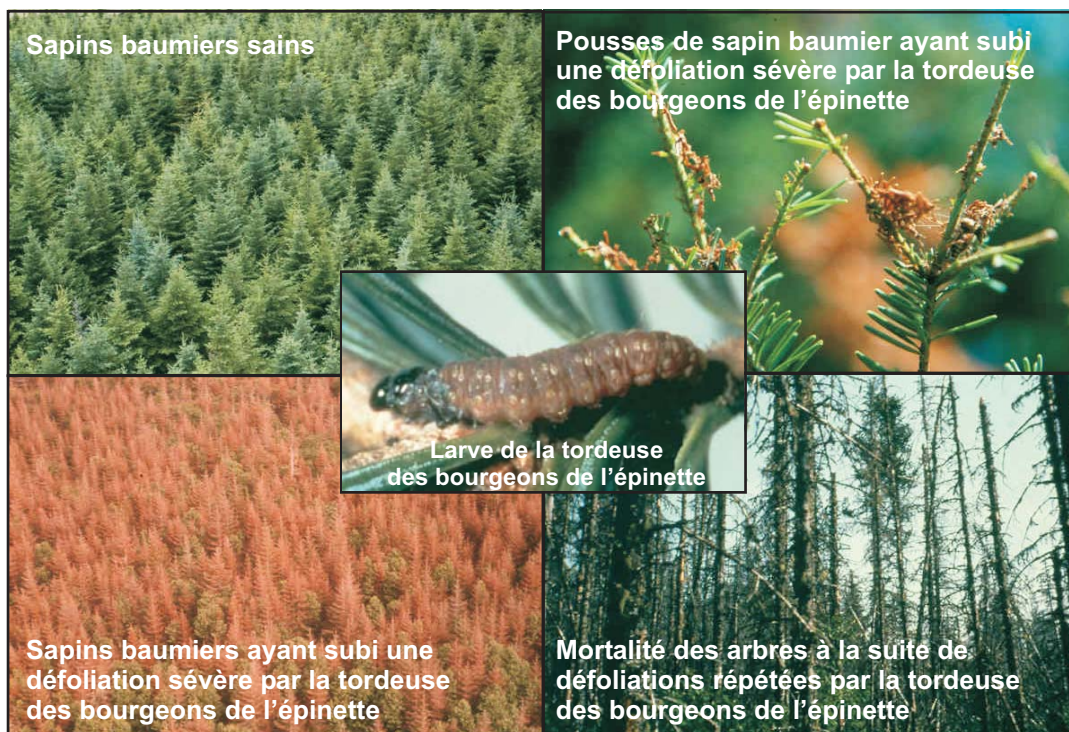
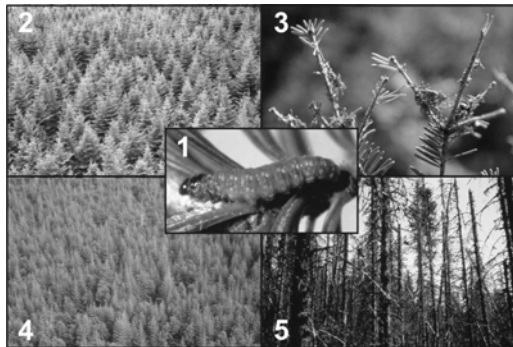




Lutte antiparasitaire intégrée

Principes de la lutte intégrée contre la tordeuse des bourgeons de l'épinette





Page couverture

Titre et source des photos

1. Larve de la tordeuse des bourgeons de l'épinette
(Source : Forêts Canada - Atlantique)
2. Sapins baumiers en santé
(Source : Ressources naturelles Nouveau-Brunswick)
3. Pousses de sapins baumiers gravement défoliés par la tordeuse des bourgeons de l'épinette
(Source : Ressources naturelles Nouveau-Brunswick)
4. Sapins baumiers gravement défoliés par la tordeuse des bourgeons de l'épinette
(Source : Forêts Canada - Atlantique)
5. Mortalité de l'arbre causée par la défoliation répétée de la tordeuse des bourgeons de l'épinette
(Source : Ressources naturelles Nouveau-Brunswick)

Ce document expose, en termes généraux, les principes qui forment le fondement de la LI contre la tordeuse des bourgeons de l'épinette au Canada de même que des renseignements sur les méthodes disponibles, les limites et les besoins futurs.

Notre mission est de protéger la santé humaine et l'environnement en réduisant au minimum les risques liés aux produits antiparasitaires, de manière ouverte et transparente, tout en rendant accessibles les moyens de lutte contre les organismes nuisibles, soient ces mêmes produits et les stratégies de lutte antiparasitaire durable.

Also available in English under the title: Principles of Spruce Budworm Integrated Pest Management

La présente publication est disponible dans Internet à l'adresse suivante :
www.pmra-arla.gc.ca/francais/pdf/spm/ipmsprucebudworm-f.pdf

Elle est également offerte sur demande en format alternatif.

L'équipe des publications de l'Agence de réglementation de la lutte antiparasitaire était responsable de la traduction, de la mise en page et de la publication du présent document.

On peut se procurer des exemplaires supplémentaires auprès de :

Publications
Agence de réglementation de la lutte antiparasitaire
2720, promenade Riverside
Ottawa ON K1A 0K9

Téléphone : 1 800 267-6315
Télécopieur : (613) 736-3758

Papier : ISBN : 0-662-76143-X Numéro de catalogue : H114-11/2005F
Internet : ISBN : 0-662-76144-8 Numéro de catalogue : H114-11/2005-PDF

© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, représentée par le ministre des Travaux publics et Services gouvernementaux Canada 2005.

Tous droits réservés. Il est interdit de reproduire ou de transmettre l'information (ou le contenu de la publication ou produit), sous quelque forme ou par quelque moyen que ce soit, enregistrement sur support magnétique, reproduction électronique, mécanique, ou par photocopie, ou autre, ou de l'emmagasiner dans un système de recouvrement, sans l'autorisation écrite préalable du ministre des Travaux publics et Services gouvernementaux Canada, Ottawa, Ontario K1A 0S5.

Table des matières

Introduction	1
But	3
Notions élémentaires sur la tordeuse des bourgeons de l'épinette	4
Généralités	4
Hôtes	4
Biologie	5
Conséquences	7
Planification et gestion de systèmes de production afin d'empêcher les organismes de devenir nuisibles	9
Généralités	9
Aménagement forestier	10
Identification des organismes potentiellement nuisibles	12
Surveillance des populations d'organismes nuisibles et bénéfiques ainsi que de tout facteur environnemental pertinent	13
Enquêtes phytosanitaires	13
Surveillance des organismes bénéfiques	14
Surveillance des facteurs environnementaux	15
Établissement de seuils	16
Seuils de nuisibilité économique	16
Seuils de dommages	16
Seuils de déclenchement de mesures	17
Mise en œuvre de mesures de lutte permettant de maintenir les populations d'organismes nuisibles sous un seuil minimal	20
Mesures cultural	20
Mesures physiques	21
Mesures biologiques	21
Mesures comportementales	23
Mesures chimiques	23
Homologation des insecticides : rôle de l'ARLA	24
Évaluation des effets et de l'efficacité des mesures de lutte utilisées contre les organismes nuisibles	25
Effets des mesures de lutte	25
Efficacité des mesures de lutte	25
Pistes de recherche pour l'avenir	26
Conclusion	28

Avant-propos

Le présent document a été préparé par le Caucus national de la lutte antiparasitaire forestière en collaboration avec l'Agence de réglementation de la lutte antiparasitaire (ARLA) dans le cadre des projets conjoints de lutte intégrée (LI) de l'ARLA. Celle-ci s'est engagée à promouvoir la lutte antiparasitaire durable et est heureuse d'avoir participé en tant que coprésidente et secrétaire à ce projet et de publier ce document au nom des deux organisations.

Ce document a été rédigé par N. E. Carter, du ministère des Ressources naturelles du Nouveau-Brunswick, avec les commentaires et les suggestions des personnes suivantes : R. Dick, L. Hartling, D. Lavigne, D. O'Brien et C. Cameron (ministère des Ressources naturelles du Nouveau-Brunswick); D. Davies, P. Amirault et G. Cormier (Forest Protection Limited); H. Crummey (Newfoundland and Labrador Department of Natural Resources), M. Auger, M. Chabot et B. Brulet (ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs du Québec); J. Dugal et D. Morranville (Société de protection des forêts contre les insectes et maladies); K. Knowles, L. Matwee et J. Leferink (Manitoba Department of Conservation); R. Westwood (University of Winnipeg); H. Ono et S. Ranasinghe (Alberta Department of Sustainable Resource Development); P. Hall (British Columbia Ministry of Forests); E. Kettela, C. Sanders, R. Fleming, J. Valéro et V. Nealis (Service canadien des forêts); G. Adams (J.D. Irving, Limited); W. Gratton et R. Martin (ARLA).

Introduction

La tordeuse des bourgeons de l'épinette (*Choristoneura fumiferana* [Clem.]) est un important insecte défoliateur des forêts d'épinettes et de sapins à travers le Canada et dans certaines régions du nord des États-Unis. Son comportement et ses effets varient selon la région et comme chaque territoire possède ses circonstances propres, les décisions et les mesures en matière de lutte sont adaptées aux conditions locales. Bien que ces décisions aient un effet sur les individus, les propriétaires de terres à bois, les communautés et les entreprises locales, le principal objectif des mesures de lutte vise généralement à protéger les industries forestières dont l'existence repose sur des réserves en bois durables à long terme. Par le passé, des mesures de protection contre la tordeuse des bourgeons de l'épinette ont été appliquées de manière peu fréquente dans le but de préserver des objectifs non reliés à la production de fibres ligneuses; cependant, cela pourrait devenir une question importante plus tard. Les pénuries dans l'approvisionnement en bois et d'autres facteurs qui influent négativement sur les coûts ont un effet majeur sur le maintien de la concurrence dans les marchés locaux et internationaux. Les répercussions économiques potentielles sont énormes, de même que les préoccupations d'ordre environnemental et public. Néanmoins, beaucoup de principes et de mesures sont communes à tous les programmes de lutte contre la tordeuse des bourgeons de l'épinette. Pourtant, ils sont peu connus ou compris du grand public.

