



# Évaluation de la menace que pose le dendroctone du pin ponderosa pour les pinèdes *de la zone boréale et de l'Est du Canada*





Évaluation de la menace que pose le dendroctone  
du pin ponderosa pour les pinèdes  
de la zone boréale et de l'Est du Canada



# Évaluation de la menace que pose le dendroctone du pin ponderosa pour les pinèdes *de la zone boréale et de l'Est du Canada*

V.G. Nealis<sup>1</sup> et B.J. Cooke<sup>2</sup>

Ressources naturelles Canada, Service canadien des forêts  
<sup>1</sup>Centre de foresterie du Pacifique, Victoria (Colombie-Britannique)  
<sup>2</sup>Centre de foresterie du Nord, Edmonton (Alberta)

Conseil canadien des ministres des forêts  
Groupe de travail sur les ravageurs forestiers

© Sa Majesté la Reine du Chef du Canada, représentée par le ministre de Ressources naturelles Canada, 2014

N° de cat. Fo79-14/2014F-PDF

ISBN 978-0-660-21848-9

Ce rapport est un produit du Conseil canadien des ministres des forêts, Groupe de travail sur les ravageurs forestiers.

Une version en format PDF de cette publication est disponible à partir du site des Publications du Service canadien des forêts : [scf.mcan.gc.ca/publications](http://scf.mcan.gc.ca/publications).

This publication is available in English under the title: *Risk assessment of the threat of mountain pine beetle to Canada's boreal and eastern pine forests*.

Conception graphique et mise en page : Julie Piché

#### Crédits photographiques

Couverture: *en haut à gauche*, Dion Manstyrski; *en bas à gauche*, Rory McIntosh, Ministère de l'environnement, Gouvernement de la Saskatchewan. Page 18, Devin Letourneau, Environnement et développement durable des ressources, Gouvernement de l'Alberta. Page 26, Rory McIntosh, Ministère de l'environnement, Gouvernement de la Saskatchewan. Toutes les autres photos proviennent de Ressources Naturelles Canada.

#### Catalogage avant publication de Bibliothèque et Archives Canada

Nealis, Vincent Graham, 1952-

Évaluation de la menace que pose le dendroctone du pin ponderosa pour les pinèdes de la zone boréale et de l'Est du Canada / V.G. Nealis et B.J. Cooke.

Monographie électronique en format PDF.

Publié en anglais sous le titre : Risk assessment of the threat of mountain pine beetle to Canada's boreal and eastern pine forests.

Publié par : Conseil canadien des ministres des forêts, Groupe de travail sur les ravageurs forestiers.

Comprend des références bibliographiques.

ISBN 978-0-660-21848-9

No de cat.: Fo79-14/2014F-PDF

I. Pin--Maladies et fléaux--Évaluation du risque--Canada--Congrès 2. Dendroctone du pin ponderosa--Distribution géographique--Canada--Prévision--Congrès. 3. Dendroctone du pin ponderosa--Dispersion--Canada--Congrès. 4. Dendroctone du pin ponderosa--Distribution géographique--Facteurs climatiques--Canada--Prévision--Congrès. I. Cooke, Barry II. Conseil canadien des ministres des forêts III. Conseil canadien des ministres des forêts. Groupe de travail sur les ravageurs forestiers IV. Titre.

SB945 M78 N4314 2014

634.9'7516768

C2014-980016-9

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

On demande seulement :

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

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



# TABLE DES MATIÈRES

Résumé.....	4
Introduction.....	5
Dispersion et tendances liées à l'extension de l'aire de répartition.....	7
Lien entre la propagation et la forêt.....	16
Lien entre la propagation et l'adéquation du climat.....	17
Liens entre le dendroctone du pin ponderosa et les espèces associées sur le plan écologique.....	20
Répercussions.....	21
Risque d'incendie.....	24
Références.....	27
Annexe I.....	29



## Résumé

### ÉVALUATION DE LA MENACE POSÉE PAR LE DENDROCTONE DU PIN PONDEROSA EN 2007

En 2007, en raison du taux de mortalité alarmant des arbres attribuable au dendroctone du pin ponderosa (DPP) au nord et à l'est de son aire de répartition historique en Colombie-Britannique, le Service canadien des forêts a procédé à une évaluation d'urgence de la menace potentielle posée par cet insecte pour les pinèdes de la zone boréale et de l'Est du Canada.

L'évaluation a permis de conclure que cette menace était réelle et imminente (Nealis et Peter, 2008). Il y avait peu d'obstacles biologiques manifestes à l'extension de l'aire de répartition, et les principaux obstacles géographiques qui servaient auparavant à définir l'aire de répartition de l'insecte avaient été atténués (climat) ou avaient déjà été dépassés (Rocheuses). Contrairement aux incursions antérieures du DPP dans les prairies du sud, cette nouvelle invasion à l'est de la ligne continentale de partage des eaux s'étendait au nord, dans une zone forestière presque continue reliant les forêts de pin tordu latifolié de l'ouest aux forêts boréales de pin gris.

Ces conclusions ont soulevé d'autres questions associées aux risques, notamment au sujet de la vulnérabilité des espèces de pins de la zone boréale et de l'Est à l'égard des infestations, de la survie prévue de l'insecte dans de nouvelles conditions climatiques, des taux et des directions probables de la propagation ainsi que des répercussions écologiques et socioéconomiques.

En réalité, ce n'était que le début. L'infestation en Colombie-Britannique a continué de progresser après 2007, et la zone où les arbres étaient attaqués et tués en Alberta s'est également étendue. Des investissements croissants ont été réalisés pour des relevés et des interventions à l'échelle des peuplements, particulièrement en Alberta. Compte tenu de l'évolution rapide de la situation et des nouvelles données recueillies, il était devenu nécessaire de procéder à une nouvelle évaluation de la menace posée par le dendroctone du pin ponderosa pour les pinèdes de la zone boréale et de l'Est du Canada.

### RÉÉVALUATION DE LA MENACE EN 2010

La nouvelle évaluation réalisée en 2010 a permis de conclure qu'un bon nombre des prédictions faites en 2007 s'étaient réalisées. Le dendroctone du pin ponderosa continue d'accroître son aire géographique et l'éventail de ses hôtes. Il subsiste dans des régions où les conditions climatiques n'étaient pas jugées favorables à sa propagation et trouve et attaque même des bouquets d'arbres épars. L'insecte se reproduit maintenant dans les peuplements de pin gris, une espèce de la forêt boréale dont la répartition est transcontinentale. En plus des répercussions potentielles sur la



foresterie, l'augmentation du taux de mortalité des arbres pourrait exacerber le risque déjà élevé d'incendie dans les forêts de pins.

Le risque toujours présent de dispersion des insectes sur de grandes distances complique grandement la prévision des futurs taux de propagation. Toutefois, des outils de prévision améliorés, et plus particulièrement les modèles d'adéquation du climat, nous permettent de mieux délimiter les zones de risque relatif futur, les extensions probables de l'aire de répartition et les zones où une intervention peut entraîner les meilleurs résultats. L'accès rapide aux divers résultats des relevés et des recherches ainsi que l'amélioration des communications entre les professionnels, rendus possibles grâce au processus d'analyse du risque, offrent aux instances de nouvelles possibilités quant à la prise de décisions stratégiques adaptatives fondées sur des données probantes. Comme le processus d'évaluation des risques est désormais bien établi, il est maintenant possible, plus que jamais, de procéder à l'analyse des options d'intervention en se fondant sur des données scientifiques.

## Introduction

Le dendroctone du pin ponderosa (*Dendroctonus ponderosae* Hopkins) est le ravageur le plus destructeur des forêts de pins matures de l'ouest de l'Amérique du Nord (Safranyik et coll., 2010). Les infestations périodiques entraînent une mortalité à grande échelle des arbres, particulièrement chez le pin tordu latifolié (*Pinus contorta* Dougl. ex Loud. var. *latifolia* Engelm.) de la Colombie-Britannique, bien que la plupart des espèces de pins attaquées par le dendroctone du pin ponderosa (DPP) se soient avérées des hôtes adéquats.

La récente infestation a d'abord été observée en Colombie-Britannique à la fin des années 1990. En 2011, plus de 700 millions de mètres cubes d'arbres sur une superficie de plus de 18,1 millions d'hectares de pinèdes avaient été détruits, soit environ la moitié du volume marchand total de pin de la province.<sup>1</sup>

L'un des résultats notables de la présente infestation a été l'extension rapide de l'aire écologique du DPP dans les zones forestières situées au nord et à l'est de son aire de répartition historique. Cette extension rapide est attribuée à la dispersion, au-dessus du couvert forestier, d'insectes adultes provenant des populations très denses des zones sources de l'aire de répartition historique. Cette dispersion s'effectue vers des forêts vulnérables qui n'étaient auparavant pas perturbées par le DPP en raison de conditions climatiques non propices. Ce développement est particulièrement important, car l'infestation a surmonté un grand obstacle géographique, soit les Rocheuses. Les hivers doux ont favorisé la survie du couvain dans ces nouvelles régions, et le recrutement continu d'insectes provenant des zones voisines a contribué à la persistance des populations.

Une extension similaire de l'aire de répartition a été observée dans les années 1970, lorsque le DPP a établi des populations dans les collines Cypress, dans le sud-est de l'Alberta et le sud-ouest de la Saskatchewan, où des populations subsistent toujours (Safranyik et coll., 2010). Toutefois, la situation actuelle se distingue par le fait que les forêts nouvellement infestées au nord ne sont pas des peuplements isolés de pins dans une grande région de prairies (comme au sud de l'Alberta), mais font partie de zones forestières continues s'étendant vers l'est et le nord sur l'ensemble du Canada. Par conséquent, les pins de l'ensemble de la forêt septentrionale sont assujettis au risque potentiel d'une nouvelle perturbation écologique attribuable au DPP.

<sup>1</sup> [for.gov.bc.ca/hfp/mountain\\_pine\\_beetle/Updated-Beetle-Facts\\_May2012.pdf](http://for.gov.bc.ca/hfp/mountain_pine_beetle/Updated-Beetle-Facts_May2012.pdf) (consulté en octobre 2013).

## ÉVALUATION INITIALE DU PROBLÈME

En 2007, le Service canadien des forêts (SCF) a réalisé d'urgence une évaluation de la menace posée par le DPP pour les pinèdes de la zone boréale et de l'Est du Canada (Nealis et Peter, 2008). La conclusion était que peu d'obstacles écologiques empêchaient l'extension de l'aire de répartition du DPP dans ces nouvelles forêts si les conditions climatiques permettaient la survie du couvain. Même si les conditions climatiques et forestières étaient jugées moins propices dans ces nouvelles régions que dans l'aire de répartition historique, les responsables de l'évaluation ont conclu que les populations de DPP subsisteraient indéfiniment et continueraient d'accroître leur aire de répartition, entraînant un risque élevé de perturbation considérable pour les forêts qui n'avaient pas été auparavant touchées par le DPP. En 2005, l'Alberta a mis sur pied un programme annuel visant à repérer et à éliminer les populations de DPP le long du front d'expansion présumé, dans l'espoir de limiter la propagation. Toutefois, la dispersion massive d'insectes adultes en 2006 et en 2009 a entraîné une propagation dépassant les prévisions. Le taux annuel de mortalité des arbres a augmenté le long des contreforts et à l'est, dans l'ensemble de la zone forestière où s'hybrident le pin tordu latifolié et le pin gris (*Pinus banksiana* Lamb.).

