-isothiocyanate. Les gaz seront transportés dans tout le sol où ils ont un impact sur les mauvaises herbes résidentes. Plusieurs facteurs influent sur l'efficacité des fumigants de sol (tableau 4). En raison de la combinaison des conditions nécessaires au succès, il est utile d'évaluer l'efficacité des fumigants de sol dans la région boréale du Nord. Les fumigants

de sol disponibles au Canada sont présentés dans le tableau 5. Comme dans le cas de l'application de pesticides, un certificat d'applicateur de pesticides est requis pour la fumigation du sol.

Avantages

- Contrôle non sélectif des mauvaises herbes et des graines de mauvaises herbes dans le sol.
- Peut contrôler les nématodes, les agents pathogènes du sol ou les insectes qui se nourrissent de plantes.

Limites

- La fumigation du sol doit être prise en charge seulement par du personnel muni d'un certificat d'applicateur de pesticides.
- La fumigation du sol peut avoir un impact négatif sur les microorganismes du sol, qui peuvent à leur tour avoir un impact sur la santé du sol à long terme.
- Ne peut pas être utilisé autour des zones riveraines ou des milieux sensibles.

Tableau 4. Facteurs affectant la fumigation du sol

Facteur	Explication	Recommandations d'utilisation
Texture du sol	<ul style="list-style-type: none"> • Les sols à texture fine (limons et argiles) limitent la diffusion des gaz en raison des espaces poreux plus petits et de la discontinuité entre les pores. 	<ul style="list-style-type: none"> • Utiliser sur des sols à texture grossière.
Humidité du sol	<ul style="list-style-type: none"> • L'humidité est nécessaire pour la diffusion de gaz. Cependant, trop d'humidité du sol peut diluer la concentration des gaz et restreindre le mouvement dans les pores du sol. the movement within the soil pores. 	<ul style="list-style-type: none"> • Les sols doivent être humides. • Fumigation au printemps ou à l'automne lorsqu'il est plus facile d'obtenir des niveaux d'humidité du sol idéaux.
Température du sol	<ul style="list-style-type: none"> • L'augmentation de la température améliore la solubilité dans l'eau et la diffusion des gaz. • Une augmentation de la température augmente le taux de dégradation du fumigant en raison d'une activité biologique plus élevée. 	<ul style="list-style-type: none"> • La température idéale du sol est de ~ 13 à 15,5 °C. • Fumigation au printemps ou à l'automne lorsque les sols sont chauds.
Teneur en matière organique	<ul style="list-style-type: none"> • La teneur en matière organique réduit la capacité de fumigation du sol et entraîne une augmentation de l'adsorption et de l'absorption, ainsi qu'une diffusion du sol-air moins importante (ce qui est nécessaire au succès). • Trop de débris organiques peuvent empêcher le fonctionnement des fumigants. 	<ul style="list-style-type: none"> • Enlever les débris organiques sur le sol avant l'application. • Réduire au minimum en utilisant la fumigation sur un sol à haute teneur en matière organique (plus de 10 %).
Microbiote du sol	<ul style="list-style-type: none"> • Le sol biologiquement actif accélérera la biodégradation des fumigants. 	<ul style="list-style-type: none"> • Appliquer la concentration de fumigant en fonction des espèces cibles et des taux affichés sur l'étiquette.
Moment et concentration de l'application chimique	<ul style="list-style-type: none"> • L'efficacité est corrélée avec la concentration chimique au moment de l'application. 	<ul style="list-style-type: none"> • Calculer et appliquer une concentration biologiquement efficace (basée sur la concentration et le temps d'exposition). • Ne pas planter ou semer pendant 14 à 20 jours après l'application (plus de 20 jours si le sol est froid et humide).
Technique d'application chimique	<ul style="list-style-type: none"> • L'application peu profonde sur le sol peut entraîner la perte du fumigant dans l'air. • Couvrir le sol avec des bâches peut améliorer les effets de la fumigation. 	<ul style="list-style-type: none"> • Si possible, utiliser une bâche en polyéthylène après l'application. • Travailler le sol sur une profondeur de 6 à 8 pouces, sept à dix jours avant le traitement et encore immédiatement après le traitement. • Appliquer des fumigants liquides à l'aide de pulvérisateurs manuels ou électriques, ou d'injecteurs. • Appliquer des granules de fumigants avec un épandeur d'engrais.

Tableau 5. Fumigants de sol

Fumigant	Nom	Formulation	Fournisseur
Metham sodium	Vapam	Solution	Nufarm
Dazomet	Basamid	Granule	Dow Chemical Company
Chloropicrine	Chloropicrine	Solution	Drexel Chemical Company
1-3-dichloropropène	Telone II	Solution	Dow Agrosiences

Remarque : Ces fumigants sont disponibles au Canada pour contrôler les mauvaises herbes.

- Certains résidus de fumigation ou de transfert peuvent être toxiques pour les espèces souhaitables. Il est nécessaire de suivre les temps d'attente appropriés après l'application pour planter ou semer.
- L'efficacité de la fumigation dépend de la texture du sol, de l'humidité, de la température, de la teneur en matière organique, de l'activité microbienne, du type de fumigant, du taux et de la technique d'application (tableau 4).
- Peut ne pas convenir à tous les types de sols.
- Limité aux plus petites zones.
- Seulement utilisé pour la préparation du terrain, pas après la plantation.

Fréquence et moment propice

- Appliqué une fois, pendant la préparation du terrain.
- Appliquer dans des conditions idéales d'humidité et de température du sol (tableau 4).

3.4 Traitement à la vapeur

La vapeur est un outil physique efficace pour éradiquer les plantes indésirables et les graines qui s'accumulent sur ou près de la surface du sol. Le traitement à la vapeur n'a aucun effet résiduel et ne nécessite pas de produits chimiques ou d'agents biologiques. Par conséquent, il peut convenir aux zones circonscrites et écologiquement sensibles.

Mode d'action

Lorsqu'elle est appliquée directement sur les plantes, la vapeur à haute température (de 55 à 95 °C) peut être efficace pour tuer les plantes. Les graines de

mauvaises herbes et les propagules dans le sol peuvent également être détruites par la vapeur à des températures supérieures à 50 °C. L'efficacité des traitements à la vapeur dépend de plusieurs facteurs locaux, notamment la texture du sol, l'humidité du sol et la température du sol (tableau 6).

Avantages

- C'est une méthode non chimique d'éradication des mauvaises herbes adaptée aux zones sensibles, aux habitats protégés, aux sols perméables, aux zones tampons et près de plans d'eau libre.
- Bien que le traitement à la vapeur soit non sélectif, l'applicateur peut être réglé manuellement pour cibler des espèces végétales spécifiques non désirables sur le terrain.
- L'application ne nécessite pas de licence d'applicateur de pesticides.
- Détruit avec succès les mauvaises herbes annuelles, et les applications répétées peuvent tuer les plantes vivaces bien établies.