La lutte intégrée (LI) constitue le fondement de l'aménagement des forêts et des ressources qui y sont associées afin de les protéger contre les effets de la tordeuse des bourgeons de l'épinette. Cependant, la réalité de la LI n'est pas facile à saisir, d'abord en raison de sa définition et de sa signification, puis de la mise en œuvre en découlant. La LI est définie, et donc abordée, de plusieurs façons. Par conséquent, l'ancien Bureau fédéral des nouvelles méthodes de lutte antiparasitaire, qui existait au début des années 1990, a sondé le gouvernement, l'industrie et d'autres intervenants sur cette question et a examiné 29 suggestions de définition pour la LI. Finalement, il a décidé d'intégrer ces divers points de vue dans la définition suivante¹, laquelle nous avons adoptée pour rédiger ce document en raison de sa représentativité de la diversité des opinions des intervenants :

« La lutte intégrée (LI) est une méthode générale qui utilise toutes les mesures de lutte appropriées pour réduire les dommages reliés aux organismes nuisibles jusqu'à un niveau acceptable tout en respectant la diversité génétique et en réduisant les risques pour la santé humaine et l'environnement. »

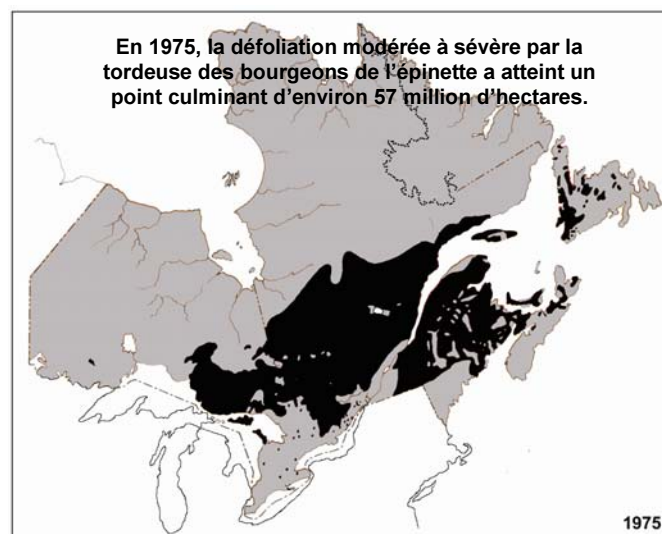
Les éléments d'un programme de LI sont :

- (a) la planification et la gestion de systèmes de production de manière à empêcher les organismes de devenir nuisibles;
- (b) l'identification des organismes potentiellement nuisibles;

¹ Anonyme. 1995. The quest to define IPM is complete. Agriculture et Agroalimentaire Canada. Bureau des nouvelles méthodes de lutte antiparasitaire. *Ecopest*. 2 (1):1. ISSN 1198-1512.

- (c) la surveillance des populations d'organismes nuisibles et bénéfiques ainsi que de tout autre facteur environnemental pertinent;
- (d) l'établissement de seuils de nuisibilité économique, de dommages et de déclenchement de mesures;
- (e) la mise en œuvre de mesures de lutte culturales, physiques, biologiques, comportementales et chimiques afin de maintenir les populations d'organismes nuisibles sous un seuil minimal;
- (f) l'évaluation des effets et de l'efficacité des mesures de lutte utilisées. »
[traduction]

La recherche et le développement (R et D) sont des éléments cruciaux de la LI qui ne sont pas explicités dans cette liste, mais qui ne doivent pas être oubliés. Il y aura toujours place à l'amélioration des connaissances sur la dynamique des populations d'insectes ainsi que de leurs interrelations d'ordre écologique avec les écosystèmes forestiers. Des résultats de la R et D et une expérience opérationnelle font en sorte que la LI est un processus adaptatif. Entre-temps, nous devons appliquer les connaissances que nous possédons déjà. En outre, il existe des préoccupations relatives à la participation du public au processus décisionnel et aux réponses subséquentes aux questions posées après que les décisions soient rendues. Ce sont des éléments à élaborer par l'agence responsable de la mise en œuvre des diverses décisions.



Kettela, EG. 1983. Historique en cartes de la défoliation causée par la tordeuse des bourgeons de l'épinette dans l'est de l'Amérique du Nord de 1967 à 1981. Rapport d'information. DPC-X-14. Service Canadien des forêts. Environnement Canada.

But

Ce document expose, en termes généraux, les principes qui forment le fondement de la LI contre la tordeuse des bourgeons de l'épinette au Canada de même que des renseignements sur les méthodes disponibles, les limites et les besoins futurs. Il est organisé de manière à suivre les principaux éléments énoncés précédemment. De façon ultime, l'utilisation des techniques de LI dans la gestion de la tordeuse des bourgeons de l'épinette nécessite une compréhension de l'insecte et des essences forestières qu'il consomme. En reconnaissant le besoin de lutter contre la tordeuse des bourgeons de l'épinette pour préserver la santé des arbres, la prise de décisions controversées concernant l'utilisation d'insecticides peut s'avérer nécessaire. Dans le cadre d'un programme de LI, ces décisions sont prises en tenant compte d'un contexte de lutte antiparasitaire élargi, de l'intégration de ressources forestières non ligneuses et de la production forestière durable. Une approche de LI garantit que l'utilisation d'insecticides au besoin ne constitue pas le fondement de la lutte antiparasitaire mais bien seulement un seul outil parmi d'autres.

Notions élémentaires sur la tordeuse des bourgeons de l'épinette

Généralités

La tordeuse des bourgeons de l'épinette est une espèce indigène en Amérique du Nord répartie dans la partie septentrionale du continent, qui abrite des forêts d'épinettes et de sapins, ses hôtes. Des recherches ont mis au jour des poussées épidémiques périodiques à grande échelle remontant aux années 1700. Sans aucun doute, la tordeuse des bourgeons de l'épinette fait partie du cycle évolutif des forêts nord-américaines. Par conséquent, des poussées épidémiques historiques ont fait partie des processus agissant sur l'écosystème naturel et n'ont pas été influencées par l'exploitation forestière. De la même façon, les poussées épidémiques récentes étaient également d'origine naturelle. Les pratiques en matière d'aménagement forestier n'étaient pas les causes des poussées épidémiques. Toutefois, la gravité des poussées épidémiques dans certaines régions a pu être influencée par les pratiques d'aménagement forestier contemporaines, notamment les effets combinés de l'exploitation forestière, du reboisement ainsi que de la lutte contre les incendies et les insectes.

Hôtes

La larve de la tordeuse des bourgeons de l'épinette se nourrit principalement de sapin baumier, de sapin subalpin, d'épinette blanche, d'épinette rouge, d'épinette noire (y compris les hybrides entre l'épinette noire et l'épinette rouge) et d'épinette d'Engelmann. Elle peut également s'attaquer à la pruche du Canada, au mélèze et au pin blanc, mais ceux-ci sont considérés comme des hôtes occasionnels.

Sensibilité

La sensibilité est définie comme la probabilité qu'un peuplement forestier soit attaqué et si la larve de la tordeuse des bourgeons de l'épinette se développera. C'est ce qui arrive avec les conifères cités précédemment, qui sont donc des hôtes sensibles. La larve est parfois observée sur des feuillus, mais ceux-ci ne lui offrent pas la nourriture appropriée pour sa survie; c'est pourquoi les feuillus ne sont pas considérés comme des hôtes sensibles.

Vulnérabilité

La vulnérabilité est définie comme la probabilité qu'un peuplement forestier souffre de mortalité si une poussée épidémique survient. Elle est influencée par l'âge du peuplement, sa composition et les conditions du site de même que par la gravité de la poussée épidémique (c.-à-d. la densité de la population et la durée). Les jeunes peuplements établis sur des terres fertiles sont moins vulnérables que les vieux peuplements installés sur des terres moins fertiles, de qualité moindre. Le sapin baumier est l'arbre qui présente le plus haut taux de mortalité et est également le plus vulnérable. L'épinette blanche et l'épinette rouge le sont un peu moins et l'épinette noire est la moins vulnérable. Toutefois, l'épinette noire peut être prédisposée aux attaques d'autres organismes nuisibles après une poussée épidémique de tordeuse des bourgeons de l'épinette. Par exemple, une grave poussée épidémique du polygraphe de l'épinette a eu lieu sur des populations d'épinettes noires de Terre-Neuve après qu'elles aient subi une défoliation importante par la

tordeuse des bourgeons de l'épinette, ce qui a engendré des pertes combinées de millions de mètres cubes de bois au cours des années 1970 et 1980.

Des poussées épidémiques de moins grande importance et de courte durée peuvent causer une défoliation légère, modérée ou grave dans des régions relativement petites ou encore ralentir la croissance de façon importante ou augmenter le taux de mortalité (voir la section Établissement de seuils : seuils de dommages). Réciproquement, des poussées épidémiques plus importantes peuvent considérablement ralentir la croissance (particulièrement celle du sapin baumier) au cours de l'année de l'agression et entraîner une mortalité des arbres trois à sept ans plus tard, selon l'essence forestière, l'âge, le site et d'autres facteurs connexes. La mortalité, particulièrement celle des arbres plus âgés, peut se poursuivre sur plusieurs années après la venue d'une poussée épidémique, en raison du dépérissement terminal des racines et de la réduction de la vigueur de l'arbre. Bien que des enquêtes peuvent fournir des prévisions démographiques pour l'année suivante, la durée et la gravité de la poussée épidémique ne peuvent être prédites. Toutefois, des modèles fondés sur les poussées épidémiques passées indiquent que des attaques surviendront à des intervalles irréguliers et seront d'une durée et d'une gravité variables. Cela présente tout un défi en matière d'aménagement forestier durable à long terme.

Biologie

La connaissance de la biologie de l'insecte et des dommages qu'il cause constitue la clé de la surveillance et de l'établissement de prévisions ainsi que de la planification et de la mise en place de diverses mesures de lutte. Le cycle de vie de la tordeuse des bourgeons de l'épinette consiste aux stades de développement suivants : œuf, larve, puppe et adulte. La ponte des œufs se fait en juillet et en août et l'éclosion a lieu environ deux semaines plus tard. Après l'éclosion, la larve croît par mues successives (stades larvaires) et devient progressivement plus grosse. Il existe six stades larvaires avant le stade de la puppe, lors duquel la transformation en lépidoptère a lieu. La larve au premier stade larvaire émerge et se disperse sur des fils de soie après l'éclosion des œufs à la fin de l'été (de manière semblable à l'araignée, qui se disperse en s'accrochant à des fils de soie pris dans les courants d'air). Le premier stade larvaire (durant lequel des habitudes de broutage ont été démontrées récemment) constitue le moment de l'émergence et de la dispersion vers des endroits cachés pour la mue au deuxième stade larvaire. La larve passe l'hiver dans un abri protégé comme des fleurs fanées, des branches, des crevasses dans l'écorce ou tout autre site approprié sur un hôte.

En avril et en mai, la larve au deuxième stade larvaire (qui peut elle aussi être transportée sur des fils de soie par les courants d'air) émerge et creuse les vieilles aiguilles avant de se déplacer sur les branches pendant un brève période. Elle tisse ensuite une toile en soie à la base des bourgeons terminaux en développement et y creuse des galeries. Elle peut également creuser dans les fleurs staminées lorsqu'elles sont présentes. L'alimentation continue lorsque les fleurs et les bourgeons s'ouvrent, les pousses de l'année sortent et les aiguilles croissent. Ces aiguilles fabriquent une bonne part de l'énergie nécessaire à la croissance d'un arbre. Lorsque toutes les pousses de l'année sont dévorées, la larve peut continuer de se nourrir en mangeant les aiguilles des années antérieures. La larve au sixième stade dévore environ 90 % de la quantité totale de feuillage qu'elle consommera avant de devenir une puppe vers la mi-juin ou la fin juin.