En 2011, des analyses génétiques ont confirmé que le DPP attaquait des peuplements purs de pin gris, principale espèce de pins de la forêt boréale, et y produisait du couvain (Cullingham et coll., 2011). Le pont écologique vers les pinèdes de l'Est avait été établi.

## RÉÉVALUATION DES RISQUES EN 2010

En raison des changements rapides dans la répartition du DPP ainsi que des investissements considérables réalisés par les gestionnaires forestiers en réaction à ces changements, le Conseil canadien des ministres des forêts (CCMF), dans le cadre de la Stratégie nationale de lutte contre les ravageurs forestiers (SNLRF), a demandé qu'on procède à une réévaluation de la menace.

La nouvelle évaluation a débuté par une rencontre regroupant des spécialistes provinciaux et fédéraux du SCF à Edmonton, en septembre 2010. Il a été jugé prioritaire de présenter un compte rendu descriptif et de faire le point sur la situation actuelle; d'autres analyses seraient ajoutées lorsque des occasions se présenteraient. La dispersion et les liens écologiques ayant une incidence sur la survie et la reproduction du DPP à l'échelle des arbres, dans l'aire de répartition élargie, faisaient partie des points essentiels qui devaient être réévalués. La variation du risque d'incendie due à la présence d'arbres tués par les insectes a été considérée comme un facteur clé d'intérêt public.

Trois ateliers ont été organisés afin d'aborder ces questions cruciales : 1) la dispersion et la propagation du DPP; 2) le risque d'incendie connexe et 3) la réévaluation de la situation actuelle et future (la liste des participants à tous les ateliers est présentée à l'annexe 1). Des résumés de la rencontre d'Edmonton de 2010 et des deux premiers ateliers ont été présentés au groupe de travail de la SNLRF en avril 2011, aux fins de communication au CCMF.

Le présent rapport fait la synthèse des résultats de la réévaluation. Dans tous les cas, les participants ont eu l'occasion d'examiner les rapports et de formuler leurs commentaires. La nouvelle évaluation n'aurait pas été possible sans les connaissances spécialisées partagées généreusement et en toute franchise par les participants.

Dans le présent rapport, on a utilisé la même présentation que pour l'évaluation originale (Nealis et Peter, 2008) : un énoncé affirmatif pertinent des faits est d'abord présenté, suivi des données probantes et de l'incertitude qui s'y rapportent. Lorsque cela était approprié, on a utilisé l'énoncé original ou une version légèrement modifiée de celui-ci pour faciliter l'étude des changements dans

l'évaluation. L'incertitude est un facteur de pondération indiquant la confiance dans l'énoncé et faisant ressortir les besoins d'information.

La présente réévaluation se fonde seulement sur de nouvelles données scientifiques. On n'a pas procédé à une nouvelle évaluation des répercussions socioéconomiques. Pour obtenir des renseignements supplémentaires, les lecteurs doivent consulter l'évaluation originale de la menace (Nealis et Peter, 2008).

## *Dispersion et tendances liées à l'extension de l'aire de répartition*

**LE DPP S'EST ÉTABLI ET SE REPRODUIT DANS UNE NOUVELLE AIRE ÉCOLOGIQUE, TANT SUR LE PLAN GÉOGRAPHIQUE QUE SUR LE PLAN DE L'ÉLARGISSEMENT DE L'ÉVENTAIL DES HÔTES.**

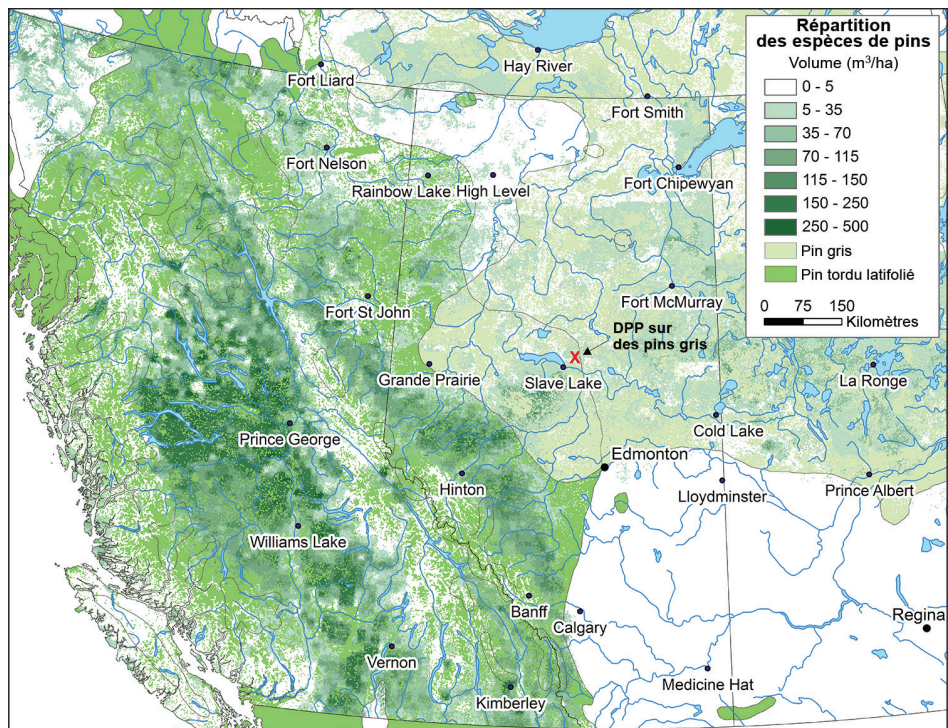
### **DONNÉES PROBANTES :**

- La production efficace de couvain a été confirmée dans les peuplements de pin gris à l'est du Petit lac des Esclaves, en Alberta (figure 1 – Cullingham et coll., 2011).
- La présence du DPP a été observée à partir de relevés exhaustifs directs, notamment i) de relevés GPS par hélicoptère (reconnaissance guidée par GPS – points de données), ii) de relevés aériens (aéronefs à voilure fixe, avec délimitation manuelle) et iii) de photographies aériennes numériques avec confirmation au sol des pins morts associés à une infestation de DPP. Les observations ont été faites :
  - » à l'est jusqu'aux Marten Hills (100 km à l'est de Slave Lake – figure 2);
  - » au nord de la Colombie-Britannique jusqu'à une distance de 80 km de la frontière du Yukon et, plus récemment, dans les Territoires du Nord-Ouest (figures 2 et 3).<sup>2</sup>
- Le DPP a attaqué des pins appâtés avec une phéromone d'agrégation (mélange variable de trans-verbénol et d'exo-brévicomine) à l'est jusqu'au lac La Biche, à environ 120 km de la frontière de la Saskatchewan (figure 2).

### **INCERTITUDE :**

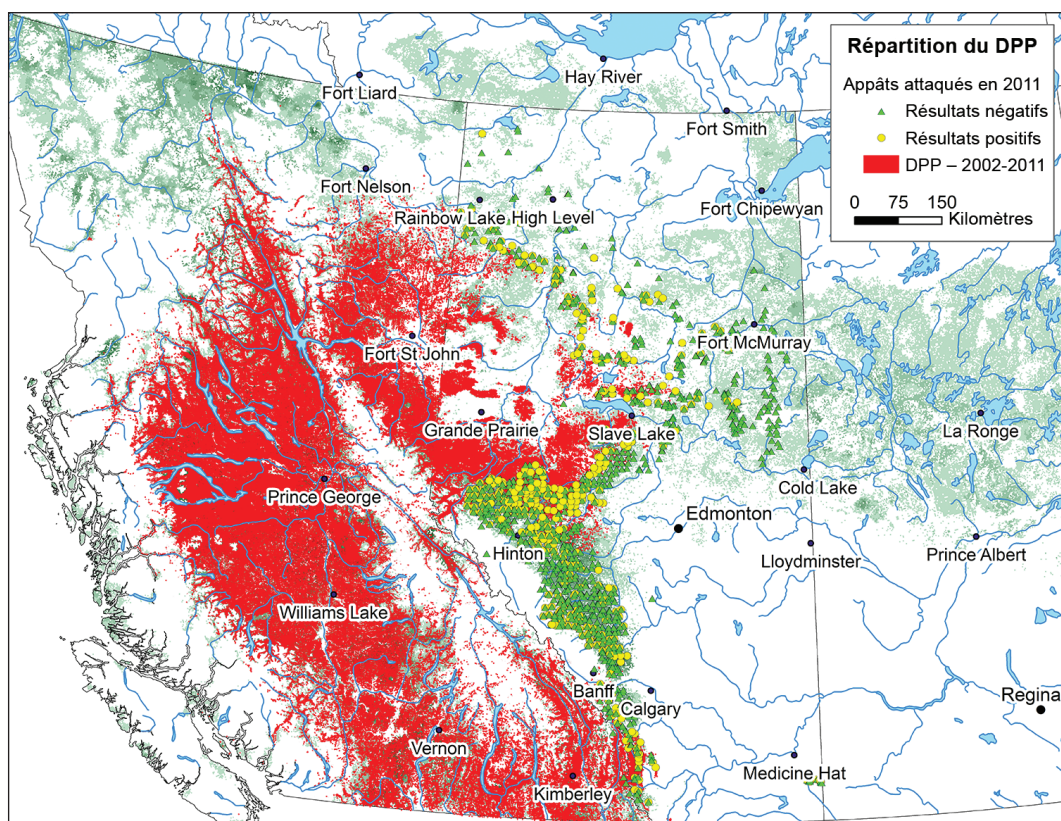
- Incertitude faible à nulle concernant les relevés GPS par hélicoptère, les photographies aériennes numériques et les confirmations au sol, compte tenu des observations répétées sur une grande superficie et sur plusieurs années par des observateurs indépendants.

<sup>2</sup> [norj.ca/2013/04/live-pine-beetle-larvae-found-in-nwt/](http://norj.ca/2013/04/live-pine-beetle-larvae-found-in-nwt/) (consulté en octobre 2013).



