

UNE APPROCHE STRATÉGIQUE POUR RALENTIR LA PROPAGATION DU DENDROCTONE DU PIN PONDEROSA AU CANADA

Préparé pour le Groupe de travail sur les ravageurs forestiers du Conseil canadien des ministres
des forêts

**Janice Hodge, coordonnatrice technique de la Stratégie nationale de lutte contre les ravageurs
forestiers**

D^r Barry Cooke, codirigeant du projet

D^r Rory McIntosh, codirigeant du projet

Novembre 2017



Cette page a été laissée vide intentionnellement.

**UNE APPROCHE STRATÉGIQUE POUR RALENTIR
LA PROPAGATION DU DENDROCTONE DU PIN PONDEROSA AU CANADA**

Remerciements	i
Sommaire.....	ii
Avant-propos	iii
Partie I : L’approche : Contexte, justification, aperçu et connaissances acquises	1
Contexte	1
Justification.....	1
État actuel et tendances récentes	2
Aperçu de l’approche de confinement stratégique proposée	6
Principaux éléments.....	7
Connaissances en matière de lutte.....	8
Tenir compte de la science et des connaissances acquises	8
Partie II : Confinement – La lutte contre le DPP en pratique	9
Attribution des ressources et prise de décisions	9
Lutte adaptative.....	10
Cadre de lutte contre la population	10
Principaux éléments.....	11
Zones de lutte	13
Outils et tactiques de lutte	15
Surveillance et repérage	16
Contrôle mécanique ou sémi chimique	17
Contrôles réglementaires	18
Coûts de la lutte contre le DPP.....	18
Partie III : Défis et réalités de la lutte – Une perspective économique	19
Coûts	19
Estimer les avantages.....	20
Intervention précoce.....	20
Importance des services écosystémiques.....	20
Partie IV : Aspect scientifique du contrôle de la propagation du DPP	21
Dynamique des populations et lutte contre le dendroctone du pin ponderosa	21
Facteurs de stress sur l’hôte et incidence sur la lutte : Un exemple concret dans un habitat expérimenté	23
Modèle de productivité (r).....	24
Nouvel habitat et connectivité des hôtes	24
Efficacité du traitement	25
Efficacité du seuil d’efficacité.....	27
Glossaire	28
Références	30
Annexe 1. Connaissances acquises	33
Annexe 2. Lutte adaptative et dendroctone du pin ponderosa	37

Cette page a été laissée vide intentionnellement.

Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier les personnes suivantes.

- Le Groupe de travail sur les ravageurs forestiers du Conseil canadien des ministres des forêts pour le soutien qu'il a accordé à ce projet.
- Le comité technique responsable de la Stratégie nationale de lutte contre les ravageurs forestiers pour son examen et sa critique de ce document.
- D^{re} Kathy Bleiker, D^r Allan Carroll et Bill Riel pour leur contribution scientifique et leur évaluation.
- D^r Harry Nelson pour ses contributions aux aspects économiques (Partie III) de ce document.
- Erica Samis et Mike Undershultz pour leurs importantes contributions du point de vue albertain.
- Aaron McGill et Roger Brett pour avoir fourni les cartes.
- D^r Taylor Scarr pour ses contributions au projet à titre de codirigeant avant son départ.
- Jean-Luc St-Germain pour sa capacité inébranlable à réunir tous les intervenants et tous les éléments pertinents.

Sommaire

De 1995 à 2015, la Colombie-Britannique (C.-B.) a connu la plus grande épidémie de dendroctone du pin ponderosa (DPP) de l'histoire. Plus de 18,3 millions d'hectares ont été infestés, entraînant une perte de 731 millions de mètres cubes, soit 54 % du volume marchand de pin de la province en plus de pertes substantielles des valeurs écologiques de la forêt. Il est estimé qu'une réduction de 57 milliards de dollars du PIB de la province ainsi qu'une diminution de 90 milliards du bien-être économique auront lieu entre 2009 et 2054 (à la valeur actuelle). Durant cette épidémie, le dendroctone a franchi la barrière géoclimatique est en 2006 et en 2009, ce qui a été suivi par sa propagation et son établissement dans des pinèdes de l'Alberta (pins tordus latifoliés et pin gris) qui n'ont pas coévolué avec le DPP. Depuis 2004, le gouvernement de l'Alberta a investi 456 millions de dollars dans la lutte contre la propagation vers l'est du DPP et a retiré environ 1,43 million d'arbres infestés. Depuis 2011, la Saskatchewan a également versé une contribution de près de 4,5 millions de dollars destinée à la lutte contre le DPP le long du front d'invasion en Alberta afin de réduire ou d'éliminer le risque de sa propagation vers l'est. Puisque la propagation vers le nord du DPP a dépassé son territoire historique, le Yukon et les Territoires du Nord-Ouest ont aussi complété des analyses du risque et ont lancé des plans de surveillance le long de leur frontière avec la Colombie-Britannique et l'Alberta.

Ce document présente une approche stratégique dont le but est d'informer les mesures et les pratiques de lutte contre le DPP visant à contenir et à limiter la propagation vers l'est du DPP. Il a été préparé en réponse à une demande provenant du Groupe de travail sur les ravageurs forestiers du Conseil canadien des ministres des forêts qui visait l'obtention d'information sur les options disponibles pour ralentir la propagation suite à une évaluation du risque (2014), qui a révélé que bien que le climat des forêts situées à l'est de la Saskatchewan soit moins adapté au DPP, leur susceptibilité aux infestations augmente. En plus de présenter un climat qui est peu adapté au DPP, la région frontale d'invasion dans sa forme actuelle entre l'Alberta et la Saskatchewan représente un engorgement de susceptibilité et de connectivité de la pinède qui pourrait convenir pour limiter l'infestation.

L'approche de confinement stratégique décrite est fondée sur la recherche et les observations sur le terrain qui ont révélé que des mesures précoces, soutenues et agressives sont efficaces pour contenir et limiter la propagation du DPP en l'absence de migration. En effet, le retrait des arbres infestés lorsque la population de dendroctones est basse est comparable à éteindre les foyers d'incendie disséminés avant qu'ils ne fusionnent. Ainsi, le contrôle des petites populations qui pourraient alimenter l'infestation est essentiel pour ralentir la propagation. L'approche est informée par les conclusions de récents projets de recherche ainsi que par les connaissances acquises en Colombie-Britannique et en Alberta.

La réussite de cette approche de confinement stratégique dépend des efforts de lutte agressifs et continus de la province de l'Alberta. L'approche décrite est cohérente avec les efforts collaboratifs de lutte actuels du *Spread Management Action Collaborative* (SMAC), une initiative conjointe de l'Alberta et de la Saskatchewan le long du front d'invasion à l'est en Alberta. L'approche respecte les principes de lutte adaptative qui assurent une amélioration continue grâce aux évaluations itératives et à l'adaptation des mesures lorsque de nouveaux renseignements sont disponibles.

Avant-propos

Ce document a été préparé pour faire suite à l'évaluation du risque effectuée par le Groupe de travail sur les ravageurs forestiers du Conseil canadien des ministres des forêts (CCMF) en 2014, ainsi que pour répondre à une demande du Groupe de travail sur les ravageurs forestiers concernant les options disponibles pour ralentir la propagation. Ce document présente une approche de confinement stratégique dont le but est d'informer les mesures et les pratiques de lutte visant à contenir et à limiter la propagation vers l'est. Les mesures de lutte collaboratives intergouvernementales, qui appliquent les principes et la théorie décrits dans ce document, devraient être envisagées afin de contribuer à atteindre ce but.

L'organisation et le contenu de ce document ciblent différents publics. La **Partie I** présente l'approche stratégique et convient à tous les publics. La **Partie II** décrit des aspects plus techniques de l'approche et est adaptée aux gestionnaires et aux spécialistes des ravageurs de la forêt qui élaborent et appliquent des plans de réponse. La **Partie III** définit certaines des difficultés et des réalités économiques de la lutte contre le DPP et convient à tous les publics. La **Partie IV** décrit l'aspect scientifique du contrôle de la propagation du DPP et convient aux lecteurs qui ont un intérêt pour, ou des connaissances sur, l'aspect scientifique de la lutte contre le DPP.

Un glossaire des termes figure également dans ce document.

Partie I : L'approche : Contexte, justification, aperçu et connaissances acquises

Contexte

Ce document a été préparé pour faire suite à l'évaluation du risque (Nealis et Cooke, 2014) effectuée pour le Groupe de travail sur les ravageurs forestiers (GTRF) du Conseil canadien des ministres des forêts (CCMF) ainsi que pour répondre à une demande du GTRF concernant les options disponibles pour ralentir la propagation vers l'est et la forêt boréale. Ce document s'inspire du travail collaboratif effectué par les gouvernements de l'Alberta et de la Saskatchewan dans le cadre de l'initiative de lutte contre le DPP *Spread Management Action Collaborative (SMAC)*.

Justification

La dernière épidémie de DPP en Colombie-Britannique, qui a eu lieu de 1995 à 2015, est la plus grande jamais enregistrée et a infesté plus de 18,3 millions d'hectares, entraînant la perte d'environ 731 millions de mètres cubes, soit 54 % du volume marchand de pin de la province en plus de pertes substantielles relatives à la valeur des habitats et d'autres ressources forestières. Durant cette épidémie, la barrière géoclimatique du dendroctone a été franchie en 2006 et en 2009, ce qui a été suivi par sa propagation et son établissement dans de nouveaux habitats en Alberta; dans le pin tordu latifolié et le pin gris (Bleiker et coll. 2014; Cullingham et coll. 2010). Les nouveaux habitats correspondent aux écosystèmes dans lesquels le DPP ne vivait pas historiquement et les pins de ces écosystèmes sont appelés hôtes « naïfs » puisqu'ils n'ont pas coévolué avec le DPP. De 2004 à 2016, l'Alberta a investi 456 millions de dollars dans la lutte contre le DPP dans de nouveaux habitats et a contrôlé environ 1,43 million d'arbres infestés. Les efforts collaboratifs des gouvernements de l'Alberta et de la Saskatchewan, promus par le SMAC, ont mené à des contributions du gouvernement de la Saskatchewan totalisant près de 4,5 millions de dollars depuis 2011. Ce financement sert principalement à la lutte contre le DPP sur le front de la zone du front d'attaque en Alberta, appelé dans la présente le front d'invasion, afin de réduire ou d'éliminer le risque de propagation vers l'est. Puisque la propagation vers le nord de la DPP a dépassé son territoire historique, le Yukon et les Territoires du Nord-Ouest ont aussi réalisé des analyses de risque des ravageurs et mis en œuvre des plans de surveillance le long de leur frontière avec la Colombie-Britannique et l'Alberta.

L'initiative *Spread Management Action Collaborative (SMAC)*

Le SMAC est le résultat d'un protocole d'entente interprovincial signé en 2012 par l'Alberta et la Saskatchewan afin de formaliser une stratégie conjointe de contrôle de la propagation du DPP vers l'est et la forêt boréale canadienne. Cette initiative a permis l'évaluation coordonnée des plans stratégiques, opérationnels et tactiques pour les activités de contrôle du DPP qui ont lieu annuellement dans des régions d'intérêt mutuel situées dans les régions à haut risque du nord-est de l'Alberta. De 2011 à 2013, les activités de contrôle à l'extrémité frontale de la ligne d'invasion ont été financées grâce à l'entente. Le protocole d'entente a été renouvelé pour trois années supplémentaires; son mandat actuel prendra fin en mars 2017. Le protocole d'entente comprend des dispositions visant à intégrer des partenariats supplémentaires à l'avenir.

Les effets du dendroctone du pin ponderosa demeurent particulièrement préoccupants dans l'Ouest canadien et les provinces et territoires non infestés s'inquiètent de la propagation et de l'établissement possibles de cette espèce dans leurs régions. Depuis que le DPP a franchi la barrière géoclimatique, une conscience aiguë des répercussions possibles pour les nouvelles forêts au nord et à l'est des montagnes Rocheuses, y compris pour les forêts composées de pins tordus latifoliés, de pins gris ou d'un mélange des deux, s'est établie. Des travaux de recherche récents ont montré que ces arbres « naïfs » constituent des hôtes convenables, sont moins résistants et davantage attirants pour le DPP, à un point tel que les faibles volumes de pin et la mauvaise connectivité de la forêt hôte pourraient ne plus constituer un aussi grand obstacle à la migration du DPP vers l'est (Burke et Carroll 2016, Clark et coll. 2014). Une évaluation du risque réalisée pour le CCMF en 2014 a révélé que, bien que les forêts situées à l'est de la Saskatchewan conviennent moins au DPP en raison de leur climat, la vulnérabilité de ces forêts aux infestations augmente (Nealis et Cooke 2014).

Pourquoi la propagation du DPP représente-t-elle un problème?

Le dendroctone du pin ponderosa, un ravageur indigène envahissant, représente un risque pour la forêt boréale et les forêts de pins de l'est ainsi que pour les services écosystémiques qu'ils offrent. Au cours des dernières années, le mouvement vers l'est du DPP en Alberta a été lent, un résultat des conditions climatiques peu favorables, de la faible connectivité des peuplements de pins dans une forêt hétérogène ainsi que des mesures de lutte. Ce « goulot d'étranglement » biogéoclimatique représente la possibilité et le moment idéaux pour confiner le DPP. Bien que la menace pour l'est du Canada ne soit pas imminente, le meilleur moment pour confiner l'infestation à un taux plus faible de propagation est maintenant.

Les coûts des mesures précoces ne représentent qu'une fraction des coûts associés à la gestion des infestations à grande échelle et des répercussions associées aux valeurs socioéconomiques et écologiques comme le carbone, les habitats essentiels, les valeurs récréatives et culturelles ainsi que les autres services écosystémiques. Les répercussions négatives de la poursuite de la propagation du DPP vers l'est sur le flux de produits et services provenant de la forêt boréale seraient généralisées, graves et durables. Une analyse effectuée pour le Groupe de travail sur les ravageurs forestiers du CCMF en 2009 a révélé que le coût moyen, si un seul ravageur envahissant s'établit au Canada au cours des 20 prochaines années, serait de l'ordre de 34 millions de dollars par année. Les auteurs estiment qu'une approche coopérative quant à la gestion du DPP mènerait à des bénéfices annualisés de l'ordre de 14 millions de dollars (Nelson et coll. 2009).

Les coûts pouvant être engagés en raison de l'absence de mesures précoces sont élevés. Les estimations de la Colombie-Britannique concernant uniquement les répercussions économiques, dans lesquelles les revenus à court terme découlant des niveaux de coupe plus élevés mènent actuellement à la réduction des possibilités annuelles de coupe, situent celles-ci à une réduction de 57 milliards de dollars du PIB et à une diminution de 90 milliards de dollars du bien-être économique, tel que calculé pour la période s'étalant de 2009 à 2054 (toutes selon la valeur actuelle) (Corbett et coll. 2015).

État actuel et tendances récentes

En Colombie-Britannique, les dommages causés par le DPP ont substantiellement diminué, à moins de 178 000 hectares en 2016 par rapport au sommet de 10 millions d'hectares en 2007, réduisant ou éliminant ainsi la possibilité d'une dispersion importante et sur de grandes distances vers l'Alberta, comme cela a été le cas en 2006 et en 2009. En Alberta, les résultats d'une étude sur la mortalité hivernale ont révélé que le taux de survie du DPP a été plus élevé en 2016 qu'au cours des deux hivers précédents. Cela est probablement dû à l'hiver doux et au printemps inhabituellement chaud. En raison de cette

tendance à la survie à l'hiver du dendroctone dans la majorité de son territoire actuel, il est très peu probable que les populations déclinent naturellement dans un avenir prévisible.

Dans la forêt boréale nordique, aucun autre repérage n'a été indiqué le long des frontières entre la Colombie-Britannique et le Yukon et entre les Territoires du Nord-Ouest et l'Alberta depuis le repérage positif qui avait été effectué sur la frontière entre les T.N.-O et l'Alberta en 2014. De la même façon, les populations se sont retirées du nord de la Colombie-Britannique, et le lieu d'infestation le plus près se trouve maintenant à 150 km de la frontière avec le Yukon. En 2016, des sites positifs ont été repérés en Alberta à l'est des sites repérés en 2015, notamment à l'intérieur du polygone de tir aérien de Cold Lake (Figure 1). Les sites positifs indiquent la présence du DPP, mais pas nécessairement la présence d'arbres attaqués avec succès. Historiquement, le climat le long du front d'invasion a entraîné un faible taux de recrutement et, par conséquent, n'a pas été favorable à une croissance de la population (Figure 2). Cependant, il existe toujours des exceptions à la règle, comme nous l'avons vu en 2016 (Figure 3), l'année après El Niño. Ces exceptions pourraient mener à des populations éruptives en présence de conditions favorables, comme celles décrites dans la **Partie IV**.