Limites

- L'efficacité de cette technique dépend de la température, de la texture et de l'humidité du sol, et du type d'espèces de mauvaises herbes (tableau 6).
- Plus efficace sur les graines de mauvaises herbes qui ont une enveloppe des grains perméable à l'eau et une paléole (une feuille interne attachée à la graine) que sur celles avec des téguments imperméables à l'eau.
- Les mauvaises herbes vivaces peuvent réapparaître, nécessitant plusieurs traitements pour une éradication complète.

- Pas une méthode efficace pour les grandes surfaces.
- La profondeur effective est limitée, par conséquent, les propagules souterraines peuvent être protégées et non affectées, ce qui entraîne une croissance continue des mauvaises herbes.
- Le traitement à la vapeur est coûteux et nécessite beaucoup d'énergie; il nécessite également un équipement spécialisé et du personnel avec une formation appropriée.
- Calculer le temps d'application du traitement avec la germination des graines et les cycles de production.
- Il a été noté qu'une utilisation de la vapeur de plus de 50 °C à une vitesse de 0,3 à 0,5 km/h peut tuer les mauvaises herbes et les propagules, et qu'elle est responsable de 90 % de la mortalité des graines des mauvaises herbes. L'augmentation de la température (supérieure à 100 °C) ou de la durée (plus de 12 secondes par plante) du traitement augmente les taux de mortalité.

Fréquence et moment propice

- Une à quatre applications par année sont requises pour l'entretien régulier du site (durant les mois d'été) ou de quatre à six fois par année pour les plantes vivaces bien établies.

Tableau 6. Efficacité du traitement à la vapeur

Facteurs	L'effet	Recommandations d'utilisation
Texture du sol	<ul style="list-style-type: none"> • La distribution de l'espace poreux dans les sols affecte la dispersion de la vapeur. • Les sols à texture fine (limons et argiles) limitent la diffusion de la vapeur en raison des espaces poreux plus petits et de la discontinuité entre les pores. 	<ul style="list-style-type: none"> • Utiliser sur des sols à texture grossière
Humidité du sol	<ul style="list-style-type: none"> • Trop d'humidité du sol peut restreindre le mouvement de la vapeur dans les pores du sol. 	<ul style="list-style-type: none"> • Le sol devrait être plus sec pour réduire l'utilisation de l'eau chaude et l'énergie requise pour le traitement • Appliquer le traitement dans les mois d'été plus secs et au milieu de l'après-midi.
Température du sol	<ul style="list-style-type: none"> • L'augmentation de la température réduit le temps d'application pour atteindre la température cible 	<ul style="list-style-type: none"> • Appliquer le traitement durant les mois d'été lorsque les sols sont les plus chauds ou effectuer une fumigation complète dans l'après-midi lorsque la température du sol est la plus élevée.
Application et technique de traitement	<ul style="list-style-type: none"> • Peut assurer un contrôle de 80 à 99 % des espèces annuelles de mauvaises herbes si la température du sol est portée à 70 °C ou plus. • L'efficacité est corrélée avec la température du sol et le temps d'exposition à la vapeur au moment de l'application. 	<ul style="list-style-type: none"> • Le temps d'application peut varier de 1 à 12 secondes par plante pour atteindre la température cible. • Ajuster l'intensité de la vapeur en fonction des espèces de mauvaises herbes spécifiques, de la taille et des conditions de terrain existantes.

4. Lutte culturale



Aperçu

Les méthodes de lutte culturale présentent une approche de rechange pour la gestion de la végétation par rapport aux méthodes plus conventionnelles de lutte chimique et mécanique.

Les approches conventionnelles du reboisement conduisent souvent à ce que les sites soient dominés par des espèces non indigènes, qui concurrencent et retardent souvent de manière significative la croissance des espèces indigènes souhaitables. L'établissement d'espèces ligneuses et herbacées indigènes est un objectif clé de la réhabilitation du terrain des sites industriels. Cependant, les pratiques de reboisement conventionnelles conduisent souvent à l'établissement spatial inconsistant des espèces natives des sous-bois requises, et ne garantissent pas que les densités de plantes cibles répondront aux exigences de réhabilitation. Par conséquent, il faut souvent beaucoup de temps pour obtenir la couverture souhaitable des espèces indigènes et des dépenses considérables pour gérer les espèces non indigènes.

Le but des méthodes de lutte culturale est de gérer simultanément la végétation indésirable tout en favorisant l'établissement de la végétation indigène souhaitable. Une couverture précoce et dense d'espèces ligneuses et/ou herbacées indigènes est supposée empêcher l'établissement ou réduire l'abondance d'espèces indésirables, souvent non indigènes. Par conséquent, les méthodes de lutte culturale ciblent l'ajout intentionnel d'espèces souhaitables, ligneuses et herbacées, sur un site.

Les méthodes de lutte culturale comprennent l'ensemencement et la plantation d'espèces herbacées et ligneuses selon diverses méthodes. Ce chapitre explique trois méthodes :

- la culture-abri;
- la plantation de plantes passagères clandestines;
- la plantation en bosquet.

Ces méthodes peuvent également être utilisées pour la gestion des stocks, c'est-à-dire la plantation et/ou l'ensemencement d'espèces souhaitables pour améliorer l'établissement de la végétation indigène et empêcher l'établissement de mauvaises herbes. Certaines des méthodes présentées sont encore expérimentales et n'ont pas été prouvées à grande échelle ou à long terme dans la réhabilitation des terrains; ceci est indiqué dans chaque vue d'ensemble des méthodes.

4.1. Culture-abri

La culture-abri consiste à établir (généralement à l'aide de graines) une ou plusieurs espèces herbacées indigènes en même temps que des arbres et des arbustes plantés. Le but de la culture-abri est d'occuper rapidement l'espace physique (à la fois au-dessus et au-dessous du sol) avec des espèces souhaitables tout en empêchant simultanément l'établissement d'espèces indésirables non indigènes.

Le but des méthodes de lutte culturale est de gérer simultanément la végétation indésirable tout en favorisant l'établissement de la végétation indigène souhaitable.

De plus, les espèces de plantes de culture-abri devraient être sélectionnées et déployées à une densité qui ne nuira pas à la croissance des espèces d'arbres cibles. Certaines études ont suggéré que l'élimination des espèces envahissantes n'est pas une option viable. Au lieu de cela, le développement d'une communauté végétale compétitive est plus efficace pour prévenir l'invasion d'espèces non indigènes. Le terme « culture-abri » dans ce guide ne fait pas référence à la culture de couverture traditionnelle des espèces annuelles et/ou agronomiques.

La sélection d'espèces de culture-abri appropriées (et le développement de méthodes et de protocoles de déploiement de semences adaptés) est essentielle, et inclura des espèces qui peuvent occuper rapidement un site sans compétition pour les ressources aériennes ou souterraines avec des espèces cibles plantées. Les espèces herbacées indigènes susceptibles d'être utilisées pour la réhabilitation comprennent celles qui fixent l'azote ou nécessitent très peu d'éléments nutritifs (par exemple, épilobe à feuilles étroites, verge d'or, asters et carex), qui sont abondantes à la suite de perturbations naturelles.