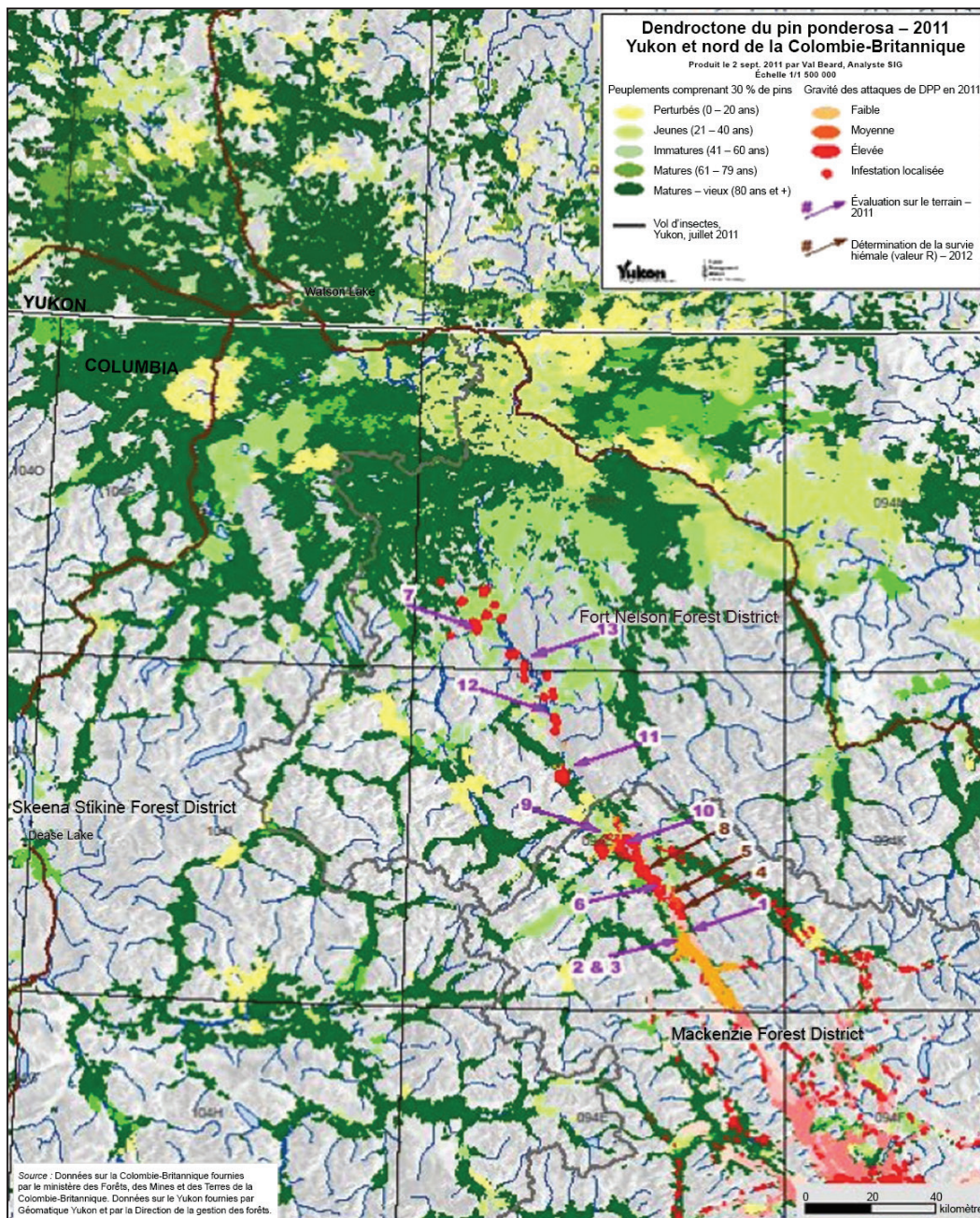
**Figure 1.** Volume (m<sup>3</sup> par hectare) de toutes les espèces de pins dans l'Ouest canadien. Source : Yemshanov et coll. (2011). Les aires de répartition approximatives du pin tordu latifolié et du pin gris (d'après Little, 1971) sont illustrées, ainsi que l'emplacement des premiers cas confirmés de reproduction du DPP sur des pins gris (Cullingham et coll., 2011).





**Figure 2.** Répartition des arbres tués par le dendroctone du pin ponderosa dans l'Ouest canadien de 2002 à 2011 (rouge) et présence (cercle jaune) / absence (triangle vert) d'attaques de DPP en 2011 sur les arbres appâtés avec une phéromone, en Alberta. Des populations de faible densité de DPP ont aussi été observées 150 km à l'est de la région de Slave Lake, où les arbres sont tués en petits groupes. *Source :* Ministère du Développement durable des ressources de l'Alberta, Division de la santé des forêts. Des populations isolées de DPP ont été observées dans les Territoires du Nord-Ouest en 2012 (M. Gravel, gestionnaire, Services de gestion forestière, Territoire du Nord-Ouest).





**Figure 3.** Emplacement d'attaques confirmées de DPP dans la région du sillon des Rocheuses, dans le nord de la Colombie-Britannique. On constate qu'il y a une grande zone de peuplements contigus de pins au nord des emplacements actuels de l'infestation. *Source :* Ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources du Yukon.

## LA SURVEILLANCE PERMET D'ÉTABLIR TROIS FRONTS OU LIMITES ET DES ZONES CONNEXES :

- 1) Front d'attaque au stade rouge<sup>3</sup> – limite géographique de la zone où des arbres sont tués par les insectes;
- 2) Front d'attaque au stade vert<sup>4</sup> – limite géographique de l'attaque de l'année en cours;
- 3) Front d'infestation – limite géographique de la zone où des résultats positifs ont été obtenus pour les arbres appâtés, sans égard aux données probantes démontrant ou non une attaque naturelle.

### DONNÉES PROBANTES :

- La présence du DPP a été observée à partir de relevés exhaustifs directs (voir « Données probantes » en page 7).

### INCERTITUDE :

- Faible incertitude concernant la détection des attaques au stade rouge à partir des relevés GPS par hélicoptère et des photographies numériques, compte tenu d'erreurs mineures de positionnement et des vérifications exhaustives effectuées au sol (Coggins et coll., 2008).
- Incertitude moyenne à élevée en ce qui concerne la détection de toutes les attaques au stade rouge à partir des relevés aériens (Harris et Dawson, 1979).
- Incertitude moyenne liée à l'efficacité des appâts et à la possibilité connexe de faux négatifs.
- Dans l'ensemble, l'incertitude est proportionnelle à l'effort et à l'uniformité des relevés dans l'espace et le temps, à savoir :
  - » Incertitude faible à moyenne concernant les relevés GPS par hélicoptère (front d'attaque au stade rouge), compte tenu de l'efficacité de la détection des attaques au moyen de cette méthode (Nelson et coll., 2006a).
  - » Incertitude élevée concernant la détection des attaques de l'année en cours (front d'attaque au stade vert), parce que ces attaques ne peuvent être repérées à distance (Wulder et coll., 2009). Le front d'attaque au stade vert pourrait se trouver n'importe où entre le front d'attaque au stade rouge et le front d'infestation, ou être au même endroit.
  - » Incertitude moyenne à élevée concernant les arbres-appâts (frontière d'infestation), parce que la distance d'attraction de la phéromone n'a pas été établie, et parce que l'importance de la main-d'œuvre nécessaire pour cette méthode a pour effet de restreindre la zone couverte.

<sup>3</sup> Les arbres touchés par une « attaque au stade rouge » sont les arbres colonisés par les insectes un an auparavant, ou parfois deux ans. Ils se caractérisent par un feuillage rouge.

<sup>4</sup> Les arbres touchés par une « attaque au stade vert » sont les arbres colonisés par les insectes durant l'année en cours et pour lesquels le changement symptomatique de couleur peut ne pas être encore manifeste.

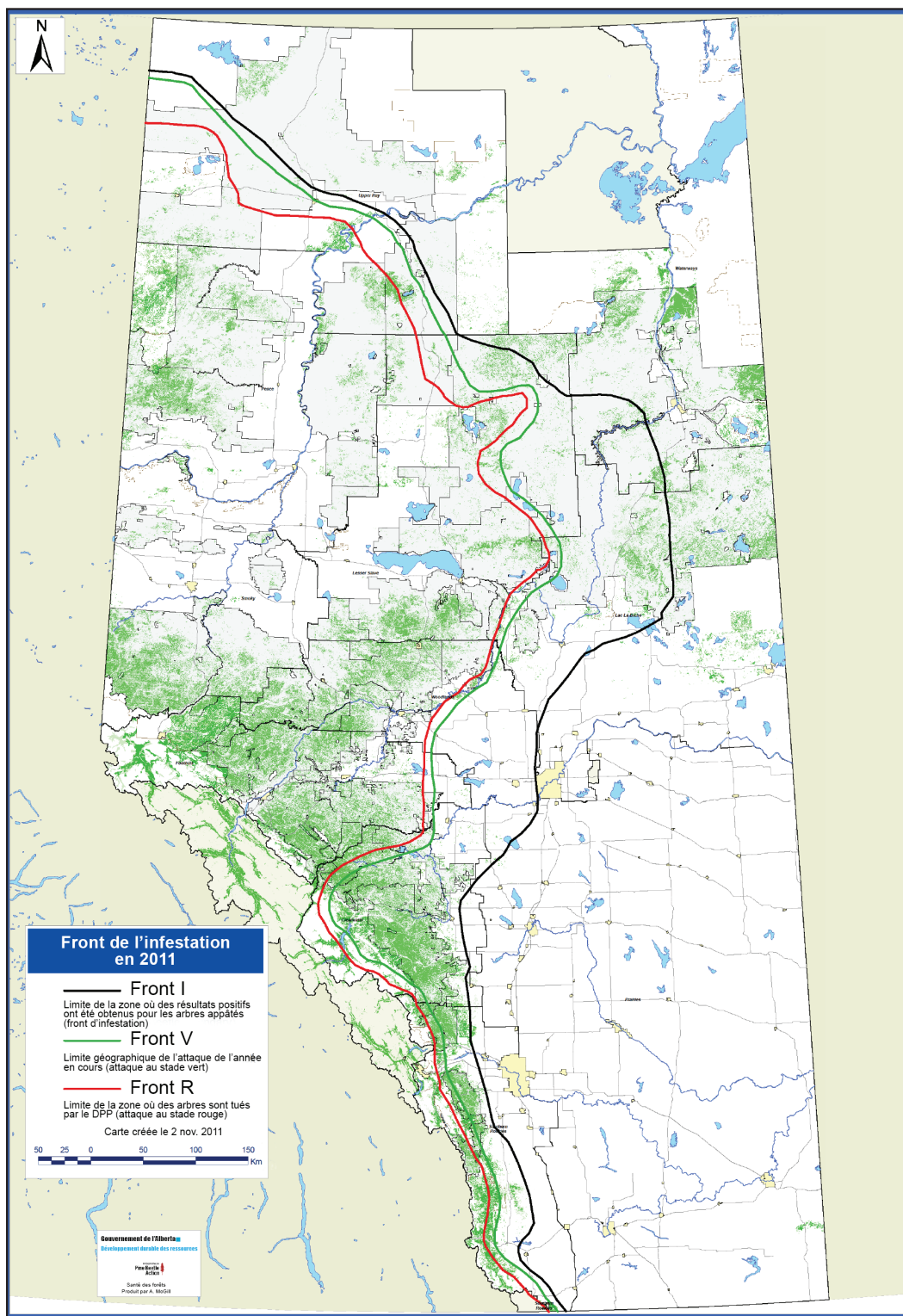


Figure 4. Limites approximatives des peuplements d'arbres touchés par des attaques au stade rouge (front R), par des attaques au stade vert (front V) et par des attaques d'insectes (front I) en 2011. Source : M. Undershultz, ministère du Développement durable des ressources de l'Alberta.



