

L'aménagement
écosystémique
des forêts



plus
PROCHE
de la nature

L'aménagement écosystémique dans un contexte d'épidémie de la tordeuse des bourgeons de l'épinette

Guide de référence pour moduler
les activités d'aménagement dans les forêts publiques

www.mffp.gouv.qc.ca/fr/ecosystemique

RÉGIME
FORESTIER



Québec 

L'aménagement écosystémique dans un contexte d'épidémie de la tordeuse des bourgeons de l'épinette

Guide de référence pour moduler les activités d'aménagement dans les forêts publiques



Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs
Direction de l'aménagement et de l'environnement forestiers
Direction de la protection des forêts

Québec, décembre 2014

Coordonnatrice

Marie-Andrée Vaillancourt, biol., M. Sc., Direction de l'aménagement et de l'environnement forestiers

Auteurs

Michel Chabot, ing.f., consultant en protection des forêts; Jean-Pierre Jetté, ing.f., Direction de l'aménagement et de l'environnement forestiers; Marie-Andrée Vaillancourt, biol., M. Sc., Direction de l'aménagement et de l'environnement forestiers; Cédric Fournier, ing.f., M. Sc., Direction de la protection des forêts; Pierre Beaupré, ing.f., Direction de l'aménagement et de l'environnement forestiers; Mathieu Bouchard, ing.f., Ph. D., Direction de la recherche forestière

Collaborateurs

Sylvie Côté, Centre d'enseignement et de recherche en foresterie de Sainte-Foy inc. (CERFO); Sébastien Bélanger, Sylvie Jean, Danièle Pouliot, et Louis Morneau, Direction de la protection des forêts; Jérôme Garet, Jacques Gravel, Michel Huot, Marc Leblanc, Claude Paquet, Marie-Ève Roy, Alain Schreiber et Martin Seto, Direction de l'aménagement et de l'environnement forestiers; Jacques Duval et Mélanie Rioux, Secteur des opérations régionales

Remerciements

Langis Beaulieu, Annie Belleau, Jacques Blouin, Marie-Hélène Bouchard, Frédéric Bujold, Louis De Grandpré, Sylvie Delisle, Lyne Giasson, François Hébert, Patrick James, Daniel Kneeshaw, Catherine Larouche, Nathalie Laurencelle, Luc Lavallée, Hubert Morin, David Pothier, Martin Simard, Lucie Thibodeau, Nelson Thiffault, Stéphane Tremblay et Kaysandra Waldron

Photos

Direction de la protection des forêts, Direction de l'aménagement et de l'environnement forestiers, Michel Chabot (consultant) et Jacques Duval (unité de gestion Manicouagan-Outardes).

Page couverture : Marie-Andrée Vaillancourt, Marie-Eve Roy et Direction de la protection des forêts

Pour plus de renseignements

Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs
5700, 4^e Avenue Ouest
Québec (Québec) G1H 6R1
Téléphone : 418 627-8600
Ligne sans frais : 1 866 248-6936
Télécopieur : 418 644-6513
Courriel : services.clientele@mffp.gouv.qc.ca
Site Web : forets.gouv.qc.ca
DAEF-0356

Cette publication, conçue pour une impression recto verso, est uniquement accessible en ligne à l'adresse suivante : www.mffp.gouv.qc.ca/forets/amenagement/amenagement-ecosystemique.jsp.

Référence : MINISTÈRE DES FORÊTS, DE LA FAUNE ET DES PARCS (2014). *L'aménagement écosystémique dans un contexte d'épidémie de la tordeuse des bourgeons de l'épinette – Guide de référence pour moduler les activités d'aménagement dans les forêts publiques*, Québec, gouvernement du Québec, Direction de l'aménagement et de l'environnement forestiers et Direction de la protection des forêts, 127 p.

Mots clés : aménagement écosystémique, forêt, défoliation, épidémie, Québec, sapin, tordeuse des bourgeons de l'épinette, traitement sylvicole

Key words: defoliation, fir, forest management, outbreak, Quebec, silvicultural treatment, spruce budworm

© Gouvernement du Québec
Dépôt légal – Bibliothèque et Archives nationales du Québec, 2014
Dépôt légal – Bibliothèque et Archives Canada, 2014
ISBN : 978-2-550-72107-9

Table des matières

Introduction	1
Chapitre 1 Quelques notions sur la tordeuse des bourgeons de l'épinette, les épidémies et leur influence sur la dynamique des forêts	3
1.1 Bref historique des épidémies	3
1.2 Dynamique des populations et cycles des épidémies.....	4
1.3 Variabilité dans la gravité des épidémies : facteurs d'influence	5
1.4 Susceptibilité	6
1.5 Vulnérabilité	7
1.5.1 À l'échelle de l'arbre	7
1.5.2 À l'échelle du peuplement	9
1.5.3 À l'échelle du paysage	9
1.5.4 À l'échelle du Québec	10
1.6 Déroulement d'une épidémie	13
1.6.1 Période d'endémie	13
1.6.2 Période d'épidémie.....	14
1.7 Progression de la mortalité à l'échelle du peuplement.....	16
1.8 Dégradation des arbres.....	17
1.9 Détermination des périodes propices à la récolte des peuplements vulnérables	21
1.10 Attributs écologiques des peuplements et des paysages forestiers façonnés par la tordeuse des bourgeons de l'épinette	23
1.10.1 Structure d'âge des forêts	23
1.10.2 Réinitialisation des peuplements.....	24
1.10.3 Perturbation partielle des peuplements.....	26
1.10.4 Organisation spatiale des paysages	28
Chapitre 2 Fondements de la démarche de modulation	29
2.1 Objectifs de l'approche de gestion des forêts face à l'épidémie	30
2.1.1 Minimiser les pertes de volume de bois qui peuvent résulter de la mortalité des arbres causée par l'épidémie	30
2.1.2 Favoriser le rendement ligneux à moyen et à long terme dans les forêts perturbées par la tordeuse des bourgeons de l'épinette	30
2.1.3 Maintenir les cibles de structure d'âge et éviter d'aggraver la raréfaction des peuplements capables de jouer le rôle écologique des vieilles forêts.....	31
2.1.4 Assurer le maintien des attributs naturels dans les peuplements perturbés faisant l'objet d'interventions	31
2.2 Outils disponibles et analyses à faire	31
2.2.1 Analyse de la vulnérabilité des peuplements et des territoires touchés.....	32
2.2.1.1 Méthode de classification	33
2.2.1.2 Analyse et diagnostic.....	38
2.2.2 Analyse de la structure d'âge du territoire en fonction de la persistance probable des peuplements	39
2.2.2.1 Méthode de classification	40
2.2.2.2 Analyse et diagnostic.....	42
2.2.2.3 Choix d'aménagement.....	46

2.2.3 Arrimage de la planification avec les secteurs admissibles à la lutte directe	47
2.3 Suivi de l'épidémie	49
2.3.1 Suivi de l'insecte.....	49
2.3.2 Évaluation du niveau de population des larves en hibernation	52
2.3.3 Évaluation de la défoliation des pousses annuelles.....	52
2.3.4 Historique de la défoliation	55
2.3.5 Évaluation de l'état de santé des peuplements touchés par l'épidémie.....	56
2.4 Moyens disponibles pour faire face à l'épidémie	59
Chapitre 3 Orientations sylvicoles et ordonnancement de la récolte.....	63
3.1 Fondements physiologiques et biologiques	63
3.1.1 Considérations habituelles pour la sylviculture des résineux	63
3.1.2 Considérations propres à un contexte d'épidémie	66
3.2 Modulation des traitements d'éducation.....	68
3.2.1 Superficies non ou mal régénérées en essences désirées.....	68
3.2.2 Peuplements au stade de semis	68
3.2.3 Peuplements au stade de gaulis	71
3.2.4 Peuplements au stade de prématurité	74
3.3 Modulation de la récolte dans les peuplements matures	75
3.3.1 Procédés de régénération concernés	76
3.3.2 Les coupes progressives sont-elles souhaitables et possibles?	76
3.3.3 Principes orientant la récolte	80
3.3.4 Démarche proposée pour l'ordonnancement des coupes progressives et totales en fonction du déroulement de l'épidémie.....	81
3.3.4.1 Analyses préliminaires.....	81
3.3.4.2 Localisation des ZIP et validation des coupes progressives souhaitables	86
3.3.5 Coupe avec protection des petites tiges marchandes et coupe de succession	89
Chapitre 4 Recommandations pour la planification et la réalisation des chantiers de récupération.....	91
4.1 Délimitation des chantiers de récupération	93
4.1.1 Repérage des peuplements à récupérer ou à préserver.....	93
4.1.2 Modalités de répartition spatiale des coupes à l'échelle du paysage.....	93
4.1.3 Processus de délimitation	94
4.2 Modalités à l'échelle du chantier de récupération	95
4.2.1 Quantité de forêt résiduelle à maintenir	95
4.2.2 Configuration de la forêt résiduelle.....	95
4.2.3 Répartition de la forêt résiduelle.....	96
4.2.4 Composition de la forêt résiduelle	96
4.2.5 Rétention sur les parterres de coupe	97
Chapitre 5 Synthèse des actions à entreprendre selon le déroulement de l'épidémie.....	99
5.1 Période d'endémie – Phase de préépidémie	99
5.2 Période d'épidémie – Phase de défoliation sans mortalité.....	99
5.3 Période d'épidémie – Phase de défoliation avec mortalité.....	100
5.4 Période d'endémie – Phase de post-épidémie	100
5.5 Période d'endémie – Phase stable	100

Annexe A	Vocabulaire relatif à l'épidémie de la tordeuse des bourgeons de l'épinette	101
Annexe B	Codes des essences et des caractéristiques associées pour déterminer la persistance probable des peuplements.....	105
Annexe C	Critères de sélection des secteurs admissibles aux pulvérisations aériennes d'insecticide biologique contre la tordeuse des bourgeons de l'épinette	107
Annexe D	Évaluation de la défoliation totale à l'échelle de l'arbre.....	109
Annexe E	Ordonnancement de la récolte en fonction du déroulement de l'épidémie et de la persistance probable d'un peuplement.....	119
Bibliographie		121