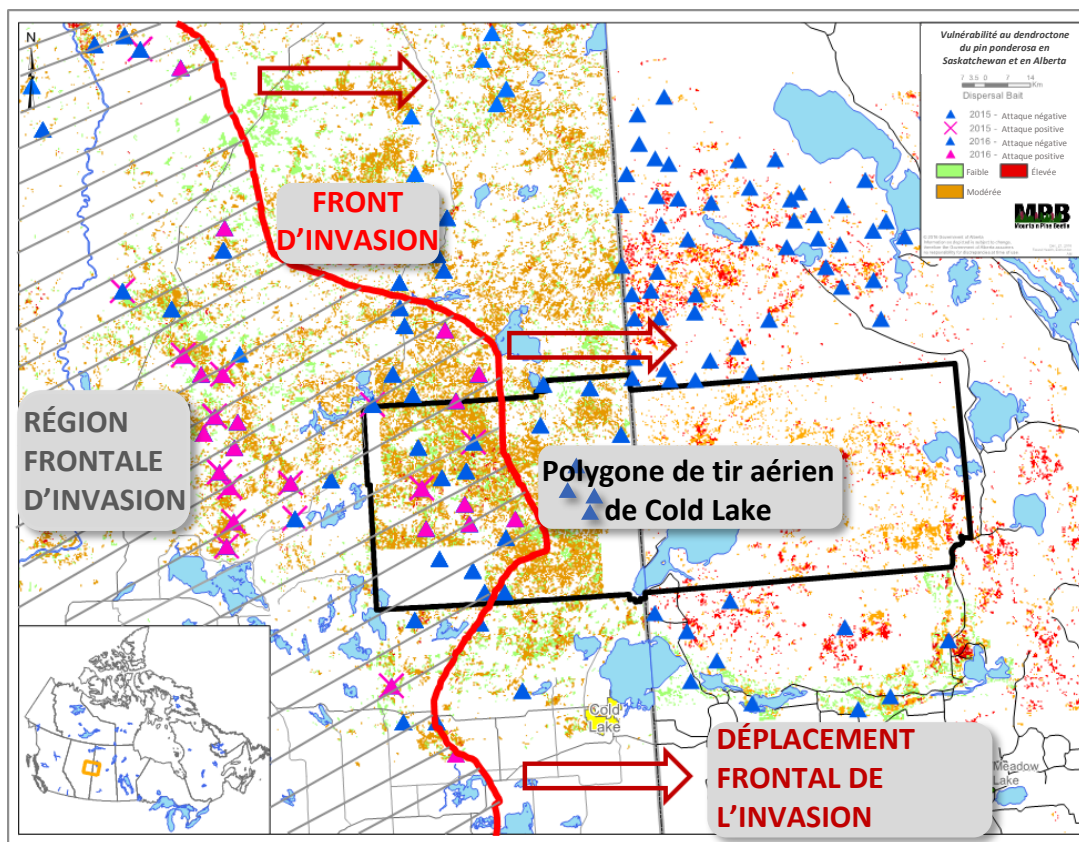


Figure 1. L'état actuel de l'incidence du DPP selon les repérages de dendroctones de 2015 et de 2016 à des sites de dispersion avec des arbres appâtés sur le front d'invasion en Alberta et en Saskatchewan.

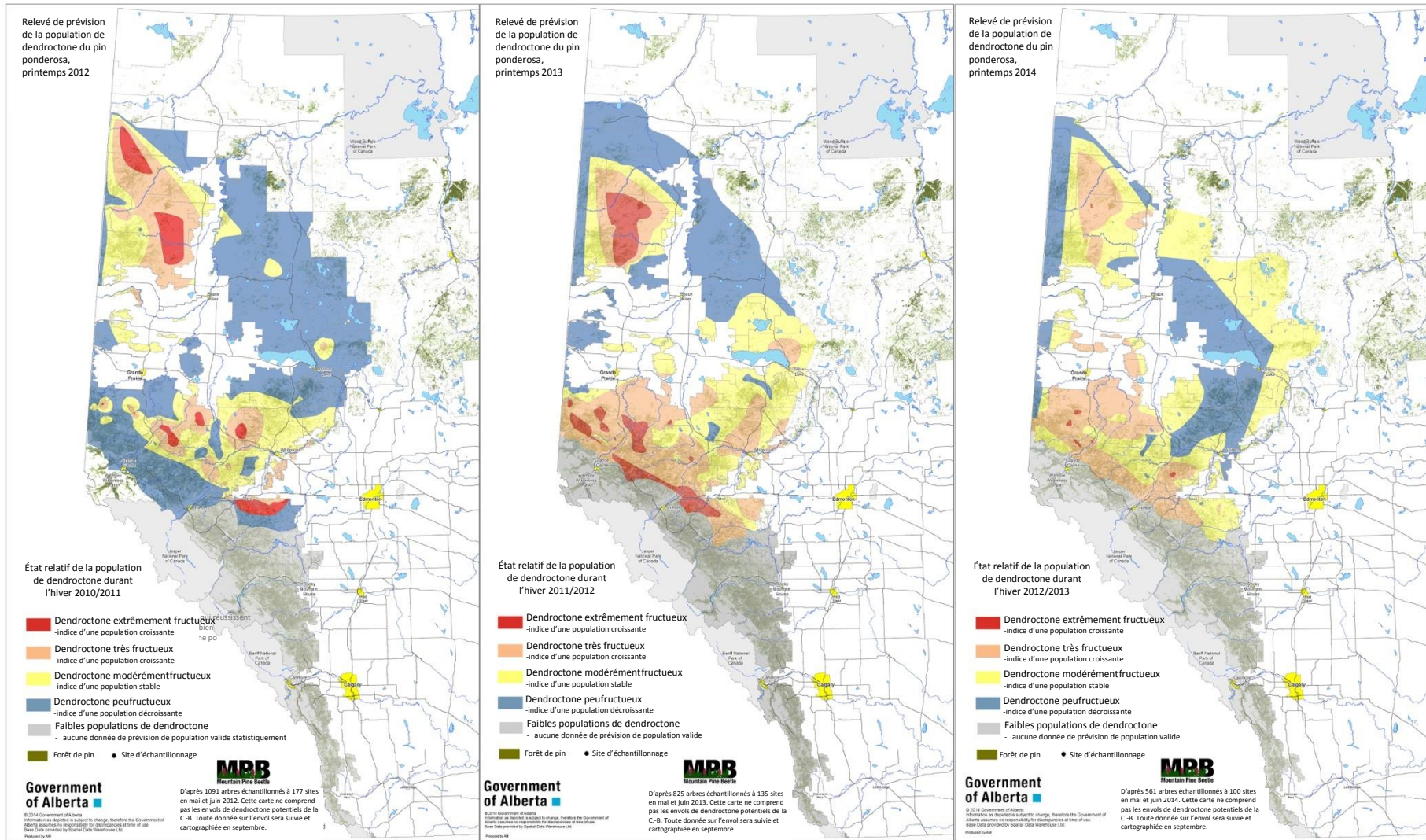


Figure 2. Taux de survie à l'hiver du DPP en Alberta fondé sur l'extrapolation de données ponctuelles recueillies à partir de sites d'échantillonnage de 2012 à 2014. La tendance générale a été à de faibles taux de croissance (R) le long du front d'attaque, ou le front d'invasion, à l'est. Remarquez également la faible connectivité des pinèdes et l'engorgement potentiel au niveau du front d'invasion. La tendance est semblable pour 2015.

Printemps 2016

Relevé de prévision
de la population de
dendroctone du pin
ponderosa

État relatif de la
population de
dendroctone

- Dendroctone extrêmement fructueux
- indice d'une population croissante
- Dendroctone très fructueux
- indice d'une population croissante
- Dendroctone modérément fructueux
- indice d'une population stable
- Dendroctone peu fructueux
- indice d'une population décroissante
- Faibles populations de dendroctone
- aucune donnée de prévision de population valide statistiquement
- Forêt de
- Site d'échantillonnage

Alberta
Government

© 2016 Government of Alberta
Information is depicted as subject to change, therefore the Government of
Alberta assumes no responsibility for discrepancies at time of use.
Maple Data provided by Spatial Data Warehouse Ltd.

Produced by AM

MPB
Mountain Pine Beetle

D'après 323 arbres échantillonnés à 63 sites en
mai et juin 2016. Cette carte ne comprend pas
les envols de dendroctone potentiels de la C.-
B. Toute donnée sur l'envol sera suivie et
cartographiée en septembre.

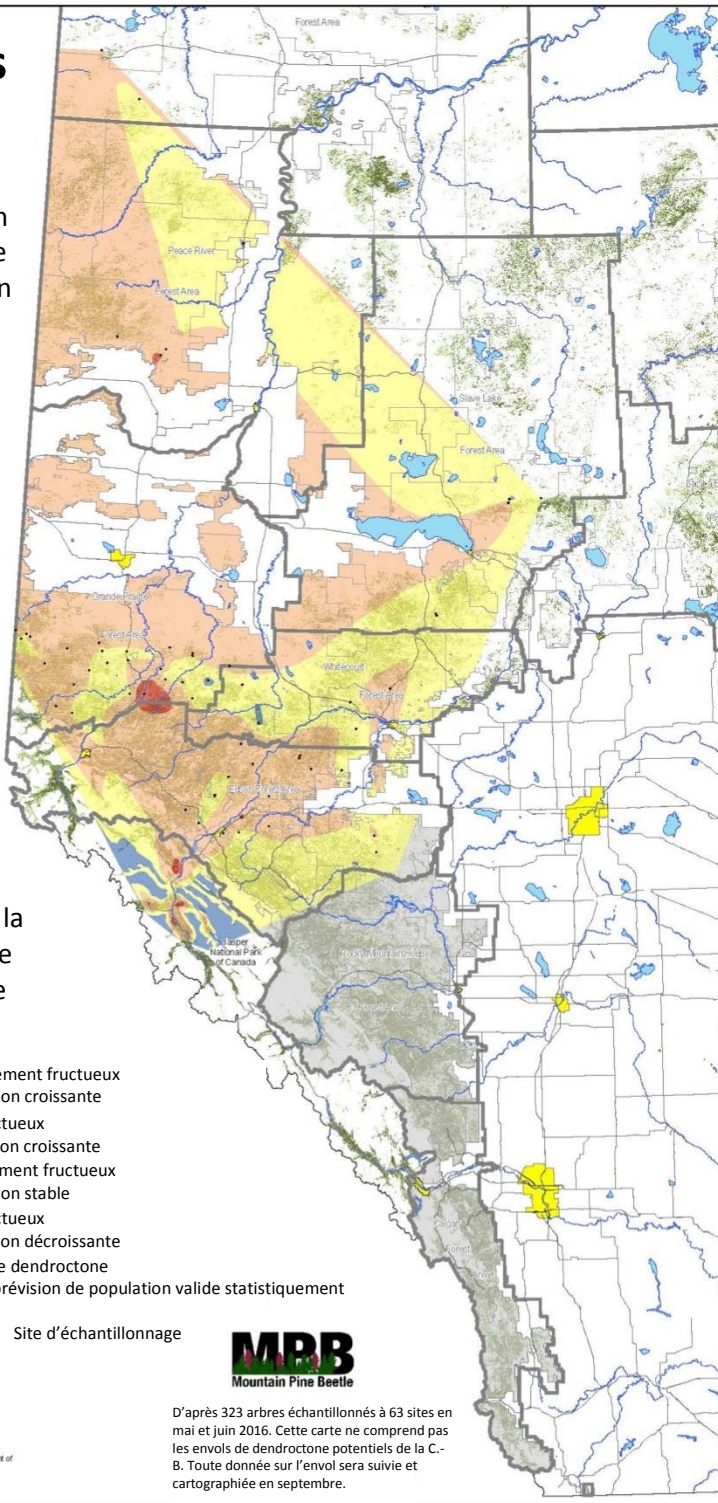


Figure 3. Taux de survie à l'hiver du DPP en Alberta fondé sur l'extrapolation de données ponctuelles recueillies à partir de sites d'échantillonnage en 2016. Remarquez combien de régions à faible succès (bleues) des années précédentes sont devenues des régions à succès moyen ou élevé (jaune ou marron clair).

Aperçu de l'approche de confinement stratégique proposée

Un confinement de grande étendue informée par un cadre de lutte adaptatif de la population pourrait contribuer au ralentissement de la propagation du DPP à l'échelle du Canada. L'approche proposée s'inspire de la théorie de la lutte contre le DPP appuyée sur des découvertes scientifiques, dont certaines s'appliquent aux nouveaux habitats. L'approche prend également en considération l'expérience collective et les connaissances acquises relativement à la lutte contre le DPP en Colombie-Britannique et en Alberta. L'intégration de ces découvertes à un cadre de gestion adaptative de la population est essentielle pour aider à ralentir la propagation du DPP à l'échelle du Canada, puisqu'elles prennent en considération le comportement observé du DPP dans de nouveaux habitats autant au niveau de son établissement que de sa propagation, l'efficacité des activités de lutte à ce jour et la reconnaissance des facteurs de stress qui influencent la croissance de la population. La communication de tous les aspects d'un programme de confinement du DPP est également essentielle, car elle aide à la sensibilisation et au ralliement du soutien pour les activités de lutte.

L'approche de confinement proposée comprend 4 zones de lutte : surveillance, éradication, suppression et adaptation. Les frontières sont évaluées tous les ans et ajustées en fonction de l'état du DPP et des facteurs prédisposants.

L'approche stratégique est intentionnellement non prescriptive; elle offre plutôt aux aménagistes forestiers un cadre afin de formuler leurs propres décisions. En tant que tel, aucun seuil de traitement absolu n'est suggéré, en raison du concept voulant que les seuils de traitement relatifs soient plus adaptatifs. Le traitement, comme tactique de réponse au DPP, correspond au retrait des arbres infestés avant que les dendroctones adultes ne s'envolent pour attaquer de nouveaux arbres. Le confinement du DPP comprend une large gamme de réponses tactiques possibles en fonction de l'état de la population à l'échelle de la région infestée. Il est attendu que les évaluations du risque en cours informeront les réponses opérationnelles pertinentes. L'approche de confinement proposée comprend quatre zones de réponses qui couvrent l'étendue des conditions et des objectifs rencontrés au sein d'une population éruptive envahissante, et comprend des mesures proposées pour surveiller, éradiquer, supprimer et adapter (Figure 4).

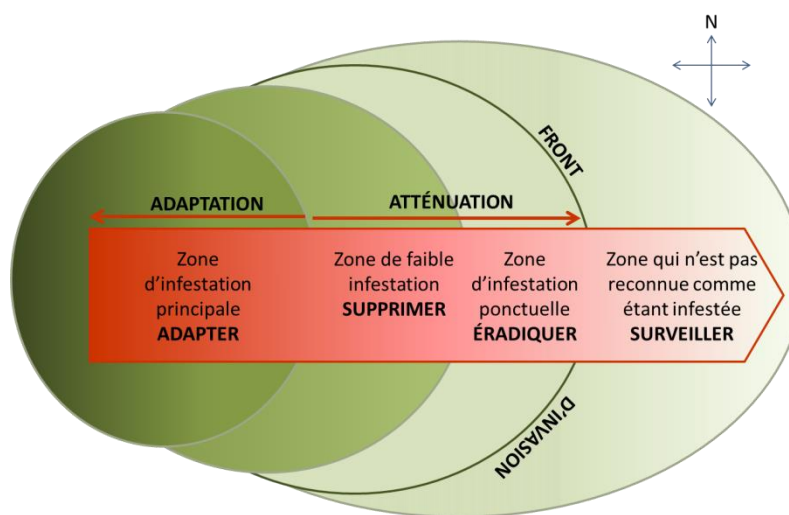


Figure 4. Représentation conceptuelle des zones de lutte par confinement à grande échelle.

Dans le cas du confinement à grande échelle, il est essentiel d'empêcher les populations fondatrices sur le front d'invasion de s'établir et de présenter une éruption. Dans ce cas, en présumant que les budgets de contrôle sont relativement petits par rapport à l'ampleur de la menace, l'attribution optimale des efforts de contrôle est inversement proportionnelle à l'ampleur de la menace. Actuellement, la majorité des activités de contrôle effectuées par le gouvernement de l'Alberta se concentrent sur la suppression des populations locales de l'ouest de l'Alberta, où le risque et le danger sont les plus grands, alors que le SMAC se concentre sur le confinement à grande échelle au front d'invasion dans l'est de l'Alberta, où les populations et les volumes de pins sont faibles.