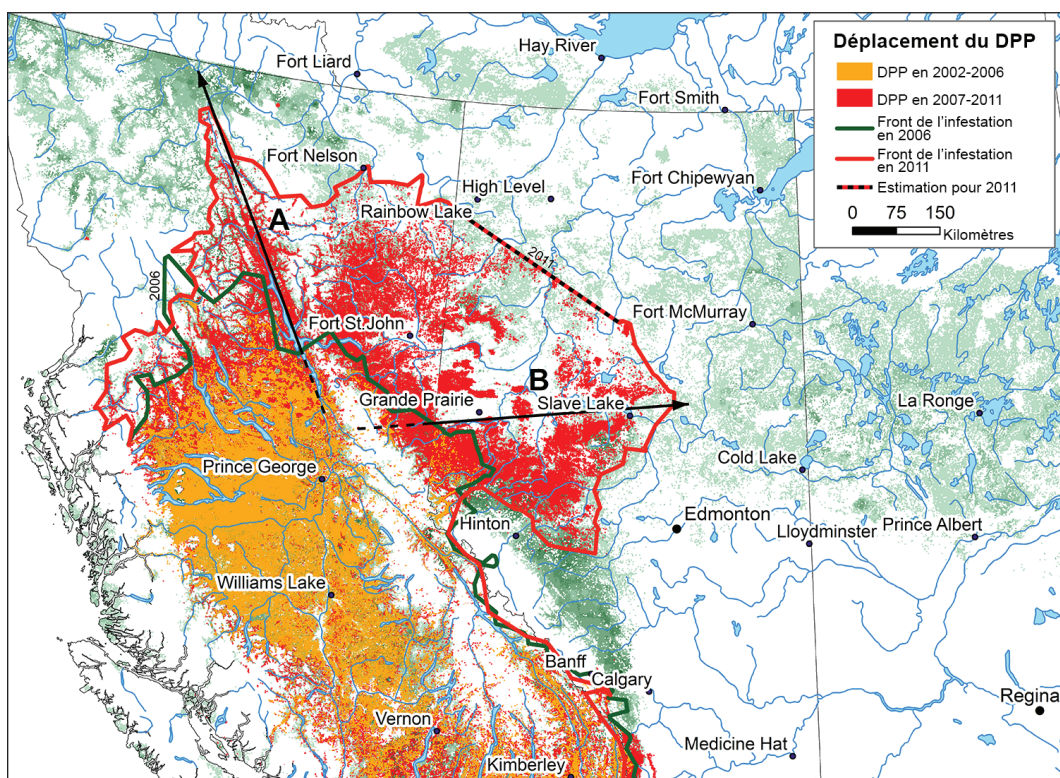
## LA VITESSE OBSERVÉE DE PROPAGATION DU DPP À L'EST DES ROCHEUSES A ÉTÉ PLUS RAPIDE VERS LE NORD ET L'EST ET MOINS RAPIDE VERS LE SUD.

### *DONNÉES PROBANTES :*

- Les populations de DPP au nord de la Colombie-Britannique et de l'Alberta ont commencé à croître rapidement au milieu des années 2000, et la propagation s'est faite vers le nord (à travers le sillon des Rocheuses) et vers l'est (à travers le col Pine, jusque dans la région de la rivière de la Paix) (figure 5). La première preuve d'une invasion dans une nouvelle zone écologique est venue en 2006, par le biais d'observations de vols d'insectes, suivies de l'apparition d'arbres rouges au centre de l'Alberta, en 2007 (Nealis et Peters, 2008).
- La vitesse annuelle de propagation au nord et à l'est a varié considérablement au fil des ans. De 2002 à 2006, le front oriental a progressé de 62 km, tandis que le front septentrional a, en fait, régressé de 155 km. À titre comparatif, au cours des cinq années suivantes, soit de 2007 à 2011, le front oriental a encore progressé de 413 kilomètres, tandis que le front septentrional a progressé de 420 km (tableau 1).
- Le nombre d'années (quatre) au cours desquelles on a observé des déplacements négatifs (c.-à-d. une contraction de l'aire de répartition) le long du front septentrional était deux fois plus élevé que le nombre d'années où de tels déplacements ont été observés le long du front oriental, et on a observé une contraction de l'aire de répartition le long des deux axes en 2002–2003 (tableau 1).
- Les vitesses annuelles de propagation au nord et à l'est ont été exceptionnellement élevées en 2006 (arbres rouges apparus en 2007) et en 2009 (arbres rouges apparus en 2010). Le déplacement annuel moyen a été de 163,2 km par année au cours de ces deux années (tableau 1, colonnes en gris), par rapport à 5,4 km par année durant les huit autres années (tableau 1, colonnes non en gris).
- La propagation vers le sud en passant par Hinton, en Alberta, a été relativement lente en comparaison (figure 5), malgré l'abondance de pins vulnérables dans la région (figure 1).

### *INCERTITUDE :*

- Incertitude moyenne, mais considérablement moins élevée que lors de l'évaluation précédente, parce que la taille de l'échantillon (c.-à-d. le nombre d'années de propagation) a doublé.
- Les données liées à la propagation vers l'est à travers l'Alberta se fondent sur l'observation d'arbres « rouges » ainsi que sur la présence ou l'absence des insectes.



**Figure 5.** Répartition des arbres tués par le dendroctone du pin ponderosa dans l'Ouest canadien entre 2002 et 2006 (orange) et entre 2007 et 2011 (rouge). Les vecteurs indiquent la distance linéaire générale de la propagation au nord (A) et à l'est (B) à partir du front de l'infestation en 2006 (vert) jusqu'à celui de 2011 (rouge). Source : R. Brett, Service canadien des forêts, Edmonton.

**Tableau 1.** Déplacement annuel (km/année) et déplacement net (km/5 ans) du dendroctone du pin ponderosa au nord et à l'est de son aire de répartition historique, entre 2001 et 2011. Les cellules en gris indiquent les événements exceptionnels (voir p.13).

Année	Déplacement annuel (km/année)										Déplacement net (km/5 ans)	
	2001-2002	2002-2003	2003-2004	2004-2005	2005-2006	2006-2007	2007-2008	2008-2009	2009-2010	2010-2011	2002-2006	2007-2011
Nord	37	-23	-187	124	-106	187	-15	38	150	60	-155	420
Est	32	-108	86	-20	72	229	39	87*	38	20	62	413

\* Dans ces zones à l'est, certains arbres (appelés «arbres ternis prématurément» ou «early faders») ont été observés au cours de la même année que l'attaque (c.-à-d. 2009). Généralement, l'attaque ne peut être confirmée que l'année suivante.

LE DÉPLACEMENT DU DPP SUR DE GRANDES DISTANCES SURVIENT LORSQUE DES INSECTES ADULTES S'ÉLÈVENT AUDESSUS DU COUVERT FORESTIER, AIDÉS PAR LES COURANTS CONVectifs VERTICAUX, PUIS SE DÉPLACENT HORIZONTALEMENT PAR ADVECTION, PORTÉS PAR LES VENTS DOMINANTS. LES DISTANCES PARCOURUES PEUVENT DÉPASSER 100 KM, SELON LES CONDITIONS MÉTÉOROLOGIQUES. CETTE DISPERSION SUR DE GRANDES DISTANCES À PARTIR DE ZONES SOURCES À FORTE DENSITÉ A EU UNE INCIDENCE NOTABLE SUR LES VITESSES DE PROPAGATION AU NORD ET À L'EST DE L'AIRE DE RÉPARTITION HISTORIQUE.

#### *DONNÉES PROBANTES :*

- Les extensions rapides de l'aire de répartition en 2006 et 2009 (tableau 1) ont généralement eu lieu à partir de régions infestées situées en altitude vers des régions de basse altitude. En voici trois exemples : i) la propagation au nord à travers le sillon des Rocheuses; ii) la propagation à l'est à travers le couloir de pins autour du Petit lac des Esclaves et iii) la propagation à l'est et au sud dans le centre-sud de l'Alberta.
- Un taux inhabituellement élevé de nouvelles attaques par rapport aux attaques précédentes (170:1) a été observé sur une grande superficie en 2009. Les taux plus élevés que 10:1 sont considérés comme une preuve de dispersion sur de grandes distances.
- Les études génétiques indiquent que les populations de DPP récemment arrivées au nord de l'Alberta sont étroitement liées aux populations du nord de la Colombie-Britannique, tandis que les populations du sud de la Colombie-Britannique et au-delà reflètent une tendance à l'isolement génétique par la distance (James et coll., 2011, Cullingham et coll., 2012).

#### *INCERTITUDE :*

- La détection des attaques au stade vert est difficile sur de vastes superficies servant potentiellement de puits (Wulder et coll., 2009).
- Il n'est pas possible de déterminer sans équivoque la source des attaques au stade vert dans les régions où il y a eu production de couvain dans les arbres attaqués au stade rouge.
- Les attaques et la production de couvain peuvent survenir sans que les arbres soient tués (p. ex. nouvelles attaques au stade vert sans attaque au stade rouge à l'échelle locale).

LES DÉPLACEMENTS SUR DE GRANDES DISTANCES DEVRAIENT AVOIR MOINS D'INCIDENCE SUR LA VITESSE DE PROPAGATION APRÈS 2011.

#### *DONNÉES PROBANTES :*

- On observe une régression des populations sources à forte densité pouvant être à l'origine d'une dispersion sur de grandes distances (Walton, 2011).
- Plus les zones non infestées se trouvant au-delà du front de l'infestation seront éloignées des populations sources potentielles à forte densité, moins les immigrations seront importantes.

#### *INCERTITUDE :*

- Les populations d'insectes établies dans l'aire de répartition élargie peuvent devenir une source de migrants plus près des zones non infestées. Il y a maintenant un plus grand nombre de sources potentielles de migrants qui déterminent le risque d'une extension de l'aire de répartition sur le front d'infestation de la forêt boréale. D'après l'indice de risque de Shore et Safranyik (1992), la pression exercée par les insectes et la probabilité d'une infestation sont fonction à la fois de la

taille de la population source et de la proximité du peuplement cible. Les sources en Colombie-Britannique sont vastes, mais ne se trouvent pas à proximité du front de l'infestation; les nouvelles sources en Alberta ne sont pas encore aussi importantes, mais se trouvent à proximité du front de l'infestation. L'incidence relative de ces deux facteurs sur le risque n'est pas parfaitement connue; on ne connaît donc pas avec certitude leur incidence sur les vitesses de propagation.