Liste des tableaux

Tableau 1	Description des cinq phases associées aux périodes d'épidémie et d'endémie en fonction de trois indicateurs : les populations de l'insecte, la défoliation et la mortalité des arbres.....	13
Tableau 2	Description des classes de vulnérabilité proposées.....	33
Tableau 3	Type de couvert et groupement et sous-groupement synthèse d'essences proposés pour la classification de la vulnérabilité	34
Tableau 4	Relation entre la classe d'âge et le stade de développement des peuplements par domaine ou sous-domaine pour les groupements d'essences avec sapin.....	34
Tableau 5	Qualité de site pour le sapin, évaluée à partir du régime hydrique découlant des caractéristiques physiques du milieu.....	35
Tableau 6	Classe de vulnérabilité selon le groupement et le sous-groupement synthèse d'essences, le stade de développement et la qualité du site pour le sapin baumier	35
Tableau 7	Seuils d'altitude proposés pour adapter la classification de la vulnérabilité dans les domaines de la sapinière à bouleau blanc et de la pessière à mousses.....	37
Tableau 8	Typologie de la persistance probable des vieux peuplements et des recrues proches face à l'épidémie de la tordeuse des bourgeons de l'épinette.....	41
Tableau 9	Niveau de population et défoliation des pousses annuelles prévue à partir du dénombrement des larves en hibernation	52
Tableau 10	Classe de défoliation totale (%), code utilisé lors du relevé et interprétation quant à l'état de santé des arbres et à leur risque de mortalité à court terme	58
Tableau 11	Résumé des moyens disponibles pour faire face à l'épidémie	60
Tableau 12	Essences en raréfaction favorisées par les coupes progressives et concurrence pour la lumière des essences à maîtriser dans les végétations potentielles comportant beaucoup de sapins	77

Tableau 13 Schéma de la composition liée à la typologie de la persistance probable	82
Tableau 14 Évaluation de la marge de manœuvre par rapport aux cibles de vieux peuplements par unité territoriale (UT) advenant une épidémie grave	84
Tableau 15 Ordonnancement de la récolte en fonction du déroulement de l'épidémie	86

Liste des figures

Figure 1 Illustration des six périodes d'épidémie ayant eu lieu entre les années 1800 et 2000, à partir du pourcentage d'épinettes blanches affectées par la tordeuse des bourgeons de l'épinette au cours de leur vie.....	4
Figure 2 Territoire susceptible de subir de la défoliation par la tordeuse des bourgeons de l'épinette, déterminé à l'aide des données historiques de la défoliation de 1938 à 2012	7
Figure 3 Domaines et sous-domaines bioclimatiques du Québec méridional.....	10
Figure 4 Territoire forestier vulnérable à la tordeuse des bourgeons de l'épinette lors de l'épidémie de 1967-1992, déterminé à partir de la mortalité partielle et totale observée au terme de cette épidémie (2 ^e et 3 ^e inventaires).....	12
Figure 5 Étendue et gravité des défoliations annuelles causées par la tordeuse des bourgeons de l'épinette au Québec, de 1938 à 2008, par sous-domaine bioclimatique	15
Figure 6 Modèle typique de progression de la mortalité causée par la tordeuse des bourgeons de l'épinette dans une sapinière mature	17
Figure 7 Proportion d'arbres demeurant debout et entiers entre un et cinq ans après leur mort causée par la tordeuse des bourgeons de l'épinette	18
Figure 8 Succession des insectes xylophages chez des arbres moribonds et morts depuis un à cinq ans.....	19
Figure 9 Évolution de la coloration et de la carie de l'aubier et du bois de cœur pour des sapins moribonds et des sapins morts depuis un à cinq ans.....	20
Figure 10 Période de récupération pour le sciage et la pâte pour un modèle typique de progression de la mortalité causée par la tordeuse des bourgeons de l'épinette dans une sapinière mature	22
Figure 11 Proportion de la superficie forestière touchée par une épidémie modérée (EL) et une épidémie grave (ES), selon les sous-domaines bioclimatiques et la période d'inventaire avant (avant le 1 ^{er} inventaire), pendant (entre les 1 ^{er} et 2 ^e inventaires) et après (entre les 2 ^e et 3 ^e inventaires) l'épidémie de 1967 à 1992.....	24

Figure 12 Superficies des peuplements réinitialisés (code ES) principalement par la tordeuse des bourgeons de l'épinette, selon le couvert forestier observé lors du 3 ^e inventaire.....	25
Figure 13 Changement de la densité de peuplements touchés par une épidémie modérée (code EL), principalement causée par la tordeuse des bourgeons de l'épinette de 1967 à 1992 : A) situation avant l'épidémie (avant le premier inventaire); B) situation après l'épidémie (entre les 2 ^e et 3 ^e inventaires).....	27
Figure 14 Cartographie de la vulnérabilité d'un territoire donné, avec un zoom sur un secteur plus à risque (Côte-Nord)	39
Figure 15 Structure d'âge d'une unité territoriale montrant la proportion de vieux peuplements, de recrues proches et de recrues éloignées pour une unité d'aménagement située dans le domaine de la sapinière et dont la moyenne historique de vieux peuplements est d'environ 75 %	44
Figure 16 Structure d'âge d'une unité territoriale située dans le domaine de la sapinière, montrant la proportion de vieux peuplements et de recrues proches, ventilée par type de persistance probable face à l'épidémie de la tordeuse des bourgeons de l'épinette	44
Figure 17 Structure d'âge d'une unité territoriale située dans le domaine de la sapinière, montrant la proportion de vieux peuplements et de recrues proches, ventilée par type de persistance probable face à l'épidémie de la tordeuse des bourgeons de l'épinette : A) territoire inclus dans les actions (INC); B) territoire exclu des actions, mais inclus dans les suivis du calcul (EXIN).....	45
Figure 18 Cartographie de la persistance probable d'une unité territoriale donnée	46
Figure 19 Cartographie de l'historique de la défoliation causée par la tordeuse des bourgeons de l'épinette	56
Figure 20 Défoliation totale des peuplements touchés par la tordeuse des bourgeons de l'épinette	59
Figure 21 Représentation du bois juvénile et du bois mature.....	64
Figure 22 Validation des coupes progressives souhaitables.....	87

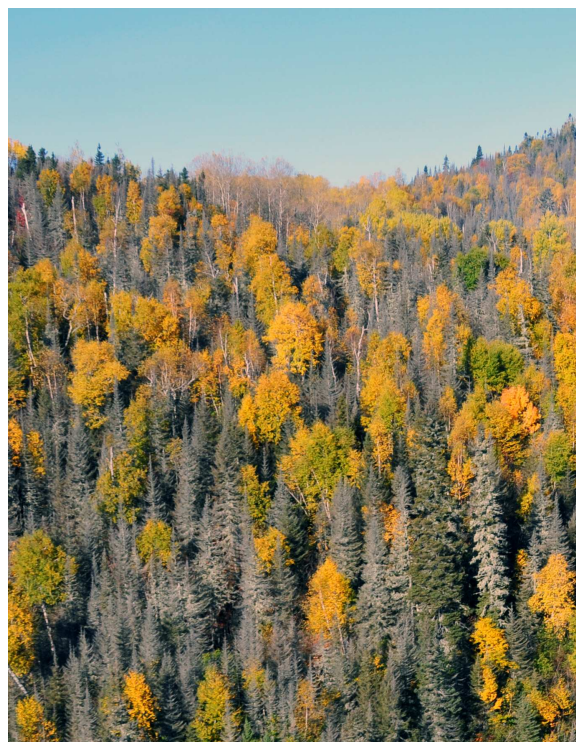


Introduction

Une épidémie de la tordeuse des bourgeons de l'épinette sévit actuellement dans certaines régions du Québec. Son développement est toutefois fort différent de celui des deux dernières épidémies, puisque les superficies touchées ou le rythme auquel elles l'ont été ne sont pas les mêmes (Ministère des Ressources naturelles, 2013a). Cette épidémie a débuté en 1992 dans le sud de l'Outaouais. Elle est demeurée très localisée et de faible amplitude pendant près de 15 ans, touchant principalement de petites propriétés privées. À partir de 2006-2007, le rythme de propagation s'est accéléré, principalement dans les régions de la Côte-Nord et du Saguenay–Lac-Saint-Jean, surtout dans des forêts publiques sous aménagement. Un programme de lutte directe, à l'aide de pulvérisations aériennes d'insecticide biologique, a d'ailleurs été mis en place en 2009 sur la Côte-Nord et en 2010 au Saguenay–Lac-Saint-Jean pour contrer, à court terme, les effets négatifs de l'épidémie dans certains blocs de forêt choisis selon des paramètres établis lors de la dernière épidémie. Depuis 2013, les régions du Bas-Saint-Laurent et de la Gaspésie sont aussi touchées par l'épidémie; elles ont été ou seront prochainement incluses dans le programme de lutte directe contre la tordeuse des bourgeons de l'épinette.

Le contexte forestier actuel est très différent de celui de la dernière épidémie (1967-1992), puisque les forêts très vulnérables sont moins abondantes aujourd'hui qu'à cette époque. L'extension de l'épidémie actuelle coïncide aussi avec la mise en place d'un nouveau régime forestier fondé sur les principes de l'aménagement durable, assorti d'un engagement du gouvernement de mettre des stratégies d'aménagement en œuvre selon une approche écosystémique. Par ailleurs, ce régime implique un nouveau partage des responsabilités entre le gouvernement et l'industrie forestière, au moment où le secteur forestier subit de profondes transformations, notamment en raison des lois du marché.

Afin de bien remplir son rôle, le ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs (MFFP) a produit une série de documents qui guident les professionnels de la forêt dans la mise en œuvre du nouveau régime, notamment le *Manuel de planification forestière 2013-2018* (Ministère des Ressources naturelles, 2013b) et les tomes 1 et 2 du *Guide sylvicole du Québec* (Ministère des Ressources naturelles, 2013c et d). D'autres documents, portant particulièrement sur la détermination et l'analyse des enjeux écologiques de même que sur l'élaboration de solutions pour leur prise en compte dans les plans d'aménagement forestier intégré (PAFI), ont été produits par le MFFP (Jetté et autres, 2013a et b). Parmi les enjeux qui ont été définis, la structure d'âge et l'organisation spatiale des forêts risquent d'être touchées par l'épidémie. Les solutions à ces enjeux ayant été conçues pour un contexte d'endémie, il est impératif de réfléchir à des solutions qui considèrent les effets à court, à moyen et à long terme de l'épidémie actuelle.



Ce document a pour objectif de fournir de l'information et des outils aux décideurs, aux aménagistes et aux sylviculteurs pour les aider à moduler la planification forestière en tenant compte de la présence de la tordeuse des bourgeons de l'épinette dans un contexte d'épidémie, tout en conservant l'essence de l'approche d'aménagement écosystémique des forêts. Il s'inscrit comme la pièce maîtresse d'une approche de gestion de l'épidémie en cours d'élaboration au MFFP.

Plus précisément, ce document présente des notions de base concernant la tordeuse des bourgeons de l'épinette, les épidémies et leur influence sur la dynamique des forêts. Ces notions ont servi d'appui au développement d'outils d'analyse devant guider ceux qui doivent faire le choix des moyens à utiliser tout au long de son cycle, qui vont de pair avec les informations recueillies pour en documenter l'évolution et les effets sur la forêt. Des recommandations sont émises concernant la modulation de la planification forestière et les actions sylvicoles à réaliser selon le déroulement de l'épidémie. Enfin, étant donné l'absence d'instructions dans ce domaine, des propositions sont avancées pour préparer des plans spéciaux d'aménagement.