Les images proviennent du Service canadien des forêts, Ressources naturelles Canada

Cycle de vie de la tordeuse des bourgeons de l'épinette

En juillet et en août, le lépidoptère émerge, s'accouple et se disperse par vols passifs et actifs, ce qui crée une migration sur des courtes et longues distances (jusqu'à quelques centaines de kilomètres lors de certaines conditions météorologiques). Ces mécanismes de dispersion ont des conséquences importantes sur l'épidémiologie et la lutte. Chaque femelle s'étant accouplée peut pondre jusqu'à 200 œufs dont le rapport mâles/femelles est d'environ 1:1. Par conséquent, les populations peuvent demeurer relativement stables même si 99 % des larves ne survivent pas jusqu'au stade adulte — un fait dont on doit tenir compte dans l'application de toute stratégie de lutte contre une population.

Les populations de tordeuses des bourgeons de l'épinette fluctuent dans le temps et sont régulées par des interactions complexes impliquant des prédateurs, des parasitoïdes, des maladies, les conditions météorologiques et les essences forestières hôtes. Malgré la croyance populaire, les oiseaux ne constituent pas des régulateurs efficaces des populations de tordeuses des bourgeons de l'épinette lors de poussées épidémiques, bien qu'ils peuvent jouer un rôle important en période de faible densité de population. De la même manière, les araignées ne sont des régulateurs importants que lorsque les populations de tordeuses des bourgeons de l'épinette sont très élevées. Il existe environ 90 espèces de parasitoïdes qui s'attaquent à la tordeuse des bourgeons de l'épinette, mais seules 15 espèces sont courantes. Ces parasitoïdes sont en plus grand nombre à la fin des poussées épidémiques et contribuent à leur effondrement.

En outre, diverses maladies affectent la tordeuse des bourgeons de l'épinette, causées notamment par des champignons, des bactéries, des protozoaires (microsporidies) et des virus. Encore une fois, elles causent parfois des taux élevés de mortalité, mais elles engendrent souvent des infections non mortelles, une diminution de la vigueur et possiblement une diminution du succès de reproduction. Les réductions de population causées par les mauvaises conditions

météorologiques ne sont pas importantes, sauf dans le cas de situations extrêmes généralement localisées (p. ex., gelées de printemps tardives). Une lutte naturelle par de mauvaises conditions météorologiques ne peut être prévue et ne peut se substituer à une stratégie de protection.

Les cycles de population sont le résultat d'interactions complexes entre la tordeuse des bourgeons de l'épinette, les agents naturels de lutte biologique, les conditions météorologiques et les essences forestières hôtes. Les mécanismes de fonctionnement ont fait l'objet de débats dans les milieux scientifiques. Malgré des variations de la densité durant un cycle de poussée épidémique, aucun facteur pris isolément ne peut être responsable de la régulation des populations.

Conséquences

Conséquences globales

L'effet des poussées épidémiques de tordeuses des bourgeons de l'épinette sur le volume des arbres et leur mortalité a été étudiée de manière approfondie. La dernière poussée a eu un effet significatif sur les forêts de plusieurs dizaines de millions d'hectares de l'Est du Canada durant les années 1970 et 1980 et s'est poursuivie dans l'Ouest canadien au cours des années 1990. Des centaines de millions de mètres cubes de bois ont été perdus à cause de la mortalité des arbres, de la réduction de l'augmentation de leur volume et du dépérissement de leur cime. Afin d'utiliser une partie de ce bois avant que la décomposition ne commence, la construction de routes forestières s'est accélérée et beaucoup de coupes à blanc de récupération ont été faites là où des coupes réglementées de moins grande envergure auraient été normalement exécutées. Les vastes zones contenant des forêts mortes et les coupes de récupération ont causé une modification du paysage et une détérioration des habitats pour beaucoup de plantes et d'animaux; en outre, les forêts mortes ont présenté un risque grandissant de feux de forêts jusqu'à plusieurs années après la mort des arbres.

Conséquences sur la production de bois

Des données récoltées sur des décennies ont prouvé que les poussées épidémiques incontrôlées de tordeuses des bourgeons de l'épinette peuvent réduire de façon importante l'approvisionnement en bois d'épinette et de sapin. La protection est par conséquent essentielle à l'investissement économique. Des analyses sur l'approvisionnement en bois sont nécessaires pour déterminer le rendement durable à long terme, qui constitue la pierre angulaire des investissements majeurs dans les industries forestières. Afin d'être concurrentielles et viables économiquement, ces industries doivent avoir l'assurance d'un approvisionnement durable et tout facteur menaçant cet approvisionnement doit être évalué. Des modèles informatiques ont été élaborés à partir de données empiriques afin d'examiner les approvisionnements en bois avec et sans protection durant une poussée épidémique.

Conséquences non reliées à la production de bois

Au cours des dernières années, il y a une augmentation du désir d'identifier plus activement et de gérer les valeurs non reliées à la production de bois dans les plans d'aménagement forestier. On peut compter comme exemple l'établissement de zones de « réserve » (là où pas ou peu d'interventions humaines sont autorisées), de zones sensibles écologiquement (p. ex., espèces rares, belvédères naturels) et les habitats fauniques (p. ex., forêt de conifères matures, aires

d'hivernage des chevreuils). Ces objectifs d'aménagement particuliers posent un autre dilemme (c.-à-d. s'il faut protéger ou non) lorsque les zones choisies contiennent des épinettes ou des sapins menacés par la tordeuse des bourgeons de l'épinette. D'autres valeurs, moins souvent identifiées pour leur effet ou leur protection, peuvent être la hausse du risque de feu de forêt, la quantité et la qualité de l'eau, l'érosion du sol (dans les pentes abruptes), l'esthétique ainsi que les valeurs récréationnelles et matérielles.

Conséquences économiques

Pour les propriétaires de terres à bois, la gravité de la perte économique est reliée à la taille de leur propriété, à la quantité d'essences forestières hôtes présentes et à l'intensité avec laquelle la propriété est aménagée. Même un propriétaire foncier qui possède des arbres ornementaux a des valeurs exposées aux risques.

Les valeurs économiques exposées aux risques peuvent être dominées par des pertes potentielles pour l'industrie forestière, laquelle peut constituer une partie importante du secteur primaire d'une province ou d'une région. La menace représentée par une poussée épidémique de tordeuses des bourgeons de l'épinette est généralement comprise dans les analyses coût-avantage qui reflètent les ressources et les valeurs locales. Des circonstances individuelles peuvent déterminer l'importance économique relative, qui pourrait être résumée en utilisant des indicateurs comme :

- ▶ le nombre d'emplois directs et indirects pouvant être affectés;
- ▶ la valeur de la masse salariale;
- ▶ les investissements en sylviculture à risque;
- ▶ l'importance régionale ou locale (p. ex., le nombre de communautés qui dépendent de l'industrie forestière);
- ▶ la proportion de biens produits par la province;
- ▶ la proportion des exportations;
- ▶ la valeur brute de la production;
- ▶ la proportion du produit intérieur brut.

Planification et gestion de systèmes de production afin d'empêcher les organismes de devenir nuisibles

Généralités

La planification et l'aménagement sont essentiels à une bonne gestion forestière. Cependant, la production d'une culture dans laquelle aucun organisme ne deviendra un problème ou n'atteindra pas le statut d'organisme nuisible est rarement effectuée au moyen d'une gestion adéquate seulement, sauf peut-être sur une petite échelle. Contrairement aux fermes où des modifications importantes peuvent être effectuées chaque année, les forêts offrent des conditions très diversifiées. Elles sont composées de systèmes de production dans des écosystèmes formés de forêts de conifères et de forêts mixtes longévives, où la tordeuse des bourgeons de l'épinette n'est qu'un organisme nuisible parmi d'autres. Les principaux hôtes de la tordeuse des bourgeons de l'épinette représentent des parties étendues du paysage forestier canadien; par conséquent, ils font partie de l'« équation généralisée de la tordeuse des bourgeons de l'épinette » qui est :

Potentiel de poussée épidémique = tordeuse des bourgeons de l'épinette ± hôtes ± agents naturels de lutte biologique ± conditions météorologiques favorables

Les moyens de modifier les agents naturels de lutte biologique sont limités et il n'existe aucune manière de contrôler les conditions météorologiques. Par conséquent, atténuer l'effet d'une poussée épidémique de tordeuses des bourgeons de l'épinette signifie prendre des mesures contre l'insecte lui-même, ses hôtes ou les deux.

En réalité, les facteurs hors du contrôle d'une province ou d'une agence limitent le degré d'efficacité de la planification et de l'aménagement pour empêcher que la tordeuse des bourgeons de l'épinette devienne un insecte nuisible. Cela est renforcé par la description de la distribution de la tordeuse des bourgeons de l'épinette et de ses hôtes :

« La tordeuse des bourgeons de l'épinette est le seul représentant de son espèce, qui se nourrit de la sous-famille des sapins, dans l'Est. Elle est généralement associée à la forêt boréale, mais aussi à la forêt des Grands-Lacs et du Saint-Laurent ainsi qu'à la forêt acadienne (...) là où on trouve le sapin baumier et l'épinette blanche (...). C'est l'insecte de son groupe qui est le plus répandu, réparti des côtes des provinces de l'Atlantique jusqu'aux États à l'ouest des contreforts des Rocheuses en Alberta et, au nord, jusqu'au cercle arctique, dans la vallée du Mackenzie et au Yukon. C'est probablement l'insecte qui a la plus grande importance économique, du fait qu'il y a des poussées épidémiques périodiques causant une quantité considérable de mortalité de ses deux principaux hôtes, le sapin baumier et l'épinette blanche (...). La tordeuse des bourgeons de l'épinette cause également des dommages importants à l'épinette noire, à l'épinette rouge et au sapin subalpin. »² [traduction]

² Harvey, G.T. 1984. The taxonomy of the coniferophagous *Choristoneura* (Lepidoptera: Tortricidae): A review. p. 21 dans Sanders, C.J., R.W. Stark, E.J. Mullins and J. Murphy. Eds. Recent advances in spruce budworms research. Proceedings of the CANUSA spruce budworms research symposium. Service canadien des forêts, Ottawa, Ont. ISBN 0-662-14202-0.

Aménagement forestier

L'aménagement forestier comporte des pratiques à court et à long terme qui modifient les conditions forestières. Des conditions modifiées peuvent être plus ou moins favorables à la prolifération d'un organisme nuisible. Pour une protection contre les organismes nuisibles, on favorise des mesures pour rendre les conditions moins favorables à une poussée épidémique ou pour réduire les pertes potentielles. De manière générale, les pratiques en matière d'exploitation forestière, la sylviculture et la protection permettent d'atteindre cet objectif (voir également la section Mise en œuvre de mesures de lutte permettant de maintenir les populations d'organismes nuisibles sous un seuil minimal).