Figure 3. Culture-abri d'herbes indigènes



Remarque : Montré en septembre après l'ensemencement à la volée de la surface à la fin de juin sur un site de réhabilitation sablonneux.

Les espèces de culture-abri sont généralement ensemencées à la surface du sol ou hydro-ensemencées dans une suspension épaisse. Cependant, les taux d'établissement de nombreuses espèces indigènes de plantes herbacées à feuilles larges issues de l'ensemencement à la volée sont très faibles. Pour réussir, les espèces de culture-abri indigènes doivent atteindre des densités élevées qui dominent les parties importantes d'un site de réhabilitation. En outre, peu d'espèces indigènes sont présentement disponibles dans le commerce; pour beaucoup d'autres, des collections de graines sauvages doivent être montées.

Il est nécessaire de développer des mécanismes améliorés de déploiement des semences de plantes herbacées à feuilles larges indigènes pour la réhabilitation de terrains — par exemple, améliorer l'ensemencement direct, qui est actuellement exploré au Boreal Research Institute du Northern Alberta Institute of Technology (NAIT).

Mode d'action

Les cultures-abris sont souvent établies avant de planter des arbres et/ou des arbustes sur place, mais ces activités peuvent être effectuées simultanément si le déploiement des cultures-abris n'utilise pas de machines. Le déploiement basé sur les semences est la stratégie la plus commune pour les graminées. Cependant, la mise en place réussie d'espèces autres que des graminées peut nécessiter un déploiement par d'autres stratégies (comme la plantation ou d'autres manipulations de semences), car le semis direct a généralement été moins réussi à ce jour.

Figure 4. Terrain d'essai de la castilleje rouge
(*Castilleja mineata*)



Remarque : Semée en tant qu'espèce de culture-abri.

Avantages

- Supprime les espèces de mauvaises herbes indésirables et envahissantes.
- Protège les arbres plantés contre les températures extrêmes du sol et de l'air par rapport au sol nu.
- Réduit le potentiel d'érosion du sol.

- Réduit les dégâts causés par les insectes grâce à une protection directe (p. ex. masquage visuel des arbres) ou à la protection indirecte des arbres (p. ex., fournir une autre source de nourriture facilement disponible) à partir d'espèces herbacées.
 - Réduit les coûts possibles pour les traitements futurs (c.-à-d. moins de traitements de gestion de la végétation requis).
 - Augmente la quantité d'humidité printanière disponible, parce que la canopée herbacée capte la neige.
- Limites**
- Les cultures-abris peuvent concurrencer les arbres plantés pour les ressources du site (p. ex. l'humidité du sol et les éléments nutritifs) et peuvent donc augmenter la mortalité et réduire la croissance des espèces cibles.
- Les cultures-abris peuvent ne pas supprimer les espèces envahissantes de mauvaises herbes si elles sont déployées à des taux incorrects.
 - Risque d'introduction d'espèces de mauvaises herbes, en particulier si des mélanges de semences non certifiés sont utilisés.
 - Risque de prédation et d'annélation des semis d'arbres par les souris et les campagnols qui sont attirés par la production de graines de graminées.
 - Peut nécessiter deux programmes de plantation avec des besoins d'équipement différents — arbres et cultures-abris.

Figure 5. Plante herbacée indigène, la verge d'or du Canada (*Solidago canadensis*)



(a)



(b)

Remarque : Plantée comme semis de pépinière pour devenir une espèce de culture-abri. (a) Première saison de croissance. (b) Deuxième saison de croissance.

4.2. Plantation de passagères clandestines

La plantation de plantes passagères clandestines (*hitchhikers*) consiste à produire plusieurs espèces dans le même contenant de pépinière. C'est une forme de compagnonnage, qui est un type de polyculture et la pratique de cultiver différentes espèces dans le même espace.

La plantation de plusieurs espèces passagères clandestines, espèces à la fois d'étage dominant et de sous-étage, imite les écosystèmes forestiers mixtes naturels et répond à l'objectif de réhabilitation qui consiste à établir diverses communautés de plantes forestières indigènes.

Dans la réhabilitation, la plantation d'une espèce passagère clandestine a pour objectif d'améliorer la croissance de deux plantes (p. ex. un arbre et une plante herbacée à larges feuilles indigène) et de déplacer localement la végétation indésirable en occupant l'espace physique autour des espèces ligneuses. Les interactions facilitantes (c-à-d. positives) entre deux plantes associées peuvent être directes (p. ex. augmenter la disponibilité des éléments nutritifs) ou indirectes (p. ex. déplacer des espèces indésirables).

La sélection d'espèces végétales adaptées est essentielle et dépendra des objectifs de gestion, par exemple la suppression des mauvaises herbes compétitives.

Les interactions de facilitation communes trouvées dans les systèmes d'espèces mixtes comprennent les éléments suivants :

- modification du microclimat;
- augmentation de la disponibilité des éléments nutritifs (p. ex., en évitant le lessivage des éléments nutritifs);

Figure 6. Stock de passagères clandestines, première saison



Remarque : Épinette blanche (*Picea glauca*) durant la première saison de croissance avec l'épilobe à feuilles étroites (*Chamerion angustifolium*).

- augmentation de la disponibilité de l'eau (p. ex. évaporation réduite);
- réduction indirecte des effets compétitifs des espèces indésirables.

Par conséquent, les jardiniers et les pépinières horticoles utilisent souvent des plantes d'accompagnement pour faciliter la lutte antiparasitaire, augmenter l'azote des sols pauvres en utilisant de l'engrais vert, augmenter la croissance en hauteur ou pour supprimer les mauvaises herbes, etc.

Cependant, les essais d'applications potentielles du concept de plantation d'espèces passagères clandestines dans la réhabilitation des terres forestières en sont encore aux étapes pilotes. Les résultats préliminaires des récentes études de terrain menées à l'Institut de recherche boréale du NAIT sont prometteurs, mais des essais supplémentaires sont requis. La plantation d'espèces passagères clandestines sera mieux adaptée dans le cadre

Figure 7. Stock de passagères clandestines, deuxième et troisième saisons



(a)



(b)

Remarque : Épinette blanche (*Picea glauca*) durant (a) la deuxième (b) et la troisième saison de croissance avec aster remarquable (*Aster conspicuus*).

d'un programme intégré de gestion des mauvaises herbes (voir le chapitre 5 « Gestion intégrée de la végétation »).

La sélection d'espèces végétales adaptées est essentielle et dépendra des objectifs de gestion, par exemple la suppression des mauvaises herbes compétitives. Les facteurs qui influenceront les interactions entre deux plantes comprennent leurs besoins en ressources, leur taille et leur âge respectifs.

Mode d'action

La plantation d'espèces passagères clandestines consiste à faire pousser une espèce ligneuse indigène avec une espèce de sous-bois indigène dans le même contenant de pépinière.

Avantages

- Fournit de l'ombre aux espèces ligneuses tardives, tolérantes à l'ombre.