CHAPITRE 1

Quelques notions sur la tordeuse des bourgeons de l'épinette, les épidémies et leur influence sur la dynamique des forêts

Pour être en mesure de moduler les stratégies d'aménagement avant, pendant et après une épidémie de la tordeuse des bourgeons de l'épinette, il est important de bien comprendre le rôle joué par cet insecte en milieu forestier. Les sections qui suivent permettront de bien saisir la relation qui existe entre la tordeuse des bourgeons de l'épinette et l'écosystème forestier¹.

Les informations présentées dans ces sections proviennent à la fois de la littérature scientifique, de rapports techniques, de données du MFFP, publiées ou non, de même que d'échanges et de discussions avec des chercheurs et des praticiens qui connaissent bien la tordeuse des bourgeons de l'épinette.

Ce premier chapitre n'a pas pour prétention ni pour objectif de faire une revue exhaustive de la littérature scientifique publiée sur le sujet, mais vise plutôt à en faire ressortir les grandes lignes pour la compréhension des aménagistes et des praticiens ainsi que pour appuyer le développement d'outils de gestion qui intègrent les informations les plus pertinentes dans le contexte québécois.

1.1 Bref historique des épidémies

Plusieurs chercheurs ont travaillé à reconstituer l'histoire des épidémies de la tordeuse des bourgeons de l'épinette. Une bonne synthèse de leurs travaux a été réalisée par Morin et autres (2008). Le texte qui suit ne donne qu'un très bref aperçu du sujet.

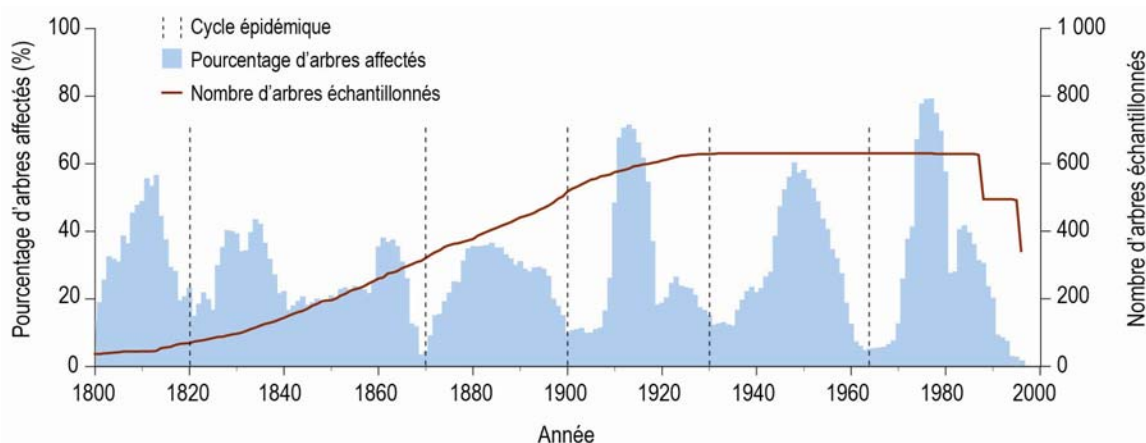
L'utilisation de la dendrochronologie sur des arbres fossiles et la mesure de la densité des fèces de la tordeuse des bourgeons de l'épinette dans des tourbières ont permis de reconstituer l'historique des épidémies depuis 8 000 ans. Les informations recueillies tendent à démontrer qu'au cours de cette longue période les épidémies d'importance telles que nous les avons connues au cours du 20^e siècle ne sont pas la norme. Dans les sites échantillonnés, il faut remonter au moins jusqu'à 1 600 ans et quelquefois jusqu'à 5 000 ans pour observer des indications d'épidémies



1. Le lecteur peut consulter l'annexe A pour avoir plus d'informations sur les principaux termes utilisés pour décrire les différentes facettes d'une épidémie.

aussi importantes. Même si leur portée est limitée en raison du nombre restreint de sites étudiés, ces informations nous renseignent sur le caractère récurrent et fluctuant des épidémies sur de longues périodes.

Au cours des deux derniers siècles, six épidémies importantes se sont produites à des intervalles variant de 25 à 40 ans (figure 1). On a généralement observé une alternance de gravité d'une épidémie à l'autre (voir la section 1.3).



Adapté de H. Morin Y. Jardon et R. Gagnon, 2007

Figure 1 Illustration des six périodes d'épidémie ayant eu lieu entre les années 1800 et 2000, à partir du pourcentage d'épinettes blanches affectées par la tordeuse des bourgeons de l'épinette au cours de leur vie

1.2 Dynamique des populations et cycles des épidémies

La dynamique des populations de la tordeuse des bourgeons de l'épinette est complexe; elle est expliquée en partie par les interactions entre l'insecte, ses ennemis naturels et ses hôtes. Parmi les facteurs naturels de contrôle se trouvent des prédateurs (oiseaux, mammifères), des parasitoïdes et des agents pathogènes. La diversité du milieu forestier influence directement celle des ennemis naturels, spécifiques ou non à l'insecte. La fluctuation des populations est aussi influencée par des conditions environnementales favorables ou défavorables, notamment des variations météorologiques stochastiques qui agissent directement sur l'insecte, sur ses hôtes ou sur ses ennemis naturels, de même que par des variations dans les effets produits par ses ennemis naturels (Cooke, Nealis et Régnière, 2007). Le climat a un rôle important à jouer dans la distribution de la tordeuse des bourgeons de l'épinette, car il a une influence directe sur sa survie, et indirecte sur la distribution de ses hôtes (voir l'encadré à la section 1.5). Le cycle relativement régulier des épidémies, observé au cours des derniers siècles, serait donc régulé par ces différentes interactions.

Les oscillations de populations sont généralement synchrones sur de vastes territoires. Les premiers endroits où l'on observe des fluctuations à la hausse ne sont donc pas à l'origine du déclenchement d'une épidémie généralisée, mais seraient plutôt le résultat de conditions favorables qui sont apparues plus tôt dans ces endroits. Certaines études laissent croire qu'au-delà d'un certain seuil, le succès de reproduction de certaines populations locales augmente de

façon telle que des migrations de papillons permettent aux populations environnantes d'atteindre ce seuil, contribuant ainsi à la synchronisation des hausses de populations (Régnière, 2014). Il n'a toutefois pas encore été démontré que l'éradication de ces premières populations aurait pour effet d'éviter que d'autres populations augmentent ailleurs sur le territoire. De même, il n'est pas nécessaire d'être en présence de vieilles forêts vulnérables pour connaître un épisode d'épidémie. Dans le passé, la plupart des endroits touchés au début des épidémies étaient situés dans des milieux diversifiés, généralement des forêts mixtes et multiâges ayant en commun la présence d'épinettes blanches (Hardy, Lafond et Hamel, 1983).

1.3 Variabilité dans la gravité des épidémies : facteurs d'influence

Au cours des deux derniers siècles, les études dendrochronologiques ont permis de déterminer et de caractériser six périodes d'épidémie (figure 1). Les trois épidémies du 19^e siècle auraient généralement touché une plus faible proportion d'arbres et mis plus de temps à y parvenir que celles qui se sont produites au 20^e siècle. L'alternance de gravité des trois épidémies du 20^e siècle est relativement bien documentée. De façon générale, les épidémies des années 1920 et des années 1980 ont été plus graves que celle des années 1950. À l'échelle régionale ou locale, l'alternance de gravité peut avoir été différente de celle observée à l'échelle provinciale.

À ce jour, il n'y a pas de consensus scientifique en ce qui concerne les facteurs ayant causé ces variations d'intensité entre les épidémies; il pourrait s'agir de variations climatiques, de changements de composition forestière à très grande échelle, d'une interaction entre ces différents facteurs ou du hasard (Centre d'étude sur la forêt, 2008).

Le climat influence directement les caractéristiques de la forêt, notamment sa composition, en limitant la survie et la croissance des différentes essences le long de gradients latitudinal et altitudinal. Il influence aussi le régime des perturbations naturelles qui, à son tour, conditionne la dynamique forestière. Le régime des feux est un exemple probant de l'influence indirecte du climat sur la structure d'âge et la composition forestière. Dans la forêt boréale, des cycles de feu courts favorisent des espèces pionnières, tels le peuplier et le bouleau, ou qui lui sont adaptées, tels le pin gris et l'épinette noire, et défavorisent le sapin qui ne parvient à y survivre que dans des refuges. En revanche, les cycles de feu longs créent des conditions propices aux espèces capables de s'établir à l'ombre comme le sapin baumier et l'épinette blanche.

D'autres perturbations naturelles telles que les épidémies de la livrée des forêts, le dépérissement du bouleau, les chablis et les épidémies du dendroctone de l'épinette, conditionnent la variabilité des caractéristiques de la forêt et, par le fait même, sa susceptibilité et sa vulnérabilité aux épidémies de la tordeuse des bourgeons de l'épinette. Les épidémies de la tordeuse des bourgeons de l'épinette font aussi partie des facteurs qui influencent les caractéristiques de la forêt d'une épidémie à l'autre en modifiant, entre autres, la composition et la structure horizontale et verticale des peuplements.

Par ailleurs, les caractéristiques de la forêt sont aussi influencées par l'homme. Blais (1984) a proposé l'influence anthropique comme cause possible de l'aggravation des épidémies au cours du 20^e siècle. Boulet (2001) a poursuivi cette réflexion lors d'un colloque tenu à Shawinigan en 2001 qui portait sur la tordeuse des bourgeons de l'épinette. C'est le résultat de leurs réflexions qui est présenté ci-après.

Au Québec, les coupes forestières faites à partir du 19^e siècle ont souvent favorisé le sapin baumier, une essence capable de coloniser une grande variété de sites. Mentionnons notamment la récolte du pin blanc dans les vallées du Saint-Laurent et de l'Outaouais, laquelle était faite pendant l'hiver et a favorisé la régénération du sapin au détriment du pin blanc. Dans plusieurs régions, des coupes à diamètre limite ont par la suite permis d'extraire les grosses épinettes blanches de la forêt, causant ainsi leur diminution progressive. Le sapin baumier a profité des ouvertures créées par ces récoltes sélectives parce qu'il était souvent établi en sous-étage.