Pratiques en matière d'exploitation forestière

Les pratiques en matière d'exploitation forestière peuvent réduire la vulnérabilité d'une forêt. Une méthode consiste à retirer les hôtes les plus âgés, qui ont atteint leur taille maximale ou l'objectif désiré. Si l'on procède à une coupe à blanc et qu'on laisse le site se développer naturellement, ces zones se régénèrent souvent en forêts équiennes semblables qui finissent par être vulnérables à la tordeuse des bourgeons de l'épinette. L'aire de coupe peut également être reboisée ce qui, par conséquent, entraîne une modification du mélange des essences forestières ou la conversion en d'autres espèces (ce qui soulève la question du choix de l'espèce) (voir la section suivante sur la sylviculture).

La coupe sélective est une autre méthode d'exploitation forestière. Dans un peuplement composé d'épinettes et de sapins de divers âges, la coupe sélective des arbres les plus âgés réduira l'âge moyen du peuplement et, par conséquent, sa vulnérabilité, mais elle n'empêchera pas nécessairement le peuplement d'être menacé d'une poussée épidémique et donc, de dommages. Dans un peuplement mixte, la coupe des épinettes et des sapins peut convertir le reste du peuplement en peuplement de feuillus et ainsi le rendre insensible. Cela peut également augmenter la lutte naturelle de la tordeuse des bourgeons de l'épinette par les parasitoïdes affectant d'autres insectes hôtes, bien que les interrelations ne soient pas bien connues et que les conditions restent indéfinies. Ces deux méthodes d'exploitation forestière sélective peuvent être intégrées aux opérations selon les circonstances et les priorités en matière d'aménagement.

Les pratiques en matière d'exploitation forestière modifient également la forêt sur le plan spatial, au niveau du paysage, par l'intermédiaire des limites dans la taille des zones de coupe et de leur distribution. Bien que rompre la continuité des forêts équiennes aide à réduire leur vulnérabilité et à augmenter les pertes de larves au premier stade dues à la dispersion, les lépidoptères femelles peuvent voler et attaquer de nouveau les peuplements l'année suivante. La modification de la répartition des classes d'âge sur de grandes étendues constitue un travail de longue haleine.

Sylviculture

Les pratiques sylvicoles peuvent inclure : (1) la plantation d'espèces insensibles ou moins vulnérables (voir la section Mise en œuvre de mesures de lutte permettant de maintenir les populations d'organismes nuisibles sous un seuil minimal : mesures culturales), (2) l'éclaircissage des peuplements afin d'améliorer la vigueur des arbres et (3) l'éclaircissage des peuplements en réduisant le nombre d'hôtes pour favoriser les espèces insensibles ou moins vulnérables. Le choix des espèces à planter est généralement fait en faveur de celles qui sont

étroitement associées aux forêts-climax qui dominent naturellement nos paysages. Planter des espèces introduites ou changer la composition des peuplements afin de réduire la vulnérabilité revient à modifier la biodiversité naturelle. Les plantations et les peuplements éclaircis créent des conditions propices à un ensemble particulier de problèmes causés par des organismes nuisibles. Par conséquent, le mérite d'essayer de résoudre le problème posé par la tordeuse des bourgeons de l'épinette seulement par la sylviculture entraîne d'autres conséquences. Tout comme les autres méthodes d'aménagement, la sylviculture n'est qu'un élément d'un programme de LI qui garde en tête un objectif à grande échelle et à long terme. Il est nécessaire de planifier les programmes de reboisement en utilisant des renseignements écologiques spécifiques au site et à la plante, mais il ne faut pas oublier la possibilité de futurs besoins de protection (voir également la section Mise en œuvre de mesures de lutte permettant de maintenir les populations d'organismes nuisibles sous un seuil minimal : mesures culturales).

Identification des organismes potentiellement nuisibles

La tordeuse des bourgeons de l'épinette n'est pas le seul organisme nuisible dans la forêt qui pose problème (p. ex., il y a aussi l'arpenreuse de la pruche, le lymantridé, la livrée, la tenthrède et le scolyte de même que diverses maladies du feuillage, des racines et des tiges). Chaque organisme nuisible a son propre ensemble de conditions dictant la façon dont il doit être géré. Des efforts de modification des conditions forestières au détriment de la tordeuse des bourgeons de l'épinette peuvent créer des conditions favorisant la prolifération d'autres organismes nuisibles. La biologie et les problèmes d'aménagement associés à ceux-ci sont souvent encore moins connus que ceux de la tordeuse des bourgeons de l'épinette.

De plus, il existe des menaces associées à l'introduction accidentelle d'organismes nuisibles étrangers qui peuvent avoir un effet très important (p. ex., la mortalité des arbres, la modification de la biodiversité naturelle) en conditions favorables, particulièrement lorsqu'une lutte n'est pas déclenchée ou possible. Le passé nous en a fourni quelques exemples : le puceron lanigère du sapin, la spongieuse, la maladie hollandaise de l'orme, la rouille vésiculeuse du pin blanc et la maladie corticale du hêtre. Au cours des dernières années, des préoccupations ont surgi concernant l'introduction de la spongieuse asiatique, du longicorne asiatique, du longicorne brun de l'épinette³, de l'agrile du frêne, du grand hylésine du pin, de divers autres scolytes et du chancre du noyer cendré. Ces menaces et bien d'autres sont possiblement transportées par bateau autour du globe comme voyageurs clandestins dans ou autour du matériel d'emballage et du bois de fardage et par divers autres moyens de transport et de commerce.

Des organismes nuisibles moins importants peuvent à l'occasion générer une attention accrue lorsqu'ils s'attaquent à des plantations d'une grande valeur économique, des peuplements éclaircis pour contrer des ruptures de stock de bois ou des peuplements naturels aménagés à des fins non reliées à la production de bois comme les parcs et les habitats fauniques. Dans ces cas, des mesures de lutte peuvent être entreprises. Parfois, les techniques manuelles et la destruction de l'habitat sur une petite échelle (notamment par brûlage) peuvent être efficaces et suffisantes sans recourir aux insecticides. Dans certains cas, l'application au sol d'un insecticide est commode et même des épandages aériens sur de petites surfaces peuvent être efficaces.

La disponibilité d'un seul insecticide approprié est l'une des complications liées à une poussée épidémique par un organisme nuisible de moindre importance. Souvent, le seul insecticide homologué est un produit chimique puisque des solutions de remplacement biologiques n'ont pas été développées. Le manque de solutions de remplacement homologuées et efficaces est également une préoccupation pour les aménagistes forestiers et les personnes devant gérer des poussées épidémiques par des organismes nuisibles de grande importance.

³ La confirmation de la présence du longicorne brun de l'épinette en Nouvelle-Écosse en 2000 pourrait avoir de graves conséquences à long terme (c.-à-d. un effet sur les épinettes déjà affaiblies) à la suite d'une autre poussée épidémique de tordeuse des bourgeons de l'épinette si les efforts pour éradiquer l'insecte ne portent pas fruit.

Surveillance des populations d'organismes nuisibles et bénéfiques ainsi que de tout facteur environnemental pertinent

Enquêtes phytosanitaires

Surveillance

Les enquêtes sont utilisées pour évaluer et surveiller les niveaux de population de tordeuse des bourgeons de l'épinette (voir la section suivante sur l'établissement de prévisions) et les conditions forestières annuelles ainsi que pour effectuer un suivi des tendances à long terme (p. ex., dénombrement des œufs ou des larves, relevés aériens de la défoliation). Les relevés aériens et au sol fournissent des moyens d'identifier les zones de peuplements morts ou mourants. Les relevés aériens de la défoliation sont de meilleure qualité lorsqu'ils sont effectués sur une brève période, possiblement sur deux semaines, après la période d'alimentation des larves, car les dommages y sont évidents, les arbres affectés arborant une couleur brun rougeâtre. Afin d'obtenir une meilleure visibilité, les observateurs formés effectuent des vols cartographiques avec des avions à voilure haute ou des hélicoptères. Lorsque possible, la défoliation est généralement classée légère ($\leq 30\%$), modérée ($31 - 70\%$) ou grave ($> 70\%$) et les limites des zones affectées sont tracées sur des cartes à une échelle appropriée pour les aéronefs. Ces zones sont transférées ultérieurement sur les autres cartes de base et la taille de la poussée épidémique est calculée. Ces cartes sont utilisées pour déterminer les zones à protéger. Des enquêtes sur le taux de mortalité des arbres peuvent être menées au cours de l'enquête sur la défoliation ou à tout autre moment opportun. Certains territoires ont récemment commencé à utiliser des ordinateurs portables et un logiciel spécial qui permet à l'observateur à bord d'un aéronef d'entrer directement les données dans un système d'information géographique (SIG).

La navigation d'un aéronef était auparavant faite à l'aide de l'utilisation de cartes, de l'observation attentive et de la communication entre l'observateur et le pilote. Au cours des années 1980, ce système a été amélioré par le recours à l'équipement de radionavigation à longue distance (Loran-C) pour augmenter la lecture de la carte. Une plus grande précision est atteinte maintenant grâce au système mondial de localisation (GPS).

Des recherches ont été effectuées en utilisant l'imagerie par satellite et la photographie aérienne de haute définition pour calculer et cartographier la défoliation. Mais jusqu'à présent, aucun système judicieusement approprié, opportun et abordable n'a été élaboré. Théoriquement, cela serait lié aux SIG et utilisés pour des modèles de croissance et de rendement spécifiques à un peuplement afin d'améliorer les analyses d'approvisionnement en bois, les plans d'exploitation et la planification de la protection.

Établissement de prévisions

Les enquêtes sont bien élaborées pour prévoir l'étendue et la gravité des poussées épidémiques au cours de l'année qui suit une épidémie (voir également la section Établissement de seuils : seuils de dommages). La méthode classique consiste à mesurer les masses d'œufs à la fin de l'été, après les vols des lépidoptères et la ponte des œufs par les femelles qui se sont accouplées. Au début des années 1980, certains États et provinces (p. ex. Maine) l'ont remplacé par le compte des larves au deuxième stade (L2) hivernantes. Des catégories de population reliant les

masses d'œufs ou le nombre de L2 aux prévisions en matière de défoliation ont été élaborées. L'enquête sur les L2 nécessite un laboratoire spécialisé et l'utilisation d'hydroxyde de sodium pour extraire les larves des branches. Une technique prenant plus de temps peut être utilisée au printemps : elle consiste à récolter des branches et à forcer les larves à émerger en conditions de laboratoire. Cela peut fournir des renseignements sur le nombre de larves, la survie durant l'hiver et le parasitisme, mais ces deux derniers facteurs influencent rarement les populations de façon importante. De surcroît, l'utilisation de cette technique n'est pas pratique dans le cas de programmes de lutte à grande échelle, car au printemps, il est rendu trop tard pour établir des prévisions et planifier des opérations.