Principaux éléments

Importance de mesures précoces et soutenues

Une approche de confinement stratégique du DPP, caractérisée par des mesures précoces, soutenues et agressives, s'est révélée essentielle au ralentissement de la propagation, en l'absence de migrations importantes. Ceci a été démontré maintes fois par les mesures de lutte du gouvernement de l'Alberta ainsi que par le programme de ralentissement de la propagation de la spongieuse *Slow the Spread* aux États-Unis. Le défi auquel font face les gestionnaires de la lutte contre les ravageurs forestiers se trouve au niveau de l'obtention de ressources suffisantes pour la lutte au front d'invasion lorsque la menace ou le risque ne sont pas explicitement présents dans l'environnement. Le concept de retirer les arbres infestés lorsque la population de dendroctones est basse est comparable à éteindre les foyers d'incendie disséminés avant qu'ils ne fusionnent. Ainsi, le retrait des petites populations qui pourraient alimenter l'infestation est essentiel pour ralentir la propagation. Ceci est particulièrement vrai pour le DPP dans de nouveaux habitats, car la naïveté des pins et les conditions climatiques favorables pourraient permettre des populations éruptives en un an. En raison de la possibilité d'un tel comportement éruptif, le retrait du risque (p. ex., le retrait des arbres infestés lorsque les populations sont peu élevées, à des niveaux endémiques ou préendémiques) mène au confinement des populations existantes et représente une option rentable autant à court qu'à long terme.

L'importance des mesures continues en Alberta

Depuis 2006, le gouvernement de l'Alberta a réussi à ralentir la propagation du DPP grâce à une suppression continue des populations sur le flanc arrière et, depuis 2011, grâce au confinement le long du front d'invasion dans le cadre du partenariat entre l'Alberta et la Saskatchewan appliqué par le SMAC. La réussite du confinement sur le front d'invasion dépend des mesures continues de lutte agressive de l'Alberta.

Comprendre les facteurs influençant la croissance de la population

Cette approche de confinement stratégique exige une compréhension des facteurs qui influencent la transition d'endémique à épidémique, ou plus précisément, le seuil éruptif. Le principe sous-jacent est que le taux de retrait des arbres infestés doit être supérieur au taux de croissance de la population de DPP pour que les mesures de lutte soient efficaces. La réussite du traitement est déterminée par la densité de l'infestation dans l'environnement. Les traitements les plus efficaces sont effectués lorsque la densité de l'infestation et les taux de croissance de la population sont faibles; la combinaison de ces deux facteurs détermine également le niveau de réponse du programme. En effet, la compréhension de tous les facteurs qui influencent les seuils éruptifs aide les gestionnaires de la lutte contre les ravageurs forestiers à prendre des décisions éclairées relativement aux stratégies et aux tactiques adaptées, à déterminer les batailles qui peuvent être gagnées et, par la suite, à prendre des décisions rentables. Ces facteurs de risque sont décrits plus en détail dans la **Partie IV**, l'Aspect scientifique du contrôle de la propagation du DPP.

Le principe sous-jacent du confinement est que le taux de retrait des arbres infestés doit être supérieur au taux de croissance de la population de DPP pour que les mesures de lutte soient efficaces, et la réussite est déterminée par la densité de l'infestation dans l'environnement. Les traitements les plus efficaces, ainsi que ceux qui offrent les meilleures chances de succès, sont effectués lorsque les populations sont basses et que les conditions climatiques sont peu favorables.

Lutte adaptative

En raison de l'incertitude associée au DPP dans de nouveaux habitats, la lutte adaptative est recommandée afin de permettre aux gestionnaires de la lutte contre les ravageurs forestiers de prendre des décisions de traitement qui prennent en considération tous les facteurs qui pourraient toucher les taux de recrutement du DPP, plutôt que d'adopter un seuil de traitement prescriptif. La lutte adaptative assure également que les efforts de lutte sont évalués et ajustés tel que nécessaire afin d'atteindre les objectifs de lutte, que les incertitudes sont identifiées et promues à titre de besoins de recherche et que la nouvelle recherche est évaluée et envisagée comme ajout aux futurs plans de réponse. Les principes et l'approche sont décrits dans l'Annexe 2 afin d'aider à cet égard.

Connaissances en matière de lutte

Tenir compte de la science et des connaissances acquises

Une approche de confinement stratégique devrait intégrer la science et les connaissances acquises de la Colombie-Britannique et de l'Alberta, qui comprennent les éléments relatifs aux politiques, à la planification et à la stratégie, aux communications et à la collaboration, et à la lutte contre le DPP, y compris les problématiques ou contraintes relatives aux ressources. L'Annexe 1 résume ces connaissances et devrait servir de ressource précieuse dans le cadre de la lutte contre le DPP.

Connaissances acquises

1. Le DPP peut être contrôlé à l'aide de mesures de réponse précoces, agressives et soutenues lorsque les conditions sont adéquates, ce qui comprend l'absence d'une migration.
2. Les dynamiques du DPP dans de nouveaux habitats sont telles que de légers changements aux conditions environnementales peuvent entraîner l'apparition de populations éruptives.
3. Les estimations préliminaires des taux de repérage au sol du DPP relatifs aux attaques au stade vert dans les pins tordus latifoliés en Alberta se situent à environ 65 % (Carroll et coll. 2016).
4. Les estimations préliminaires de Carroll et coll. (2016) des résultats des efforts de contrôle du DPP sur des arbres isolés dans des peuplements homogènes de l'ouest de l'Alberta ont révélé que ceux-ci sont relativement efficaces, p. ex., avec un taux de contrôle de 41 %. L'efficacité : 1) varie d'une année à l'autre en fonction de la migration; 2) augmente auprès des petites populations dans les climats plus froids; et 3) peut être augmentée proportionnellement à une augmentation des efforts de repérage des attaques au stade vert et des niveaux de traitement.
5. Les forêts saines dans lesquelles le DPP semble contrôlable peuvent devenir incontrôlables lorsque les arbres subissent un stress causé par l'humidité.
6. Si le taux de contrôle n'est pas supérieur au taux de croissance de la population, vous perdrez lentement le contrôle et gaspillerez de l'argent. Il est important de suivre le rythme de croissance des populations, mais également de savoir quand arrêter.
7. Il faut être très attentif aux seuils éruptifs et climatiques et établir le seuil de tolérance des dommages en fonction des biens exposés au risque, y compris les biens exposés au risque en aval.
8. Il faut identifier les engorgements dans l'environnement, particulièrement ceux dont les conditions climatiques sont peu favorables ou qui présentent une faible connectivité. Il faut considérer ceux-ci comme des champs de bataille pour réduire la population à des niveaux situés sous les seuils d'éruption ou pour les éliminer entièrement.
9. Il faut souligner l'importance des activités de repérage et de contrôle précoces, agressives et soutenues. Il faut envoyer des messages clairs et cohérents, notamment : « si vous n'agissez pas de façon précoce, il sera trop tard ».
10. Il faut résoudre les contraintes législatives et foncières avant l'introduction et la propagation du DPP.
11. L'obtention du financement est plus facile lorsque les valeurs exposées au risque et les avantages de l'investissement sont clairement définis. Ceci peut être plus difficile pour les valeurs non ligneuses en raison de l'absence de données économiques.
12. Il faut reconnaître que le cycle de vie du DPP ne correspond pas au cycle de financement du gouvernement.
13. Il faut garantir l'intégrité des données par le biais de procédures normalisées, d'un entrepôt de données centralisé et de contrôles de la qualité.

Partie II : Confinement – La lutte contre le DPP en pratique

Attribution des ressources et prise de décisions

En Colombie-Britannique et en Alberta, des zones de lutte ayant des cibles de traitement distinctes sont utilisées afin de faciliter l'attribution des ressources et la lutte contre le DPP. Ces zones sont révisées annuellement en fonction de la capacité à atteindre les conditions souhaitées selon l'état du DPP, le financement et la disponibilité des ressources. Dans la zone de lutte le long du front d'attaque situé en Alberta et au sein des unités de gestion de suppression du dendroctone en Colombie-Britannique, l'objectif est le retrait de 80 % des sites prioritaires, alors que dans la zone active d'infestation, la cible de retrait se chiffre plutôt entre 50 et 80 %. En Alberta, les sites prioritaires pour le traitement sont déterminés par le biais d'un système de soutien décisionnel (SSD) qui s'appuie sur la combinaison du

nombre potentiel d'attaques au stade vert, de la cote de susceptibilité du peuplement et, finalement (avec une influence minime) de la cote de connectivité du peuplement. De ce fait, un plus grand nombre d'arbres infestés est traité sur le flanc arrière, où la présence du DPP, les ressources en pins et la connectivité sont beaucoup plus importantes que dans les environnements hétérogènes du front d'invasion abritant moins de dendroctones et de plus faibles volumes de pin. Le programme SMAC cible les populations du front d'invasion lorsque le niveau d'infestation (X) et les taux de recrutement (R) sont faibles, ce qui augmente grandement les chances de réussite de la suppression et du confinement. En raison du processus utilisé par le programme SMAC, les seuils de traitement ont été abaissés afin d'inclure des sites situés sur le front d'invasion que la Saskatchewan considère comme étant à haut risque.

Lutte adaptative

La déviation récente des cibles et des seuils de traitement par le programme SMAC sur le front d'invasion démontre que les cibles absolues pourraient ne pas être adaptées au contrôle préventif de la propagation. Nous vous rappelons que pour que le ralentissement soit réussi, le taux de retrait (P) doit être supérieur au taux de recrutement (R) et est le plus efficace lorsque les niveaux d'infestation (X) sont bas. Un processus de prise de décision adaptatif, plutôt que prescriptif, est ainsi essentiel puisqu'il permet la reconnaissance du rôle des facteurs de stress prédisposants des hôtes, indépendamment de l'homogénéité et de la connectivité, ce qui entraîne des modifications du taux de recrutement du DPP. Les principes et l'approche de lutte adaptative sont décrits dans l'Annexe 2.

Cadre de lutte contre la population

La difficulté de la lutte contre des populations de ravageurs est le lancement des activités adéquates au bon moment avec un niveau d'effort suffisant pour obtenir le résultat désiré ainsi que la mesure du rendement par rapport au résultat anticipé. La figure 5, tirée de Carroll et coll. (2016), illustre comment le DPP peut être contrôlé grâce à un horaire intégré comprenant l'évaluation du risque, le repérage, le contrôle et l'évaluation du programme. Elle indique « qui, quand et comment » et inclut tous les aspects du cadre de lutte contre la population. Il s'agit du cadre utilisé en Alberta. La lutte contre le DPP dans le respect des budgets exige qu'une attention particulière soit portée au potentiel d'éruption, c'est-à-dire au fait que de petits changements aux conditions environnementales peuvent entraîner des changements substantiels quant à la croissance de la population (R). Ceci aidera à garantir que les seuils de réponse sont judicieusement choisis et qu'ils prennent en considération tous les facteurs décrits dans l'aspect scientifique du contrôle de la propagation du DPP (Partie IV).

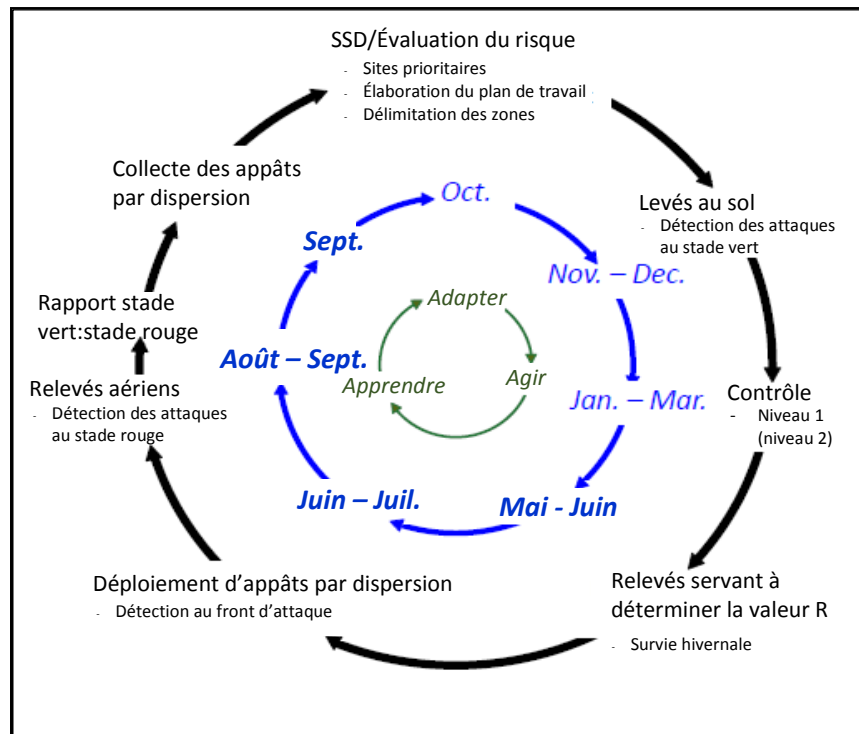


Figure 5. Cadre de gestion de la population de DPP relatif aux activités de lutte et à la lutte adaptative.

Principaux éléments

Trente-cinq éléments principaux ont été identifiés comme étant des facteurs qui influencent la prise de décisions rentables relatives à la lutte contre le DPP dans le cadre de gestion de la population (CGP). Ces facteurs sont tirés de modèles existants ainsi que des nouvelles découvertes en recherche et comprennent ceux relatifs à la biologie du DPP, à l'état et au risque des populations, aux caractéristiques des arbres et des peuplements, aux variables climatiques ainsi qu'aux aspects socioéconomiques (Tableau 1). Un CGP décrit le risque relatif aux populations et détermine où le risque peut être atténué de façon rentable.

Tableau 1. Principaux éléments du cadre de gestion adaptative de la population et comparaisons avec les modèles existants.

	Modèles existants		
	SSD de l'Alberta	Shore et Safranyik (1992)	Plateforme SELES pour le DPP
Caractéristiques du peuplement			
Pourcentage de pins (par volume; par région)	Oui		Oui
Âge du tronc (années)	Oui	Oui	Oui
Surface terrière de l'hôte (m ² /ha)	Oui	Oui	Oui
Hauteur de l'arbre (m)	Oui		Oui
Densité du peuplement (troncs/ha)	Oui	Oui	Oui
Volume marchand de xylème (m ³ /ha)			Oui
Volume de phloème (m ³ /ha)			
Diamètre à hauteur de poitrine (DHP)			Oui
Connectivité à l'échelle du paysage (couverture de la forêt dans certains territoires étendus)	Oui		
Populations de ravageurs			
Taux de croissance d'une génération de la population (valeur-R = rapport des populations émergentes/entrant sur le territoire) – Modèle potentiel de la valeur r calculée de l'UBC			Oui
Variation interannuelle du taux d'infestation (ratio R-V; attaques sur des arbres rouges vs sur des arbres verts)	Oui		Oui
Nombre d'attaques au stage rouge (par regroupement; par unité de surface)	Oui		Oui
Densité d'attaque du DPP (galeries/m ²)			
Hauteur de l'attaque massive (m)			
Quantité d'ennemis naturels			
Pression exercée par le ravageur			
Distance de la source	Oui	Oui	Oui
Taille de la source (projection des attaques potentielles au stade vert sur certains territoires)	Oui	Oui	Oui
Facteur de dispersion sur de courtes distances			Oui
Facteur de dispersion sur de longues distances ¹			Oui ⁷
Mortalité associée à la dispersion			Oui
Indices intégrés de l'adéquation du climat			
Safranyik et coll. (1975) - toute saison (S)			Oui
Logan et Powell (2001) - saisonnalité en été (L)			
Regnière et Bentz (2009) - survie à l'hiver (R)			
Safranyik et coll. (2010) - indice composé (S*L*R)			
Regnière et coll. (2015) - indice intégré (iMod DPP)			
Variables géographiques			
Aspect			
Élévation (m)	Oui	Oui	Oui
Latitude		Oui	Oui
Longitude		Oui	Oui
Éléments économiques			
Rendement des investissements (RI)			
Point de transition entre les mesures d'atténuation et d'adaptation			
Analyse coûts-avantages (ACA)			

Modèles dynamiques d'équilibre général de l'économie calculables à l'échelon régional			
Taux d'actualisation social			
Évaluation des services de l'écosystème qui sont mis à risque (bois d'œuvre, carbone, biodiversité, pureté de l'eau, loisirs)	Oui		

¹ Dispersion sur une longue distance à l'échelle d'une région destinée à l'approvisionnement en bois d'œuvre, c.-à-d. entre 1 et 2 millions d'hectares.

Zones de lutte

L'approche de confinement stratégique du DPP comprendrait une large gamme de réponses tactiques en fonction de l'état de la population dans la région infestée; essentiellement, l'évaluation du risque informe la réponse au risque.