D'autres facteurs d'origine anthropique ont contribué à mettre en place des conditions favorables à une épidémie de grande envergure dans les années 1960. L'introduction d'insectes exotiques qui ont décimé le mélèze (tenthrède du mélèze) et l'épinette blanche (diprion européen de l'épinette) a favorisé le sapin. L'amélioration de la lutte aux feux de forêt, particulièrement ceux d'origine humaine dans le sud du Québec, là où le sapin est plus abondant, et les pulvérisations aériennes d'insecticide lors de la deuxième épidémie du 20^e siècle ont contribué à maintenir vivants des massifs forestiers. Finalement, la sous-exploitation du sapin dans certaines régions a aussi contribué à son abondance.

En contrepartie, les feux allumés par les hommes, de manière intentionnelle ou non, ont aussi eu une influence notable sur les caractéristiques de la forêt. Mises à part les zones déboisées volontairement par le feu au temps de la colonisation, les feux causés par l'homme, notamment dans le domaine de la sapinière, ont eu pour effet de réduire la superficie des forêts vulnérables à la tordeuse des bourgeons de l'épinette pendant une période plus ou moins prolongée.

Somme toute, les activités humaines ont favorisé l'établissement ou la survie du sapin, souvent dans des conditions et sur des sites qui n'étaient pas optimaux, et son abondance n'a pas toujours été bien gérée par la suite.

1.4 Susceptibilité

Il importe de bien distinguer la *vulnérabilité* de la *susceptibilité*. La **susceptibilité exprime la probabilité qu'un arbre subisse une défoliation¹ sans nécessairement en mourir**. À ce titre, on peut établir que seulement quatre essences au Québec sont susceptibles de subir une défoliation causée par la tordeuse des bourgeons de l'épinette, soit l'épinette blanche, le sapin baumier, l'épinette rouge et l'épinette noire. Généralement, on considère que les deux premières essences ont une plus grande susceptibilité puisqu'on y observe plus rapidement des montées de populations que chez les deux dernières. À cet égard, l'épinette blanche semble plus susceptible que le sapin, puisqu'elle présente souvent les premiers signes de montées de populations et de défoliation. Le nom même de l'insecte en est un indicateur. La notion de susceptibilité s'applique également à l'échelle du peuplement et du territoire. Les peuplements susceptibles sont ceux qui contiennent au moins un hôte susceptible. Quant au territoire présentant une susceptibilité, il est la résultante de l'aire de distribution de cet insecte, combinée à l'aire de distribution de ses hôtes. Le territoire couvert par la défoliation de 1938 à 2012 (figure 2) permet d'illustrer les zones où la probabilité d'observer la défoliation causée par la tordeuse des bourgeons de l'épinette est la plus élevée, à des degrés différents. **Il est important de noter que le nombre d'années de défoliation n'est pas nécessairement corrélé avec la gravité de la mortalité qui en a découlé.**

1. Le lecteur peut consulter l'annexe A pour avoir plus d'informations sur les termes « défoliation », « mortalité » et « épidémie » utilisés dans le présent guide.

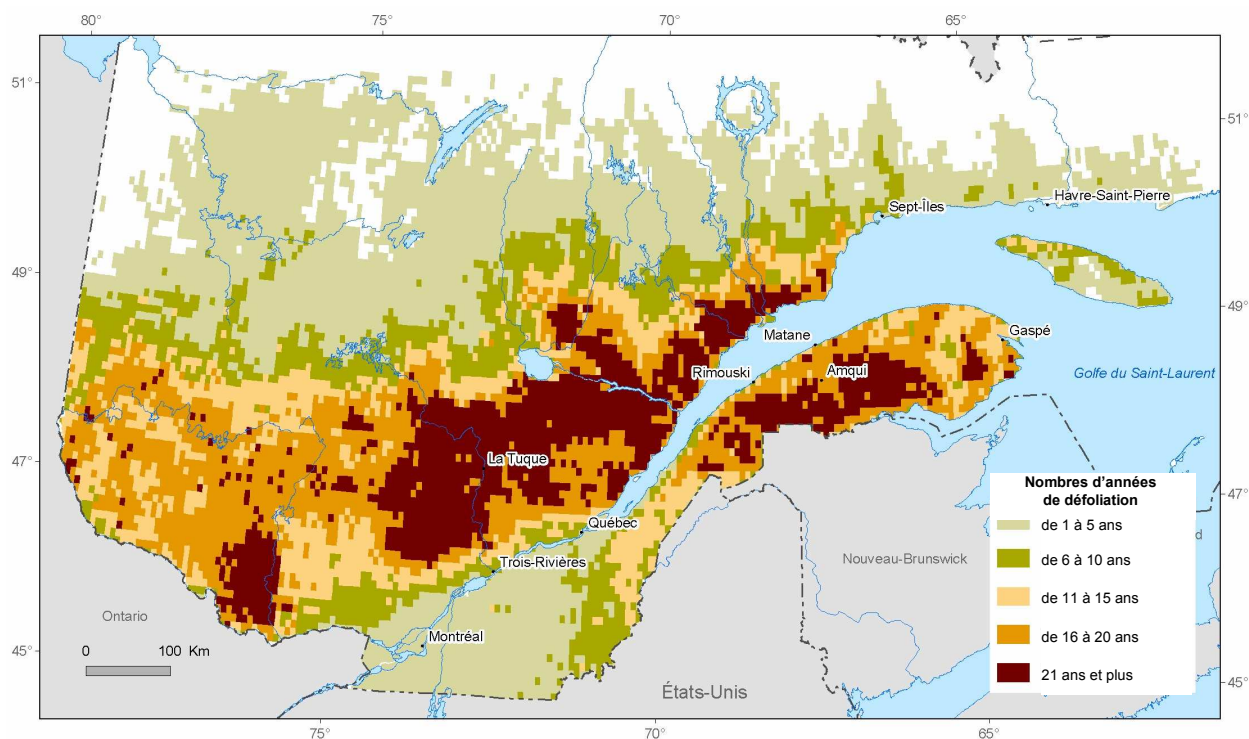


Figure 2 Territoire susceptible de subir de la défoliation par la tordeuse des bourgeons de l'épinette, déterminé à l'aide des données historiques de la défoliation de 1938 à 2012

Il est probable que la limite nord de l'aire susceptible soit sous-estimée en raison du peu d'efforts consentis à la détection de la défoliation au cours de la période d'observation. Par ailleurs, Gray, Régnière et Boulet (2000) ont analysé les données historiques du MFFP et ont mis en lumière la grande imprécision des données couvrant l'épidémie du milieu du 20^e siècle. La figure 2 doit donc être considérée avec une certaine prudence.

1.5 Vulnérabilité

La vulnérabilité exprime la probabilité que les arbres meurent après plusieurs années rapprochées de défoliation grave causée par la tordeuse des bourgeons de l'épinette. De façon générale, la vulnérabilité est la résultante des conditions qui favorisent ou défavorisent des défoliations répétées et de la capacité de l'arbre à y survivre. La notion de vulnérabilité s'applique à l'échelle de l'arbre et peut, par extension, s'appliquer à l'échelle du peuplement, du paysage ou d'un territoire.

1.5.1 À l'échelle de l'arbre

À cette échelle, on peut considérer que les quatre essences susceptibles peuvent être vulnérables à des degrés différents. L'ordre décroissant de vulnérabilité des essences est le suivant : sapin baumier, épinette blanche, épinette rouge et épinette noire. D'après la revue de littérature effectuée par MacLean (1980), le sapin baumier est de loin l'espèce la plus vulnérable. Plusieurs publications qui ont suivi vont dans le même sens, notamment celles de Blais et Archambault (1982) et Hennigar et autres (2008), mais la liste est beaucoup plus longue.

Certaines caractéristiques morphologiques et physiologiques contribuent à différencier la vulnérabilité des essences les plus susceptibles. L'épinette blanche a plus de feuillage (masse foliaire) que le sapin. Annuellement, elle produit plus de feuillage par pousse et davantage de pousses. De plus, l'épinette blanche conserve son feuillage pendant un plus grand nombre d'années. À cet avantage morphologique s'ajoute un avantage physiologique. La lignification des pousses annuelles est plus hâtive chez l'épinette blanche et le taux de fibres est plus élevé dans les aiguilles. Cela rend la nourriture moins intéressante pour la tordeuse des bourgeons de l'épinette qui est alors parvenue à la période où elle en consomme le plus. Il est d'ailleurs reconnu que l'épinette blanche a une plus grande longévité que le sapin. Plusieurs des analyses par dendrochronologie réalisées pour reconstituer l'histoire des épidémies ont été faites à l'aide d'épinettes blanches ayant survécu à plusieurs épidémies. Certains auteurs ont toutefois rapporté des taux de mortalité pouvant atteindre de 40 à 50 % pour l'épinette blanche. Quoique réellement observés, ces taux ne peuvent être généralisés puisqu'ils ont été mesurés pour des contextes particuliers. Des données provenant des inventaires forestiers décennaux du Québec ne montrent pas de changements importants et généralisés dans les volumes d'épinette blanche après la dernière épidémie (Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, 2009). Au Québec, c'est le dendroctone de l'épinette qui cause périodiquement le plus de mortalité chez l'épinette blanche. Cela se produit généralement lorsque les épinettes ont dépassé l'âge de la maturité ou qu'elles subissent un stress qui les rend incapables de résister aux attaques de l'insecte.

Les épinettes rouge et noire peuvent aussi mourir à la suite de défoliations graves, répétées pendant plusieurs années. Dans leur cas, cette probabilité est beaucoup plus faible, en raison du manque de synchronisme entre le débourrement des pousses et la sortie des larves de leur période d'hibernation (Nealis et Régnière, 2004). En effet, le décalage d'environ deux semaines entre l'éclosion des bourgeons des épinettes rouge et noire et celle du sapin et de l'épinette blanche oblige les jeunes larves à se nourrir plus longtemps de vieux feuillage dont la qualité nutritive est moindre, ce qui augmente leur taux de mortalité. À cela, s'ajoute la mort des larves qui se déplacent en quête d'une meilleure source de nourriture. La mort de ces arbres se manifeste surtout parmi ceux qui sont situés à l'étage inférieur de la canopée ou qui sont déjà affaiblis pour d'autres raisons. C'est le cas notamment des épinettes noires sénescences qui sont particulièrement abondantes dans les territoires où le cycle de feu est long (De Grandpré et autres, 2008). Comme pour l'épinette blanche, les données d'inventaire ne donnent pas d'indications de mortalité importante généralisée chez ces deux espèces d'épinettes, même dans les domaines de la sapinière où la dernière épidémie a frappé le plus durement. De plus, il faut se rappeler que l'épinette noire est plus abondante dans le domaine bioclimatique de la pessière à mousses, là où les conditions climatiques sont moins favorables à de longues périodes de défoliation, nécessaires pour entraîner la mort. Les réductions de croissance de l'épinette noire, observées même à ces latitudes, confirment toutefois qu'il y a eu des épidémies dans le passé. L'étendue, la gravité et la répétition de la défoliation ont pu y être sous-évaluées, compte tenu de l'effort moindre qui a été fourni pour leur évaluation de même que de la difficulté de repérer la défoliation grave chez l'épinette noire certaines années (c'est le cas notamment lors de la destruction complète des bourgeons avant même l'élongation des nouvelles pousses).