Lorsque les populations sont très peu élevées ou à des niveaux endémiques, il est moins pratique de surveiller la densité en utilisant les masses d'œufs ou les L2 sans augmenter de manière importante le nombre d'arbres échantillonnés par site. Au cours des dernières années, certains territoires ont adopté l'utilisation de pièges à insectes spéciaux appâtés avec des phéromones sexuelles femelles synthétiques pour capturer les lépidoptères mâles dans le but de détecter les fluctuations de population et d'établir des prévisions. Bien que des avancées aient été faites dans certains territoires, des relations entre les prises par les pièges, les fluctuations de population et la défoliation sont encore en élaboration. Cependant, les tendances révélées par une augmentation des prises peuvent signaler une hausse des populations et mener à des mesures des masses d'œufs et des L2 qui possèdent des niveaux de dommages prédictifs associés. L'utilisation des résultats d'enquêtes sur les pièges appâtés avec des phéromones afin de définir des zones pour une stratégie d'intervention précoce reste à évaluer.

Un développement assez récent concernant les enquêtes sur les pièges appâtés avec des phéromones consiste en l'utilisation d'une méthode d'analyse connue sous le nom de « kriegeage ». C'est une procédure géostatistique appliquée à des courbes de données reliées (p. ex., nombre de lépidoptères par piège) pour interpoler ou estimer des valeurs entre des points échantillons sur diverses distances entre elles (assez semblable à l'élaboration d'une carte météorologique des températures à partir de lectures prises à divers endroits). Des limites de classes peuvent également être fixées et les données peuvent être affichées sous forme de plan de terrain montrant les zones de populations spécifiques, ce qui enlève le caractère subjectif de l'établissement de cartes dont le contour est tracé à la main à partir de données de points échantillons. Les fluctuations de la densité de population au fil des ans peuvent également être calculées et représentées graphiquement.

Surveillance des organismes bénéfiques

Des années de surveillance des organismes bénéfiques (c.-à-d. les parasitoïdes, les prédateurs et les maladies) lors d'enquêtes opérationnelles et de recherches ont amené une prise de conscience, à savoir qu'il existe un bénéfice opérationnel limité. La raison en est que les interactions entre ces organismes sont si complexes dans la dynamique des populations qu'elles sont difficiles à étudier. Mais, encore plus important, il n'y a aucun facteur pris isolément qui régule les poussées épidémiques de tordeuses des bourgeons de l'épinette (voir également les sections Notions élémentaires sur la tordeuse des bourgeons de l'épinette : biologie et Surveillance des populations d'organismes nuisibles : enquêtes phytosanitaires).

Surveillance des facteurs environnementaux

Les facteurs environnementaux peuvent être d'ordre physique (p. ex. arbres hôtes), biologique (p. ex., agents de lutte biologique), chimique (p. ex., nutrition) ou météorologique. Des études ont révélé beaucoup sur la façon complexe dont ces facteurs interagissent pour avoir un effet sur le cycle de vie de la tordeuse des bourgeons de l'épinette et sur les dommages qu'elle cause. Ces études ont également mis au jour les conséquences concomitantes et les limites opérationnelles de la surveillance des interrelations au niveau local (particulièrement la météo) appliquée à de vastes étendues géographiques. Par conséquent, le mesurage substitutif des facteurs environnementaux constitue la modification annuelle de la densité de population et de la gravité des dommages, au lieu des mesures individuelles. Les facteurs mesurés, cependant, sont indiqués dans ce rapport. En ce moment, les conséquences à long terme des changements climatiques généraux ne sont que spéculatives. Au cours des programmes de lutte utilisant des insecticides, la surveillance des conditions météorologiques est essentielle pour optimiser les traitements (p. ex., utilisation d'aéronefs et intervalle de traitement biologique) (voir aussi la section Établissement de seuils : seuils de déclenchement de mesures).

Établissement de seuils

Seuils de nuisibilité économique

Il n'existe pas de seuil de nuisibilité économique normalisé, car chaque situation possède des circonstances uniques que l'aménagiste forestier doit évaluer selon ses objectifs à court et à long terme. Attendu que les principes peuvent être communs, l'importance de l'échelle varie grandement entre le propriétaire d'une petite terre à bois et une grande industrie forestière ou le gouvernement (voir également la section Notions élémentaires sur la tordeuse des bourgeons de l'épinette : conséquences).

Coût de la protection

Les programmes de protection au moyen d'insecticides entraînent divers coûts qui reflètent leur taille et leur complexité (p. ex., le nombre et le type d'aéronefs, le nombre de sites de chargement et de pistes d'atterrissage) de même que le coût et le type de produit. Le principe de l'économie d'échelle s'applique et la gestion des ressources est responsable sur le plan financier de l'optimisation des coûts, ce qui peut avoir un effet sur d'autres programmes socio-économiques.

Lorsque les programmes de protection sont de petite envergure, certaines différences de coût par hectare peuvent sembler négligeables ou sont du moins considérées acceptables. La différence de coût pour un programme de grande envergure est exagérée. Par exemple, la différence de coût pour un programme sur 100 000 ha à 20 \$/ha comparativement à 30 \$/ha, soit 2 millions de dollars contre 3 millions de dollars, respectivement, peut être acceptable. D'un autre côté, un programme sur un million d'hectares avec une différence de coût de 10 millions de dollars sera probablement étudiée de plus près, particulièrement si le financement provient des coffres des provinces (là où le financement public est nécessaire aux soins de santé, à l'éducation, aux programmes sociaux, etc.). Dans un cas comme dans l'autre, l'objectif principal est d'obtenir un niveau désiré de protection d'une manière responsable et rentable, en termes d'options disponibles. Toutefois, la sélection des produits probablement les plus efficaces est une considération majeure. Il est, par conséquent, très préférable qu'un éventail d'options soit disponible dans une stratégie de LI. Bien que des programmes de lutte par épandage aérien d'insecticides pouvaient être menés pour moins de 20 \$/ha dans les années 1980, les coûts d'aujourd'hui varient de 30 \$ à plus de 50 \$/ha, selon le produit, les doses d'application, le nombre d'applications, l'aéronef et la logistique. La nécessité de recourir dans le futur à des programmes de grande envergure impliquera des conséquences importantes.

Seuils de dommages

D'après le nombre de tordeuses des bourgeons de l'épinette mesurées lors de l'enquête servant à établir des prévisions, des seuils sont utilisés pour établir et délimiter des zones de densité de population sur des cartes : faible, moyenne, élevée et très élevée. Ces catégories réfèrent à des niveaux de défoliation des aiguilles de l'année en cours par les larves, prévue pour l'été suivant. Généralement, la défoliation courante est classée comme suit : légère = $\leq 30\%$, modérée = 31 – 70 %, grave = $> 70\%$ et très grave = perte complète des aiguilles de l'année courante plus une certaine partie du feuillage de l'année précédente. Des défoliations répétées modérées et graves

mènent à une perte de volume et à la mort des arbres (voir aussi la section Notions élémentaires sur la tordeuse des bourgeons de l'épinette : conséquences).

Une légère défoliation causée par de faibles populations, même sur plusieurs années, ne risque pas de causer la mort des arbres et n'entraîne généralement pas de réduction importante du volume annuel. Par conséquent, lors de la conception de programmes de lutte axés sur la protection du feuillage, les zones candidates seraient choisies parmi les zones de population modérées ou plus élevées. Si l'objectif est de réduire la population ou de protéger la croissance au maximum, les populations plus faibles pourraient faire partie des zones candidates pour ces programmes de lutte (si ces zones sont déjà prédisposées à une défoliation grave). Des estimations de la perte de volume et de la mort des arbres fondées sur des données empiriques ont été intégrées aux modèles informatiques d'aide à la décision afin de projeter les pertes potentielles selon des paramètres d'entrée spécifiques (p. ex., gravité de la poussée épidémique, type de forêt, défoliation annuelle et prévisions démographiques).

Seuils de déclenchement de mesures

Planification

Au cours d'une poussée épidémique, il est rarement possible de considérer l'application d'un insecticide sur toute la surface d'une zone infestée, principalement en raison des coûts prohibitifs (p. ex., section Établissement de seuils : seuils de nuisibilité économique). Des méthodes ont été conçues pour établir quelles sont les zones prioritaires.

Dans l'Est du Canada, l'une des méthodes les plus anciennes était un indice de risque composé qui intégrait des données spécifiques à une courbe sur la défoliation courante, les dommages précédents (ou perte des aiguilles plus anciennes), la vigueur de l'arbre et la densité des masses d'œufs de tordeuse des bourgeons de l'épinette (c.-à-d. prévisions démographiques pour l'année suivante). Au début des années 1980, ce système a été remplacé dans certains territoires par un autre qui utilise des renseignements provenant de relevés aériens de la défoliation et d'enquêtes démographiques sur les L2 à l'automne. Les zones à risque étaient considérées être des peuplements sensibles ayant subi une défoliation modérée ou grave lors d'une ou des deux années précédentes *et* on y prévoyait des densités de population moyennes à très élevées pour l'année suivante. Les seuils les moins élevés (p. ex., fondés seulement sur des dénombrements d'œufs ou de larves) étaient souvent utilisés pour des vergers à graines, des plantations et des peuplements éclaircis de grande valeur. Les cartes généralement utilisées pour planifier les zones à protéger à grande échelle étaient fondées sur des inventaires forestiers et des interprétations de photographies aériennes à diverses échelles. Il existe des variations sur la manière d'utiliser les critères de planification entre les territoires pour répondre aux besoins locaux.

Un nouvel outil d'identification des zones de protection a fait son apparition. Il s'agit des SIG, lesquels contiennent des attributs spécifiques (p. ex., espèces, densité) pour tous les types de peuplements forestiers et identifient les zones non forestières et les zones non aménagées pour la production de bois. En recourant à la technologie des SIG, des critères précis peuvent être choisis et utilisés pour identifier les peuplements à inclure ou à exclure des programmes de protection. Les zones tampon, par exemple, sont des zones situées entre les zones traitées et des zones spécifiques où la présence d'insecticides n'est pas souhaitée, ce qui réduit au minimum

l'exposition aux insecticides dans ces lieux (p. ex., près des habitations, des sources d'eau potable, des réserves écologiques, des bleuetières, des plans d'eau et des cours d'eau).