**LA DISPERSION SUR DES DISTANCES COURTES À MOYENNES – DISTANCES GÉNÉRALEMENT INFÉRIEURES À 1 KM – SURVIENT EN DESSOUS OU AU-DESSUS DU COUVERT FORESTIER; CETTE DISPERSION EST FACILITÉE DANS UNE FAIBLE MESURE PAR LA CIRCULATION DE L'AIR ET ENTRAÎNE DES DÉPLACEMENTS ENTRE LES PEUPEMENTS ADJACENTS OU À L'INTÉRIEUR DES PEUPEMENTS. CETTE DISPERSION CONTINUERA DE CONTRIBUER À L'EXTENSION DE L'AIRE DE RÉPARTITION.**

***DONNÉES PROBANTES :***

- Les nouvelles infestations (attaque au stade vert) surviennent généralement à proximité du front des infestations antérieures (attaque au stade rouge).
- La dispersion est un comportement normal pour cette espèce à la recherche de nouveaux hôtes vulnérables (Safranyik et coll., 1992).
- Les infestations localisées engendrent à l'occasion de nouveaux foyers d'infestation satellites (Borden, 1993).

***INCERTITUDE :***

- On ne peut prédire le taux de dispersion sur des distances courtes à moyennes en fonction des caractéristiques des peuplements (Safranyik et coll., 1992).
- Les connaissances à l'égard du comportement de dispersion sont limitées et rudimentaires.

## *Lien entre la propagation et la forêt*

**LES PEUPEMENTS DE PINS HÔTES DE LA FORÊT BORÉALE À L'EST DES ROCHEUSES NE SONT PAS OPTIMAUX POUR LE DPP, PUISQUE CES PEUPEMENTS PRÉSENTENT UN VOLUME MOINDRE DE PINS ET QUE LA CONNECTIVITÉ À L'ÉCHELLE DU PAYSAGE EST PLUS FAIBLE COMPARATIVEMENT AUX PEUPEMENTS DE PINS DE LA COLOMBIEBRITANNIQUE. TOUTEFOIS, ON TROUVE DES ZONES FORESTIÈRES CONTINUES PRÉSENTANT DES VOLUMES DE PINS RELATIVEMENT ÉLEVÉS DANS LA FORÊT BORÉALE DE L'OUEST, JUSQU'AU SUD DU YUKON.**

***DONNÉES PROBANTES :***

- Les données probantes indiquant que les volumes de pins et la connectivité à l'échelle du paysage sont plus faibles dans la forêt boréale qu'en Colombie-Britannique ont été fournies dans l'évaluation du risque précédente (Nealis et Peter, 2008). Voir la figure 1 du présent rapport.
- En revanche, la zone forestière continue présentant des volumes relativement élevés de pins tordus latifoliés s'accroît vers le nord entre la zone d'infestation actuelle, dans le sillon des Rocheuses, et le nord de la Colombie-Britannique jusqu'au sud du Yukon (figure 3).

#### INCERTITUDE :

- Faible incertitude compte tenu des données probantes indiquant une production de couvain moyenne plus élevée par individu chez les pins « naïfs » en l'absence de certains facteurs météorologiques (voir *Lien entre la propagation et l'adéquation du climat* en page 17).

**LE DEGRÉ DE CONNECTIVITÉ DES PEUPEMENTS VULNÉRABLES DANS LA ZONE BORÉALE NE SEMBLE PAS ÊTRE UNE CONTRAINTE AUSSI IMPORTANTE POUR LA CROISSANCE ET LA PROPAGATION DES POPULATIONS DE DPP QUE CE QU'AVAIT CONCLU L'ÉVALUATION PRÉCÉDENTE.**

#### DONNÉES PROBANTES :

- La direction de la propagation dans le nord de la forêt boréale n'a pas suivi les prévisions du modèle de connectivité pour le DPP (Riel et coll., 2010), comme en témoignent notamment les deux points suivants :
  - » L'ampleur de la propagation vers l'est et vers le nord (vers la Saskatchewan et les Territoires du Nord-Ouest, respectivement) a dépassé celle de la propagation vers le sud (vers le centre-sud de l'Alberta).
  - » On a confirmé une propagation vers l'est dans l'ensemble des zones forestières non continues des vallées de la rivière de la Paix et de la rivière Athabasca.

#### INCERTITUDE :

- Incertitude élevée découlant des lacunes dans le modèle actuel de la vulnérabilité des forêts au DPP. Le modèle se fonde sur des données liées aux peuplements (mesures et relations) pour calculer les points vulnérables à l'échelle du paysage au moyen de l'inventaire forestier. Ces calculs sont très sensibles aux données d'entrée contenant des renseignements différents (Nelson et coll., 2006b), comme :
  - » la direction du vent, la topographie et la distance à partir de la source;
  - » la capacité de dispersion sur de grandes distances et le comportement de dispersion au front de l'infestation (c.-à-d. franchissement des écarts);
  - » l'influence des conditions météorologiques et du climat;
  - » l'incidence des mesures de gestion.

## *Lien entre la propagation et l'adéquation du climat*

**DES MODÈLES D'ADÉQUATION DU CLIMAT (NEALIS ET PETER, 2008; BENTZ ET COLL., 2010) ONT ÉTÉ VALIDÉS. LES RÉSULTATS DES MODÈLES INDIQUENT QUE L'EXTENSION DE L'AIRE DE RÉPARTITION AU COURS DES 15 DERNIÈRES ANNÉES A ÉTÉ ASSOCIÉE À DES CONDITIONS MÉTÉOROLOGIQUES FAVORISANT LA SURVIE DU DPP DANS L'OUEST CANADIEN.**

#### DONNÉES PROBANTES :

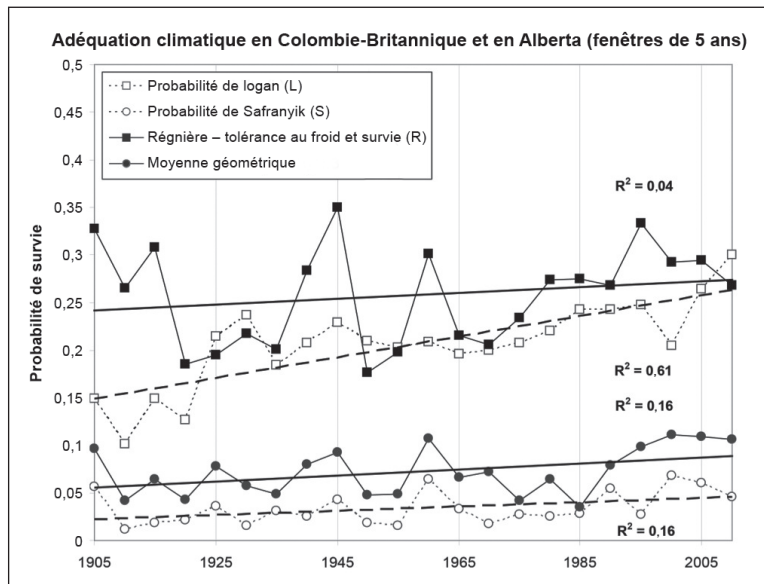
- Un modèle d'adéquation du climat estival (Nealis et Peter, 2008; figure 7) a été validé pour le DPP en Idaho (Powell et Bentz, 2009) et indique une forte tendance positive de 1905 à 2010 au Canada (figure 6).

- Le modèle (modifié) de Safranyik (Nealis et Peter, 2008; figure 7) a été validé comme outil de prévision de l'extension de l'aire de répartition (Safranyik et coll., 2010), étant donné que les données d'observation sur les attaques et les populations persistantes concordent avec les données du modèle sur l'adéquation du climat.
- Les prédictions (Régnière et Bentz, 2007; Nealis et Peter, 2008) sur la mortalité hivernale (tolérance au froid) ont été validées en Alberta (Cooke, 2009) et en Colombie-Britannique (Pellow et coll., 2010).
- Les résultats préliminaires des recherches en Alberta et en Colombie-Britannique concordent avec les résultats du modèle global, qui montrent que la survie hivernale locale peut être très faible dans la zone d'extension de l'aire de répartition (Bleiker et coll., 2011).
- Les températures hivernales plus élevées depuis 1995 (par rapport aux périodes normales précédentes, de 1961 à 1990) sont associées à l'extension de l'aire de répartition.
- Les taux de changement des populations durant les périodes endémiques en Colombie-Britannique sont étroitement liés à la variabilité annuelle des conditions météorologiques (Samaraju et coll., 2012).
- La récente épidémie en Colombie-Britannique est étroitement liée à la variabilité des conditions météorologiques.

#### **INCERTITUDE :**

- Incertitude faible à moyenne concernant les futures tendances liées au climat dans la forêt boréale.
- Incertitude moyenne à élevée concernant les prévisions des conditions météorologiques à des endroits précis, car les modèles d'adéquation du climat sont limités par le fait que la résolution spatiale et temporelle est plus incertaine aux échelles plus fines.
- Incertitude faible à moyenne liée aux interactions du climat local avec l'état des hôtes locaux.
- Incertitude moyenne liée aux différences entre les échelles thermiques physiques et les échelles thermiques physiologiques. Les échelles thermiques physiques portent sur des mesures météorologiques directes de la température ambiante, tandis que les échelles thermiques physiologiques résultent d'une transformation des échelles physiques en échelles physiologiques propres à des espèces particulières (c.-à-d. taux de développement en fonction de la température, températures maximales/minimales critiques, etc.).





**Figure 6.** Tendances à long terme de quatre indices d'adéquation du climat (établis dans Nealis et Peter, 2008, figure 7). Tous les indices montrent une tendance à l'augmentation de l'adéquation du climat pour le dendroctone du pin ponderosa. Il convient de souligner l'augmentation forte et constante de l'adéquation du climat en été (Probabilité de Logan, carrés vides) et la séquence répétée des hivers chauds avec des taux de survie accrus depuis le milieu des années 1980 (Régnière – tolérance au froid et survie, carrés pleins). Une forte hausse du premier indice au cours de 5 ans a fait contreponds à la diminution du deuxième indice, ce qui a entraîné une augmentation soutenue de l'indice composé de l'adéquation du climat (cercles pleins).