L'âge, ou plus précisément la maturité des arbres, est le deuxième facteur qui influence le plus leur vulnérabilité (MacLean, 1980). Ainsi, la plus grande vulnérabilité des sapins âgés est liée à plusieurs facteurs : une production accrue de fleurs qui constituent la source de nourriture de prédilection de la tordeuse des bourgeons de l'épinette dans les premiers stades larvaires, une moins grande quantité de réserve nutritive ainsi que des coûts fixes plus importants pour

simplement demeurer en vie. Ces facteurs expliquent une tolérance à la défoliation et une capacité de reprise moins grandes, même lorsque la défoliation cesse. Comme la maturité des arbres est fortement conditionnée par le climat, les arbres n'atteignent pas la maturité au même moment partout. Au Québec, le gradient latitudinal reflète bien cette réalité. Par exemple, un sapin peut parvenir à maturité à 50 ans dans le sud du Québec et à 90 ans dans le nord. L'évaluation de la vulnérabilité doit tenir compte de ces écarts.

1.5.2 À l'échelle du peuplement

En plus de l'âge des arbres, la composition forestière de même que des facteurs qui génèrent un état de stress physiologique, dont la densité des peuplements et la qualité des sites, influencent la vulnérabilité des peuplements face à la tordeuse des bourgeons de l'épinette.

Composition forestière

La proportion de sapin dans un peuplement est le premier indicateur de sa vulnérabilité potentielle. Les sapinières pures sont potentiellement plus vulnérables que les peuplements dans lesquels le sapin est combiné à des espèces qui sont moins vulnérables ou qui ne le sont pas. Dans le premier cas, une défoliation grave répétée peut entraîner la mort de tous les arbres et la réinitialisation du peuplement alors que, dans le second cas, les essences compagnes vont survivre et permettre au peuplement de conserver les attributs d'une forêt plus âgée (ex. : structure irrégulière, gros arbres morts, trouées).

Densité des peuplements

La forte densité des peuplements contribue à augmenter la vulnérabilité en amoindrissant la masse de feuillage par arbre (proportion de houppier et réserve nutritive plus faibles), les rendant ainsi moins tolérants à la défoliation répétée. Les arbres dominés, intermédiaires et codominants ont souvent une faible proportion de houppier et sont d'ailleurs les premiers à succomber à la suite de défoliations graves répétées (Baskerville, 1983).

Qualité du site

Plusieurs auteurs se sont intéressés aux caractéristiques de la station pour expliquer la vulnérabilité des peuplements face à la tordeuse des bourgeons de l'épinette. Les auteurs de certaines études observent un effet du site sur la mort des arbres (Archambault et autres, 1990; Dupont, Bélanger et Bousquet, 1991; Ghent, Fraser et Thomas, 1957) alors que plusieurs autres ne peuvent conclure à son influence (Bergeron et autres, 1995; MacLean et MacKinnon, 1997; MacLean et Ostaff, 1989; Lynch et Witter, 1985). À partir des différentes études consultées et des observations faites lors des dernières épidémies, il a été décidé, malgré l'absence de consensus, de considérer l'effet du site dans l'évaluation de la vulnérabilité. Cette décision se fonde sur la relation entre la capacité du site à pourvoir les arbres en eau et en éléments nutritifs, et son influence sur leur vigueur et leur résistance à la défoliation répétée.

1.5.3 À l'échelle du paysage

À cette échelle, la vulnérabilité est conditionnée par l'environnement forestier général. Une plus grande variété de peuplements, y compris des peuplements avec une composante de feuillus, aurait une influence sur la dynamique des populations, par exemple en réduisant la capacité de l'insecte à localiser ses hôtes et en augmentant l'abondance de ses ennemis naturels. À cette

échelle, l'altitude joue aussi un rôle sur la probabilité de connaître des périodes prolongées de défoliation grave (Blais, 1964, 1965 et 1985; données provenant des relevés aériens et des inventaires forestiers du MFFP). On a en effet observé des périodes de défoliation plus courtes à des altitudes plus élevées du sous-domaine de la sapinière à bouleau blanc de l'Est, notamment dans les sous-régions écologiques septentrionales des massifs du lac Jacques-Cartier et des monts Valin ainsi que du haut massif gaspésien. Cet aspect doit être considéré dans l'évaluation du risque de mortalité.

1.5.4 À l'échelle du Québec

Les zones les plus vulnérables peuvent être délimitées en juxtaposant les territoires les plus susceptibles de subir des périodes prolongées de défoliation grave (figure 2) et ceux qui comptent le plus de peuplements vulnérables. Les territoires les plus exposés à une période prolongée de défoliation grave couvrent surtout les domaines bioclimatiques de la sapinière et de l'érablière (figure 3). Le climat plus froid des sous-domaines de la pessière à mousses pourrait expliquer le fait que les arbres de cette zone présentent une susceptibilité moins grande. En raison des changements climatiques, il faudra suivre l'épidémie actuelle de près, puisque la zone optimale de développement de la tordeuse des bourgeons de l'épinette pourrait se déplacer vers le nord (Régnière, St-Amant et Duval, 2012; voir l'encadré à la page suivante).

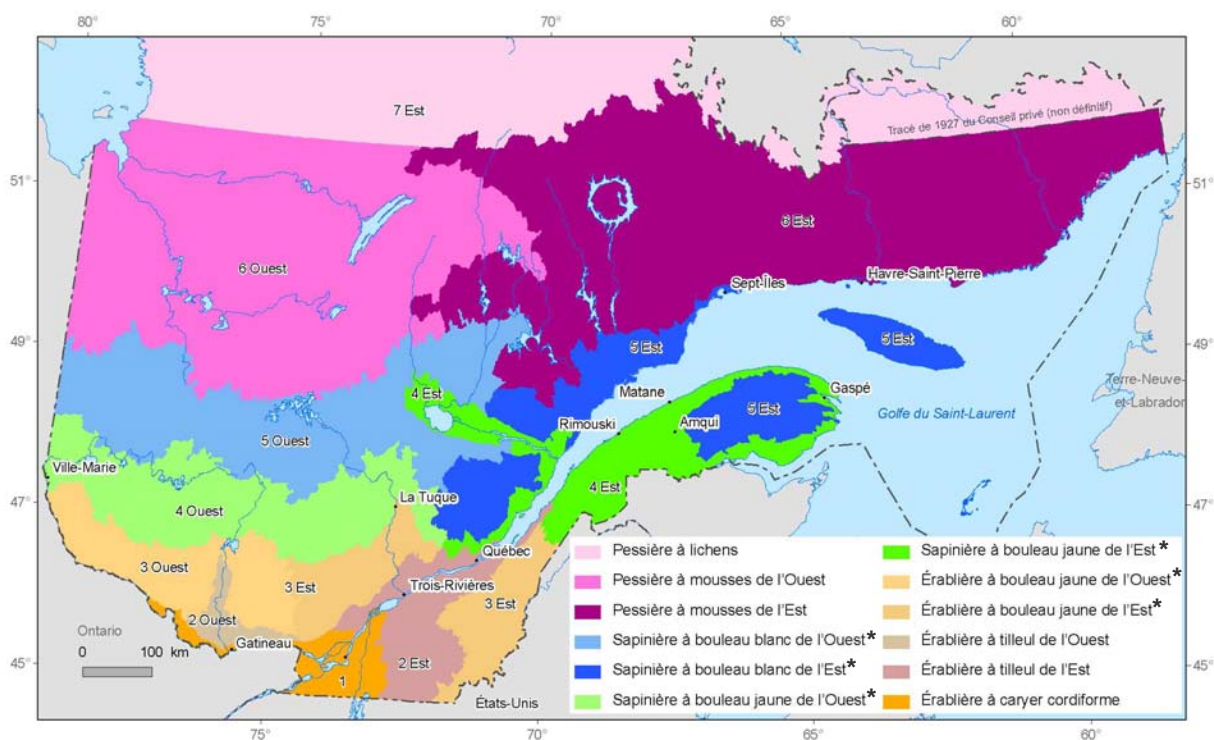


Figure 3 Domaines et sous-domaines bioclimatiques du Québec méridional

Changements climatiques et tordeuse des bourgeons de l'épinette... facteurs d'incertitude

Les conséquences potentielles des changements climatiques sur le déroulement des épidémies d'insectes font partie des incertitudes auxquelles les aménagistes forestiers devront faire face au cours des prochaines années. Les insectes sont généralement très sensibles à certaines variables climatiques. Pour plusieurs espèces, les modèles prédisent une plus grande probabilité d'observer des hausses de populations explosives sous un climat plus chaud, en raison notamment d'une amélioration du synchronisme entre le développement des insectes et la disponibilité de leurs hôtes, ainsi que de la probabilité accrue qu'elles échappent au contrôle de leurs ennemis naturels (Logan, Régnière et Powell, 2003).

Dans le cas des épidémies de la tordeuse des bourgeons de l'épinette, la limite nord et la limite sud de la zone de défoliation seraient fortement influencées par le climat (Régnière, St-Amant et Duval, 2012). Cette hypothèse est fondée sur les observations suivantes : au nord, la saison de croissance n'est pas suffisamment longue pour permettre à l'insecte de passer à travers toutes les étapes de son cycle vital (Régnière, St-Amant et Duval, 2012), alors qu'au sud une arrivée tardive des températures hivernales cause un retard dans l'entrée en diapause¹ (Han et Bause, 1998), ce qui pourrait affaiblir les insectes et les exposer davantage à différents facteurs de mortalité. En principe, une augmentation des températures de l'ordre de ce qui est actuellement prévu dans nos régions (Logan et autres, 2011) pourrait occasionner un déplacement vers le nord des effets associés à l'occurrence d'épidémies graves. Il est toutefois important de souligner que les conséquences des épidémies seront également conditionnées par d'autres facteurs tels que la présence et l'abondance relative des espèces hôtes, dont l'influence viendra moduler l'effet du climat sur le cycle de vie des insectes.