- Occupe un espace physique, supprimant ainsi les espèces indésirables (c.-à-d. les espèces non indigènes ou envahissantes).
- Réduit potentiellement les coûts de plantation en cultivant et en plantant deux espèces cibles en même temps.
- Utilisation potentielle d'une plante compagne par la communauté autochtone.

Limites

- Les plantes compagnes peuvent être en concurrence pour les ressources et ainsi limiter la croissance et la survie de l'une ou des deux espèces.
- Le succès de la plantation d'une plante compagne dépend fortement de la sélection d'espèces compatibles. La connaissance des espèces appropriées, de leur reproduction en pépinière et des méthodes d'établissement sur le terrain est limitée.

- La plantation de plantes compagnes peut ne pas convenir à des espèces difficiles à multiplier dans une serre.
- Actuellement, cette méthode n'est pas une pratique standard de production en pépinière pour la foresterie et la réhabilitation des terrains. Par conséquent, il pourrait être plus coûteux de produire deux semis par motte dans la pépinière. Cependant, les coûts de plantation sur le terrain pourraient être réduits parce que chaque motte contient plusieurs espèces qui seraient autrement plantées séparément.

4.3. Plantation en bosquet

La plantation en bosquet comporte une forte densité d'espèces de plantes ligneuses dans des bouquets étroitement espacés sur un site. L'approche de plantation en bosquet a été développée en Europe pour le reboisement de sites présentant des conditions environnementales défavorables et a été occasionnellement utilisée dans des zones de réhabilitation en haute altitude et dans des projets de boisement. La plantation en bosquet a récemment suscité un regain d'intérêt. Cependant, il existe peu d'études de terrain pouvant fournir des directives de plantation pour l'établissement réussi d'arbres en bosquet, en particulier dans le contexte de la réhabilitation des terrains.

Sur les sites réhabilités, les plantations conventionnelles ont donné des résultats mitigés, parce que le sol nu entre les arbres plantés est souvent rapidement colonisé par des espèces indésirables.

La plantation conventionnelle, telle qu'elle est faite dans l'industrie forestière, vise généralement un espacement uniforme de 1 500 à 5 000 tiges/ha, par exemple une faible densité avec un espace important entre les individus. La gamme des densités de plantation est attribuable à des conditions de départ très variées, car certains sites ont des

attentes plus élevées en matière de rétablissement naturel que d'autres. L'espacement uniforme a pour but sous-jacent d'optimiser la productivité des arbres individuels destinés à la récolte de bois marchand. Toutefois, les critères de réhabilitation visent l'établissement de communautés végétales indigènes fonctionnelles et moins axées sur le bois marchand (même si cela peut être un objectif). Sur les sites réhabilités, les plantations conventionnelles ont donné des résultats mitigés, parce que le sol nu entre les arbres plantés est souvent rapidement colonisé par des espèces indésirables.

La plantation en bosquet est une approche de rechange aux méthodes de plantation conventionnelles utilisées sur les sites industriels récupérés. La plantation en bosquet vise à établir une occupation rapide des portions d'un site (bosquets très denses) avec des espèces indigènes cibles pour concurrencer les espèces non indigènes, à l'intérieur et à proximité des bosquets d'arbres plantés, au début de la période d'établissement. Il a été démontré que la plantation en bosquet augmente la régénération naturelle dans les espaces entre les bosquets, ainsi que la richesse spécifique des bosquets par rapport à la plantation uniforme.

Mode d'action

La plantation en bosquet est réalisée en plantant des espèces ligneuses à haute densité dans des groupes étroitement espacés. Les densités localisées (en bosquets) seraient proches de 10 000 tiges/ha, mais la densité globale au niveau du site resterait de 1 500 à 5 000 tiges/ha.

Avantages potentiels

- Occupation rapide du site.
- Fermeture plus rapide du couvert forestier.
- Supplantation des espèces non indigènes et des mauvaises herbes, et réduction du besoin d'autres méthodes de lutte contre les mauvaises herbes.
- Augmentation potentielle de la richesse globale des espèces végétales.
- Intrants de matières ligneuses grossières (par la mortalité des arbres) qui contribueront au site pendant la phase d'exclusion des tiges à l'intérieur des bosquets d'arbres.

Figure 8. Plantation en bosquet après deux saisons de croissance



Remarque : Un bosquet de 10 plants de peuplier faux-tremble (*Populus tremuloides*) plantés à 25 cm d'intervalle après deux saisons de croissance. Figure 9. Plantation en bosquet après une saison de croissance

Figure 9. Plantation en bosquet après une saison de croissance



Remarque : Trois espèces de feuillus (bouleau à papier [*Betula papyrifera*], peuplier baumier [*Populus balsamifera*] et tremble) dans un bosquet de 7,5 × 7,5 m, avec un espacement de 75 cm après une saison de croissance.

Limites

- En fin de compte, ce ne sont pas tous les arbres plantés dans les bosquets qui survivront. Ils finiront par tomber du site au fur et à mesure que la canopée se développera. Ce résultat peut ne pas être souhaitable pour certains exploitants forestiers qui aimeraient voir chaque semis planté devenir un arbre marchand.
- Il n'existe aucune étude de terrain à long terme qui fournirait des directives de plantation pour l'établissement réussi des arbres en bosquets dans un contexte de réhabilitation d'un terrain.
- Une formation sera nécessaire pour que le personnel de plantation s'affranchisse des directives de plantation traditionnelles.

5. Gestion intégrée de la végétation



La gestion intégrée de la végétation (GIV) comprend une combinaison de pratiques de prévention et de contrôle dans le but d'optimiser la lutte contre les espèces indésirables (y compris les mauvaises herbes réglementées) tout en favorisant l'établissement d'espèces souhaitables.

La GIV reconnaît qu'aucune méthode unique de maîtrise de la végétation ne sera efficace pour lutter contre le nombre élevé d'espèces végétales indésirables de types de croissance variables (p. ex. annuelles ou pérennes). Au lieu de cela, la GIV intègre plusieurs méthodes pour augmenter l'efficacité du programme de gestion de la végétation et pour finalement mieux soutenir les objectifs de réhabilitation.

L'occupation d'un espace vital par des espèces souhaitables est une partie importante de la GIV. Cela est particulièrement important dans le cas des techniques de gestion qui perturbent le sol (p. ex. la culture), car beaucoup d'espèces non indigènes et indésirables occuperaient rapidement le sol nu.

La GIV est mieux utilisée comme stratégie de gestion au tout début de la réhabilitation d'un terrain. Ce chapitre montrera des exemples de la façon dont la gestion intégrée de la végétation pourrait être élaborée et utilisée dans un contexte opérationnel. Plusieurs méthodes seront sélectionnées dans le cadre du plan de GIV, notamment la lutte mécanique (chapitre 2), la lutte chimique et la lutte biologique (chapitre 3) et la lutte culturale (chapitre 4).