Un modèle de réponse à quatre zones est le minimum requis pour couvrir l'étendue des conditions et des objectifs rencontrés auprès des populations éruptives envahissantes et comprend la surveillance, l'éradication, la suppression et l'adaptation (Tableau 2). Ces zones reconnaissent : 1) la possibilité d'éradication qu'offrent les contraintes relatives au climat et à l'hôte dans l'engorgement entre l'Alberta et la Saskatchewan, 2) les économies d'échelle et 3) le potentiel de comportement éruptif lorsque les conditions sont favorables le long du front d'invasion.

Cette approche est essentiellement celle adoptée par le programme SMAC depuis quelques années sur le front d'invasion entre l'Alberta et la Saskatchewan et la surveillance intensive à l'avant du front d'invasion fait partie intégrante du programme de lutte contre le DPP de l'Alberta depuis sa création et continue maintenant vers la Saskatchewan. De la même manière, le Yukon et les Territoires du Nord-Ouest ont lancé des programmes de surveillance le long de leur frontière avec la Colombie-Britannique et l'Alberta.

Tableau 2. Zones de lutte contre le dendroctone du pin ponderosa proposées (réponse au risque) en relation avec le risque et la capacité à réduire les populations.

Évaluation du risque (capacité à atténuer)	Réponse au risque
Inutile	Surveillance
Possible	Éradication
Difficile	Suppression
Impossible	Adaptation

Les 4 zones de lutte représentées dans la Figure 6, qui illustrent la relation entre l'intensité de l'infestation du paysage (X) et les taux de recrutement du DPP (R), sont décrites ci-dessous :

Surveillance (vert pâle; endémique) : utilisation de tactiques de surveillance à l'avant du front d'invasion afin de repérer de nouvelles introductions.

Éradication (vert; préendémique) : utilisation de tactiques de suppression limination dans les régions où le DPP est établi et présente un niveau de propagation faible ou mineur, p. ex., préendémique, pour réduire les niveaux sous les seuils éruptifs.

Suppression (marron clair; préépidémique) : utilisation de tactiques de suppression pour réduire la propagation dans la zone d'éradication dans les régions qui présentent des populations établies et en propagation, p. ex., préépidémique.

Adaptation (rouge; épidémique) : l'objectif est de sauver le bois, sans aucune activité de lutte contre le dendroctone autre que l'amélioration de la future résilience de la forêt au DPP.

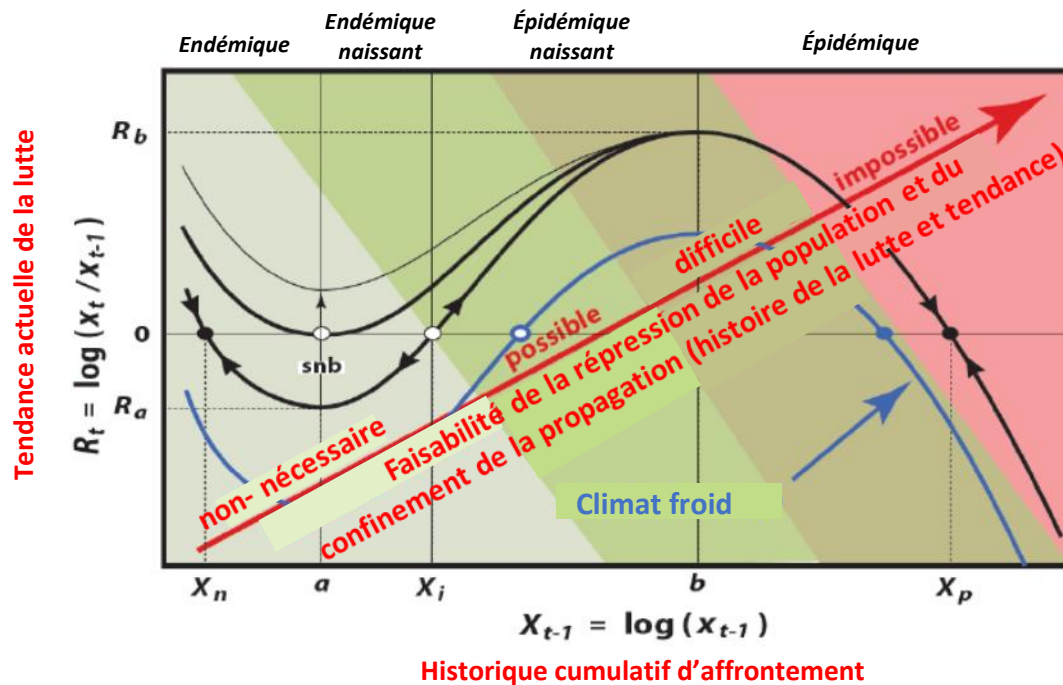


Figure 6. Relation entre l'intensité de l'infestation du paysage (X) et les taux de recrutement du DPP (R) ainsi que le besoin de se tourner vers différentes tactiques en fonction du gradient d'invasion d'un X et un R faibles à un X et un R élevés. L'abréviation « snb » (bifurcation nœud-col) équivaut à une épidémie. La bifurcation entraîne un changement subtil de l'état d'équilibre et les populations quittent alors leur état endémique. Les cercles fermés indiquent un équilibre stable. Les cercles ouverts indiquent un équilibre instable. Lorsque les points d'équilibre stable et instable se rencontrent, ils fusionnent et deviennent un, puis subitement zéro. À ce moment, le processus entre en éruption et le seul état d'équilibre stable est l'épidémie.

Les frontières des zones devraient être révisées annuellement, en fonction de l'état des populations comme décrit dans la Partie IV, afin d'assurer que les tactiques et les niveaux de lutte sont adaptés au niveau des populations et à la capacité à atteindre les objectifs souhaités; les efforts de lutte devraient être dirigés vers les batailles qui peuvent être gagnées. Les zones de lutte possibles en fonction de l'état actuel du DPP sont représentées dans la Figure 7. Lors de la détermination des frontières de la zone, il est essentiel que les taux de recrutement et la densité d'infestation soient tous deux pris en considération afin d'éviter les batailles inutiles, d'entamer des batailles qui peuvent être gagnées et d'éviter celles qui ne peuvent l'être (c.-à-d. dont le coût est prohibitif). Dans un climat frais (courbe bleue), une plus grande proportion des batailles peuvent être gagnées puisque moins d'efforts sont nécessaires pour atteindre un objectif donné (Figure 6).

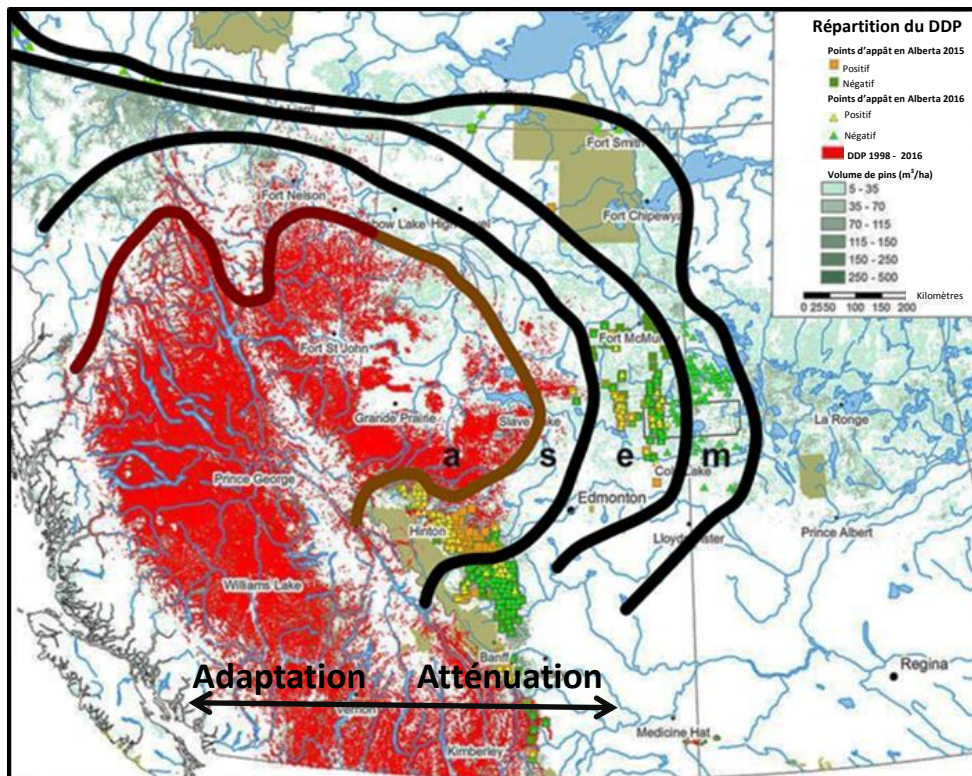


Figure 7. Frontières possibles de la zone de gestion de confinement à titre de fonction du risque actuel du DPP et du danger pour les pins ainsi que de leur connectivité. Où m = zone de surveillance, e = zone d'éradication, s = zone de suppression et a = zone d'adaptation

Outils et tactiques de lutte

La lutte contre le DPP peut être réalisée grâce à des stratégies et des tactiques à court terme axées sur le dendroctone qui visent à réduire ou à éliminer les populations de DPP, ou grâce à des stratégies et des tactiques à long terme axées sur la forêt qui visent à réduire la susceptibilité à l'échelle du paysage (c.-à-d. lutte contre le dendroctone vs gestion de l'hôte). En Colombie-Britannique, où le DPP est un ravageur indigène, les actions sont centrées sur la suppression à court terme des populations existantes par le biais de programmes de traitement agressif fortement soutenus par une récolte d'assainissement directe effectuée par l'industrie, en plus des stratégies préventives à long terme comme la réduction du risque et la modification de la structure forestière par l'entremise de la création de mosaïques de peuplement selon l'âge et l'essence à l'échelle du paysage. En Alberta, où le DPP est considéré comme un ravageur indigène envahissant, la lutte initiale visait l'éradication, mais s'est dirigée vers la suppression et la prévention à la suite des migrations massives de 2006 et 2009. Le long du front d'attaque de l'est, ou du front d'invasion, les efforts collaboratifs des gouvernements de l'Alberta et de la Saskatchewan dans le cadre du programme SMAC sont axés sur l'éradication des populations à haut risque et la vaste surveillance.

Le choix des tactiques devrait correspondre aux objectifs des zones de lutte qui, dans ce cas, sont des tactiques à court terme en raison de l'objectif de confinement. Le choix des tactiques devrait également être influencé par les allocations budgétaires annuelles. Le cadre de lutte contre les populations (Figure 5) présente un aperçu du cycle de planification et de lutte, incluant les types de levés et le moment de leur

réalisation. Les gestionnaires de la lutte contre les ravageurs forestiers sont invités à communiquer avec les régions qui luttent actuellement contre le DPP (la Colombie-Britannique et l'Alberta) afin d'obtenir de plus amples renseignements sur les détails des levés, puisque ces derniers constituent les sources d'information les plus récentes en matière de protocoles de levés, de manuels et de guides, y compris ceux qui s'appliquent au contrôle de la qualité. La plupart de ces documents sont également mis à la disposition des membres enregistrés dans la section des références du Système d'information de la Stratégie nationale de lutte contre les ravageurs forestiers. D'autres sources d'information pour la surveillance et le repérage comprennent Wulder et coll. (2006) et Carroll et coll. (2006) sur la théorie et la pratique du contrôle direct.

Surveillance et repérage

Levés aériens

Les **levés aériens de base** correspondent aux levés aériens effectués à partir d'un aéronef à voilure fixe et présentent un aperçu des infestations sur une échelle approximative. Il s'agit de la forme de surveillance la plus simple et la plus rentable, mais ce *n'est pas* efficace pour les populations à faible densité du front d'invasion en raison de la résolution des levés. Les attaques au stade rouge du DPP sont enregistrées sur des croquis cartographiques imprimés ou sur une tablette numérique. Les agents prédisposants, comme les sécheresses, les inondations ou le feu devraient également être cartographiés. En Colombie-Britannique ainsi que dans plusieurs autres provinces, le levé aérien représente un outil standard de surveillance pour tous les agents perturbateurs détectables par avion.

Les **levés aériens améliorés** correspondent aux levés effectués par hélicoptère avec un système GPS qui indiquent plus précisément l'emplacement des infestations afin de réaliser des évaluations sur le sol et conviennent aux zones de suppression, d'éradication et de surveillance.

Levés au sol

Les levés au sol complètent les levés aériens et sont généralement entrepris pour surveiller la présence ou l'absence grâce à des programmes d'appâts, pour prévoir les tendances des populations et pour repérer les nouvelles attaques au stade vert afin de prioriser les mesures de lutte.

Appâts de dispersion

Les appâts de dispersion sont utilisés pour repérer et surveiller les populations à l'avant du front d'invasion et sont effectués à l'aide d'appâts de phéromones disponibles sur le marché qui sont attachés à un arbre hôte. L'Alberta, la Saskatchewan, le Yukon et les Territoires du Nord-Ouest utilisent cette tactique sur le front d'attaque de l'infestation actuelle, et à l'avant de ce dernier, et utilisent des protocoles cohérents afin d'établir un réseau de sites d'arbres appâtés. En Alberta et en Saskatchewan, les sites appâtés sont répartis au rythme d'un par canton et dans les territoires, le long des couloirs routiers du sud situés près de la limite nordique de l'infestation du DPP. Les appâts sont déployés avant la migration du dendroctone à la fin juin, puis sont surveillés et recueillis après la migration de septembre. Tous les appâts des arbres doivent être rapatriés et comptabilisés à ce moment. Le nombre de sites d'appâts ne devrait pas dépasser la capacité à gérer les résultats et, plus ils sont accessibles, plus il sera facile de les surveiller.

En Alberta, les arbres sont considérés avoir été attaqués avec succès si plus de 40 tubes de résine sont présents sur un arbre et qu'une colonie vivante est présente sous l'écorce. Cependant, toute attaque du dendroctone (même si elle est unique) sur l'arbre appâté est considérée comme une « présence » du dendroctone dans la région. Les arbres attaqués avec succès doivent être retirés avant la migration du dendroctone.

Nettoyage

Cette forme de surveillance consiste généralement en la répartition d'appâts dans une zone traitée contre le DPP afin de surveiller la présence de DPP non détectée ou la migration à partir de terres adjacentes non aménagées. Comme pour les appâts de dispersion, les arbres attaqués avec succès doivent être retirés avant la migration du dendroctone.

Prévisions sur les tendances de l'évolution des populations

Levés de la valeur r au printemps

Ces levés sont effectués au début du printemps et déterminent le nombre de larves par femelle ayant survécu à l'hiver, d'une génération à l'autre et fournissent une indication de l'état de la population, c.-à-d. en croissance, en décroissance ou statique. Puisque ces levés sont effectués au début du printemps, ils pourraient représenter une indication plus précise de l'état des populations que les levés visant à déterminer l'IRV qui ont lieu à l'automne, en raison de l'intégration de facteurs comme la mortalité hivernale et la prédation. De plus, les levés du printemps fournissent une indication plus précise de la « vraie » productivité que les rapports de l'IRV, puisqu'ils ne tiennent pas compte des migrations.

Levés de l'IRV ou délimitations de l'attaque au stade vert, effectués à l'automne

À la suite des levés aériens des attaques au stade rouge, des levés sont effectués sur les sites d'attaque au stade rouge afin de déterminer les tendances d'évolution de la population ainsi que la possibilité d'une migration. Ceci est réalisé en déterminant le rapport d'attaques au stade vert comparativement aux attaques au stade rouge. Des levés sous forme de bandes ou de cercles concentriques de 50 m sont utilisés, selon le niveau de l'attaque au stade rouge; les levés sous forme de bandes sont plus rentables dans les régions plus fortement infestées.

Contrôle mécanique ou sémiochimique

Retrait d'un ou de plusieurs arbres

Les arbres nouvellement attaqués au stade vert repérés lors des levés au sol à l'automne doivent être retirés avant la migration du dendroctone de l'année suivante. Cette tactique consiste à abattre les arbres infestés, puis à les empiler et les brûler, les déchiqueter ou les écorcer.

Récolte par petites zones

La récolte par petites zones est une option viable lorsqu'elle est faisable, p. ex., qu'une scierie est déjà active ou un titulaire de permis est déjà actif dans la région. Celle-ci est le plus souvent utilisée lorsque le retrait d'un seul arbre n'est pas faisable ou n'est pas efficace en raison de la taille. Il faut assurer que toutes les attaques au stade vert sont repérés afin d'éviter des introductions continues dans le peuplement. Cela pourrait entraîner une grande ouverture qui aurait pu être gérée plus efficacement grâce à une récolte à plus grande échelle.