## L'ADÉQUATION ACTUELLE DU CLIMAT DIMINUE À L'EST DE LA SASKATCHEWAN, MAIS LA VULNÉRABILITÉ DE LA FORÊT AUGMENTE.

### DONNÉES PROBANTES :

- Les modèles climatiques disponibles et les données sur le couvert forestier (figure 1) appuient cet énoncé. Bien que le risque global de graves infestations comme celles observées en Colombie-Britannique soit moindre dans la zone boréale, il est maintenant considérablement plus élevé que zéro. De plus, l'occupation de la zone boréale par le dendroctone du pin ponderosa représente une extension de l'aire de répartition de l'insecte et établit une voie potentielle par laquelle les populations résidentes de la plaine boréale pourraient pénétrer les pinèdes du centre et de l'est du Canada.

### INCERTITUDE :

- Il y a une faible incertitude liée au risque non nul et aux menaces potentielles pour les pinèdes se trouvant à l'est des infestations actuelles.
- Incertitude moyenne en ce qui concerne l'échelle temporelle de l'évolution de la menace.

## Liens entre le dendroctone du pin ponderosa et les espèces associées sur le plan écologique

LE TAUX DE PRODUCTION DE COUVAIN DE DPP PAR INDIVIDU EST PLUS ÉLEVÉ POUR TOUTES LES DENSITÉS D'ATTAQUE OBSERVÉES CHEZ LES PINS « NAÏFS » DANS LA NOUVELLE AIRE DE RÉPARTITION. LES PINS NAÏFS SONT DES PINS TORDUS LATIFOLIÉS SE TROUVANT DANS DES PEUPELEMENTS QUI N'ONT JAMAIS ÉTÉ EXPOSÉS AU DENDROCTONE DU PIN PONDEROSA. LA CAPACITÉ DE RÉSISTANCE DES PINS NAÏFS EST DONC POTENTIELLEMENT DIFFÉRENTE DE CELLE DES AUTRES PINS.

### DONNÉES PROBANTES :

- Lors de recherches récentes, on a observé la production de couvain chez des pins naïfs à de faibles densités d'attaque (Cudmore et coll., 2010).

### INCERTITUDE :

- Incertitude moyenne, puisque les observations limitées effectuées jusqu'à présent pourraient être associées à des facteurs locaux ayant une incidence sur la défense des hôtes (p. ex. gènes, facteurs liés au site).
- Observations effectuées chez le pin tordu latifolié seulement. Des observations sont nécessaires chez le pin gris.
- Les liens peuvent changer en fonction du temps. Par exemple, l'incidence des ennemis naturels pourrait augmenter une fois que les populations seront établies et que les insectes choisiront et tueront les arbres les plus résistants.

LES CHAMPIGNONS ASSOCIÉS PRÉSENTS DANS LA NOUVELLE AIRE DE RÉPARTITION (P. EX. *LEPTOGRAPHIUM* SPP.) SONT BIEN ADAPTÉS AU CLIMAT BORÉAL.

### DONNÉES PROBANTES :

- Les espèces de champignon du bleuissement le plus souvent associées au DPP dans les forêts boréales de l'Alberta, qui appartiennent au genre *Leptographium*, peuvent survivre aux hivers froids et se développer chez le pin gris.
- Les études en laboratoire indiquent que la présence de *Leptographium* chez le pin gris augmente considérablement la valeur adaptative du DPP par rapport aux effets d'autres champignons associés communs.

### INCERTITUDE :

- Incertitude moyenne, puisque les détails des interactions *in situ* n'ont pas été établis.

IL N'Y A PAS DE DIFFÉRENCE IMPORTANTE ENTRE LES COMPÉTITEURS OU LES ENNEMIS NATURELS DU DENDROCTONE DU PIN PONDEROSA DANS LES FORÊTS DE PIN GRIS ET LES FORÊTS DE PIN TORDU LATIFOLIÉ DU CANADA.

### DONNÉES PROBANTES :

- Les principaux compétiteurs du DPP, qui pourraient avoir une incidence sur la transition de l'état endémique à l'état épidémique (Safranyik et Carroll, 2006), semblent être les mêmes dans



les forêts de pin tordu latifolié et les forêts de pin gris (Bright, 1976). De la même manière, les ennemis naturels (prédateurs, pathogènes et parasitoïdes) associés au dendroctone du pin ponderosa dans les forêts de pin tordu latifolié de la Colombie-Britannique sont les mêmes dans l'ensemble de la zone boréale (D. Langor, Service canadien des forêts, Edmonton, Alberta, communication personnelle, août 2007).

#### **INCERTITUDE :**

- Faible incertitude liée à la similarité de la composition de la faune des compétiteurs et des ennemis naturels dans les forêts de pin tordu latifolié et de pin gris. La nature qualitative attendue des interactions dans les deux types de forêt est comparable.
- Incertitude moyenne concernant la nature quantitative de ces interactions en lien avec la dynamique du dendroctone du pin ponderosa.

## Répercussions

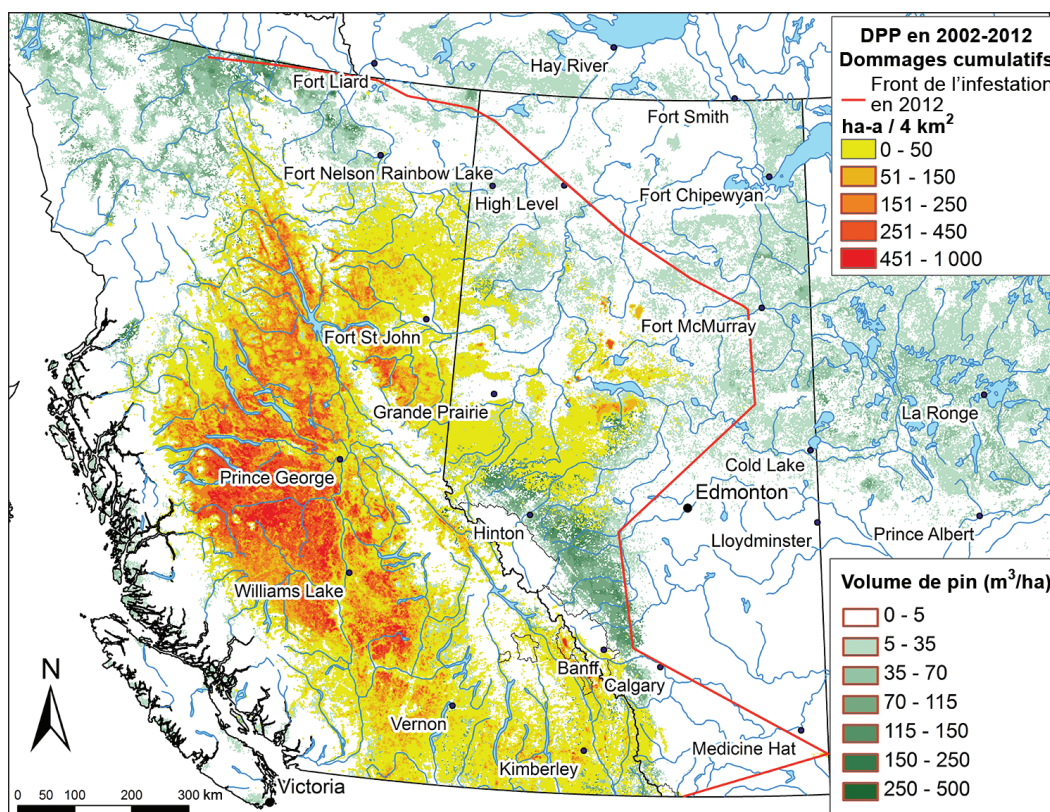
**LE DPP PRÉSENTE UN RISQUE POUR L'ENSEMBLE DES PINÈDES, MAIS LES PERTES PRÉVUES DANS LES FORÊTS BORÉALES DE L'ALBERTA, DE LA SASKATCHEWAN ET DU MANITOBA SONT MOINS IMPORTANTES QUE CELLES OBSERVÉES EN COLOMBIE-BRITANNIQUE SUR TOUS LES PLANS, SAUF À L'ÉCHELLE DES ARBRES. MÊME DANS DES CONDITIONS D'INFESTATION, LES PERTES MOYENNES À L'ÉCHELLE DES PEUPELEMENTS DANS LA FORÊT BORÉALE NE DEVRAIENT PAS DÉPASSER 30 % DES TIGES OU 40 % À 60 % DU VOLUME SUR PIED (NEALIS ET PETER, 2008, P. 16).**

#### **DONNÉES PROBANTES :**

- Les pertes à l'échelle des peuplements sont fonction du volume; les faibles volumes des peuplements dans les pinèdes boréales et les pinèdes de l'Est, du moins dans la plaine boréale, devraient entraîner des pertes cumulatives moins importantes que celles observées dans les peuplements à volume élevé en Colombie-Britannique et dans les contreforts de l'Alberta (figure 7).
- Les volumes des peuplements dans les pinèdes de l'Ontario, toutefois, sont à nouveau relativement élevés.
- Les estimations des pertes dans les contreforts de l'Alberta sont plus faibles qu'en Colombie-Britannique (environ 5 % jusqu'à présent), mais des taux de 90 % ont été observés dans la région boréale.

#### **INCERTITUDE :**

- Si le taux de production de couvain par individu est plus élevé (voir *Lien entre la propagation et l'adéquation du climat* en page 17) et/ou que le taux de survie est élevé dans l'aire de répartition élargie, les pertes à l'intérieur des peuplements seront plus importantes.
- Les pertes se poursuivent dans les peuplements les plus infestés en Alberta. Nous ne connaissons pas encore les pertes cumulatives totales. Dans les régions que le DPP occupe depuis plusieurs années (p. ex. Grand Prairie), des taux de mortalité élevés sont signalés à l'échelle des peuplements.



**Figure 7.** Dommages cumulatifs causés par le dendroctone du pin ponderosa entre 2002 et 2012 et front d'expansion de l'aire de répartition en 2012, d'après les relevés annuels des zones visées. Comme une même zone peut subir des dommages année après année à mesure que les insectes attaquent et tuent de nouveaux arbres, la superficie cumulative qui est endommagée dans les peuplements gravement touchés peut dépasser la superficie réelle de la zone, ce qui est clairement impossible. Le recours à une variable composée, l'hectare-année (ha-a), permet de corriger cette lacune dans la cartographie annuelle des dommages par zone. Un ha-a correspond à un hectare endommagé au cours d'une année (1 ha X 1 a). Cent ha-a correspondraient à 100 hectares endommagés pendant une année (100 X 1) ou à 10 hectares endommagés pendant 10 années (10 ha X 10 a), etc. Les calculs se fondent sur des unités de 4 km<sup>2</sup> (400 ha).