Plan intégré de gestion des ressources

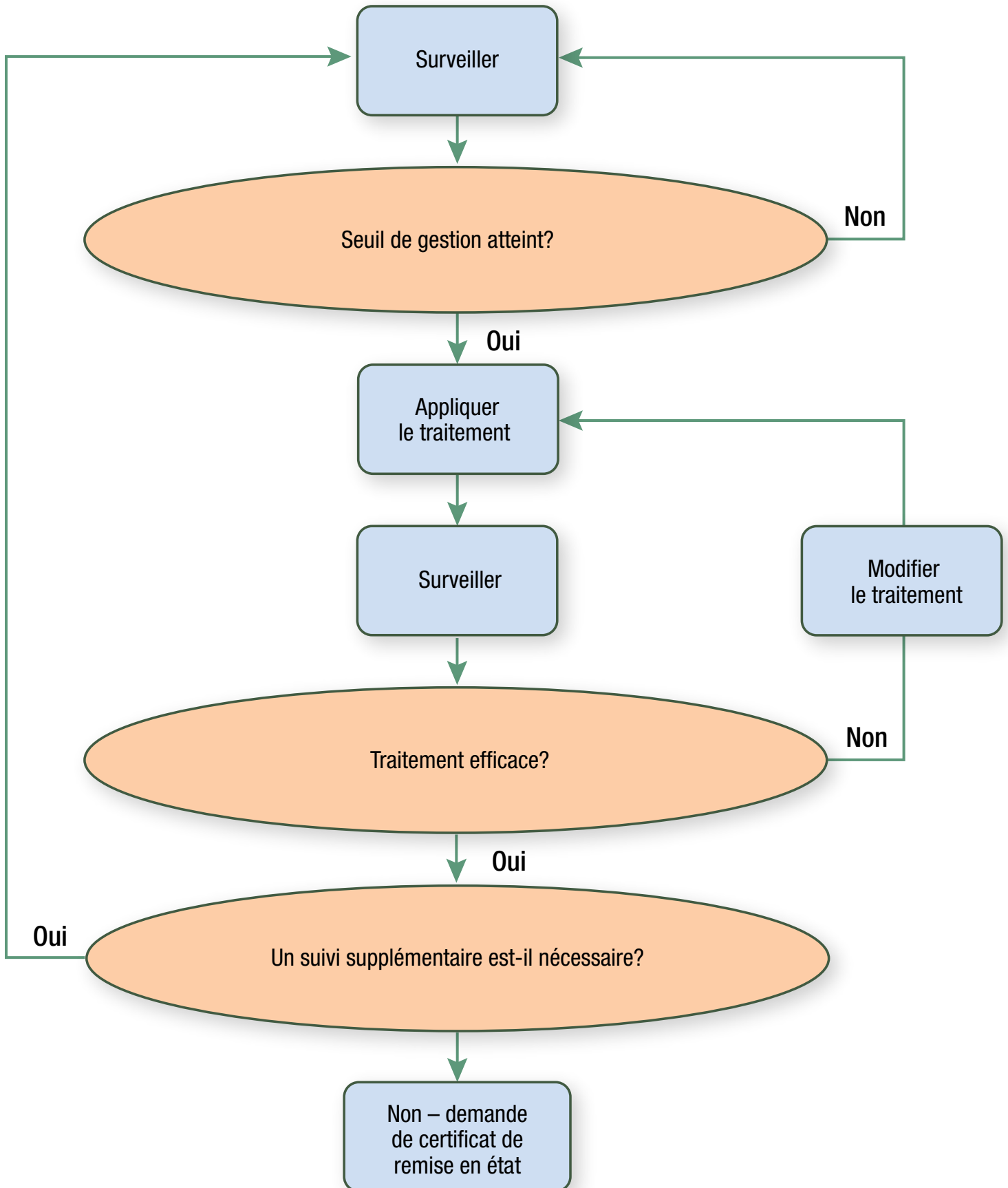
Les éléments clés d'un plan de gestion intégré de la végétation comprennent les six étapes suivantes, décrites ici et dans la matrice de décision de la figure 10 de la GIV :

1. **Empêchez** les mauvaises herbes de s'établir (p. ex. nettoyez l'équipement avant d'entrer sur un site, effectuez des inspections régulières des mauvaises herbes et formez les exploitants forestiers à reconnaître les espèces de mauvaises herbes et à comprendre les options de traitement disponibles).
2. **Évaluez** (identifier et cartographier) toutes les espèces indésirables et réglementées sur et à proximité directe du site cible.
3. **Définissez les seuils de gestion** de l'abondance des plantes pour les espèces indésirables en fonction du type d'espèce (mauvaises herbes indésirables ou réglementées) et du seuil économique (p. ex. l'éradication n'est pas nécessairement l'objectif pour toutes les espèces). Les seuils seront spécifiques aux espèces et aux sites et peuvent varier en fonction de l'espèce et des objectifs généraux de gestion.

4. **Choisissez une combinaison appropriée de méthodes** pour lutter contre les espèces indésirables à des niveaux acceptables.
5. **Déterminez les moments opportuns** pour des traitements spécifiques. Par exemple, certains traitements, comme la lutte culturale, sont plus efficaces lorsqu'ils sont utilisés pour éliminer les plantes émergentes plutôt que les plantes bien établies.
6. **Surveillez les sites annuellement** pour déterminer quand les seuils de gestion sont atteints (et que la prise de mesures est requise), pour évaluer l'efficacité des méthodes de lutte, pour atteindre les objectifs de gestion de la végétation et pour évaluer si des traitements de suivi sont requis. La surveillance en temps opportun (y compris les stades de croissance des mauvaises herbes et leurs emplacements) permet des interventions de traitement rapides et proactives et peut augmenter le rapport coût-efficacité.

Ce chapitre montrera des exemples de la façon dont la gestion intégrée de la végétation pourrait être élaborée et utilisée dans un contexte opérationnel.

Figure 10. Matrice de décision de la GIV



Les plans de gestion intégrée de la végétation nécessiteront souvent plusieurs étapes sur plusieurs saisons pour lutter efficacement contre les espèces indésirables et déplacer la communauté végétale vers la cible. Les principes et les étapes clés suivants doivent être pris en compte lors de la sélection du type de traitement et du moment opportun :

- Maîtriser rapidement les mauvaises herbes réglementées qui sont sur la liste du *Weed Control Act*; ces espèces doivent être éradiquées indépendamment de leur taille et de leur nombre. Concentrer les efforts de lutte sur les espèces qui auront un effet négatif sur vos plantes cibles. Les plantes qui ont peu ou pas d'impact sur les plantes cibles peuvent être négligées (p. ex. de petites populations de certaines espèces annuelles non indigènes et des espèces pérennes non indigènes peuvent ne pas présenter de risque pour les plantes cibles). Les espèces annuelles non indigènes comprennent *Chenopodium album*, *Chenopodium capitatum* et *Trifolium arvense*. Les espèces pérennes non indigènes comprennent *Taraxacum officinale*, *Trifolium hybridum* et *Trifolium pratense*.
- En règle générale, la lutte contre les espèces indésirables est plus efficace lorsque les populations sont clairsemées (p. ex. plantes isolées) et durant les premiers stades de croissance (premier stade végétatif), avant que les mauvaises herbes ne s'établissent densément.
- Les méthodes de lutte sont propres au type de mauvaises herbes (plantes graminoides par rapport aux plantes herbacées non graminoides) et à leur forme de croissance respective (annuelle par rapport à semestrielle ou à pérenne) et doivent être sélectionnées en conséquence.
- S'assurer que la séquence des traitements ne compromet pas l'efficacité du traitement à long terme; par exemple, les traitements initiaux ne devraient pas nuire aux traitements ultérieurs.