Appâts de confinement

Si le retrait de arbres attaqués au stade vert ne peut être effectué avant la migration du dendroctone pour une raison quelconque, la répartition d'appâts dans une région, selon un schéma de grille ou par site, afin de contenir la population émergente de dendroctones devrait être envisagée. Les régions dans lesquelles les appâts sont répartis selon un schéma de grille représentent des candidats idéaux pour la récolte à petite échelle ou par petites zones, alors que la répartition des appâts par site d'arbres infestés est utilisée dans les régions où le retrait d'arbres uniques sera adopté comme méthode de contrôle.

Contrôles réglementaires

Déplacements du bois et réglementation relative au traitement

Les directives ou les règlements relatifs au déplacement du bois peuvent être utilisés pour limiter la probabilité d'introduction du DPP par le biais du transport ou de l'importation du bois d'une région à l'autre. Ceux-ci peuvent s'appliquer au déplacement ou à l'importation de billes de pin brutes d'une région à l'autre ou d'un pays à l'autre, ou au déplacement, à l'entreposage et au traitement du bois infesté par le dendroctone dans une région infestée. L'Alberta et la Saskatchewan ont toutes deux adopté des réglementations relativement à l'importation, au transport et à l'entreposage des produits forestiers du pin à l'intérieur de leur province respective.

Coûts de la lutte contre le DPP

L'Alberta et la Colombie-Britannique ont toutes deux un programme de gestion du DPP très élaboré qui comprend du personnel dévoué à la santé de la forêt afin de soutenir le programme relatif au DPP, en plus d'une réserve de sous-traitants qualifiés. L'*Alberta Agriculture and Forestry* (AAF) compte sur un personnel permanent et saisonnier ainsi que sur des sous-traitants pour effectuer différentes activités qui font partie du programme. Les coûts associés aux activités réalisées dans le cadre du programme de gestion du DPP de l'AAF varient annuellement en fonction de différents facteurs; cependant, des tendances de financement émergent dans une perspective à moyen et long terme. La Figure 8 résume les coûts de la lutte contre le DPP pour toutes les zones de lutte de l'Alberta depuis 2009.

Les activités directes de lutte contre les populations, qui comprennent les levés d'évaluation, les levés d'attaques au stade vert, les traitements de niveau 1 (abattage et brûlage, ainsi que certains traitements mécaniques) et les inspections de qualité sont responsables de 61 % des coûts globaux du programme. Des quatre activités directes de gestion des populations, les traitements de niveau 1 représentent 59 % du montant total. Les coûts varient selon le niveau d'infestation et, en 2015, se chiffraient à une moyenne de 12 300 \$/100 km² pour les infestations légères et de 395 800 \$/100 km² pour les fortes infestations (Tableau 3).

Coûts estimés pour le front d'invasion

Les infestations le long du front d'invasion seront probablement « légères », mais les coûts qui y sont associés pourraient être plus élevés que ceux indiqués dans le Tableau 3 puisque la majorité du travail à ce jour en Alberta a été effectué dans des régions accessibles par route ou par traîneaux. Les sites accessibles seulement par hélicoptère entraîneront des coûts largement plus élevés en raison du coût associé aux hélicoptères et pourraient représenter la réalité au Yukon, aux T.N.-O. et en Saskatchewan. Le nombre de sites visités par jour pourrait également être plus bas en raison de la dépendance aux hélicoptères, qui pourraient être ralentis par la température, entraînant ainsi des coûts encore plus élevés.

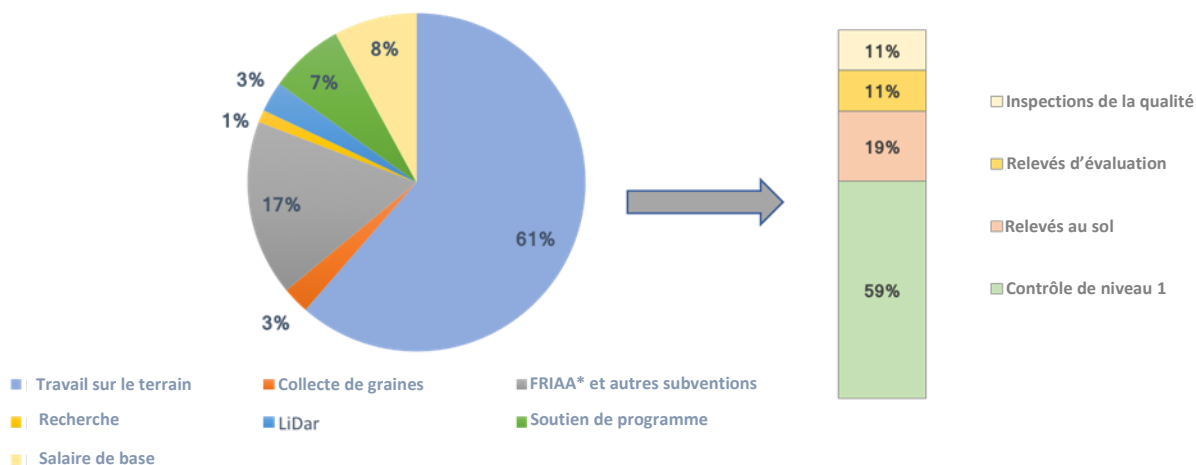


Figure 8. Répartition des coûts de la lutte contre le DPP depuis 2009 en Alberta (gauche) et répartition des activités directes de lutte contre les populations (droite) pour inspecter (contrôle de qualité), repérer (évaluation et levés au sol) et retirer les arbres infestés au stade vert (contrôle de niveau 1). *Forest Resource Improvement Association of Alberta

Tableau 3. Coûts des activités de lutte contre les populations de DPP par 100 km² (10 000 hectares) dans les cantons à infestation légère et forte de l'Alberta en 2015.

Niveau d'infestation	Moyenne (\$)/canton	Fourchette (\$)/canton
Légère	12 300	4 500 à 17 800
Forte	395 700	207 000 à 580 000

Partie III : Défis et réalités de la lutte – Une perspective économique

Coûts

De nombreux rapports ont estimé les pertes importantes associées aux ravageurs forestiers introduits, desquels même un seul article peut indiquer un écart d'estimations qui varie par autant que deux ordres de grandeur. Colautti et coll. (2006) estiment que les répercussions des ravageurs et des pathogènes non-indigènes au Canada se chiffrent entre 187 millions et 34,5 milliards de dollars canadiens par année. Ce grand écart dans les estimations peut être expliqué par quatre facteurs : un manque de données et des différences dans la portée, les hypothèses et les méthodes (Holmes et coll. 2009). Les difficultés d'estimation sont augmentées lorsque le coût potentiel d'une épidémie d'un nouveau ravageur ou pathogène est intégré parce que ces différences sont amplifiées par les incertitudes relatives à la probabilité de l'introduction ainsi qu'au comportement et aux répercussions qui suivent. Même lorsque les ravageurs sont connus, les liens complexes entre l'écologie, la gestion et l'activité économique compliquent ces estimations.

Estimer les avantages

Hotte et Nelson (2014) ont indiqué que plusieurs approches ont été conçues pour quantifier les avantages des investissements en prévention ou en gestion de l'introduction de ravageurs envahissants. L'une d'entre elles est le développement de modèles bioéconomiques du ravageur en question, puis la simulation des effets de l'épidémie et de la propagation. Celle-ci peut ensuite être combinée avec la simulation ou la modélisation de différentes stratégies de lutte pour explorer la rentabilité ou les avantages d'investir dans des stratégies de contrôle (p. ex., Leung et coll. 2002, enquête sur la moule zébrée). Il existe également des exemples de modèles qui se penchent sur les conditions dans lesquelles les investissements dans l'évaluation du risque ou le contrôle de celui-ci sont justifiés, sans identifier de ravageur précis (Keller et coll. 2007; Moffit et coll. 2008).

D'autres approches comprennent l'utilisation de scénarios afin d'élaborer des estimations des avantages de telles approches; un exemple de ceci est Nelson et coll. (2009), qui ont étudié les répercussions économiques d'une propagation continue du DPP ainsi que de cinq autres ravageurs forestiers au Canada dans un rapport préparé pour le GTRF du CCMF. Ils ont établi que le coût moyen, si un seul ravageur envahissant s'établit au Canada au cours des 20 prochaines années, serait de l'ordre de 34 millions de dollars par année (et le total des coûts de l'établissement de cinq ravageurs envahissants excéderait 170 millions de dollars par année). Ils ont estimé, dans l'une de leurs six études de cas, qu'une approche coopérative relative à la lutte contre le DPP permettrait la production de revenus annualisés de 14 millions de dollars.

Intervention précoce

L'un des résultats généraux de la recherche est que les investissements précoces dans les efforts de détection et d'éradication peuvent rapporter, soit en ralentissant la croissance de la population (ainsi que les dommages et les coûts associés au contrôle d'une plus grande population) ou, lorsque possible, en réduisant ou en éliminant la menace ou la population. Le défi de la plupart de ces programmes est *ex ante* : déterminer les menaces ou les risques que posent différents ravageurs qui, *ex poste*, auront été les plus graves. Ce n'est pas le cas du DPP. Les risques potentiels sont bien compris, même si les coûts potentiels n'ont pas encore été quantifiés. Les estimations de la Colombie-Britannique concernant les répercussions économiques, dans lesquelles les revenus à court terme découlant des niveaux de coupe plus élevés mènent actuellement à la réduction des possibilités annuelles de coupe, situent celles-ci à une réduction de 57 milliards de dollars du PIB et à une diminution de 90 milliards de dollars du bien-être économique, tel que calculé pour la période s'étalant de 2009 à 2054 (tout selon la valeur actuelle) (Corbett et coll. 2015).

Importance des services écosystémiques

Ces estimations ne comprennent pas les répercussions sur les valeurs non marchandes, qui, selon certains auteurs, pourraient être beaucoup plus importantes que les répercussions sur le marché pour d'autres ravageurs forestiers (Colautti et coll. 2006; Holmes et coll. 2009). Au Canada, les répercussions potentielles de la propagation continue se situent dans l'arrivée du DPP dans des régions où le pin gris s'entremêle avec plusieurs autres essences de pin susceptibles. Les répercussions négatives sur le flux de produits et services provenant de la forêt boréale seraient généralisées, graves et durables. En plus des coûts économiques directs, une réduction de la qualité de l'eau et des produits non ligneux et une perte d'habitats importants sont probables. Par exemple, le caribou des bois, une espèce en voie de disparition, préfère les régions de tourbière qui abritent des épinettes noires (*Picea glauca*), du mélèze (*Larix laricina*) et du pin, ainsi que les forêts de pins sèches (ASRD 2010).

Bien que les avantages à long terme d'investir dans des stratégies proactives soient clairs, particulièrement là où l'information existe (dans la science, les modèles, les outils et l'expertise en lutte), le défi politique est que ces stratégies exigent des coûts initiaux et, lorsqu'elles réussissent, les avantages ne sont pas visibles ou nécessairement faciles à relier aux efforts réalisés. Comme d'autres investissements dans les biens publics, par exemple la santé préventive ou les stratégies d'intervention à la petite enfance, les résultats peuvent être difficiles à quantifier entièrement, mais n'en sont pas moins importants ou réels.

Partie IV : Aspect scientifique du contrôle de la propagation du DPP

Dynamique des populations et lutte contre le dendroctone du pin ponderosa

Une approche stratégique réussie pour un programme de lutte contre le DPP doit prendre en considération les dynamiques des populations et les facteurs de risque prédisposants comme les températures, le climat, la présence d'un ravageur secondaire et les migrations. En comprenant mieux les paramètres qui influencent la croissance de la population de DPP, les gestionnaires de la lutte contre les ravageurs forestiers sont mieux outillés pour déterminer les batailles qui peuvent être gagnées ainsi que les stratégies et les tactiques adaptées au niveau de population.

Pendant la phase endémique, les populations ne peuvent s'établir en raison d'un nombre insuffisant de dendroctones adultes pour vaincre les mécanismes de défense de l'arbre, d'une pénurie de matériau hôte ou de conditions climatiques peu favorables (Figure 10). Si les conditions climatiques sont favorables, les dendroctones adultes peuvent attaquer avec succès les pins et les populations s'établissent pendant les phases endémiques et préendémiques dans la dynamique de l'épidémie et, en présence de suffisamment de matériau hôte, peuvent passer aux phases préépidémiques et épidémiques lorsque les populations s'élargissent, se propagent rapidement et entrent en éruption. Le stress causé par l'humidité ou les froids extrêmes constitue un facteur climatique prédisposant qui touche la croissance de la population; le stress lié à l'humidité entraîne une baisse de la résistance de l'hôte et celui lié aux froids extrêmes augmente le taux de mortalité hivernale des dendroctones. La migration par le biais de la dispersion sur de longues distances peut également influencer de façon positive les taux de recrutement et donc augmenter la probabilité de l'établissement et de la propagation. Le confinement consiste en un maintien des populations au stade (ii) et suffisamment loin du stade (iii), où les populations établies entrent en éruption. Les populations endémiques du stade (i) peuvent devenir incontrôlables si les conditions sont peu favorables à l'établissement, mais ne nécessitent aucune surveillance. Les populations de stade (iv) et (v) peuvent être confinées uniquement en théorie; en réalité, elles ont déjà dépassé le point où le contrôle peut être obtenu en respectant un budget raisonnable.

La capacité de contenir et de ralentir la propagation nécessite que le taux de retrait (ligne rouge en spirale de la Figure 11) excède le taux de croissance (R), ce dernier étant déterminé par le climat (comme le représentent les différentes couleurs). Pour un taux de recrutement à faible croissance (vert) étiqueté « froid », les taux de croissance ne peuvent pas être supérieurs aux taux de retrait et la transition du niveau sous contrôle au niveau endémique est accomplie en trois ans. Pour un taux de recrutement à croissance rapide (orange) étiqueté « chaud », les taux de croissance dépassent les taux de retrait et la transition du niveau sous contrôle au niveau endémique n'est pas possible. Après trois ans d'efforts en

vain, la perte de contrôle graduelle peut commencer à devenir apparente. Les seuils instables et stables illustrés ici sont réalistes dans la mesure où ils correspondent à ceux illustrés dans la Figure 9. Ce scénario a été construit avec un taux de suppression de 2/3, qui est réaliste pour une population de DPP à faible densité sur le front d'attaque du front d'invasion (ce taux se chiffre à environ 44 % dans l'ouest de l'Alberta). Si le taux de contrôle est plus élevé que 2/3, le gestionnaire de ravageurs peut se permettre d'être plus agressif dans la gravité des cas qui peuvent être contrôlés tout en respectant le budget.

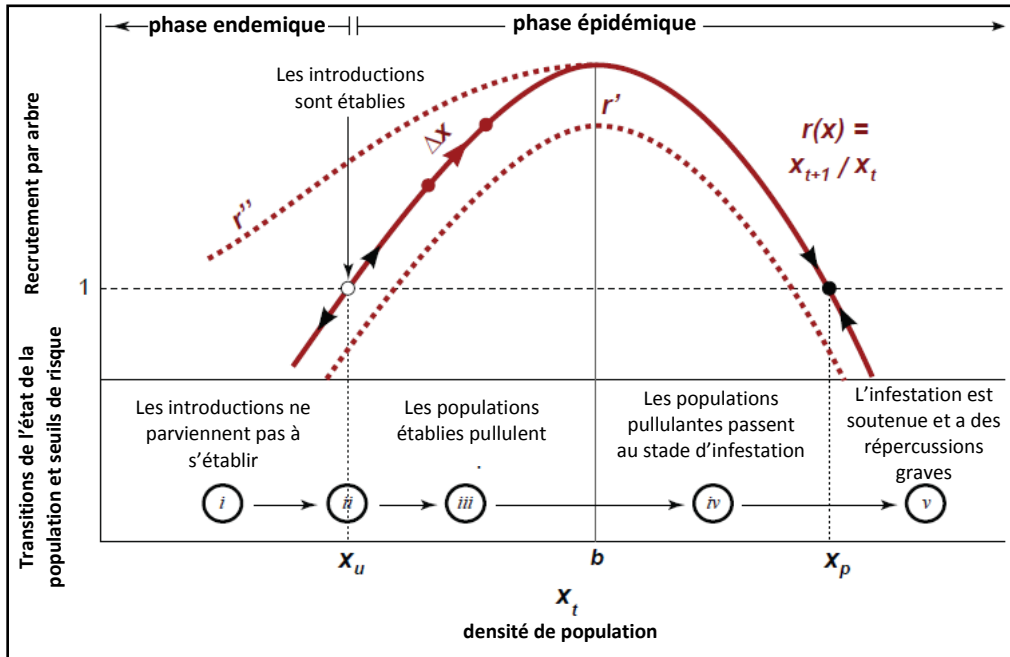


Figure 10. Dynamiques des populations comme fonction de la densité de population (X) et de trois conditions de recrutement différentes (r), toutes touchant la capacité à contrôler les populations. Δx correspond à l'augmentation de la densité de la population découlant de la migration, r' indique une baisse du recrutement associée à une haute mortalité hivernale en raison d'un hiver froid ou de températures froides et r'' indique une déflexion entraînée par une diminution de la vigueur de l'arbre subissant un stress lié à l'humidité, ce qui augmente la probabilité d'éruption des populations à faible densité.