**PAR RAPPORT AUX FORÊTS DE L'INTÉRIEUR DE LA COLOMBIE-BRITANNIQUE, LES FORÊTS BORÉALES CONTIENNENT UNE PROPORTION ÉLEVÉE DE PEUPELEMENTS DE FAIBLE VOLUME QUI SE RAPPROCHENT DÉJÀ DES SEUILS D'EXPLOITABILITÉ POUR LA RÉCOLTE COMMERCIALE DU BOIS. LES RÉPERCUSSIONS LIÉES AU DENDROCTONE DU PIN PONDEROSA REPRÉSENTENT DONC UN RISQUE ÉLEVÉ POUR L'EXPLOITABILITÉ DE CES PEUPELEMENTS.**

**DONNÉES PROBANTES :**

- Une proportion élevée des peuplements de pins dans la forêt boréale ont un volume de moins de 40 m<sup>3</sup>/ha (figure 1).
- De nombreux facteurs ont une incidence sur l'exploitabilité, mais en général, les peuplements de faible volume sont moins en mesure d'absorber les pertes (volume et qualité) tout en demeurant exploitables.

#### **INCERTITUDE :**

- Incertitude moyenne, puisque les faibles volumes sont typiques de la ressource dans la zone boréale, et qu'il peut y avoir une certaine marge de manœuvre dans les seuils d'exploitabilité.

**LES COLLECTIVITÉS SONT VULNÉRABLES AUX IMPACTS SOCIOÉCONOMIQUES DES DOMMAGES CAUSÉS PAR LE DENDROCTONE DU PIN PONDEROSA. LES STOCKS DE BOIS DANS CERTAINES RÉGIONS PEUVENT ÊTRE INSUFFISANTS POUR COMPENSER LES PERTES LIÉES AU DENDROCTONE DU PIN PONDEROSA. TOUTEFOIS, LE CONTEXTE ACTUEL D'AUTRES INDUSTRIES (COMME L'INDUSTRIE PÉTROLIÈRE ET GAZIÈRE) PAR RAPPORT AU SECTEUR FORESTIER POURRAIT AVOIR POUR EFFET D'AMÉLIORER LA CAPACITÉ D'ADAPTATION DE CERTAINES COLLECTIVITÉS.**

#### **DONNÉES PROBANTES :**

- Les répercussions varieront et, par le fait même, la vulnérabilité variera aussi. La marge de manœuvre dépendra des taux réels de propagation, les taux de propagation plus rapides ayant pour effet d'accroître la vulnérabilité.
- Les répercussions socioéconomiques varieront, selon la dépendance locale à l'égard du secteur forestier. Les autres possibilités d'emploi pourraient être nombreuses près du front actuel (2011) de l'infestation au centre de l'Alberta, mais être beaucoup moins nombreuses dans l'industrie forestière en pleine croissance de la Saskatchewan.

#### **INCERTITUDE :**

- Incertitude moyenne à élevée, parce que l'incidence nette est fonction du moment où surviennent les dommages et de leur gravité, et ces facteurs sont inconnus.
- Les répercussions économiques sont incertaines, même aux endroits où les impacts sont déjà manifestes.

**LES RÉPERCUSSIONS DU DPP QUI NE SONT PAS LIÉES AU BOIS REVÊTIRONT UNE PLUS GRANDE IMPORTANCE DANS LA PLAINE BORÉALE QU'EN COLOMBIE-BRITANNIQUE. LES MESURES D'AMÉNAGEMENT FORESTIER PEUVENT ENTRER EN CONFLIT AVEC LES VALEURS NON LIGNEUSES.**

#### **DONNÉES PROBANTES :**

- Les pinèdes de la zone boréale et de l'Est sont une source relativement importante de revenus provenant du tourisme, des loisirs et du piégeage (tableau 2, Nealis et Peter, 2008).
- Les impacts hydrologiques de la réduction de l'étage dominant des pins peuvent être considérables (British Columbia Forest Practices Board, 2007).
- Les répercussions négatives et les coûts de récupération peuvent être considérables (Lindenmayer et coll., 2004).

#### **INCERTITUDE :**

- Incertitude faible, en raison des valeurs relatives connues du bois par rapport aux valeurs non ligneuses dans la région boréale, comparativement à celles de la Colombie-Britannique.

## L'ACTIVITÉ DU DENDROCTONE DU PIN PONDEROSA PEUT AVOIR DES RÉPERCUSSIONS SUR LE PLAN RÉGLEMENTAIRE ET ENTRAÎNER DES CHANGEMENTS DANS L'ÉCOULEMENT DES FIBRES LIGNEUSES.

### *DONNÉES PROBANTES :*

- En Alberta, les peuplements tués par le DPP sont assujettis à une politique d'invalidation des permis inutilisés. Les entreprises forestières peuvent perdre leur part si elles ne sont pas en mesure de suivre le rythme de l'infestation.
- Il est possible que les infrastructures de transport ne puissent pas suffire aux activités de récolte.
- À mesure que le transport, l'entreposage et la transformation des billes de bois infestées par les insectes seront réglementés, les coûts de ces activités augmenteront.

### *INCERTITUDE :*

- Faible incertitude liée au fait qu'il y aura des répercussions, mais que les coûts de ces répercussions sont inconnus.

## *Risque d'incendie*

## LA FRÉQUENCE DES FEUX DE FORÊT DANS LES PEUPELEMENTS TOUCHÉS PAR LE DPP DEMEURERA LA MÊME OU AUGMENTERA LÉGÈREMENT.

### *DONNÉES PROBANTES :*

- Les pinèdes comptent parmi les types de forêt les plus sujets aux incendies. Les événements météorologiques, particulièrement la foudre, sont les principaux facteurs qui déterminent la fréquence des incendies dans les pinèdes. Ces événements ne sont pas associés aux effets du DPP.
- Le nombre de feux allumés peut augmenter si les arbres tués à la suite d'une attaque de DPP fournissent des débris pouvant être allumés par la foudre sèche, par d'autres incendies ou par des activités humaines.
- Les débris ligneux grossiers créés par la chute des arbres à la suite d'une attaque de DPP sont très secs, même dans les endroits généralement humides.
- Un nombre disproportionné d'incendies couvrant de grandes superficies sont survenus dans les peuplements touchés par le DPP. Seulement 5 % des incendies récents en Colombie-Britannique ont fait rage dans des peuplements touchés par le DPP, mais ces incendies représentaient plus de la moitié de la superficie totale brûlée.

### *INCERTITUDE :*

- La fréquence future de la foudre et des allumages causés par l'homme est inconnue.
- Les observations tirées du site de recherche de Carrott Lake n'ont pas indiqué de changement dans la probabilité d'un allumage aux premières étapes des dommages causés par le DPP (c.-à-d. présence d'arbres rouges), mais cette probabilité augmente à mesure que les matières mortes sèches s'accumulent.

## L'INTENSITÉ DES INCENDIES AUGMENTE À MESURE QUE LES ARBRES TOUCHÉS PAR LE DPP MEURENT, ET DEMEURE ÉLEVÉE PENDANT PLUSIEURS ANNÉES.

### *DONNÉES PROBANTES :*

- Des observations récentes indiquent que les incendies sont plus intenses durant le stade des arbres rouges.
- Les feux de cimes dans les peuplements au stade rouge se déplacent et prennent de l'expansion plus rapidement.
- La vitesse de propagation des incendies touchant des arbres morts sur pied est plus lente que celle des incendies touchant des arbres vivants, mais leur intensité est plus élevée en raison des conditions de surface plus sèches découlant de la présence de charges de combustible très sec.
- Le comportement de propagation des incendies est plus imprévisible, parce que les incendies très intenses engendrent des interactions plus complexes entre le combustible et l'atmosphère.
- Dans les sites humides touchés par le DPP, la végétation du sous-étage se régénère plus rapidement, mais ces sites s'assèchent aussi plus rapidement.

### *INCERTITUDE :*

- Les grands incendies en Colombie-Britannique surviennent souvent dans les peuplements dominés par les pins, de toute façon, car les pinèdes sont associées aux régions sèches et isolées.
- Les modèles d'incendie existants ne tiennent pas compte des changements dans la vitesse du vent associés à la structure forestière propre à la zone boréale, et sous-estiment donc les vitesses de propagation.
- La compréhension du comportement des incendies est entravée par la nécessité de combiner des observations effectuées à grande échelle qui vont des petits incendies contrôlés aux grands feux de forêt.
- La variation du risque d'incendie attribuable au DPP peut difficilement être transposée du pin tordu latifolié présent en Colombie-Britannique et sur les versants orientaux au pin gris de la forêt boréale. La périodicité des incendies touchant les forêts de pin gris est plus longue en raison du développement plus faible de la végétation du sous-étage. Ces forêts s'assèchent très rapidement et, dans les peuplements âgés riches en lichens des caribous, le risque d'incendie peut être très élevé, même en l'absence du DPP.

## DANS LES PEUPELEMENTS TOUCHÉS PAR LE DPP, LA VITESSE DE PROPAGATION DES INCENDIES PAR DISSÉMINATION EST GÉNÉRALEMENT PLUS ÉLEVÉE.

### *DONNÉES PROBANTES :*

- Le détachement de l'écorce et la chute des arbres tués par le DPP contribuent à l'accumulation de débris ligneux importants qui produisent des braises plus importantes pouvant être transportées sur de grandes distances par les vents. De récentes observations estiment que ces braises sont transportées sur une distance de 3 à 5 km.
- Les allumages surviennent plus facilement dans les peuplements touchés par le DPP que dans les peuplements non touchés.

### *INCERTITUDE :*

- Observations peu fréquentes jusqu'à présent.
- Les allumages n'entraînant pas d'incendie ne sont pas bien documentés.

## LES FEUX DE CIMES QUI SE PROPAGENT RAPIDEMENT PEUVENT DEVENIR PLUS COURANTS DANS LES PEUPELEMENTS TOUCHÉS PAR LE DPP.

### *DONNÉES PROBANTES :*

- Les peuplements gravement touchés entraînent un changement important dans les charges de combustible sec sur une très courte période.
- Les combustibles fins asséchés (aiguilles et rameaux) restent sur les arbres pendant plusieurs années.
- La régénération peut entraîner la création de « combustibles étagés ».

### *INCERTITUDE :*

- Dépend dans une grande mesure du contexte et du climat. Le risque est très réduit dans les peuplements mixtes et clairsemés.