Les zones tampon sont déterminées par les ministères fédéraux et provinciaux concernés et peuvent être fixées selon beaucoup de paramètres (p. ex., vitesse du vent, type d'insecticide, type d'aéronef et d'équipement de pulvérisation). Ces zones ont été établies en utilisant des données empiriques provenant d'études en laboratoire et sur le terrain et/ou de modèles ou de considérations sociales. Les ministères de l'environnement provinciaux délivrent des permis pour les programmes d'opérations avant qu'ils aient lieu. Ils précisent également des restrictions comme la vitesse maximale du vent (et possiblement la direction) et des mesures de sécurité. Seuls les pesticides qui ont été approuvés par le système d'homologation fédéral en vertu de la *Loi sur les produits antiparasitaires* peuvent être utilisés (voir également la section Mise en œuvre de mesures de lutte permettant de maintenir les populations d'organismes nuisibles sous un seuil minimal : homologation des insecticides : rôle de l'ARLA).

Si l'on décide de mener un programme de lutte par l'épandage aérien d'insecticide, un grand nombre de mesures doivent être prises, de la détermination de la quantité de produit, de l'aéronef et du soutien logistique à la délimitation des zones à traiter ainsi que des épandages subséquents et de l'évaluation. Des systèmes complexes d'aide à la décision (DSS) informatisés ont été élaborés pour aider à la planification des mesures de protection (PROPS) en évaluant la priorité des peuplements au moyen de scénarios de poussées épidémiques et de paramètres reliés à la production de bois ou non. Un autre modèle composé (BioSIM) peut faire des projections du développement larvaire particulières au site et au paysage, au moyen de données météorologiques sur la température et géoréférencées et prévoir la possibilité d'une défoliation et d'une mortalité des larves, d'après les mesures des dépôts de pulvérisation et du comptage des larves. Des applications optimales peuvent être déterminées en utilisant : un logiciel pour délimiter les surfaces traitées et les lignes (SprayAdvisor); des données météorologiques à jour recueillies par voie aérienne (AIMMS-10, AIMMS-20); des modèles pour simuler les dépôts de pulvérisation afin de déterminer les meilleures façons de minimiser la dérive hors cible (AGDRIFT); le système mondial de localisation en mode différentiel (GPS différentiel) pour améliorer la navigation aérienne au-dessus des surfaces traitées et des dispositifs de contrôle des rampes de pulvérisation automatisées. Des efforts sont faits pour améliorer ces applications, créer d'autres modèles et amener ces technologies à leur pleine utilisation.

Seuils de synchronisation

Les larves n'émergent pas toutes en même temps et les arbres ne s'épanouissent pas tous à la même vitesse. Par conséquent, pour atteindre une efficacité optimale, ces deux éléments doivent être surveillés étroitement afin de s'assurer que l'insecticide ne soit pas appliqué trop tôt ou trop tard. La surveillance se fait en utilisant des projections en degré-jour et des collectes de larves et de pousses d'arbres sur le terrain, qui sont classés selon le stade de développement larvaire et l'indice de développement des pousses, respectivement. Au moins un territoire a utilisé la reconnaissance aérienne à faible altitude pour effectuer des évaluations du débourrement chez le sapin baumier et de la phénologie d'espèces avoisinantes (p. ex., floraison de certains feuillus).

La protection des pousses de l'année nécessite que l'insecticide soit appliqué au meilleur moment après l'émergence des larves et avant que de grandes quantités de feuillage soient consommées

(c.-à-d. avant que la larve n'atteigne le sixième stade). Par conséquent, l'insecticide doit être appliqué pendant cette période. Si les populations de tordeuses des bourgeons de l'épinette sont très élevées, les larves peuvent détruire le feuillage de façon importante lors du stade où elles creusent les bourgeons avant la sortie des pousses annuelles. Cela crée des conditions difficiles pour mener un programme de protection, bien qu'il y ait une courte période où la larve se déplace sur les aiguilles et tisse des abris en soie à l'extérieur des bourgeons avant la croissance de la pousse et l'allongement des aiguilles. Cela représente une occasion de lutte mieux adaptée à l'utilisation d'un insecticide de contact qu'à celle d'un produit devant être ingéré. Dans certains territoires, une synchronisation différente est utilisée (particulièrement dans le cas de l'épinette blanche) afin de maximiser la mortalité chez les larves et de réduire la consommation d'aiguilles durant les années subséquentes. La surveillance annuelle détermine le moment où l'on doit traiter à nouveau.

La surveillance du développement du feuillage sur les essences forestières hôtes est primordiale, car le feuillage constitue le principal endroit où l'on applique l'insecticide — particulièrement pour favoriser l'inhibition de l'alimentation chez les larves ou causer la mort au moyen d'un produit devant être ingéré pour être efficace, contrairement aux produits qui agissent par contact. Les variations entre le taux de croissance des divers hôtes (c.-à-d. le sapin baumier, l'épinette blanche, l'épinette rouge et l'épinette noire) doivent être considérées pour obtenir la meilleure synchronisation. L'existence de forêts mixtes étendues sur de larges zones géographiques ainsi que de diverses particularités topographiques rendent le deuxième traitement au moyen d'un insecticide pratiquement nécessaire (bien que cela soit plus onéreux qu'un seul traitement), surtout si le produit utilisé n'est efficace que s'il est ingéré ou possède une courte période d'activité. En fait, c'était la règle habituelle pour les insecticides chimiques. Deux applications permettent également d'annuler la probabilité de mauvais résultats en cas d'un épandage inégal d'insecticide et de mauvaises conditions météorologiques printanières (c.-à-d. froid et humidité), lesquelles tendent à ralentir la progression et l'alimentation de la larve.

Mise en œuvre de mesures de lutte permettant de maintenir les populations d'organismes nuisibles sous un seuil minimal

Mesures culturelles

Dans les programmes de sylviculture (voir aussi la section Planification et gestion de systèmes de production afin d'empêcher des organismes de devenir nuisibles), le reboisement inclut l'utilisation équilibrée de la régénération naturelle et de la plantation dans les sites où la régénération ne suffit pas. Afin de réduire la vulnérabilité des peuplements futurs, d'autres essences forestières peuvent être plantées (ce qui soulève la question de la biodiversité). Dans certains cas, un brûlage dirigé peut être utilisé pour la conversion d'un site avec des espèces moins vulnérables. On peut atteindre une amélioration de la croissance pour obtenir une plus grande vigueur, une réduction de la vulnérabilité et un meilleur rendement en bois en utilisant des semis génétiquement modifiés. On peut aussi améliorer la croissance en maintenant les arbres qui forment le peuplement final dans des conditions de croissance optimales par le biais de l'élimination des plantes qui entrent en compétition pour les nutriments et, donc, retardent la croissance. Lors des activités d'éclaircissage des peuplements, les espèces moins vulnérables sont favorisées le plus souvent possible. NOTA : Bien que la réduction de la vulnérabilité devrait diminuer les pertes, cela ne veut pas dire qu'on ne devrait pas mettre en place des mesures de protection.

Une nouvelle méthode de protection à long terme pourrait être la plantation d'épinettes et de sapins génétiquement modifiés contenant la bactérie *Bacillus thuringiensis* (*Bt*), laquelle est toxique pour la tordeuse des bourgeons de l'épinette (voir également la section Mise en œuvre de mesures de lutte permettant de maintenir les populations d'organismes nuisibles sous un seuil minimal : mesures biologique). Des méthodes utilisant le génie génétique font actuellement l'objet de recherches. Par conséquent, elles devraient être étudiées dans ce contexte. Bien que l'introduction de gènes *Bt* dans les semis d'épinette ait été effectuée, des études à long terme sont nécessaires avant d'entreprendre l'étape suivante. Des préoccupations concernant le développement d'une résistance de l'insecte constituent un facteur considérable. Par conséquent, la mise au point de techniques limitant l'expression du gène est importante. L'ajout d'un autre attribut de défense au même moment serait très souhaitable, étant donné qu'il est plus difficile pour les insectes de développer une résistance à plusieurs facteurs. Plus encore, d'autres organismes nuisibles (maladies ou insectes) qui ne sont pas touchés par le *Bt* pourraient émerger, et donc d'autres types de mesures de protection resteraient nécessaires (notamment l'augmentation de l'utilisation d'autres pesticides chimiques qui ne seraient pas nécessaires autrement). La stérilité des plantes modifiées est également étudiée en raison de la préoccupation concernant la possibilité que des gènes introduits migrent dans la population naturelle. En plus des questions de coût et d'applicabilité, l'acceptation des organismes génétiquement modifiés par le public sera à considérer sérieusement avant d'utiliser cette biotechnologie.

Une autre nouvelle idée est issue de recherches sur l'isolation et l'identification de toxines existant dans le milieu naturel pour les insectes et d'autres agents bioactifs provenant des champignons endophytes (c.-à-d. champignons vivant dans les aiguilles) associés aux conifères. Plusieurs nouveaux métabolites fongiques toxiques pour la tordeuse des bourgeons de l'épinette

ont été découverts; l'inoculation des semis de conifères avec quelques-uns de ces endophytes toxiques est à l'étude. Si les résultats s'avèrent positifs, cela pourrait avoir des conséquences sur le reboisement à long terme.

Mesures physiques

À part les techniques citées précédemment, il n'y a aucune méthode physique pouvant être mise en œuvre pour réduire la probabilité d'une poussée épidémique de tordeuse des bourgeons de l'épinette ni les conséquences d'une poussée épidémique en cours.

Mesures biologiques

Conservation d'agents naturels de lutte biologique

La conservation d'agents naturels de lutte biologique est particulièrement importante lorsque les programmes de protection incluent des applications d'insecticides au sol ou par voie des airs. Cela peut être réglé de plusieurs façons : (1) l'utilisation d'un insecticide à spectre étroit (c.-à- d. un insecticide qui a un effet sur un seul organisme nuisible ou qui en a peu sur un éventail limité d'autres organismes); (2) l'utilisation prudente de produits à large spectre en choisissant les doses efficaces les plus faibles permet de limiter les effets nocifs sur les organismes non ciblés; (3) l'identification d'une surface minimale ayant besoin d'être protégée. Les systèmes de classification des risques (élaboré au départ pour réduire les coûts au minimum) et les modèles de priorités pour la protection peuvent être employés pour identifier des zones cibles minimales; (4) bien qu'elle soit indirecte, la conservation des agents naturels de lutte biologique dans les zones locales en recourant à des zones tampon (voir aussi la section Établissement de seuils : seuils de déclenchement de mesures).

En combinant tous ces critères, il est courant d'élaborer des programmes de protection ciblant une partie infime d'une poussée épidémique, ce qui permet de conserver les agents naturels de lutte biologique; la poussée épidémique globale suivant généralement son cours naturel. Ces mesures de réduction des risques minimisent la contamination de l'environnement non souhaitée ainsi que les effets nocifs associés aux applications d'insecticides.