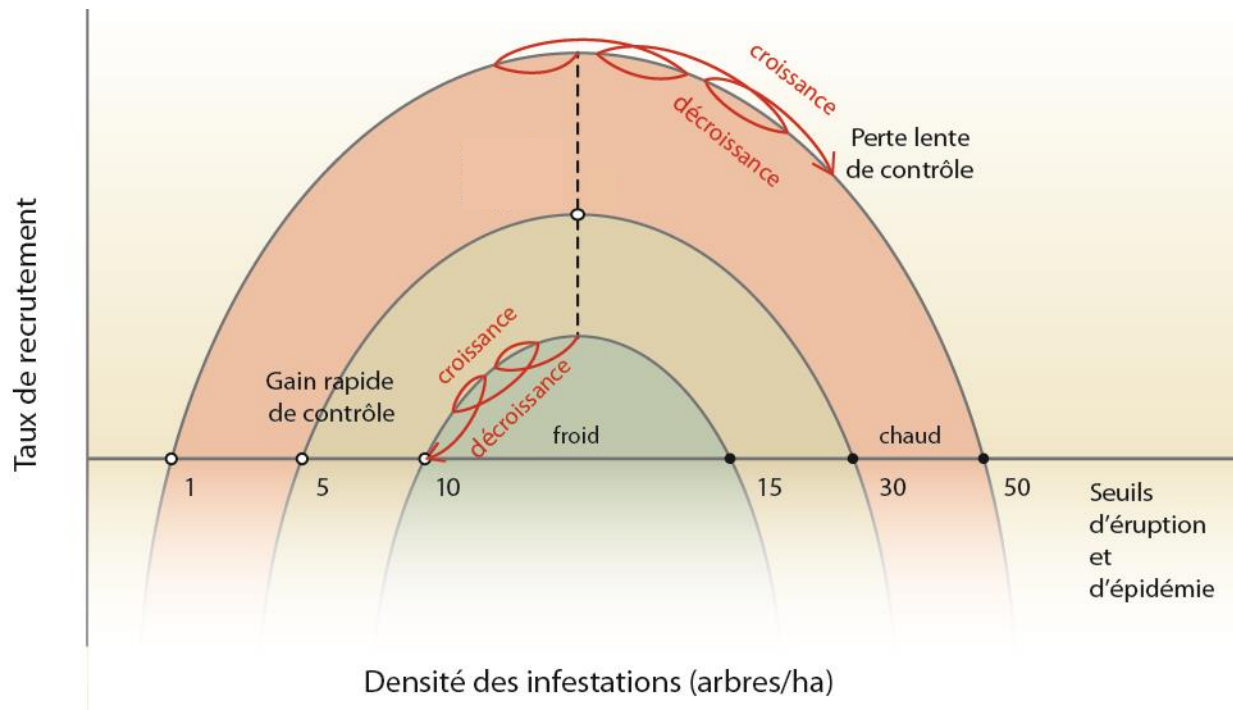


Figure 11. Capacité à contrôler le DPP en fonction de trois régimes climatiques (froid, normal et chaud) et d'un taux de suppression de 2/3 (qui est réaliste pour une population de DPP à faible densité sur le front d'attaque du front d'invasion; ce taux se chiffre à environ 44 % dans l'ouest de l'Alberta).

Les Figures 10 et 11 illustrent la raison pour laquelle il est nécessaire de choisir judicieusement les batailles contre le DPP qui devraient être entreprises ainsi que d'être réaliste quant à ses attentes à l'égard du succès du programme. La différence entre le succès et l'échec peut être petite. Celle-ci se trouve dans les paramètres biophysiques qui sont parfois incertains, comme l'état de la population ou les conditions favorables du microclimat d'un site. Par exemple, bien que les populations du parc national de Jasper aient suivi le taux de croissance plus faible (r') dans la Figure 9 entre les années 1950 et 1990, le climat global s'est maintenant réchauffé au point où les populations de cette région ont probablement un taux de recrutement largement plus élevé à l'heure actuelle (ligne rouge continue), ce qui complique largement le contrôle de ces populations ou le rend même impossible.

Facteurs de stress sur l'hôte et incidence sur la lutte : Un exemple concret dans un habitat expérimenté

L'importance du climat et, plus particulièrement, du stress causé par l'humidité, ne peut être surévalué ou ignoré, car les seuils éruptifs d'endémique à épidémique changent rapidement en réponse à la baisse de la résistance de l'hôte (Figure 12). Cooke et coll. (2013) ont construit un modèle dérivé de Boone et coll. (2011) qui illustre les effets du relâchement de la résistance de l'hôte sur un processus de croissance éruptive du DPP dans les pins tordus latifoliés dans l'habitat habitué au DPP de l'intérieur Sud de la Colombie-Britannique. Le modèle indique que pour une forêt saine dont le seuil d'éruption instable (u) est de 4,0 arbres par hectare, si la population actuelle est plus grande que 7,2 arbres par hectare, il est possible de forcer cette population au niveau endémique en une seule année si le taux de contrôle est aussi bas que 44 % (Carroll et coll. 2016). Dans une forêt malade subissant un stress causé par l'humidité, la suppression des populations de DPP jusqu'à un certain niveau peut être jusqu'à 10 fois plus difficile.

Puisqu'il est très difficile de repérer les attaques massives, car elles se produisent au rythme de juste un arbre attaqué en masse par 2,5 hectares (ou un petit groupe de quatre arbres attaqués par 10 hectares), une campagne de lutte intensive devra être menée durant plusieurs années. De plus, pour que la suppression soit possible, le taux de croissance (R) doit être plus bas que le taux de retrait (P). Ce seuil de taux de croissance de la population (R) se chiffre à 1,8, en fonction d'un taux de retrait de 44 %. Pour que les populations soient maintenues à des niveaux plus faibles, il faut les empêcher de croître jusqu'à leur taux maximum, ou de le dépasser, ce dernier étant de 12,9 arbres par hectare (le dessus de la parabole inversée).

Modèle de productivité (r)

Des chercheurs de l'Université de la Colombie-Britannique ont récemment élaboré un modèle de productivité du DPP qui utilise le diamètre à la hauteur de la poitrine (hauteur et âge comme substituts), température et emplacement (en fonction de l'altitude et de la latitude) (Carroll et coll. 2016). Ce modèle a été mis à l'essai avec des données provenant d'habitats expérimentés et nouveaux et a obtenu de très bons résultats. Ce modèle pourrait appuyer les décisions en matière de lutte concernant les priorités de traitement particulièrement sur le front d'invasion, en plus d'informer le déploiement des appâts de dispersion et des priorités quant aux levés aériens.

Nouvel habitat et connectivité des hôtes

Les hôtes naïfs diffèrent à de nombreux égards, notamment dans leur plus faible capacité à se défendre des attaques du DPP (Cudmore et coll. 2010). Durant l'été de 2009, le DPP a atteint le pin gris, un hôte naïf, au centre de l'Alberta et a commencé à se propager dans la matrice hétérogène de mélèzes et d'épinettes de la région des plaines boréales (Figure 13).

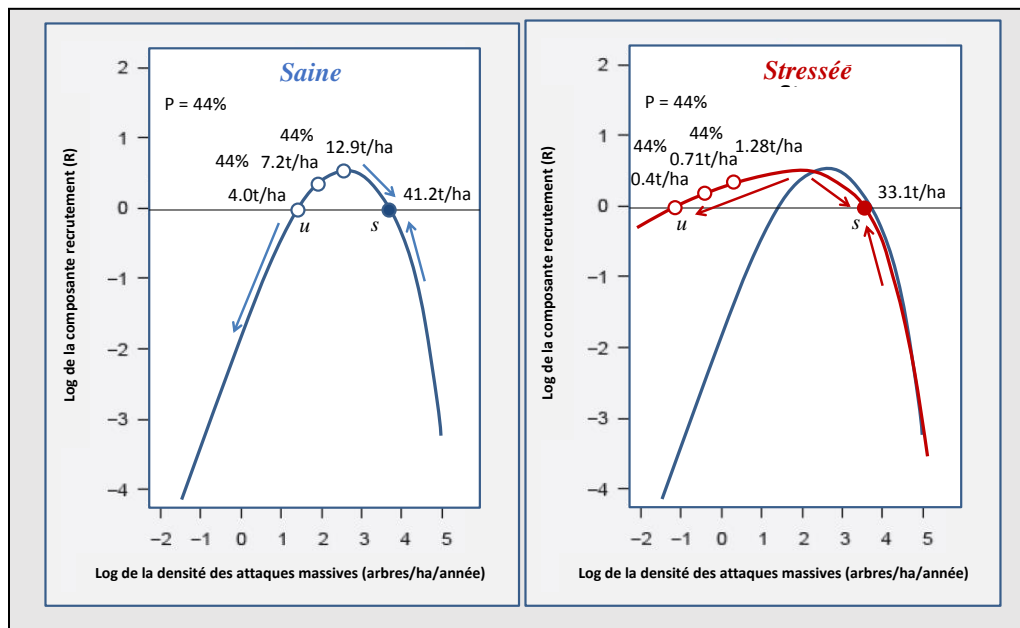


Figure 12. L'effet du relâchement de la défense de l'hôte sur un processus de croissance éruptif du dendroctone du pin ponderosa dans les forêts expérimentées saines et stressées du sud de la Colombie-Britannique, lorsqu'un taux de suppression de seulement 44 % est possible. La séquence des cercles ouverts ci-dessus (u) indique les populations dont la taille est supérieure par 44 %, le taux de suppression moyen indiqué dans une étude effectuée par Carroll et

coll. 2016). Une épidémie a lieu lorsque les populations (d'arbres attaqués massivement) dépassent le seuil instable (u , cercle ouvert) et procèdent alors vers le seuil supérieur (s , cercle plein), qui est stable. L'épidémie atteint un sommet et commence à décliner lorsque les populations atteignent le seuil stable (s).

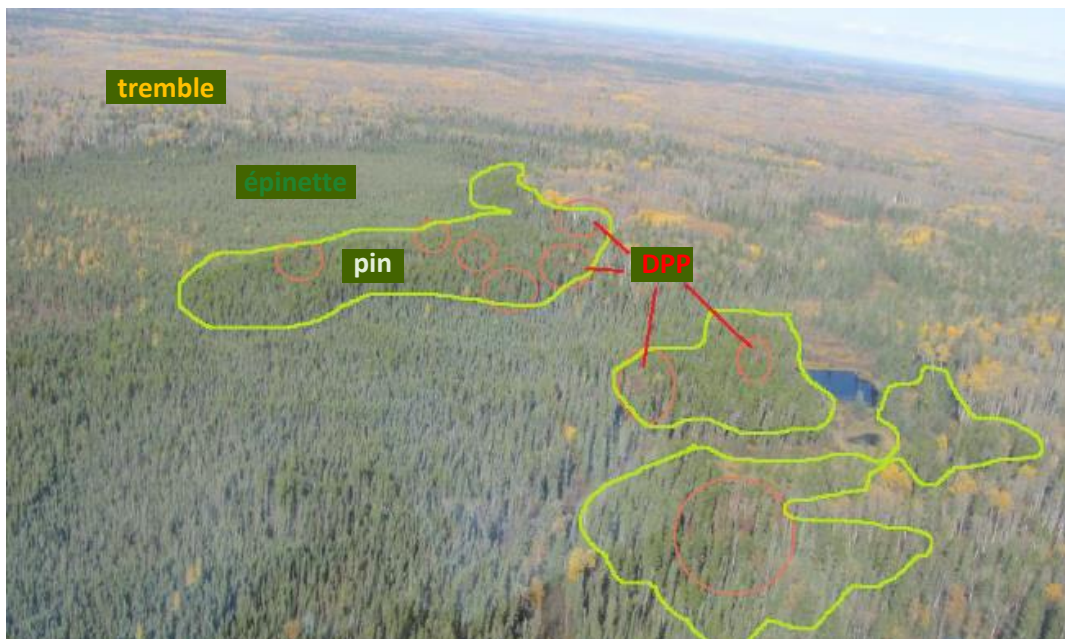


Figure 13. DPP à Marten Hills, à l'est du Petit lac des Esclaves. De nouveaux bouquets d'arbres ternis à l'est du Petit lac des Esclaves indiquent que ces populations n'étaient pas endémiques avant leur arrivée, mais que ce niveau a été atteint suite à la migration.

Bien que plusieurs soient sûrs que la forme de recrutement du DPP ressemble à celle illustrée dans la Figure 10, nous ne possédons toujours pas suffisamment de données pour confirmer que c'est bien le cas pour le pin gris en Alberta, car les populations sont, jusqu'à ce jour, demeurées très basses depuis que le DPP s'est introduit dans les pins gris en 2010. Au cours de six dernières années, le DPP sur le front d'invasion a souvent été incapable de se joindre en nombres suffisants pour dépasser le seuil d'établissement. Cette situation pourrait changer en un instant, comme cela a été le cas en 2016, lorsque des changements ont été remarqués à Marten Hills dans le polygone de tir aérien de Cold Lake. Dans les Marten Hills, le nombre d'arbres attaqués par site a largement augmenté par rapport aux années précédentes. La Figure 2 illustre la première indication que le DPP s'était établi dans le polygone de tir aérien de Cold Lake. Des sites d'appâts de dispersion positifs dans le polygone de tir aérien de Cold Lake ont été observés pour la première fois en 2015 (X rose) et leur nombre a doublé en 2016 (triangles roses).

Efficacité du traitement

Une analyse récente des traitements de niveau 1 de l'Alberta, qui consiste en le retrait d'un ou de plusieurs arbres, effectuée par Carroll et coll. (2016) sur les pins naïfs de l'ouest de l'Alberta a fourni des renseignements précieux concernant les réalités entourant la lutte réussie contre le DPP.

Carroll et coll. (2016) ont estimé que le taux de repérage des attaques au stade vert par le biais des levés au sol des bouquets d'arbres rouges attaqués par le DPP dans le pin tordu latifolié de l'ouest de l'Alberta se chiffrait à 65 % durant les années de faible migration et à aussi peu que 40 % durant les années de haute migration. Ils ont estimé que le taux global de suppression de la population grâce aux traitements de niveau 1 se situait à environ 41 %. Ce chiffre est obtenu en évaluant le nombre de nouvelles attaques au stade vert (attaques « filiales ») dans un rayon d'un kilomètre de la source « parent » (polygones) qui a été traité l'année précédente (Figure 14). Ils ont également démontré, de façon plutôt significative, que le taux efficace de suppression de la population dépend de la taille de la population qui est traitée (Figure 15). Les populations présentant des attaques de plus faible densité sont éliminées avec plus de succès que les paysages subissant des attaques à haute densité, confirmant par le fait le besoin pour un repérage précoce et des efforts de contrôle soutenus, avant que les populations n'atteignent les seuils éruptifs.

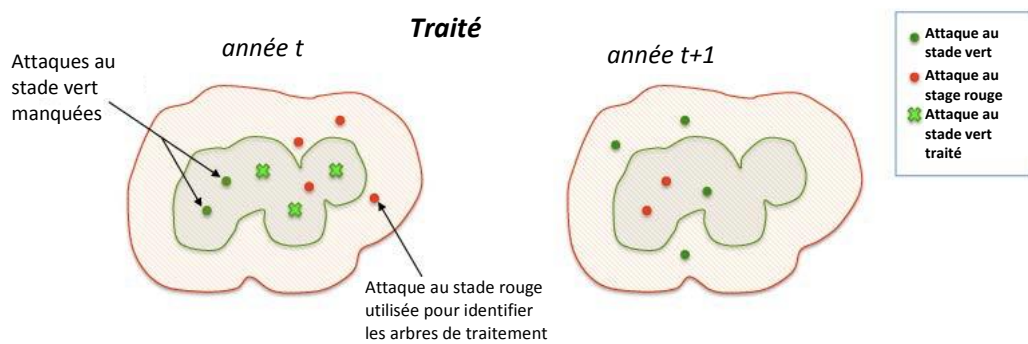


Figure 14. Illustration de l'efficacité du traitement de niveau 1 tel que mesuré par le nombre d'attaques « filiales » ou au stade vert l'année après le traitement (année t + 1) dans une zone d'influence d'un rayon d'un kilomètre autour des polygones du parent source ou de la zone de traitement de l'année t.