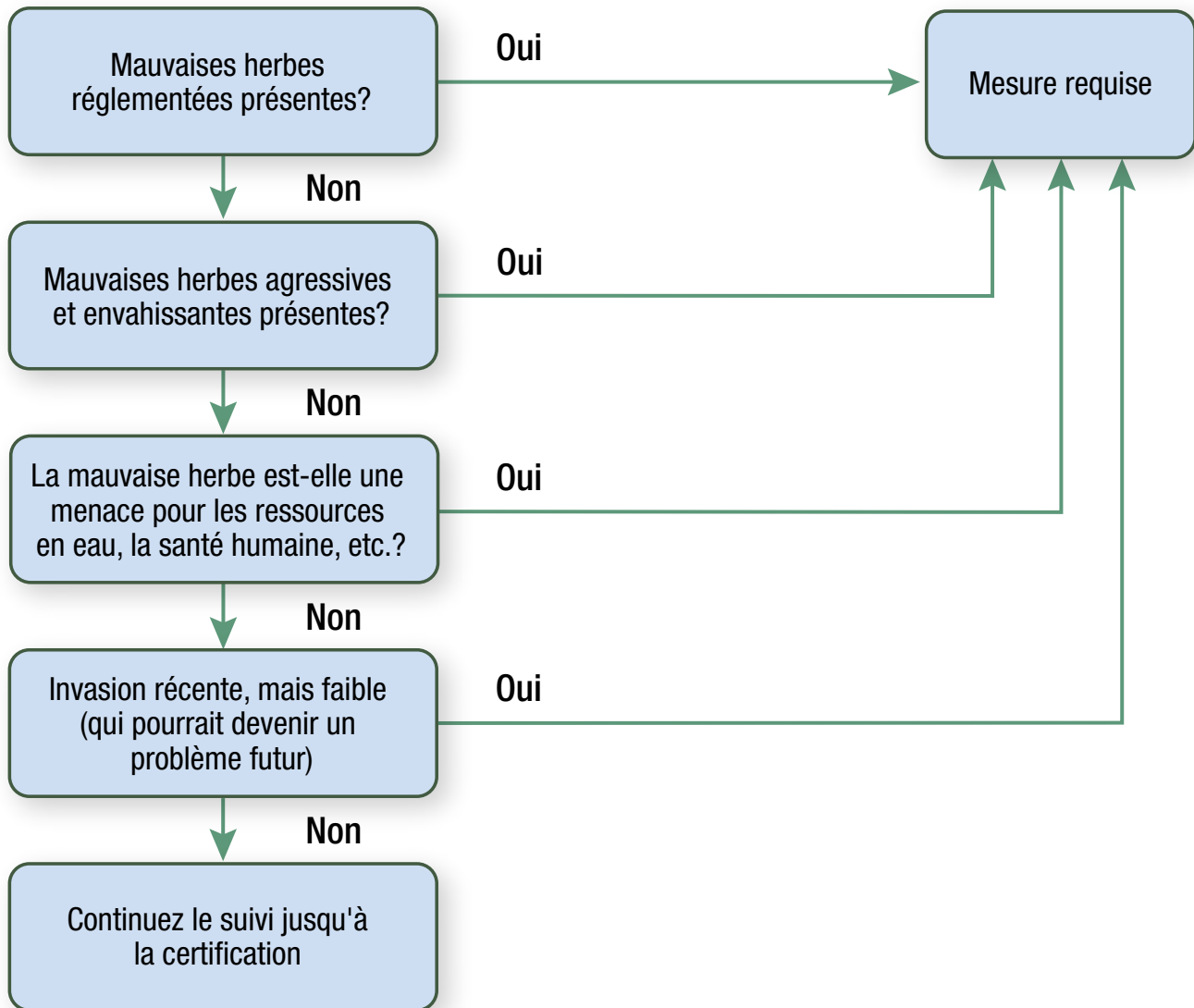
- Choisir des traitements qui minimiseront les résultats négatifs pour les espèces non ciblées et l'environnement.
- Assurer une préparation efficace du site pour lutter contre les espèces indésirables avant de planter des espèces ligneuses, car ces dernières sont très sensibles à la concurrence des espèces de mauvaises herbes au cours de la première phase d'établissement.
- Chercher à atteindre la rentabilité dans un plan de traitement, si possible. Les coûts varieront en fonction de l'éloignement du site, du type et de la taille des populations de mauvaises herbes, des objectifs de traitement et de l'entrepreneur utilisé.

Maîtriser rapidement les mauvaises herbes réglementées qui sont sur la liste du *Weed Control Act*; ces espèces doivent être éradiquées indépendamment de leur taille et de leur nombre.

Priorités de traitement

Les situations qui augmenteront la priorité pour le traitement d'une population de mauvaises herbes sont décrites à la **figure 11**.

Figure 11. Priorités de la GIV en matière de gestion



Exemple de traitement

Conditions du site – Il s'agit du terrain d'un bassin à boues de plus de cinq ans qui a été assaini, et les activités de réhabilitation ont été complétées au cours d'un été humide (année 1). L'objectif principal de ce site consistait à établir une communauté forestière indigène. Une série de traitements de gestion de la végétation ont été imposés sur ce site dans le cadre d'un plan plus vaste de gestion intégrée de la végétation.

Année 1 – Le site a été ensemencé avec des herbes indigènes à la suite du remplacement du sous-sol et de la couche arable. Le but des herbes indigènes était de

fournir une occupation rapide, dès le début, de l'espace physique, ne laissant aucune place pour l'invasion et le développement d'espèces indésirables.

Année 2 – Le site a fait l'objet de pulvérisations localisées pour maîtriser toute espèce de mauvaise herbe nuisible présente. Parce que les graminées indigènes ont été ensemencées l'été précédent, elles se sont pleinement développées en plantes matures dès la deuxième année. Un mélange de plants indigènes d'arbres et d'arbustes a été produit dans une pépinière commerciale pour être planté sur le site l'année suivante.

Année 3 – Les graminées indigènes étaient bien établies, de sorte qu’il y avait peu d’espace de culture disponible pour les plants de pépinière. Par conséquent, l’ensemble du site a été remué par une charrue pour réduire le volume de couverture de l’herbe, créer des microsites et réduire le degré de compactage du sol. Des plants de pépinière ont été plantés à une densité totale de 5 000 tiges/ha sur l’ensemble du site. L’application ponctuelle d’herbicide de post-levée a été utilisée pour contrôler la pénétration d’espèces de mauvaises herbes nuisibles.