Les patrons d'épidémie observés lors des dernières décennies, et même lors des derniers siècles, semblent appuyer l'hypothèse d'une influence climatique sur les effets de la tordeuse des bourgeons de l'épinette (voir la section 1.3). Le réchauffement progressif du climat depuis les derniers 150 ans (depuis la fin du petit âge glaciaire vers 1850 à 1870) a en effet coïncidé avec une forte augmentation de la gravité des épidémies au Québec (Morin et autres, 2008) alors qu'avant le 20^e siècle les épidémies graves étaient surtout observées dans les États de la Nouvelle-Angleterre (Cooke, 2014). De même, on a noté une augmentation de la défoliation causée par l'insecte dans certains massifs conifériens, situés plus au nord ou en altitude, qui avaient été peu touchés jusque-là. C'est notamment le cas sur la Côte-Nord où la dernière épidémie a eu des conséquences inattendues (Bouchard et Pothier, 2010) et où les zones de défoliation grave causant la mort des arbres pourraient s'étendre plus au nord au cours de l'épidémie actuelle (De Grandpré et autres, 2014).

À la lumière de ces observations, et malgré le fait que les variations de la gravité entre les épidémies successives ne s'expliquent pas uniquement par des fluctuations climatiques, il est hautement probable, en raison des changements climatiques, que les répercussions de l'épidémie actuelle et de celles qui suivront seront différentes de ce qui a été observé lors des épidémies précédentes.

1. La diapause est la période d'arrêt temporaire du développement de la chenille de deuxième stade pour lui permettre de survivre à la période hivernale.

La figure 4 illustre la vulnérabilité des forêts face à la tordeuse des bourgeons de l'épinette lors de l'épidémie de 1967 à 1992 (superficie en rouge et orange); on y voit les territoires les plus touchés par la mortalité des arbres (sur plus de 25 % de la surface terrière des peuplements) causée par les épidémies d'insectes. Il importe toutefois de savoir que cette carte inclut l'empreinte de deux épidémies de l'arpenteuse de la pruche qui ont touché l'île d'Anticosti et la Basse Côte-Nord.

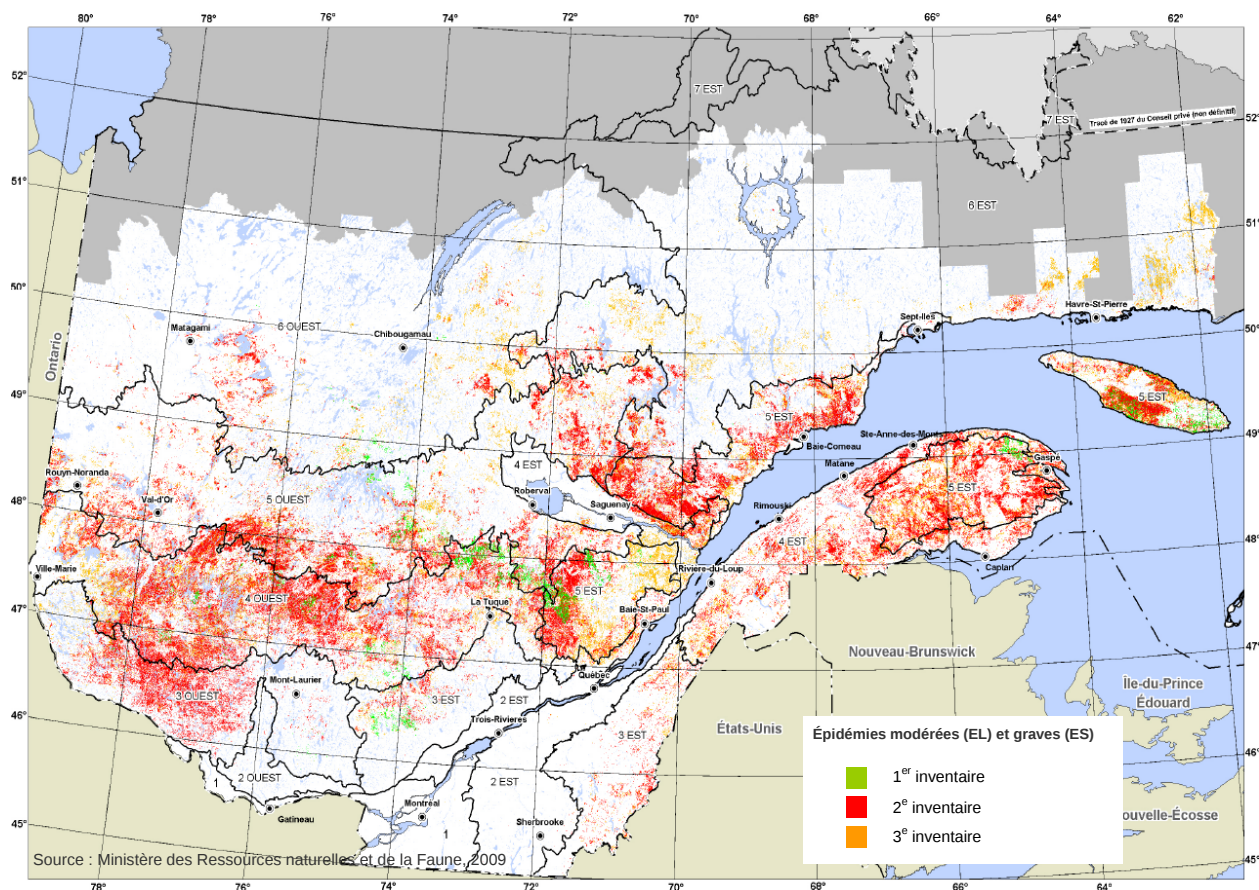


Figure 4 Territoire forestier vulnérable à la tordeuse des bourgeons de l'épinette lors de l'épidémie de 1967-1992, déterminé à partir de la mortalité partielle et totale observée au terme de cette épidémie (2^e et 3^e inventaires)

En comparant les figures 2 et 4, on constate que le territoire touché par la mortalité est beaucoup plus petit que celui touché par la défoliation; il recoupe surtout le territoire qui a connu le plus grand nombre d'années de défoliation durant la période d'observation (en général 11 ans et plus). Bien que cet aspect ne soit pas illustré ici, il faut mentionner que les superficies reconnues comme étant vulnérables comprennent une plus grande proportion de peuplements touchés par des épidémies modérées (perturbation partielle) que par des épidémies graves (réinitialisation) (voir la figure 11 à la section 1.10.1).

1.6 Déroulement d'une épidémie

La description du déroulement d'une épidémie proposée dans ce guide a été développée pour aider les forestiers à synchroniser leurs interventions en fonction de la fluctuation des populations de la tordeuse des bourgeons de l'épinette et de ses conséquences (tableau 1). Le cycle de l'épidémie, d'une durée de trente à quarante ans, est divisé en deux grandes périodes, l'endémie et l'épidémie, qui sont à leur tour subdivisées en phases. Pour la période d'endémie, trois phases ont été déterminées : la préépidémie, la post-épidémie et l'endémie stable. La période d'épidémie a été subdivisée en deux phases : la défoliation des arbres sans mortalité et avec mortalité.

Tableau 1 Description des cinq phases associées aux périodes d'épidémie et d'endémie en fonction de trois indicateurs : les populations de l'insecte, la défoliation et la mortalité des arbres^a

Période	ENDÉMIE	ÉPIDÉMIE		ENDÉMIE		
Phase	Préépidémie	Sans mortalité	Avec mortalité	Post-épidémie	Stable	
Population de l'insecte	Faible, mais à la hausse, et mesurable	Élevée et facilement mesurable	Élevée et facilement mesurable	Mesurable, mais en forte baisse	Très faible, difficile à détecter et à mesurer	Très faible, difficile à détecter et à mesurer
Défoliation annuelle	Faible, mais détectable au sol	Facilement détectable par relevés aériens	Facilement détectable par relevés aériens	Pratiquement absente	Absente	Absente
Défoliation totale	Nulle	Moins de 50 %	Très variable et allant jusqu'à 100 %	Reprise progressive des survivants	Nulle	Nulle
Mortalité des arbres	Les traces des arbres morts lors de l'épidémie précédente sont difficilement perceptibles.	Peu ou pas de nouveaux arbres morts à la suite de la défoliation.	La mortalité débute lentement, puis progresse rapidement. Elle est facilement repérable à partir du sol ou des airs (observations visuelles, photographies aériennes, télédétection). Le processus de dégradation du bois se met en place progressivement.	Les arbres trop affaiblis continuent de mourir.	Les arbres morts peuvent persister debout pendant plusieurs années et ils tombent progressivement.	Les arbres morts lors de la période d'épidémie sont pour la plupart au sol et dans un état avancé de dégradation.
Durée approximative de la phase	De 3 à 4 ans	De 4 à 5 ans	De 5 à 7 ans	De 3 à 4 ans	De 15 à 20 ans	
Durée du cycle	De 30 à 40 ans					

a. Les colonnes entourées d'une ligne rouge correspondent aux phases où la mort des arbres est liée à une défoliation répétée.

1.6.1 Période d'endémie

Tout au long de la période d'endémie, la défoliation est négligeable (peu ou pas perceptible). La **phase d'endémie stable** est caractérisée par des densités de population très faibles, difficiles à mesurer, voire à détecter. La **phase de préépidémie** est caractérisée par des populations en hausse et mesurables, ce qui laisse présager une épidémie imminente. Au cours de la **phase**

de post-épidémie, les populations sont en baisse, la défoliation annuelle est peu apparente, mais des arbres affaiblis par la défoliation répétée continuent de mourir. La détermination du passage d'une phase à l'autre n'est cependant pas toujours facile à apprécier et peut demander l'avis de spécialistes.

1.6.2 Période d'épidémie

La période d'épidémie peut être subdivisée en fonction de l'effet cumulé de la défoliation sur les arbres. Elle débute par une **phase de défoliation sans mortalité** qui englobe la période de temps durant laquelle la défoliation des pousses annuelles se répète avant l'apparition de la mortalité et sa progression rapide. La **phase de défoliation avec mortalité** lui succède à partir du moment où l'on observe une proportion plus importante et une progression rapide de la mortalité, associées à une défoliation cumulative, c'est-à-dire à une défoliation annuelle importante qui se répète pendant plusieurs années. La défoliation annuelle grave peut se produire avec ou sans interruption. Par ailleurs, ces deux phases ne sont pas présentes partout sur le territoire québécois. **Une phase de défoliation avec mortalité demande au moins quatre à cinq années rapprochées de défoliations annuelles graves, ce qui ne se produit habituellement que sur une faible portion du territoire touché par de la défoliation à un moment ou l'autre de l'épidémie.**

La variabilité dans la durée de l'épidémie est illustrée dans les graphiques de la figure 5, produits à l'aide de données provenant des archives du MFFP et qui portent sur l'étendue et la gravité de la défoliation annuelle causée par la tordeuse des bourgeons de l'épinette depuis 1938. Ces informations permettent d'établir le profil complet des deux dernières épidémies tant à l'échelle du Québec qu'à l'échelle régionale. Les subdivisions des sous-domaines bioclimatiques ont été utilisées à cette fin (voir la figure 3).