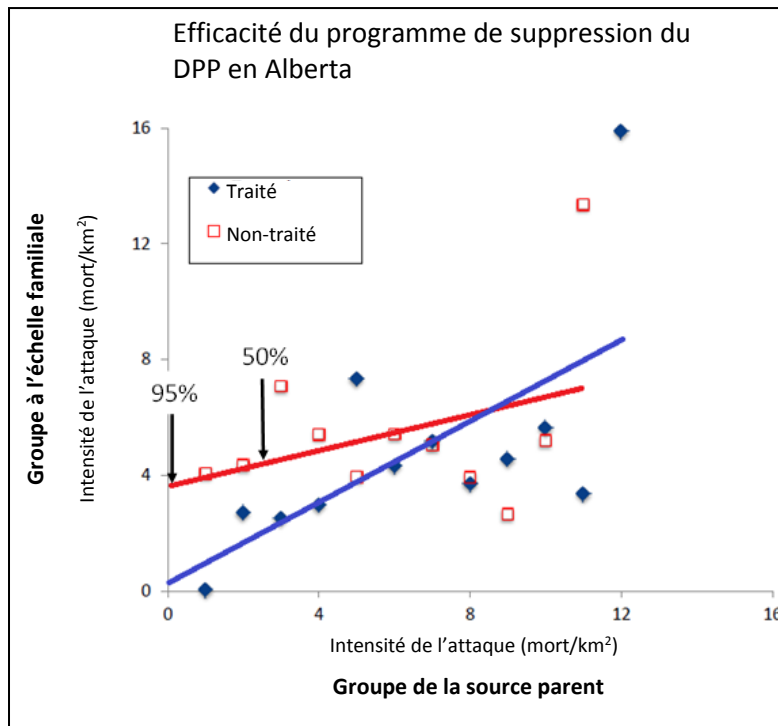


Figure 15. Effet de la densité des arbres atteints dans les bouquets « parents » sources sur la densité des arbres atteints l'année suivante dans les bouquets « familles » qui se trouvent dans un rayon d'un kilomètre des bouquets « parents », dans les bouquets traités (bleu) comparativement aux bouquets non traités (rouge).

Efficacité du seuil de traitement

En Alberta, les efforts de lutte sont guidés par un système de soutien décisionnel (SSD) qui prend en compte la susceptibilité (cote de susceptibilité du peuplement), la cote de connectivité du peuplement ainsi que le nombre d'attaques potentielles au stade vert et un seuil de traitement plus bas le long du front d'attaque (≥ 3 attaques potentielles au stade vert) que dans la zone active d'infestation (≥ 10 attaques potentielles au stade vert). Ce seuil de traitement le long du front d'attaque a révélé une efficacité de 91 % dans son application en Alberta, où seulement 9 % des sites non contrôlés ont connu une augmentation du DPP.

Confinement – Une stratégie conçue pour réduire le taux de propagation des espèces non indigènes (Liebhold et Tobin, 2008).

Endémique – Populations de ravageurs insuffisantes pour venir à bout d'un seul arbre de grand diamètre dans un peuplement. Durant cette phase de population, les ravageurs sont limités aux arbres hôtes de basse qualité qui ont peu ou pas de capacité de défense (Carroll et Safranyik, 2006).

Éradication – Lutte contre le DPP au niveau endémique considérant que les petites populations peuvent être incapables de s'établir dans les arbres possédant de bons mécanismes de défense (Boone et coll. 2011).

Éruptive – La tendance à évoluer soudainement d'un état d'existence stable à faible densité (p. ex., limité à une niche endémique d'arbres supprimés abritant une autre espèce de scolyte) à un état d'existence à haute densité (p. ex., avec une volonté et une capacité d'attaquer et de coloniser avec succès même les arbres hôtes possédant les mécanismes de défense les plus vigoureux).

Établissement – La croissance de la population à des niveaux suffisants pour que l'extinction naturelle soit hautement improbable (Liebhold et Tobin, 2008).

Front d'invasion – Le front d'invasion est un terme générique provenant de la biologie de l'invasion qui représente une ligne mobile séparant la région dans laquelle un ravageur a été repéré de celle dans laquelle sa présence est probable à l'avenir. En théorie, le front d'invasion est représenté par des lignes bien définies. Cependant, en pratique, l'emplacement frontal est incertain puisqu'il doit être déterminé à partir d'échantillons de points. Pour des raisons de commodité, le terme « front d'invasion » est souvent utilisé dans ce document comme version courte de la « région frontière d'invasion ».

Région frontière d'invasion – La région dans laquelle se trouve le ravageur à l'arrière du front d'invasion et qui fait l'objet d'efforts d'atténuation dans le cadre du confinement.

Envahissant – Les insectes et les maladies capables de se propager dans des écosystèmes non compris dans leur aire de répartition naturelle connue. « Envahissant » se réfère à une migration d'un écosystème à un autre et non à une migration relative aux frontières nationales. Ainsi, les organismes qui migrent vers de nouveaux écosystèmes à l'intérieur du même pays peuvent aussi être considérés envahissants s'ils dépassent leur territoire habituel. La propagation du dendroctone du pin ponderosa des forêts de pin tordu de la Colombie-Britannique aux forêts de pin gris de l'Alberta est un exemple d'insecte forestier indigène qui est devenu envahissant (Ressources naturelles Canada, 2016).

Front d'attaque (Zone) – Zone de lutte la plus prioritaire de l'Alberta. Il comprend les régions dans lesquelles les populations de ravageurs menacent de se propager dans la forêt boréale située à l'est. Le contrôle des infestations est effectué grâce à des traitements agressifs de niveau 1 et complété avec des traitements de niveau 2 lorsqu'approprié. Les traitements de niveau 1 comprennent le retrait d'un ou de plusieurs arbres d'une petite zone d'infestation suivi de l'écorçage, du brûlage ou du déchiquetage afin de détruire les colonies de scolytes. Les traitements de niveau 2 comprennent la récolte des arbres infestés dans des régions considérées trop grandes pour le traitement d'un ou de plusieurs arbres (Alberta Sustainable Resource Development, 2007).

Indigène – Espèces indigènes présentes au Canada depuis des milliers d’années et causant périodiquement des épidémies. La tordeuse des bourgeons de l’épinette en est un exemple (Ressources naturelles Canada, 2016).

Risque – Le risque est une fonction de la susceptibilité du peuplement et de la pression effectuée par le dendroctone. La pression effectuée par le dendroctone est l’ampleur de la population de dendroctone du pin ponderosa qui touche un peuplement tel que déterminé par le nombre d’arbres actuellement infestés ainsi que leur proximité au peuplement sous évaluation. La pression effectuée par le dendroctone correspond à la probabilité qu’une population de dendroctone entre dans un peuplement donné (Shore et Safranyik, 1992).

Suppression – Une stratégie caractérisée par ses tactiques agressives de contrôle direct visant à réduire les populations à des niveaux endémiques en quelques années (Carroll, Shore et Safranyik, 2006).

Susceptibilité – Les caractéristiques ou qualités inhérentes d’un peuplement d’arbres qui influencent la probabilité d’une attaque ou de dommages causés par les populations de DPP. Ce terme est synonyme de « danger » (Shore et Safranyik 1992).

Références

Alberta Sustainable Resource Development, 2007. Mountain pine beetle management strategy. Edmonton (Alberta). 44 p.

Alberta Sustainable Resource Development et Alberta Conservation Association. 2010. Status of the Woodland Caribou (*Rangifer tarandus caribou*) in Alberta: Update 2010. Alberta Sustainable Resource Development. Rapport de situation n° 30 (Mise à jour de 2010). Edmonton (Alberta). 88 p. Site Web : <http://aep.alberta.ca/fish-wildlife/species-at-risk/species-at-risk-publications-web-resources/mammals/documents/SAR-StatusWoodlandCaribouAlberta-Jul2010.pdf>. Consulté le 2 mars 2017 (en anglais seulement).

Bleiker, K. P., M. R. O'Brien, G. D. Smith, et A. L. Carroll. 2014. Characterisation of attacks made by the mountain pine beetle (Coleoptera: Curculionidae) during its endemic population phase. *Can. Entomol.* 146:271–284.

Boone, C.K., Aukema, B.H., Bohlmann, J., Carroll, A.L. et Raffa, K.F., 2011. Efficacy of tree defense physiology varies with bark beetle population density: a basis for positive feedback in eruptive species. *Revue canadienne de recherche forestière*, 41(6), p. 1174-1188.

Burke, J.L., et Carroll, A.L. 2016. The influence of variation in host tree monoterpene composition on secondary attraction by an invasive bark beetle: Implications for range expansion and potential host shift by the mountain pine beetle. *Forest Ecology and Management* 359:59-64.

Carroll, A., Shore, T.L., et Safranyik, L. 2006. Direct Control: Theory and Practice. P. 155-172 (chapitre 6) dans *The Mountain Pine Beetle: A Synthesis of Biology, Management, and Impacts on Lodgepole Pine*, L. Safranyik et B. Willson (éd.), Ressources naturelles Canada, Service canadien des forêts, Centre de foresterie du Pacifique. Victoria (Colombie-Britannique). 304 p.

Carroll, A., Nelson, H., Seely, B. and Welham, C. 2016. Assessing the effectiveness of Alberta's forest management program against the mountain pine beetle [diapositives PowerPoint]. En ligne : <https://friresearch.ca/project/assessing-effectiveness-albertas-forest-management-strategies-against-mountain-pine-beetle>.

Clark, E.L., Pitt, C., Carroll, A.L., Lindgren, B.S. et Huber, D.P.W. 2014. Comparison of lodgepole and jack pine resin chemistry: implications for range expansion by the mountain pine beetle, *Dendroctonus ponderosae* (Coleoptera: Curculionidae). *PeerJ* 2: e240 <https://doi.org/10.7717/peerj.240>.

Cooke, B.J., Lux, D., Samis, E., McIntosh, R. 2013. Présentations par affiches de l'IBFRA. SMAC: The art and science of mountain pine beetle spread control. 8 au 10 octobre, Edmonton (Alberta).

Colautti, R.I., Bailey, S.A., van Overdijk, C.D.A., Amundsen, K., et H. MacIsaac (2006) Characterised and projected costs of nonindigenous species in Canada. *Biological Invasions* 8 : p. 45-59.

Corbett, L.J., Withey, P., Lantz, V.A., et T. O. Ochuodho (2015). The economic impact of the mountain pine beetle infestation in British Columbia: provincial estimates from a CGE analysis. *Forestry* (2015) 89 (1) : p. 100-105.

Cudmore, T.J., Björklund, N., Carroll, A.L., et Lindgren, B.S. 2010. Climate change and range expansion of an aggressive bark beetle: evidence of higher beetle reproduction in naïve host tree populations. *Journal of Applied Ecology* 47 : 1036-1043.

Cullingham, C.I., Cooke, J.K., Dang, S., Davis, C.S., Cooke, B.J., Coltman, D.W. 2011. Mountain pine beetle host-range expansion threatens the boreal forest. *Molecular Biology*. Mai 2011; 20(10) : 2157–2171.

Hall, K.M. et H.J. Albers (2009) Economic analysis for the impact of *Phytophthora ramorum* on Oregon forest industries. 14 p.

Holmes, T.P. Aukema, J. E., Von Holle, B., Liebhold, A. and E. Sills (2009) Economic Impacts of Invasive Species in Forests: Past, Present, and Future dans : The Year in Ecology and Conservation Biology. Ostefled R.S. et W.H. Schlesinger (éditeurs), *New York Academy of Sciences* 1162:18-38.

Hotte, N., et Nelson, H. 2014. TAIGA Forest Health: Benefits for Canada. 14 août. Préparé pour le projet Taiga Forest Health (R. Hamelin, PI). 14 août. 37 p.

Keller, R.P., Lodge, D.M. et D. C. Finoff (2007) Risk assessment for invasive species produces net bioeconomic benefits. *PNAS* 104(1): 203-207.

Leung, B., Lodge, D.M, Finnoff, D., Shogren, J., Lewis, M.A. et G. Lamberti (2002) An ounce of prevention or a pound of cure: bioeconomic risk analysis of invasive species. *Proceedings of the Royal Society of London* 269: 2407-2413.

Liebhold, A.M., et Tobin, P.C. 2008. Population ecology of insect invasions and their management. *Annual Review of Entomology*, 53:387-408.

Ressources naturelles Canada (2016). Répression des ravageurs forestiers. Site Web : <http://www.rncan.gc.ca/forets/feux-insectes-perturbations/ravageurs-forestiers/13362> Consulté le 3 mars 2017.

Nelson, H., Grace, P., McBeath, A. and B. Stennes (2009) Estimating the Potential Returns from Developing a National Forest Pest Strategy: the benefits of developing a proactive approach to managing risk. Rapport préparé pour le Centre de foresterie du Pacifique du Service canadien des forêts. Victoria (Colombie-Britannique).

Nealis, V.G., et Cooke, B.M. 2014. Évaluation de la menace que pose le dendroctone du pin ponderosa pour les pinèdes de la zone boréale et de l'Est du Canada. 2014. Conseil canadien des ministres des forêts. Ottawa (Ontario). 27 p.

Safranyik, L. et Carroll, A.L. 2006. The biology and epidemiology of the mountain pine beetle in lodgepole pine forests dans *The Mountain Pine Beetle: A Synthesis of Biology, Management, and Impacts on Lodgepole Pine*, L. Safranyik et B. Willson (éd.), Ressources naturelles Canada, Service canadien des forêts, Centre de foresterie du Pacifique. Victoria (Colombie-Britannique). p. 3-66

Shore, T.L., Safranyik, L. 1992. Susceptibility and risk rating systems for the mountain pine beetle in lodgepole pine stands. Foresterie canada, Centre de foresterie du Pacifique, Victoria, C.-B., Rapport d'information BC-X-336, p. 1-12.

Wulder, M.A., Dymond, C.C. White, J.C. et Erickson, B. 2006. Detection, mapping and monitoring of the mountain pine beetle. P. 123-154 (chapitre 5) dans *The Mountain Pine Beetle: A Synthesis of Biology, Management, and Impacts on Lodgepole Pine*, L. Safranyik et B. Willson (éd.), Ressources naturelles Canada, Service canadien des forêts, Centre de foresterie du Pacifique. Victoria (Colombie-Britannique). 304 p.

Annexe 1. Connaissances acquises

Lutte contre le dendroctone du pin ponderosa – Connaissances acquises de l’expérience de la Colombie-Britannique et de l’Alberta

Contexte

Afin de soutenir l’atteinte de cet objectif, cette approche de confinement stratégique prend en considération les connaissances acquises par les régions qui luttent actuellement contre le DPP (la C.-B. et l’Alberta) et est fondée sur les principes d’évaluation du risque des ravageurs par le biais duquel les connaissances scientifiques ont été étudiées et intégrées. Vous trouverez plus bas un sommaire des connaissances acquises en Colombie-Britannique et en Alberta à propos de la lutte contre le DPP.