Utilisation de prédateurs et de parasitoïdes

Les facteurs biologiques naturels agissant au cours du cycle de vie de la tordeuse des bourgeons de l'épinette le font de façon complexe au cours de l'année et entre les années. En dépit de recherches étalées sur des décennies, il reste encore beaucoup de choses à apprendre (voir également la section Notions élémentaires sur la tordeuse des bourgeons de l'épinette : biologie). Par le passé, il y a eu des essais où l'on manipulait artificiellement ou appliquait quelques-uns de ces facteurs de même qu'on introduisait des parasitoïdes. Mais comme ces essais se sont généralement révélés inefficaces ou présentaient des limites graves dans la pratique, ils ont été jugés comme non disponibles. Il existe un parasitoïde microscopique appelé *Trichogramma minutum*, qui tue les œufs de tordeuse des bourgeons de l'épinette, qui a donné de bons résultats lors d'essais sur une petite échelle. Même s'il a été commercialisé, il n'est jamais devenu concurrentiel pour des activités de lutte contre la tordeuse des bourgeons de l'épinette. Ce parasitoïde possède une vaste gamme d'hôtes, donc il pourrait avoir des conséquences sur les populations de beaucoup d'autres insectes.

Utilisation de maladies

Les champignons, les bactéries, les protozoaires (microsporidies) et les virus peuvent infecter la tordeuse des bourgeons de l'épinette. Nombre d'entre eux ont fait l'objet d'études et ont démontré un potentiel de lutte très limité ou nécessiteront davantage de recherche et de développement, telles des modifications génétiques (voir aussi la section Mise en œuvre de mesures de lutte permettant de maintenir les populations d'organismes nuisibles sous un seuil minimal : mesures culturales). Des virus génétiquement modifiés sont en cours de développement, mais cela a également lancé des discussions concernant leur acceptation par le public.

L'une des expériences réussies est celle de l'insecticide biologique fabriqué à partir d'une bactérie présente naturellement dans le sol, *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki* (dénommée couramment *Bt* et parfois *Btk*). Des recherches menées au cours des années 1970 et 1980 ont permis la production commerciale du *Bt* et son utilisation en foresterie.

L'avantage environnemental du *Bt* est son spectre d'activité étroit. En clair, il n'a d'effet que sur les larves de lépidoptères (c.-à-d. les papillons diurnes et nocturnes) si elles se nourrissent au moment de l'application et ingèrent une dose létale. Bien que cela ait un effet beaucoup moins élevé que celui des insecticides chimiques, cet effet est également perçu comme un effet néfaste par certains. Le *Bt* tend à être moins persistant que les produits chimiques et est décomposé par le rayonnement solaire. Le *Bt* n'est pas toxique par contact et doit être ingéré en quantité suffisante pour être efficace. La mort des larves est causée par une septicémie et une toxémie favorisée par leur pH interne naturellement élevé. Certaines larves peuvent se rétablir et continuer de causer une défoliation indésirable si elles ingèrent une dose non létale.

Afin d'augmenter les chances de succès, le *Bt* n'est généralement pas appliqué tant que les pousses de l'année n'ont pas émergé des coiffes des bourgeons (voir aussi la section Établissement de seuils : seuils de déclenchement de mesures). Cela signifie que la période de traitement au moyen du *Bt* est plus courte (jusqu'à 3 à 10 jours de moins) que celle des insecticides chimiques et ce facteur doit être pris en compte lors de l'élaboration de la logistique d'un programme de lutte. Des préoccupations ont été soulevées relativement aux forêts présentant un mélange d'hôtes, qui s'épanouissent à des vitesses différentes, établies sur une topographie complexe. Cela peut augmenter de façon importante le nombre d'aéronefs nécessaires de même que les coûts. D'autres coûts associés au *Bt* ont été réduits par l'élaboration de formulations plus concentrées, rendant ainsi les coûts d'expédition et d'application possiblement semblables à ceux des insecticides chimiques, selon les circonstances (voir aussi la section Établissement de seuils : seuils de nuisibilité économique).

Beaucoup de renseignements sur l'utilisation du *Bt* ont été recueillis à partir du milieu des années 1980 jusqu'au milieu des années 1990, lorsque les populations de tordeuses des bourgeons de l'épinette étaient en déclin. Pendant cette période, l'efficacité du *Bt* était souvent moindre que celle des insecticides chimiques pour des densités de population modérées et élevées. Cela était fréquemment associée à de faibles taux de mortalité des larves de tordeuse des bourgeons de l'épinette par le *Bt* par rapport à ceux des produits chimiques, ce qui a, par conséquent, laissé davantage de larves qui ont causé à leur tour plus de défoliation. On se demande si, à l'avenir, le *Bt* offrira une efficacité acceptable lorsque les populations atteindront des niveaux épidémiques.

Des essais sur une petite échelle sont en cours pour aider à l'élaboration de futures règles comme des doses d'application plus élevées, des applications répétées et des produits améliorés (qui ont toutes des conséquences sur le coût). Finalement, on a encore beaucoup de choses à apprendre sur l'utilisation du *Bt* pour atteindre une protection adéquate de diverses espèces d'épinette.

Mesures comportementales

Des recherches ont été effectuées pour étudier les produits qui pourraient modifier le comportement de la tordeuse des bourgeons de l'épinette (p. ex., les antiappétants), mais les résultats obtenus n'ont mené à aucun produit efficace. Le seul produit encore étudié sont les phéromones sexuelles synthétiques utilisées dans la confusion sexuelle. Les phéromones naturelles sont des odeurs émises par les lépidoptères femelles pour attirer les mâles afin de s'accoupler. Par conséquent, la théorie est d'imprégner l'air de phéromones synthétiques, ce qui rend les mâles confus et incapables de trouver des femelles pour s'accoupler, réduisant ainsi le nombre d'œufs pondus viables. Des recherches indiquent que dans les densités de population élevées, d'autres facteurs entrent en jeu et rendent cette stratégie moins efficace. On ne sait pas si elle pourrait être utilisée pour lutter contre les populations en augmentation ou pour hâter l'effondrement des populations. Un concept consiste à réduire d'abord les populations de larves en appliquant du *Bt* ou un autre insecticide puis d'employer les phéromones pour rendre les mâles confus. En considérant les résultats discutables des épandages aériens qui ont eu lieu au cours des années 1970 ainsi que les bons résultats obtenus lors des applications au sol pendant les années 1980, des recherches additionnelles sont nécessaires pour déterminer si une formulation à base de phéromones et une règle définitive peuvent être élaborées pour une exploitation efficace et abordable. Certains essais d'épandage aérien sur une petite échelle effectués depuis la fin des années 1990 ont été positifs, mais les progrès sont retardés par les coûts élevés et un approvisionnement incertain en phéromones synthétiques, même aux fins de recherche. Aucun critère concernant le moment et le lieu d'intervention n'a été défini.

Mesures chimiques

À partir du début des années 1950 jusqu'au milieu des années 1960, un insecticide très toxique, le DDT, a été largement utilisé jusqu'au moment où des produits de remplacement moins persistants aient été développés. En dépit de recherches et de l'utilisation de plusieurs produits (notamment certains à des fins agricoles et domestiques), l'insecticide organophosphoré fénitrothion est celui qui a été principalement utilisé. Il a été suivi de près par un carbamate, l'aminocarbe, lequel a fait l'objet d'un retrait volontaire du marché par son fabricant en 1987 en raison de ventes insuffisantes (il était presque seulement utilisé en foresterie). L'homologation (voir aussi la section Mise en œuvre de mesures de lutte permettant de maintenir les populations d'organismes nuisibles sous un seuil minimal : homologation des insecticides : rôle de l'ARLA) pour l'épandage aérien du fénitrothion sur une grande échelle a cessé en 1998.

La majorité des utilisations restantes des quelques produits homologués plus anciens deviendront inacceptables pour un emploi à grande échelle en raison de leurs bases de données toxicologiques moins exhaustives et périmées, de leurs effets nocifs sur l'environnement, de leur faible efficacité et de leur coût élevé. Des réévaluations du gouvernement fédéral (voir également la section Mise en œuvre de mesures de lutte permettant de maintenir les populations d'organismes nuisibles sous un seuil minimal : homologation des insecticides : rôle de l'ARLA) des homologations des insecticides organophosphorés et des carbamates sont en cours. La seule option autre que le *Bt* est le régulateur de croissance d'insectes synthétique dénommé tébufénozide (Mimic®), considéré souvent comme un « biotide ». Ce produit, lorsqu'il est ingéré en quantité suffisante, interfère avec le processus de mue naturel, ce qui entraîne la mort de l'insecte. Comme le *Bt*, c'est un produit à spectre étroit (il affecte aussi les larves de papillons diurnes et nocturnes) et offre une protection environnementale semblable. Il peut également avoir des effets non ciblés sur d'autres lépidoptères, bien qu'ils soient moins graves que ceux présentés par les insecticides chimiques classiques. L'efficacité du tébufénozide continue d'être étudiée, notamment celle concernant la possibilité de cibler directement ou indirectement les larves au premier stade afin de réduire la génération suivante. Cela offrirait peut-être une plus grande période de traitement et une stratégie non confirmée de lutte contre la tordeuse des bourgeons de l'épinette.

Homologation des insecticides : rôle de l'ARLA

Tout insecticide ou autre pesticide qui sera développé dans le futur pour utilisation contre la tordeuse des bourgeons de l'épinette ou tout autre organisme nuisible devra être homologué par l'Agence de réglementation de la lutte antiparasitaire (ARLA) de Santé Canada. Les pesticides au Canada sont réglementés en vertu de la *Loi sur les produits antiparasitaires* (LPA) et de son Règlement. Les fabricants qui veulent commercialiser un produit antiparasitaire au Canada doivent soumettre des données détaillées pour évaluation par l'ARLA. Ces fabricants fournissent toutes les études scientifiques nécessaires pour évaluer si le produit est acceptable en termes d'innocuité, d'avantages et de valeur. Avant de rendre une décision d'homologation sur un nouveau produit antiparasitaire, l'ARLA mène une évaluation approfondie des risques et des avantages liés à l'usage proposé. L'évaluation détermine si un produit peut être homologué et autorisé pour la vente et l'utilisation au Canada. Les produits antiparasitaires sont homologués seulement s'ils sont efficaces et si les risques pour la santé humaine et l'environnement qu'ils présentent sont acceptables.

Seuls les pesticides homologués en vertu de la LPA peuvent être importés, vendus ou utilisés au Canada. Les provinces et les territoires réglementent la vente, l'utilisation, l'entreposage, le transport et l'élimination des pesticides homologués présents sur leur territoire tant que les mesures qu'ils adoptent se conforment aux conditions, aux directives et aux limites imposées par la LPA et toute autre loi fédérale.