Années 4-6 – Aucun traitement supplémentaire de la végétation n’a été déployé, parce que les herbes indigènes ont été réaménagées au fil du temps, et que les espèces indigènes d’arbres et d’arbustes ont également contribué à l’occupation physique du site. Le site faisait l’objet d’une surveillance annuelle, et les espèces de mauvaises herbes nuisibles ont subi des pulvérisations localisées ou ont été enlevées à la main.

Conclusion

- En raison de la surveillance et de la gestion continues, les mauvaises herbes nuisibles n’ont jamais été à des niveaux problématiques sur toute la surface du site.

L’intervention précoce (pulvérisation à la main) et l’établissement d’une autre végétation désirable ont empêché ces espèces d’envahir le site.

- De même, d’autres espèces indésirables (trèfles) communes sur les sites récemment réhabilités n’étaient pas une préoccupation majeure. En effet, l’établissement initial des graminées indigènes immédiatement après la réhabilitation a fait en sorte que le trèfle en germination n’a jamais eu l’occasion de se développer complètement.
- Comme l’utilisation des herbicides pour traitement généralisé était limitée, les arbres et les arbustes plantés ont pu croître et persister, permettant une excellente première croissance et contribuant à l’objectif principal (créer une communauté forestière indigène).

L’objectif principal de ce site consistait à établir une communauté forestière indigène.

Figure 12. Le site après la quatrième saison de croissance



Remarque : Un site à l’année 6, après le labourage du site et la plantation du matériel de pépinière.

6. Références



- Alberta Environment. 2010. *Guidelines for Reclamation to Forest Vegetation in the Athabasca Oil Sands Region, 2nd Edition*. Préparé par le sous-groupe du Groupe de travail sur la réhabilitation de la Cumulative Environmental Management Association, Fort McMurray (Alberta). Décembre 2009 .
- Alberta Sustainable Resource Development. 2012. *Weed Management on Industrial Sites*. R&R/12-01.
- Ascard, J., P.E. Hatcher, B. Melander et M.K. Upadhyaya. 2007. « Thermal weed control », dans M.K. Upadhyaya et R.E. Blackshaw (dir.), *Non-Chemical Weed Management: Principles, Concepts and Technology*. Centre for Agricultural Bioscience International Publishing, Royaume Uni : 111-134.
- ASRD (Alberta Sustainable Resource Development). 2001. *Weed management in forestry operations*. Land and Forest Division Directive, Edmonton (Alberta), 5 pages.
- ASRD (Alberta Sustainable Resource Development). 2004. *Forest Management Herbicide Reference Manual*. Public Lands and Forests Division, Edmonton (Alberta), 59 pages.
- Balandier, P., C. Collet, J.H. Miller, P.E. Reynolds et S.M. Zedaker. 2006. « Designing forest vegetation management strategies based on the mechanisms and dynamics of crop tree competition by neighbouring vegetation », *Forestry*, 79 : 3-27.
- B.C. (British Columbia Ministry of Forests, Lands and Natural Resources). 2010. « Invasive alien plants pest management plan for provincial crown lands in central and northern British Columbia ». Disponible [en ligne] à l'adresse suivante : <https://www.for.gov.bc.ca/hra/plants/publications/PMPs/PMP_NorthernBC.pdf> Consulté le 10 juillet 2017.
- B.C. (British Columbia Ministry of Forests, Lands and Natural Resources). 2015. « Biocontrol agent on invasive plant matrix ». Disponible [en ligne] à l'adresse suivante : <https://www.for.gov.bc.ca/hra/plants/publications/PMPs/PMP_NorthernBC.pdf> Consulté le 10 juillet 2017.
- Cline, J., G. Neilsen, E. Hogue, S. Kuchta et D. Neilsen. 2011. « Spray-on-mulch technology for intensively grown irrigated apple orchards: influence on tree establishment, early yields, and soil physical properties », *HortTechnology*, 21 : 398-411.
- Davis, M.A., J.P. Grime et K. Thompson. 2000. Fluctuating resources in plant communities: a general theory of invasibility, *Journal of Ecology*, 88 : 528-534.
- De Clerck-Floate, R., et H. Carcamo. 2011. « Biocontrol arthropods: New denizens of Canada's grassland agroecosystems », dans *Arthropods of Canadian Grasslands: Inhabitants of a Changing Landscape* (Volume 2). Commission biologique du Canada : 291-321.
- Di Primo, P., A. Gamliel, M. Austerweil, B. Steiner, M. Beniches, I. Peretz-Alon et J. Katan. 2003. « Accelerated degradation of metam-sodium and dazomet in soil: Characterization and consequences for pathogen control », *Crop Protection*, 22 : 635-646.
- Di Tomaso, J.M., et D.W. Johnson. 2006. *The Use of Fire as a Tool for Controlling Invasive Plants*. California Invasive Plant Council, Berkeley, CA, 56 pages.
- Drlik, T., I. Woo et S. Swiadon (dir.). 1998. *Integrated Vegetation Management Guide*. Bio-Integral Resource Center, Berkeley, CA, 16 pages.
- Environment and Sustainable Resource Development. 2013. « 2010 Reclamation Criteria for Wellsites and Associated Facilities for Forested Lands ». Mis à jour en juillet 2013.
- Ewing, K. 2002. « Effects of initial site treatments on early growth and three-year survival of Idaho fescue ». *Restoration Ecology*, 10 : 282-288.
- Fabel, S. 2000. « Assessing the impacts and control of invasive species in grasslands ». *Restoration and Reclamation Review*, 6 : 1-4.
- Franck, G. 1983. *Companion Planting: Successful Gardening the Organic Way*. HarperCollins Canada/Thorsons, Wellingborough, Northamptonshire, England: New York, N. Y.
- Fraser, A.H. 2013. « Use of solarization to kill the root crown and reduce the seed bank viability of *Rubus armeniacus* Focke and *Cytisus scoparius* (L.) Link. Mémoire de maîtrise en sciences, Université de Washington, p. 138.

Gouvernement de l'Alberta. 2010. *Weed Control Regulation*. Alberta Regulation 19/2010. Alberta Queen's Printer, 2010.

Hunter, A.F., et L.W. Aarssen. 1988. « Plants helping plants. New evidence indicates that beneficence is important in vegetation », *Bioscience*, 38 : 34-40.

Kayahara, G.J., et C.L. Armstrong. 2015. « Understanding First Nations rights and perspectives on the use of herbicides in forestry: A case study from northeastern Ontario », *The Forestry Chronicle*, 91 : 126-140.

Kerpauskas, P., A.P. Sirvydas, P. Lazauskas, R. Vasinauskiene et A. Tamosiunas. 2006. « Possibilities of weed control by water steam », *Agronomy Research*, 4 : 221-225.

Langor et al. 2014. « [Non-native species in Canada's boreal zone: diversity, impacts, and risk](#) ». *Environmental Review*, 22 : 372-420.

Latsch, R., et Sauter, J. 2014. « Optimisation of hot-water application technology for the control of broad-leaved dock (*Rumex obtusifolius*) », *Journal of Agricultural Engineering*, 45 : 137145.