Politique, planification et stratégie

- Élaborer un programme exhaustif de lutte contre les ravageurs qui englobe des stratégies de niveau supérieur, des plans d’action et l’établissement des rôles et responsabilités. Le programme, comme les documents afférents, doit recevoir l’approbation du ministre ou du Cabinet afin de veiller à ce que toute modification apportée aux pratiques de gestion forestière ne sera pas remise en cause.
- Effectuer une analyse de rentabilité qui reflète un programme de lutte basé sur la science.
- Il est plus facile d’obtenir du financement lorsque les valeurs menacées et les avantages découlant des sommes investies sont clairement définis. Cette approche s’avère d’autant plus efficace lorsque l’économie forestière représente un moteur économique important et que les marchés des produits forestiers se portent bien.
 - Il est plus difficile d’obtenir des fonds pour des valeurs non ligneuses en raison du manque de données économiques fiables.
- Si possible, obtenir un engagement à long terme en matière de financement. Toute baisse au niveau des populations de DPP devrait être perçue comme une occasion de traiter de manière agressive de petites concentrations de ravageurs plutôt que de prendre du recul.
- Tenir compte des répercussions réalistes des mesures entreprises en ce qui a trait à l’approvisionnement en bois d’œuvre, depuis les scénarios les plus optimistes aux plus pessimistes.
 - En ayant recours uniquement aux scénarios les plus pessimistes, il est possible que l’industrie soit motivée à investir des capitaux importants, un investissement qui ne pourrait être maintenu à long terme.
- Garder en tête qu’il est possible que les objectifs de lutte et les prévisions en matière d’approvisionnement en bois d’œuvre doivent être réexaminés et modifiés en fonction de l’évolution des populations de DPP et pas forcément selon les cycles de planification habituels.
 - Déterminer notamment si les populations de DPP se comportent selon les prévisions, et ensuite modifier l’approvisionnement en bois d’œuvre en conséquence.
- La planification doit être proactive et axée sur le long terme.
 - Déterminer dès le départ les problèmes et les préoccupations liés à la mise en œuvre et à la gestion du programme et y trouver des solutions. Entre autres choses, ces

- enjeux peuvent concerner l'habitat et la diversité de la faune, les calculs des droits de coupe du bois d'œuvre, les zones inexploitable, les exigences et les responsabilités en matière de reboisement, les traverses de cours d'eau et les listes de ravageurs incluses dans la législation.
- Identifier et fournir les renseignements nécessaires à la planification à long terme de la gestion forestière, dont les listes des sources de semences, les priorités en matière de restauration et les conditions futures souhaitées.
 - Une stratégie de récupération et une stratégie de restauration doivent être élaborées parallèlement à une stratégie de lutte contre le DPP.
 - Veiller à ce que les stratégies de lutte mises en œuvre aujourd'hui ne favorisent pas une certaine susceptibilité à l'échelle du paysage plus tard.
 - Élaborer des politiques ou des lignes directrices pertinentes; p. ex., l'Alberta a émis les politiques suivantes :
 - des lignes directrices concernant l'emploi de pesticides, de phéromones de scolytes et d'agents de lutte biologique dans le cadre de la lutte contre les ravageurs;
 - des lignes directrices pour la conception de produits de lutte contre les ravageurs forestiers;
 - l'importation de billes de conifères et d'autres produits forestiers avec l'écorce;
 - la gestion des billes de bois infectées par le dendroctone du pin ponderosa;
 - les priorités pour la récolte de niveau 2 d'arbres infectés par le DPP et le processus d'approbation afférent.
 - Mettre en place des outils administratifs et des mesures incitatives visant à accélérer la récolte.
 - Idéalement, nous serions aptes à obliger les titulaires de permis à récolter des zones précises, ou à récolter et à vendre de petites zones de bois d'œuvre infestées à l'extérieur des programmes gouvernementaux, ou à appuyer sérieusement un programme de récupération à petite échelle.
 - Le zonage des terres peut aussi entraver une lutte efficace contre le DPP (p. ex., Parcs Canada). Ces derniers devraient être établis et abordés dès le début.
 - L'Alberta a lancé un programme de subventions municipales axé sur la détection, le contrôle et la sensibilisation.
 - Un programme similaire a été mis en œuvre pour l'industrie par l'intermédiaire de la Forest Resource Improvement Association of Alberta (FRIAA).
 - L'Alberta a signé un protocole d'entente avec Parcs Canada qui le rend responsable de la lutte contre le DPP dans les parcs et les zones protégées. Cela lui permet d'effectuer des levés et de réaliser des activités de contrôle, en consultation avec Parcs Canada à l'étape de l'élaboration des plans de contrôle.

Communications et collaboration

- Élaborer une stratégie de communication et établir des relations de travail et des partenariats avec les autres administrations, intervenants et chercheurs.
 - Il est nécessaire d'assurer de façon continue les efforts de communication et de collaboration avec l'industrie forestière, un objectif qui pourrait être atteint au moyen de comités directeurs ou de groupes consultatifs à l'échelle du paysage.
 - Des documents de communication sont essentiels afin de transmettre des messages cohérents. Selon l'ampleur des populations de DPP, l'apport d'un spécialiste en communications pourrait être envisagé.
 - Les efforts de communication ne devraient pas se limiter à des activités de sensibilisation à l'externe, mais également au sein du gouvernement afin d'assurer le même niveau de connaissances à l'interne.
 - Cerner les organismes de recherche et les sources de financement possibles, et promouvoir les besoins en recherche sur une base annuelle si possible.
- La collaboration entre les provinces et territoires comporte de nombreux avantages, dont le partage des ressources et de l'information, et possiblement une amélioration des mesures de suppression grâce aux contributions financières des administrations concernées.
- Les intervenants devraient être abordés dès le début et informés des répercussions possibles de la présence du DPP, dans le cadre de séances d'information, de sommets, d'ateliers et de comités.
 - L'Alberta a organisé un Sommet sur le DPP auquel ont assisté des députés, des dirigeants municipaux, ainsi que des représentants des Premières nations, des administrations voisines et de l'industrie forestière. Dans le cadre de cet événement, des présentations ont été données par des chercheurs scientifiques et des députés pour traiter des répercussions réelles et éventuelles du DPP. Le Sommet a également compris une excursion aérienne des régions dévastées en Colombie-Britannique.
 - L'Alberta a créé un comité consultatif provincial sur le DPP afin d'assurer une prise de décisions éclairées, lequel incluait des chercheurs scientifiques et des intervenants de divers milieux. Un Comité d'atténuation du DPP a aussi été constitué et formé de cadres de la fonction publique et de gestionnaires forestiers, où l'information est partagée et les problèmes sont abordés et discutés.

Lutte contre le DPP

- Établir des limites ou des zones de lutte à l'échelle du paysage afin de faciliter l'affectation des stratégies et l'attribution des ressources.
- Établir les cotes de susceptibilité à l'échelle du paysage, puis cerner et corriger les lacunes ou insuffisances dans les données sur l'inventaire.
- Faire usage des outils d'aide à la décision ou des modèles de prévision de la propagation, ou les deux, afin de soutenir les efforts de lutte contre le DPP lorsque nécessaire.
- Élaborer une base de données centralisée dès le départ, assujettie à des protocoles normalisés de collecte de données.
- Examiner le programme une fois par année afin : 1) d'assurer que les stratégies et les tactiques de gestion des unités sont appropriées en fonction des populations de DPP, 2) de faire en sorte que les nouvelles technologies soient évaluées et envisagées, et 3) d'évaluer les processus administratifs et les améliorer si nécessaire.

- Une lutte adaptative devrait faire partie d'un programme global de lutte contre le DPP, où il est possible d'avoir accès à des traitements et méthodologies dont l'efficacité est assurée.
- Reconnaître que le cycle de vie du DPP ne correspond pas au cycle de financement du gouvernement, situation qui influera sur les efforts de lutte entrepris au début de chaque exercice financier. Explorer parallèlement les moyens possibles pour contourner ce problème.
- Demeurer proactif et tirer des leçons des expériences des autres provinces et territoires, comme l'aptitude à déterminer les batailles pouvant être gagnées.
- Poursuivre l'engagement de surveillance des forêts aménagées à l'échelle du paysage, quelle que soit la stratégie employée concernant le DPP, afin de prendre note des arbres morts pour les raisons suivantes :
 - identification des risques d'incendie de forêt; élaboration d'un programme de restauration efficace; détermination des stocks et des besoins en matière de semences; examen de l'approvisionnement en bois d'œuvre et obtention d'un aperçu quant au comportement du DPP.
- Maintenir autant que possible une approche intégrée en matière de gestion forestière.
- Protéger les placettes d'échantillonnage permanent pour de multiples raisons, dont la dynamique qui surgit au sein du peuplement suivant une attaque du DPP, et la régénération.
- Favoriser les activités de l'industrie qui dépassent celles nécessaires pour respecter leurs obligations en matière de gestion forestière, p. ex., la prise en charge d'activités qui incomberaient autrement à la Couronne.

Ressources

- Une coordination centrale peut se révéler nécessaire pour assurer une gestion efficace du DPP.
 - Les ressources humaines et fiscales attribuées devraient correspondre aux besoins du projet concernant le DPP.
 - Les méthodologies doivent être normalisées.
 - Reconnaître qu'il serait nécessaire d'avoir recours à des sous-traitants pour assurer la mise en œuvre du programme, leur fournir de la formation au besoin et surveiller leur rendement.
- Constituer une réserve de sous-traitants qualifiés en matière de levés aériens et de traitements d'arbres individuels, fournir de la formation au besoin, et prévoir de la formation et des vérifications d'assurance de la qualité dans le programme de lutte, ainsi que des pénalités en cas de non-conformité.
 - Instituer des mesures du rendement pour tous les levés du DPP qui sont effectués et les examiner à nouveau lorsque les objectifs opérationnels évoluent.

Annexe 2. Lutte adaptative et dendroctone du pin ponderosa

Justification

Étant donné l'incertitude concernant la propagation du DPP et ses effets sur les nouveaux écosystèmes forestiers, il est nécessaire de surveiller et d'évaluer les stratégies et les tactiques en matière de lutte pour déterminer si les résultats souhaités ont été obtenus et, si ce n'est pas le cas, de les modifier en conséquence. Les principes « d'apprentissage par la pratique » de la lutte adaptative sont appliqués afin de remédier aux incertitudes, d'évaluer les pratiques de lutte et d'étudier les nouveaux éléments pertinents pour la lutte contre le DPP qui peuvent être intégrés à une stratégie de confinement.

Objectif

L'objectif de ce document consiste à :

- décrire les moyens à employer pour évaluer l'efficacité des stratégies et tactiques de lutte appliquées au confinement et en tirer des leçons; et
- décrire les moyens à employer pour modifier les stratégies et tactiques de lutte appliquées au confinement en fonction de l'évaluation de leur efficacité ou de l'intégration de nouvelles connaissances ou de nouveaux outils.

Principes de la lutte adaptative

La lutte adaptative est un « processus d'évaluation de nos hypothèses, de nos valeurs et de nos modèles scientifiques, ainsi qu'une approche centrée sur l'amélioration continue » (Adamowicz, 2003)¹. L'incertitude est prise en compte et l'apprentissage à partir des résultats est valorisée, ce qui permet d'améliorer de manière continue les politiques et les pratiques en matière de lutte (Figure 1). Ce processus itératif « d'apprentissage par la pratique » est bien adapté aux situations comportant de l'incertitude. L'aspect apprentissage de la lutte adaptative émane de la surveillance, de l'évaluation et de l'apprentissage, qui sont les composantes clés de l'évaluation de l'efficacité. L'évaluation détermine si les actions en matière de lutte permettent d'obtenir les résultats souhaités et sont liées la plupart du temps aux objectifs. Ces derniers jouent donc un rôle essentiel dans l'évaluation du rendement, la réduction de l'incertitude et l'amélioration du processus de lutte au fil du temps (Williams 2011)².

Il existe deux approches en matière de lutte adaptative : passive et active. La lutte adaptative passive a recours aux meilleures pratiques actuelles alors que la lutte adaptative active évalue différentes pratiques avant de déterminer laquelle convient pour obtenir les résultats souhaités. Ainsi, la capacité de réduire les incertitudes n'est pas optimale, car la lutte adaptative passive s'exerce de manière aléatoire, alors que la lutte adaptative active comporte des interventions qui sont conçues pour réduire les incertitudes.

¹ Adamowicz, W.L. (éd.), 2003. Towards sustainable management of the boreal forest (p. 1-40). Ottawa: NRC Research Press.

² Williams, B.K. 2011. Adaptive management of natural resources – framework and issues. Journal of Environmental Management 92: 1346-1353.

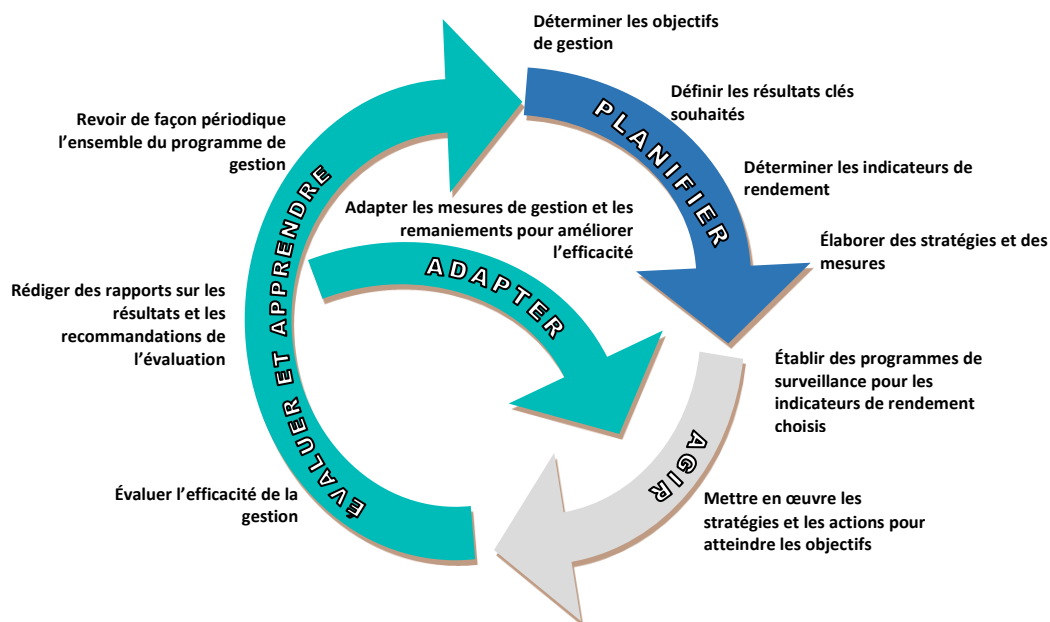


Figure 1. Étapes du cycle de lutte adaptative

Application des principes de la lutte adaptative

Évaluer et apprendre

Évaluation des stratégies et des mesures de lutte

La **surveillance** correspond aux pratiques opérationnelles employées pour évaluer les populations de DPP au moyen de levés aériens et au sol, alors que l'**évaluation** consiste à effectuer le suivi de l'efficacité des stratégies et des actions de lutte. En général, les deux portent implicitement sur la lutte contre les dendroctones du pin ponderosa et, par conséquent, forment déjà partie des programmes de lutte contre les ravageurs forestiers des provinces et territoires. L'évaluation est réalisée par les gestionnaires forestiers et informe la lutte adaptative.

Approche proposée en matière d'évaluation

La mise en œuvre de mesures de confinement peut être décrite dans les plans annuels de travaux, dans la section où les objectifs de lutte sont définis et les indices de rendement ainsi que les résultats attendus (cibles de rendement) sont établis. Voici un exemple d'application de cette approche aux objectifs pour les zones de lutte le long du front d'attaque en Alberta :

Objectifs (critères) : diminuer, puis stabiliser les populations et la propagation de DPP à un niveau endémique.

Indicateur de performance : retrait des arbres attaqués au stade vert dans les sites où des colonies de dendroctones ont survécu et qui sont jugés prioritaires.

Résultat attendu : suppression d'au moins 80 % des arbres attaqués au stade vert dans les sites où des colonies de dendroctones ont survécu et qui sont jugés prioritaires.

Dans cet exemple, la question de savoir si le résultat attendu a été réalisé est abordée. Cependant, elle ne permet pas de déterminer si la cible est appropriée à l'objectif ou si les stratégies et les tactiques utilisées suffisent. À présent, nous pouvons employer les principes de lutte adaptative en posant les questions suivantes :

1. Les résultats attendus répondent-ils aux objectifs de lutte?
2. Les seuils du traitement actuels sont-ils suffisants pour répondre aux objectifs de lutte?
3. Les efforts actuels en matière de surveillance sont-ils suffisants pour répondre aux objectifs de lutte?

Lorsque les objectifs précis des mesures de confinement sont définis, les indicateurs et les résultats attendus peuvent être déterminés plus en détail par les aménagistes forestiers responsables de chacune des quatre zones de lutte proposées.

Ajuster

Modifications des stratégies et des tactiques

Si une évaluation des mesures de lutte révèle que les objectifs ne sont pas atteints, on doit alors revoir les stratégies et les tactiques, puis les modifier en conséquence, dans la mesure du possible. Les évaluations peuvent également révéler des lacunes en matière de connaissances qui peuvent être utilisées comme questions de recherche. Les aménagistes forestiers responsables étudient les résultats de l'évaluation, puis effectuent des recommandations relatives aux mesures correctrices.

Intégration des résultats de recherche les plus récents

La majorité des travaux de recherche menés sur le DPP tiennent compte des incertitudes et des priorités selon les provinces et territoires (Cooke 2015)³ (exception faite de la recherche relative à l'aspect économique, une réalité qui a été identifiée comme lacune il y a cinq ans et demeure réelle en 2016). Les résultats les plus récents en matière de lutte contre le DPP sont publiés ou communiqués dans le cadre d'ateliers ou de congrès. Ces conclusions peuvent être intégrées à une approche de confinement tel que jugé approprié par les aménagistes forestiers responsables.

³ Cooke, B.J. 2015. Analyse des lacunes observées en matière de recherche stratégique sur le DPP de la SNLRF : Résumé des besoins prioritaires et de l'état de la recherche. Conseil canadien des ministres des forêts, Groupe de travail sur les ravageurs forestiers. Document non publié. 24 p.