Évaluation des effets et de l'efficacité des mesures de lutte utilisées contre les organismes nuisibles

Effets des mesures de lutte

Chaque fois qu'une intervention est pratiquée sur des processus naturels, il y a des effets sur l'organisme ciblé, les organismes non ciblés et l'environnement. Cela ne s'applique pas seulement aux insecticides. En effet, les options en matière d'aménagement forestier et de sylviculture ont également des conséquences. Idéalement, on voudrait que les mesures de lutte ne touchent que l'organisme nuisible. Malheureusement, de telles options sont très rares, particulièrement dans le cas des organismes nuisibles aux forêts. Au cours du processus d'homologation de tous les pesticides, l'ARLA mène une évaluation complète des risques sanitaires et environnementaux qu'ils présentent ainsi que de leur valeur. Les sociétés qui souhaitent commercialiser un produit antiparasitaire au Canada doivent soumettre à l'ARLA des renseignements et des données détaillées. La rigueur et les coûts de ces études de même que la petite taille et l'incertitude du marché forestier (comparativement à l'agriculture) sont les principales raisons qui expliquent le faible nombre d'insecticides homologués pour utilisation contre la tordeuse des bourgeons de l'épinette et autres insectes forestiers. Dans bien des cas, des études effectuées après l'homologation d'un produit sont menées pour ajouter des données aux études de recherche et de faire des ajustements au besoin (p. ex., plus grande précision dans les doses d'application, zones tampon).

Efficacité des mesures de lutte

Il est nécessaire de fixer des objectifs pour un programme ou des niveaux de protection cibles, comme la conservation du feuillage (p. ex., conserver un certain pourcentage de la pousse annuelle) et le taux de mortalité des insectes (p. ex., réduction d'un pourcentage précis de la population). L'efficacité est une mesure du degré auquel le traitement atteint les objectifs (voir aussi la section Établissement de seuils : seuils de déclenchement de mesures). S'il n'y a pas de mesure de comparaison entre des zones de vérification traitées et non traitées, il est impossible de déterminer le niveau de protection offert et difficile d'évaluer si des modifications doivent être apportées. Par conséquent, des efforts doivent être faits pour surveiller les conditions avant et après la pulvérisation dans des zones comparables. Une relation entre le taux de mortalité des larves et la protection du feuillage n'existe pas toujours, car la mortalité peut ne pas arriver avant le sixième stade de développement larvaire, particulièrement si l'épandage de l'insecticide était tardif. Par conséquent, le taux de mortalité larvaire peut être élevé et la protection du feuillage faible.

L'objectif qu'est la lutte contre les larves peut réduire les populations de façon à ce que les larves de l'année suivante ne causeront qu'une défoliation légère et qu'un traitement ne soit donc pas nécessaire. Dans ce cas, les objectifs seraient reliés aux niveaux de population cibles tolérés et à la proportion de zones de poussée épidémique à laquelle la règle est appliquée. Des mesures de l'efficacité peuvent être évaluées et représentées de différentes façons.

Pistes de recherche pour l'avenir

Certaines questions portant sur la R et D future ont été traitées dans diverses parties de ce document.

La recherche de mesures de protection fondées sur l'aménagement forestier et la sylviculture peut être freinée par le nombre de zones possiblement à risque d'être infestées par la tordeuse des bourgeons de l'épinette et le temps que cela prend pour apporter des modifications importantes. En outre, la liste des options disponibles est courte (p. ex., modifier la composition et la structure des forêts, planter des espèces non indigènes, utiliser des arbres génétiquement modifiés contenant des gènes insecticides) bien que les techniques permettant de les obtenir devraient rendre les recherches utiles. Ces options sont également très dispendieuses et on prévoit qu'elles ajouteront leurs propres questions de recherche complexes. Par exemple, si la forêt est aménagée différemment ou pour un autre but, comment gérer les problèmes parasites qui pourraient survenir? On pourrait se demander quels seraient les effets sur la biodiversité et les conséquences sur le bilan du carbone. Les forêts d'aujourd'hui sont différentes de celles d'hier et continueront de changer des suites des interventions de l'homme et de la nature.

Durant la période d'épidémie qui a sévit des années 1950 aux années 1980, les scientifiques ont recueilli d'énormes quantités de données sur la tordeuse des bourgeons de l'épinette. Inversement, on en sait beaucoup moins sur la phase endémique. Ce n'est que depuis les 10 à 15 dernières années que les scientifiques ont eu l'occasion d'étudier les fonctions biologiques qui interagissent durant cette phase. Des recherches et des analyses sont en cours sur l'interprétation de ces relations. Des études sur la dynamique des populations devraient être poursuivies pour atteindre une meilleure compréhension des processus naturels qui pourraient résulter de l'identification d'occasions de lutte encore inconnues.

La lutte par l'utilisation d'insecticides continuera sans doute d'être nécessaire. En raison du faible nombre de solutions de remplacement acceptables, il y aura une dépendance vis-à-vis les produits à spectre étroit offrant le moins d'effets sur les organismes non ciblés. À présent, cela implique l'utilisation d'insecticides biologiques constitué par la bactérie *Bt* et d'un régulateur de croissance d'insectes, le biotide tébufénozide. Leur efficacité lorsque les densités de population de tordeuse des bourgeons de l'épinette remonteront reste à voir, bien que les recherches actuelles montrent des résultats sur le sapin baumier et l'épinette blanche. La protection de l'épinette rouge (ou des hybrides de l'épinette rouge et de l'épinette noire) doit être étudiée. On pourrait s'attendre à un accroissement de la demande de renseignements additionnels sur les effets nocifs environnementaux directs et indirects de ces matériaux, particulièrement s'ils sont utilisés continuellement sur de vastes zones comme on l'avait fait avec les insecticides chimiques. La possibilité de développer d'autres moyens de contrôle connus (p. ex., les phéromones, les virus, les champignons) ou de nouveaux matériaux nécessitera une vérification et une validation semblables.

Dans la même veine, de nouvelles règles pour les utilisations d'insecticides comme « l'intervention précoce », « le maintien d'un accroissement en volume ligneux » ou l'épandage une année sur deux doivent être examinées afin d'évaluer leur faisabilité et si elles seraient plus

avantageuses que les règles passées, principalement fondées sur le maintien d'arbres vivants. Dans ce cas, il existe des occasions concernant l'utilisation future, le développement, la vérification des systèmes informatisés d'aide à la prise de décision de même que l'examen et la comparaison de divers scénarios.

Dans l'analyse finale, il est très probable que les insecticides fassent partie des futurs programmes de LI. De plus, des épandages aériens seront nécessaires à cause de la gravité des poussées épidémiques de tordeuses des bourgeons de l'épinette. Par conséquent, on doit continuer de mettre au point des techniques d'épandage aérien pour s'assurer que les systèmes sont les plus efficaces et les plus sécuritaires possibles (p. ex., navigation, surveillance des conditions météorologiques, équipement d'épandage, modèles améliorant l'épandage dans les zones désignées et réduisant la dérive hors cible).

Conclusion

La gestion de toute ressource naturelle n'est pas une mince affaire, particulièrement lorsque les intervenants constituent non seulement les parties directement touchées mais également le grand public. Le défi est encore plus grand quand la ressource est réellement constituée d'une multitude de systèmes interdépendants. Plus encore, la simple notion de la garantie d'aucun problème grâce à une gestion adéquate est loin d'être vraie. Depuis des années, on suggère que les poussées épidémiques de tordeuses des bourgeons de l'épinette devraient être laissées à elles-mêmes. Lorsque les renseignements sont évalués en termes de conséquences sociales et économiques issues des efforts en matière d'aménagement des forêts et des ressources connexes sans recourir à une protection, les résultats parlent d'eux-mêmes. Les citations suivantes illustrent ce point :

« Si l'on souhaite aménager une forêt composée de sapins et d'épinettes, on doit la protéger — aucune ressource renouvelable ne peut être gérée si elle ne peut être protégée. »⁴

« La Commission ne perçoit aucune raison technique, que ce soit au nom de la sécurité publique ou de l'efficacité des activités, de préférer les insecticides bactériens aux insecticides chimiques synthétiques et, par conséquent, recommande une planification des mesures d'urgence afin de protéger annuellement 400 000 ha (1 000 000 acres) de forêt contre les attaques d'insectes et, en se fondant sur des principes avantage/risque, recommande l'utilisation d'insecticides chimiques synthétiques épandus au moyen d'aéronefs, à voilure fixe ou tournante, sous la seule réserve d'être en conformité avec les règles et règlements prescrits par les autorités fédérales du Canada. »⁵

« À moins d'un engagement du gouvernement provincial à mettre en place une politique efficace en matière de protection des forêts contre les organismes nuisibles, toutes les activités sylvicoles comme la coupe d'éclaircie précommerciale et le reboisement devraient être arrêtées. Cela indiquerait l'abandon de tout programme d'aménagement à long terme pour les ressources forestières provinciales. »⁶

« La principale perte forestière qui aura lieu si les poussées épidémiques de tordeuses des bourgeons de l'épinette actuelles continuent de ne pas être contrôlées aura de graves conséquences socio-économiques, notamment la hausse du taux de chômage. Cela représente la principale menace pour la santé de la

⁴ Baskerville, G. 1976. Report of the Task Force for Evaluation of Budworm Control Alternatives. Nouveau-Brunswick. p. 192-193.

⁵ Connor, J. 1984. FORESTRY. Report of the Nova Scotia Royal Commission on Forestry. Nouvelle-Écosse. p. 82.

⁶ Poole, C.F., 1981. Report of the Royal Commission on Forest Protection and Management. Part 1. Terre-Neuve. p. 98.

population de Terre-Neuve. À la lumière de cela, les risques pour la santé présentés par l'actuel programme de pulvérisation à court terme d'aminocarbe à Terre-Neuve sont jugés négligeables. »⁷
[traduction]

Des poussées épidémiques de tordeuses des bourgeons de l'épinette non contrôlées peuvent paralyser les industries forestières et créer du chômage avec les conséquences socio-économiques que cela entraîne. Étant donné que l'utilisation et l'aménagement des forêts canadiennes ont de lourdes conséquences socio-économiques, à l'échelle locale comme à l'échelle internationale, il est tout à fait naturel que le public, les politiciens, les industries, les scientifiques et même les théoriciens débattent de ces questions complexes.

Il n'existe pas qu'une seule règle en matière d'aménagement des forêts et des ressources connexes contre les conséquences qu'entraînent les poussées épidémiques de tordeuses des bourgeons de l'épinette. Ce document a exposé, en termes généraux, les principes qui forment le fondement de la LI contre la tordeuse des bourgeons de l'épinette au Canada de même que des renseignements sur les méthodes disponibles, les limites et les besoins futurs. Chaque province, territoire, industrie, agence ou propriétaire d'une terre à bois ayant à aménager une forêt menacée par la tordeuse des bourgeons de l'épinette doit juger quelles mesures et composantes d'une stratégie de LI s'appliquent le mieux à sa situation et les utiliser de manière appropriée.

⁷ Patey, P. 1980. Supplemental Report (1980) of the Newfoundland Medical Association Committee Formed to Review the Medical Aspects of the Spruce Budworm Epidemic and Control Programme. Terre-Neuve.