Défoliation grave des pousses annuelles des deux dernières années de croissance

L'importance relative des superficies touchées chaque année de même que la gravité des dommages annuels sont les deux indicateurs qui ont été utilisés pour illustrer les disparités régionales et temporelles. On remarque que les deux indicateurs présentent généralement des valeurs différentes d'un sous-domaine et d'une épidémie à l'autre. De plus, on constate que les indicateurs sont plus faibles dans les domaines de l'érablière et de la pessière à mousses.

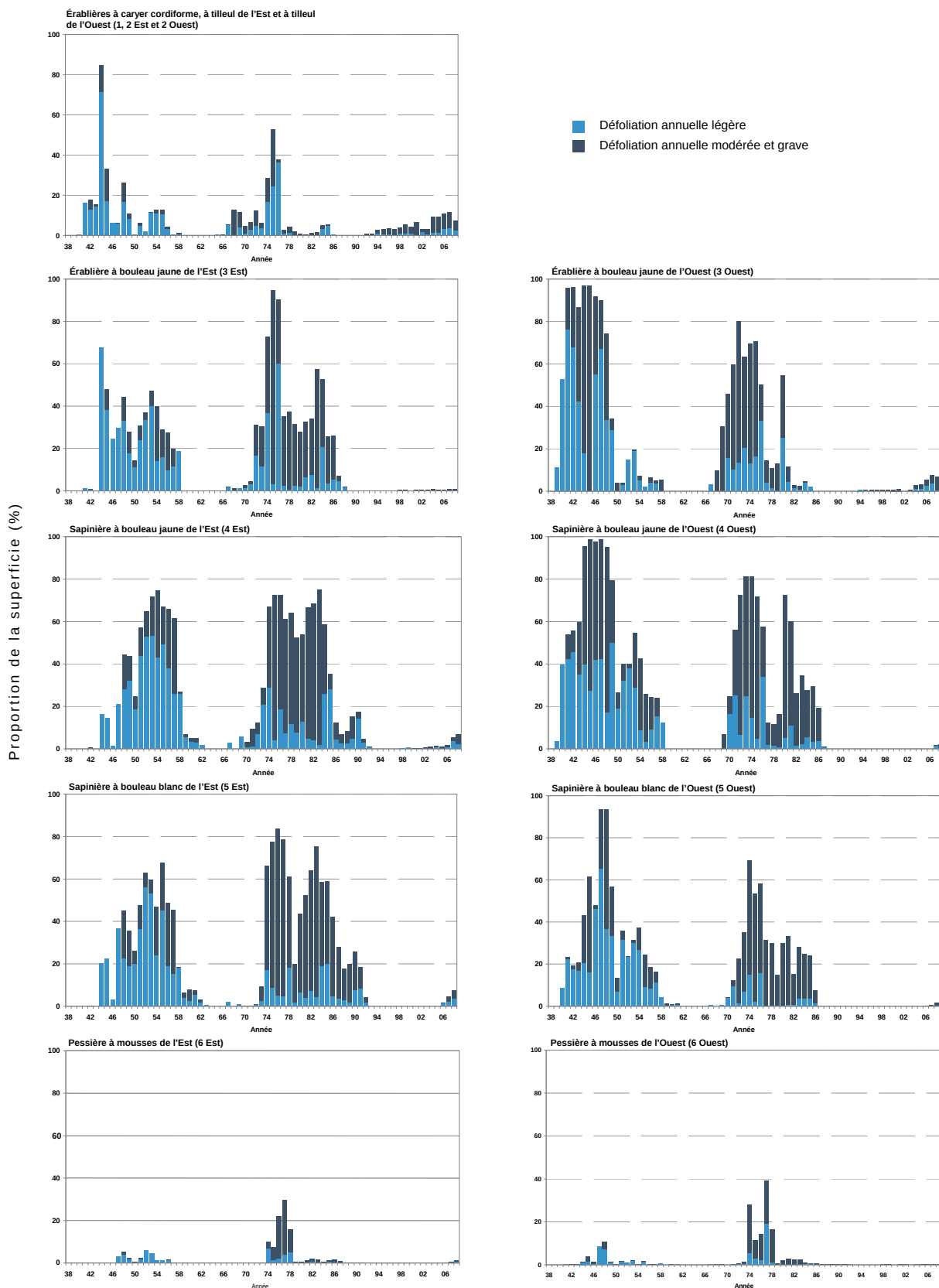


Figure 5 Étendue et gravité des défoliations annuelles causées par la tordeuse des bourgeons de l'épinette au Québec, de 1938 à 2008, par sous-domaine bioclimatique

Les premiers endroits où l'on observe de la défoliation ne sont pas toujours les milieux où il y aura le plus de mortalité, puisqu'il s'agit souvent de forêts mixtes dans lesquelles l'épinette blanche occupe une place significative, mais non dominante. Le sapin peut être présent, mais son abondance n'est généralement pas déterminante (Hardy, Lafond et Hamel, 1983). On ne peut qualifier ces endroits de « foyers », car ils ne sont pas les seuls où les populations sont en hausse. Ils représentent en quelque sorte la pointe de l'iceberg qui va bientôt émerger. Par la suite, les populations de l'insecte vont atteindre des niveaux épidémiques sur des superficies de plus en plus grandes pour plafonner et régresser souvent aussi rapidement qu'elles ont crû. **Ce qu'il est important de noter au cours du déroulement d'une épidémie, c'est la fréquence et la gravité de la défoliation engendrée par l'insecte à un endroit donné.** Les caractéristiques des arbres, des peuplements et des territoires d'intérêt, combinées aux indices de gravité de l'épidémie, vont permettre d'en anticiper les effets à court terme, notamment la mort des arbres et leur dégradation subséquente.

1.7 Progression de la mortalité à l'échelle du peuplement

Contrairement au feu de forêt, qui engendre généralement la mortalité des arbres à l'intérieur d'un court laps de temps (heures ou jours), plusieurs années peuvent s'écouler à la suite d'une épidémie grave entre la première année de défoliation et la mort du dernier arbre d'un peuplement (jusqu'à 12 ans). La progression et le taux de mortalité peuvent varier, mais on observe généralement un taux de plus de 70 % de mortalité du sapin dans les peuplements présentant des caractéristiques qui les rendent vulnérables (MacLean, 1980). Il existe malgré tout une assez grande variabilité selon les conditions qui prévalent lors d'une épidémie. Par exemple, lors de la dernière épidémie, malgré un environnement forestier plus diversifié, on a constaté une mortalité plus importante et plus rapide des sapins matures dans le sud-ouest du Québec que dans la péninsule gaspésienne. Le climat plus chaud et plus sec qui prévaut dans le sud-ouest et les caractéristiques des stations moins favorables au sapin pourraient expliquer, du moins en partie, cette différence.

Généralement, les premiers arbres qui meurent dans un peuplement sont les dominés et les intermédiaires (Baskerville et MacLean, 1979). Ils sont souvent peu vigoureux et ont généralement une faible proportion de houppier. De plus, ils sont envahis et défoliés par les chenilles à la recherche de nourriture qui proviennent des arbres dominants. Les arbres codominants ayant une faible proportion de houppier ne vont pas tarder à mourir. Il est plus difficile de caractériser les arbres qui vont mourir par la suite.

La figure 6 présente un patron typique de progression de la mortalité dans une sapinière vulnérable. Ce modèle est fondé sur des mesures prises lors de la dernière épidémie dans des aires d'observation situées dans les sous-domaines de la sapinière de l'Est. Il est à noter que des observations similaires ont été faites pour des épidémies et dans des régions différentes.

La mortalité débute généralement vers la quatrième année de défoliation grave des pousses annuelles, culmine vers la neuvième année et cesse environ deux ans après la fin de l'épidémie, soit vers la douzième année. On peut constater qu'à l'échelle d'un peuplement environ 90 % du volume vulnérable peut être encore constitué d'arbres vivants, et ce, six ans après le début de l'épidémie. Quoiqu'il puisse y avoir des situations où la mortalité progresse plus rapidement, et d'autres où elle est plus lente, quatre années de défoliation grave laissent beaucoup de temps pour planifier la récolte des arbres atteints.

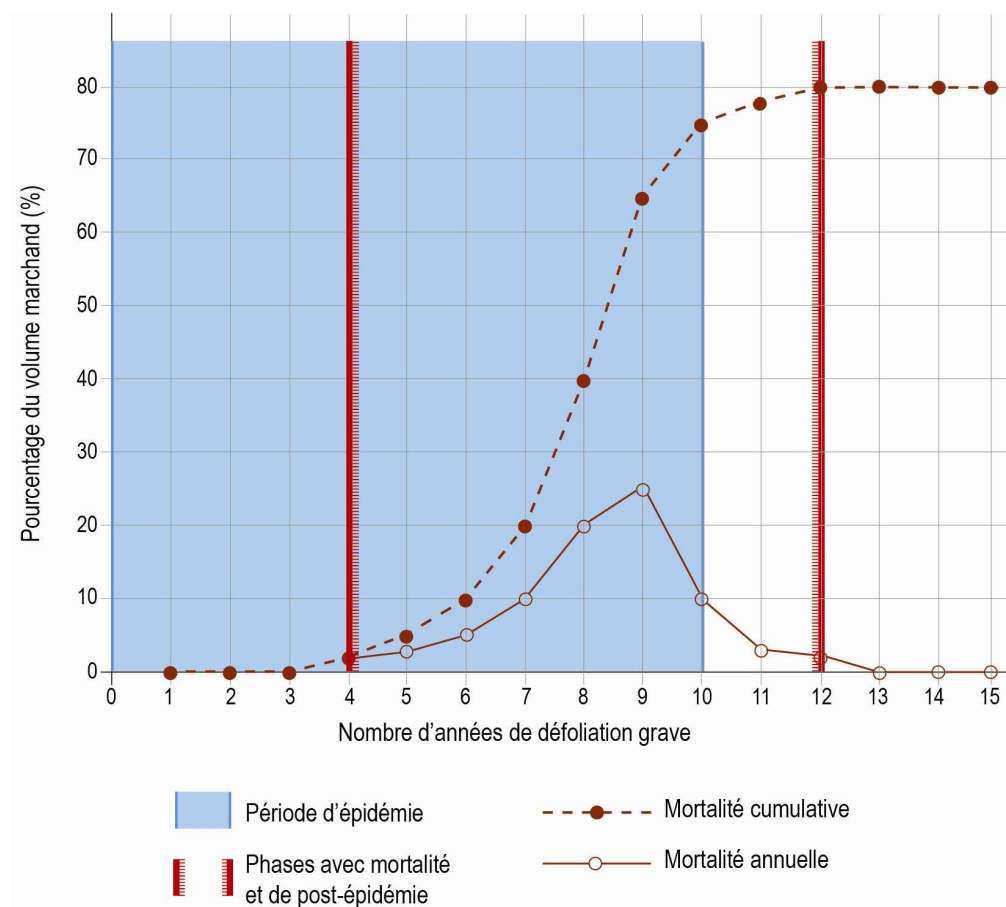


Figure 6 Modèle typique de progression de la mortalité causée par la tordeuse des bourgeons de l'épinette dans une sapinière mature (voir le tableau 1 pour une description des périodes et des phases)

1.8 Dégradation des arbres

Le processus de dégradation des arbres touchés par une épidémie de la tordeuse des bourgeons de l'épinette s'amorce souvent avant la mort de l'arbre, lorsque sa tête meurt. Il arrive d'ailleurs que des arbres dont la tête est morte survivent à l'épidémie et produisent une ou plusieurs baïonnettes. Ces blessures ont des répercussions à long terme puisqu'elles sont des portes d'entrée pour les champignons de coloration et de carie (Lortie, 1968).