## Références

- Bentz, B.J., Régnière, J., Fettig, C.J., Hansen, E.M., Hayes, J.L., Hicke, J.A., Kelsey, R.G. Negrón, J.F. et Seybold, S.J. 2010. Climate change and bark beetles of the western United States and Canada: Direct and indirect effects. *BioScience* 60:602–613.
- Bleiker, K.P., Carroll, A.L. et Smith, G.D. 2011. Mountain pine beetle range expansion: assessing the threat to Canada's boreal forest by evaluating the endemic niche. Ressources naturelles Canada, Service canadien des forêts, Victoria (C.B.) Mountain Pine Beetle Working Paper 2010-02.
- Borden, J.H. 1993. Uncertain fate of spot infestations of the mountain pine beetle, *Dendroctonus ponderosae* Hopkins. *Canadian Entomologist* 125:167–169.
- Bright, D. 1976. The bark beetles of Canada and Alaska (Coleoptera: Scoltyidae). The Insects and Arachnids of Canada, Part 2. Institut de recherche biosystématique, publication 1576.
- British Columbia Forest Practices Board. 2007. The effect of mountain pine beetle attack and salvage harvesting on streamflows. Special Investigation Report FPB/SIR/16. Victoria (C.B.) 27 p.
- Coggins, S., Wulder, M.A., Coops, N.C. et White, J.C. 2008. Linking survey detection accuracy with ability to mitigate populations of mountain pine beetle. Ressources naturelles Canada, Service canadien des forêts, Centre de foresterie du Pacifique, Victoria (C.B.) Mountain Pine Beetle Working Paper 2008-28. 17 p.
- Cooke, B.J. 2009. Forecasting mountain pine beetle-overwintering mortality in a variable environment. Ressources naturelles Canada, Service canadien des forêts, Service de foresterie du Pacifique, Victoria (C.B.) Mountain Pine Beetle Working Paper 2009-03. 25 p.
- 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 naive host tree populations. *Journal of Applied Ecology* 47:1036–1043.
- Cullingham, C.I., Cooke, J.E.K., Dang, S., Davis, C.S., Cooke, B.J. et Coltman, D.W. 2011. Mountain pine beetle and host-range expansion threatens the boreal forest. *Molecular Ecology* 20: 2157–2171.
- Harris, J.W.E. et Dawson, A.F. 1979. Evaluation of aerial forest pest damage survey techniques in British Columbia. Service canadien des forêts, Victoria (C.B.) BC Information Report BC-X-198.
- James, P.M.A., Murray, B.W., Hamelin, R.C., Coltman, D.W. et Sperling, F.A.H. 2011. Spatial genetic structure of a symbiotic beetle-fungal system: toward multi-taxa integrated landscape genetics. *PLoS ONE* 6(10): e2539.
- Lindenmayer, D., Foster, D., Franklin, J., Hunter, M., Noss, R., Schmiegelow, F. et Perry, D. 2004. Salvage harvesting policies after natural disturbance. *Science* 303:1303.
- Little, E.L., Jr. 1971. Atlas of United States trees. Vol. 1: Conifers and important hardwoods. USDA Forest Service, Washington (D.C.).
- Nealis, V. et Peter, B. 2008. Risk assessment of the threat of mountain pine beetle to Canada's boreal and eastern pine forests. Information Report BC-X-417, Victoria (C.B.).

- Nelson, T., Boots, B. et Wulder, M.A. 2006a. Large-area mountain pine beetle infestations: Spatial data representation and accuracy. *The Forestry Chronicle* 82:243–252.
- Nelson, T., Boots, B., Wulder, M.A., Shore, T., Safranyik, L. et Ebata, T. 2006b. Rating the susceptibility of forests to mountain pine beetle infestation: The impact of data. *Revue canadienne de recherche forestière* 36:2815–2825.
- Pellow, K., Thandi, G. et Unger, L. 2010. Mountain pine beetle survey in the Peace Region of British Columbia and adjacent areas in Alberta. Ressources naturelles Canada, Service canadien des forêts, Centre de foresterie du Pacifique, Victoria (C.B.) Mountain Pine Beetle Working Paper 2010-05. 12 p.
- Powell, J.A. et Bentz, B.J. 2009. Connecting phenological predictions with population growth rates for mountain pine beetle, an outbreak insect. *Landscape Ecology* 24:657–672.
- Régnière, J. et Bentz, B.J. 2007. Modeling cold tolerance in the mountain pine beetle, *Dendroctonus ponderosae*. *Journal of Insect Physiology* 53(6):559–572.
- Riel, W.G., Burnett, C. et Fall, A. 2010. Impacts of climate change on mountain pine beetle habitat connectivity in western Canada. Ressources naturelles Canada, Service canadien des forêts, Centre de foresterie du Pacifique, Victoria (C.B.) Mountain Pine Beetle Working Paper 2010-04. 26 p.
- Safranyik, L. et Carroll, A.L. 2006. The biology and epidemiology of the mountain pine beetle in lodgepole pine forests. In L. Safranyik and B. Wilson (eds.), *The mountain pine beetle: A synthesis of biology, management, and impacts on lodgepole pine*. Ressources naturelles Canada, Service canadien des forêts, Victoria (C.B.) p. 3–66.
- Safranyik, L., Carroll, A.L., Régnière, J., Langor, D.W., Riel, W.G., Shore, T.L., Peter, B., Cooke, B.J., Nealis, V.G. et Taylor, S.W. 2010. Potential for range expansion of mountain pine beetle into the boreal forest of North America. *Canadian Entomologist* 142:415–442.
- Safranyik, L., Linton, D.A., Silversides, R. et McMullen, L.H. 1992. Dispersal of released mountain pine beetles under the canopy of a mature lodgepole pine stand. *Journal of Applied Entomology* 113.
- Sambaraju, K.R., Carroll, A.L., Zhu, J., Stahl, K., Moore, R.D. et Aukema, B.H. 2012. Climate change could alter the distribution of mountain pine beetle outbreaks in western Canada. *Ecography* 35:211–225.
- Shore, T. et Safranyik, L. 1992. Susceptibility and risk rating systems for the mountain pine beetle in lodgepole pine stands. Forêts Canada, Centre de foresterie du Pacifique, Victoria (C.B.) BC Information Report BC-X-336.
- Walton, A. 2011. Provincial-level projection of the current mountain pine beetle outbreak: Update of the infestation projection based on the 2010 provincial aerial overview of forest health and the BCMPB model (year 8). Service des forêts de la C.-B., Victoria (C.B.).
- Wulder, M.A., White, J.C., Carroll, A.L. et Coops, N.C. 2009. Challenges for the operational detection of mountain pine beetle green attack with remote sensing. *The Forestry Chronicle* 85:32–38.
- Yemshanov, D., McKenney, D.W. et Pedlar, J.H. 2011. Mapping forest composition from the Canadian National Forest Inventory and land cover classification maps. *Environmental Monitoring and Assessment*. DOI : 10.1007/s10661-011-2293-2.



# Annexe 1

## Ateliers et participants

### 1. PRINCIPAUX POINTS D'INCERTITUDE (EDMONTON, 28 SEPTEMBRE 2011)

*Kathy Bleiker*, Ressources naturelles Canada, Centre de foresterie du Pacifique  
*Barry Cooke*, Ressources naturelles Canada, Centre de foresterie du Nord  
*Tom Hutchinson*, ministère du Développement durable des ressources de l'Alberta  
*David Langor*, Ressources naturelles Canada, Centre de foresterie du Nord  
*Erica Lee*, ministère du Développement durable des ressources de l'Alberta  
*Dan Lux*, ministère du Développement durable des ressources de l'Alberta  
*Rory McIntosh*, ministère de l'Environnement de la Saskatchewan  
*Vince Nealis*, Ressources naturelles Canada, Centre de foresterie du Pacifique  
*Tod Ramsfield*, Ressources naturelles Canada, Centre de foresterie du Nord  
*Bill Riel*, Ressources naturelles Canada, Centre de foresterie du Pacifique  
*Steve Taylor*, Ressources naturelles Canada, Centre de foresterie du Pacifique  
*Mike Undershultz*, ministère du Développement durable des ressources de l'Alberta

### 2. DISPERSION ET PROPAGATION (VICTORIA, 23 FÉVRIER 2011)

*Kathy Bleiker*, Ressources naturelles Canada, Centre de foresterie du Pacifique  
*Chris Bone*, Ressources naturelles Canada, Centre de foresterie du Pacifique  
*Elizabeth Campbell*, Ressources naturelles Canada, Centre de foresterie du Pacifique  
*Allan Carroll*, Université de la Colombie-Britannique  
*Barry Cooke*, Ressources naturelles Canada, Centre de foresterie du Nord  
*Andrew Fall*, Gowlland Technologies Ltd.  
*Josie Hughes*, Université de Toronto  
*Vince Nealis*, Ressources naturelles Canada, Centre de foresterie du Pacifique  
*Bill Riel*, Ressources naturelles Canada, Centre de foresterie du Pacifique  
*Greg Smith*, Ressources naturelles Canada, Centre de foresterie du Pacifique

### 3. RISQUE D'INCENDIE (TÉLÉCONFÉRENCE, 6 AVRIL 2011)

**Rebecca Han**, ministère du Développement durable des ressources de l'Alberta

**Brad Hawkes**, Ressources naturelles Canada, Centre de foresterie du Pacifique

**Dana Hicks**, ministère des Forêts, des Territoires et des Opérations  
des ressources naturelles de la Colombie-Britannique

**Chris McGuinty**, ministère du Développement durable des ressources de l'Alberta

**Colleen Mooney**, FPInnovations

**Vince Nealis**, Ressources naturelles Canada, Centre de foresterie du Pacifique

**Dan Perrakis**, ministère des Forêts, des Territoires et des Opérations  
des ressources naturelles de la Colombie-Britannique

**Mike Pritchard**, ministère des Forêts, des Territoires et des Opérations  
des ressources naturelles de la Colombie-Britannique

**Les Safranyik**, Ressources naturelles Canada, Centre de foresterie du Pacifique

**Dave Schroeder**, ministère du Développement durable des ressources de l'Alberta

### 4. ÉVALUATION DU RISQUE (VICTORIA, 18 ET 19 OCTOBRE 2011)

**René Alfaro**, Ressources naturelles Canada, Centre de foresterie du Pacifique

**Kathy Bleiker**, Ressources naturelles Canada, Centre de foresterie du Pacifique

**Elizabeth Campbell**, Ressources naturelles Canada, Centre de foresterie du Pacifique

**Allan Carroll**, Université de la Colombie-Britannique

**Barry Cooke**, Ressources naturelles Canada, Centre de foresterie du Nord

**Lyle Dinn**, ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources du Yukon

**Tim Ebata**, ministère des Forêts, des Territoires et des Opérations  
des ressources naturelles de la Colombie-Britannique

**Andrew Fall**, Gowlland Technologies Ltd.

**Jacques Gagnon**, Ressources naturelles Canada, Administration centrale

**Janice Hodge**, Coordinatrice technique de la SNLRF

**Rob Legare**, ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources du Yukon

**Eliot McIntire**, Ressources naturelles Canada, Centre de foresterie du Pacifique

**Vince Nealis**, Ressources naturelles Canada, Centre de foresterie du Pacifique

**Kevin Porter**, Ressources naturelles Canada, Centre de foresterie de l'Atlantique

**Bill Riel**, Ressources naturelles Canada, Centre de foresterie du Pacifique

**Mike UnderShultz**, ministère du Développement durable des ressources de l'Alberta

**Joanne White**, Ressources naturelles Canada, Centre de foresterie du Pacifique