Lembright, H.W. 1990. « Soil fumigation: Principles and application technology », *The Journal of Nematology*, 22 : 632-644.

Marquez, J., et K. Wang. 2014. *Soil solarisation as an Organic Pre-Emergent Weed-Management Tactic*. Université d'Hawaï, College of Tropical Agriculture and Human Resources, Manoa. 7 pages.

McFadyen, R.E.C. 1998. « Biological control of weeds », *Annual Review of Entomology*, 43 : 369-393.

Melander, B. 2014. « Physical and cultural weed control – Status and future directions », dans *Proceedings, 29th Brazilian Weed Science Conference*, Gramado, Brésil. 1-4 septembre 2014.

Melander, B., et J.K. Kristensen. 2011. « Soil steaming effects on weed seedling emergence under the influence of soil type, soil moisture, soil structure and heat duration », *Annals of Applied Biology*, 158: 194-203.

Mihajlovich M., J.M. Sobze et A.L. Schoonmaker. 2014. « A life cycle approach to vegetation management on reclaimed industrial sites », *Canadian Reclamation*, 14 : 52-56.

National Research Council (É.-U.), Committee on Plant and Animal Pests. 1968. *Principles of plant and animal pest control: Weed Control*. Vol. 2. National Academy of Sciences, Washington, DC, p. 38-39.

Neal, J.C. 1999. *Weed Management in Conifer Seedbeds and Transplant Beds*. North Carolina State University, College of Agriculture and Life Sciences. Department of Horticultural Science, 5 pages.

Nisimura, A., M. Asai, T. Shibuya, S. Kurokawa et H. Nakamura. 2015. « A steaming method for killing weed seeds produced in the current year under untilled conditions », *Crop Protection*, 71 : 125-131.

Radosevich, S.R., Holt, J.S. et Ghera, C.M. 2007. *Ecology of Weeds and Invasive Plants: Relationship to Agriculture and Natural Resource Management* (3rd Ed.). John Wiley et Sons, Inc. Hoboken, NJ, 472 pages.

Saha, S., C. Kuehne et J. Bauhus. 2013. « Intra- and interspecific competition differently influence growth and stem quality of young oaks (*Quercus robur* L. and *Quercus petraea* (Mattuschka) Liebl.) », *Annals of Forest Science*, 71(3) : 381-393.

Saha, S., C. Kuehne, U. Kohnle, P. Brang, A. Ehring, J. Geisel, B. Leder, M. Muth, R. Peterson, J. Peter, W. Ruhm et J. Bauhus. 2012. « Growth and quality of young oaks (*Quercus robur* and *Quercus petraea*) grown in cluster plantings in central Europe: A weighted meta-analysis ». *Forest Ecology and Management*, 283 : 106-118.

Saha, S., C. Kuehne et J. Bauhus. 2013. « Tree species richness and stand productivity in low-density cluster plantings with oaks (*Quercus robur* L. and *Q. petraea* (Mattuschka) Liebl.) », *Forests*, 4 : 650-665.

Samtani, J.B., C.G. Gilbert, J.B. Weber, K.V. Subbarao, R.E. Goodhue et S.A. Fennimore. 2012. « Effect of steam and solarisation treatments on pest control, strawberry yield, and economic returns relative to methyl bromide fumigation », *HortScience*, 47 : 64-70.

Schönenberger, W. 2001. « Cluster afforestation for creating diverse mountain forest structures: A review », *Forest Ecology and Management*, 145 : 121-128.

Skroch, W.A., M.A. Powell, T.E. Bilderback et P.H. Henry. 1992. « Mulches: Durability, aesthetic value, weed control and temperature », *Journal of Environmental Horticulture*, 10 : 43-45.

Smreciu, A., et K. Gould. 2015. « Field emergence of native boreal forest species on reclaimed sites in northeastern Alberta », *Native Plants Journal*, 16 : 204-226.

Sunburst Incorporated. 2007. *Sunburst Thermal Weed Control Technology*. Eugene, Oregon, 3 pages.

Uhlig, R.E., G. Oiseau, R.J. Richardson et B.H. Zandstra. 2007. « Soil fumigants to replace methyl bromide for weed control in ornamentals ». *HortTechnology*, 17 : 111-114.

Weber, M.G., et S.W. Taylor. 1992. « The use of prescribed fire in the management of Canada's forested lands ». *The Forestry Chronicle*, 68 : 324-334.

White, D.J. 1997. « *Tanacetum bulgare* L.: Weed potential, biology, response to herbivory, and prospects for classical biological control in Alberta ». Mémoire de maîtrise en sciences, Université de l'Alberta, Département d'entomologie, Edmonton (Alberta), 185 pages.

Winston, R., C.B. Randall, R. De Clerck-Floate, A. McClay, J. Andreas et M. Schwarzlander. 2014. *Field Guide for the Biological Control of Weeds in the Northwest*. U.S. Department of Agriculture (USDA), Washington, DC, 338 pages.

Wittenberg, R., et M.J.W. Cock. 2001. *Invasive Alien Species: A Toolkit of Best Prevention and Management Practices*. *Global Invasive Species Programme*. Centre for Agriculture and Bioscience (CAB) International, Wallingford, Royaume-Uni. 240 pages.

7. Lecture recommandée



Alberta Agriculture and Rural Development. 2014. *Alberta Invasive Plant Identification Guide : Prohibited Noxious and Noxious*. Wheatland County, Strathmore, 81 pages.

Alberta Sustainable Resource Development. 2001. *Weed Management in Forestry Operations*. Directive n° 2001-06, Edmonton (Alberta).

Langor, D.W. et al. 2014. « [Non-native species in Canada's boreal zone: Diversity, impacts, and risk](#) ». *Environmental Review*, 22 : 372-420.

MacKenzie, D., et K. Renkema, 2013. *In-situ Oil Sands Extraction Reclamation and Restoration Practices and Opportunities Compilation*. Canada's Oil Sands Innovation Alliance, Calgary (Alberta).

Native Plant Working Group. 2000. *Native Plant Revegetation Guidelines for Alberta*. H. Sinton-Gerling (dir.), Alberta Agriculture, Food and Rural Development and Alberta Environment, Edmonton (Alberta).

Northern Alberta Institute of Technology (NAIT), Boreal Research Institute. 2011. « [Principles of vegetation management](#) ». Note technique n° 7.

Northern Alberta Institute of Technology (NAIT), Boreal Research Institute. 2011. « [Vegetation management treatments](#) ». Note technique n° 8.

Smreciu, A., H. Sinton, D. Walker et J. Bietz. 2002. *Establishing Native Plant Communities*. Alberta Agriculture, Food and Rural Development, Alberta Environment and Alberta Sustainable Resource Development, 93 pages.

Welham, C. 2013. *Factors Affecting Ecological Resilience of Reclaimed Oil Sands Uplands*. Oil Sands Research and Information Network (OSRIN), University of Alberta, School of Energy and the Environment, Edmonton (Alberta). Rapport OSRIN n° TR-34, 44 pages.