L'indicateur de l'état de dégradation des arbres morts est la proportion d'arbres morts debout et entiers dans un peuplement. La figure 7 permet de visualiser la proportion des arbres qui étaient encore debout et entiers mesurée selon le nombre d'années écoulées depuis leur mort, selon deux études non publiées réalisées par le MFFP lors de la dernière épidémie. Les sapins baumiers analysés ont été répartis en cinq classes : arbres morts depuis moins d'un an (1), un à deux ans (2), deux à trois ans (3), trois à quatre ans (4) et quatre à cinq ans (5). On peut y observer une accélération de la dégradation à partir de la troisième année.

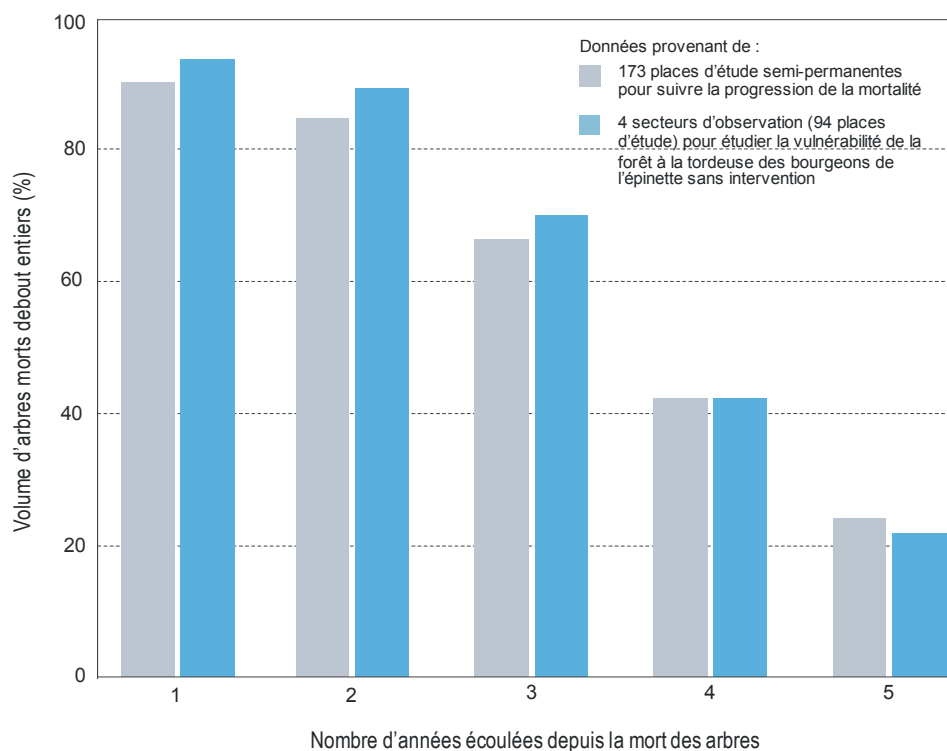


Figure 7 Proportion d'arbres demeurant debout et entiers entre un et cinq ans après leur mort causée par la tordeuse des bourgeons de l'épinette

La plupart des études qui ont porté sur la dégradation des arbres tués par la tordeuse des bourgeons de l'épinette en fonction du temps écoulé depuis leur mort ont été menées à l'extérieur du Québec, notamment celles de Basham et Belyea (1960), Stillwell et Kelly (1964), Basham (1984), Basham (1986) et Wall (1988). Au Québec, une étude non publiée portant sur la dégradation du sapin a été réalisée par le MFFP au cours des années 1980. Ces résultats sont utilisés pour illustrer le processus de dégradation, puisqu'ils semblent mieux représenter notre situation que ceux des études menées ailleurs au Canada, quoiqu'ils aillent généralement dans le même sens.

Lors de cette étude, des sapins baumiers répartis également en six classes (les mêmes que celles mentionnées précédemment auxquelles on a ajouté une classe d'arbres moribonds [0]) ont été abattus et des échantillons ont été prélevés pour être analysés en laboratoire (figure 8). Les observations ont porté sur les agents de dégradation (insectes et champignons) de même que sur la coloration et la carie du bois d'aubier et du bois de cœur. Les insectes trouvés dans l'écorce, sous l'écorce ainsi que dans l'aubier et le bois de cœur ont été dénombrés et identifiés.

La figure 8 illustre la succession des insectes xylophages dans le temps. Les *Curculionidae*, surtout présents chez les arbres moribonds, ne le sont plus lorsque les arbres sont morts depuis plus de deux ans. On trouve les *Scolytidae* plus souvent chez les arbres qui viennent de mourir, bien qu'on puisse aussi en trouver chez les arbres moribonds et jusqu'à deux ans après leur mort. Ces deux familles d'insectes n'endommagent pas le bois, puisque leur présence est limitée à l'écorce et à la surface du bois. Deux autres familles apparaissent en même temps que

les *Scolytidae*, soit les *Melandryidae* et les *Siricidae*. On trouve ces insectes dans les arbres jusqu'à trois ans après la mort de ceux-ci. Leur présence se limite au bois d'aubier et les galeries qu'ils creusent ne diminuent pas vraiment la valeur du bois. Finalement, les *Cerambycidae* colonisent aussi les arbres moribonds, mais ils sont plus nombreux un an après la mort de ceux-ci. Comme ils ont généralement un cycle vital de deux ans, échelonné sur trois ans, ils ont été observés dans toutes les classes d'arbres morts. Ce sont eux qui entraînent la plus grande dépréciation du bois scié dès la deuxième année après la mort, en raison des galeries sinueuses et longitudinales qu'ils creusent pour se nourrir, souvent jusqu'au cœur de l'arbre. La dépréciation des tiges augmente en fonction de la densité des galeries et de leur profondeur.

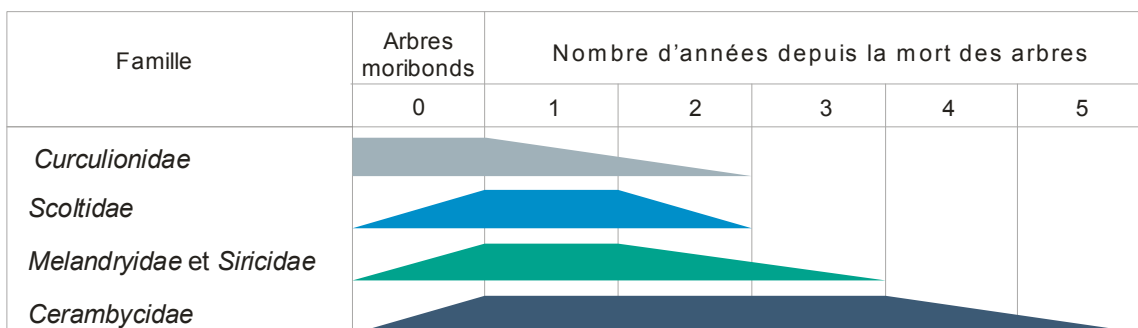


Figure 8 Succession des insectes xylophages chez des arbres moribonds et morts depuis un à cinq ans

Quoiqu'ils ne causent pas tous des dommages au bois, les insectes xylophages peuvent favoriser la contamination des arbres par des champignons responsables de la dégradation du bois. Il a été démontré que les *Siricidae* sont directement responsables de la pénétration de champignons dans l'aubier. Plusieurs espèces de champignons ont été identifiées au cours d'une étude menée au Québec. Les premières espèces causent une coloration de l'aubier et ouvrent la voie à des espèces qui sont responsables de la carie.

Au cours de cette étude, on a mesuré la coloration et la carie de l'aubier et du bois de cœur. Dans la figure 9, on peut noter que la coloration de l'aubier est présente chez les arbres moribonds et plafonne lorsqu'elle atteint entre 10 et 20 % du volume alors que la carie lui succède. Cette dernière apparaît chez les arbres morts depuis plus d'un an et progresse au rythme d'environ 10 % du volume par année pour plafonner à environ 30 % entre 3 et 4 ans après la mort des arbres (classe 4). Cette proportion correspond à la proportion de l'aubier dans l'arbre. Comme celle-ci est plus élevée lorsque le rythme de croissance des arbres est plus rapide, on peut avoir une idée de l'incidence possible de la carie à partir de cet indicateur. Le taux de dégradation de l'arbre est en quelque sorte inversement proportionnel à son rythme de croissance pendant les dernières années de sa vie. Quant à la coloration et à la carie du bois de cœur, elles ne progressent à peu près pas après la mort de l'arbre et demeurent inférieures à 10 %.

La coloration de l'aubier serait principalement causée par l'*Amylostereum chailletii* qui n'altère pas la fermeté du bois. Dans la majorité des cas, la carie de l'aubier serait une carie blanche attribuable au *Polyporus abietinus* (Basham, 1986). On peut distinguer trois stades de dégradation en fonction de la fermeté du bois : débutante (*incipient*), moyenne (*moderate*) et avancée (*advanced*), le bois de la carie débutante étant légèrement plus mou que le bois sain,

et celui de la carie avancée se désintégrant facilement. Puisque la carie blanche attaque principalement la lignine du bois, ce n'est pas nécessairement un empêchement à l'utilisation du bois pour la production de pâtes et papiers. En effet, l'impact est faible lorsque le bois est réduit en pâte dans les deux ans qui suivent la mort de l'arbre, surtout si on a recours à un procédé chimique pour en extraire la cellulose (Boulet, 2003). Les pertes cumulées lors de la récolte, du transport et de l'écorçage, le taux d'humidité et la propension du bois carié à produire des particules fines sont autant d'éléments dont il faut aussi tenir compte dans l'utilisation du bois carié selon les procédés de transformation et la qualité des produits désirés.

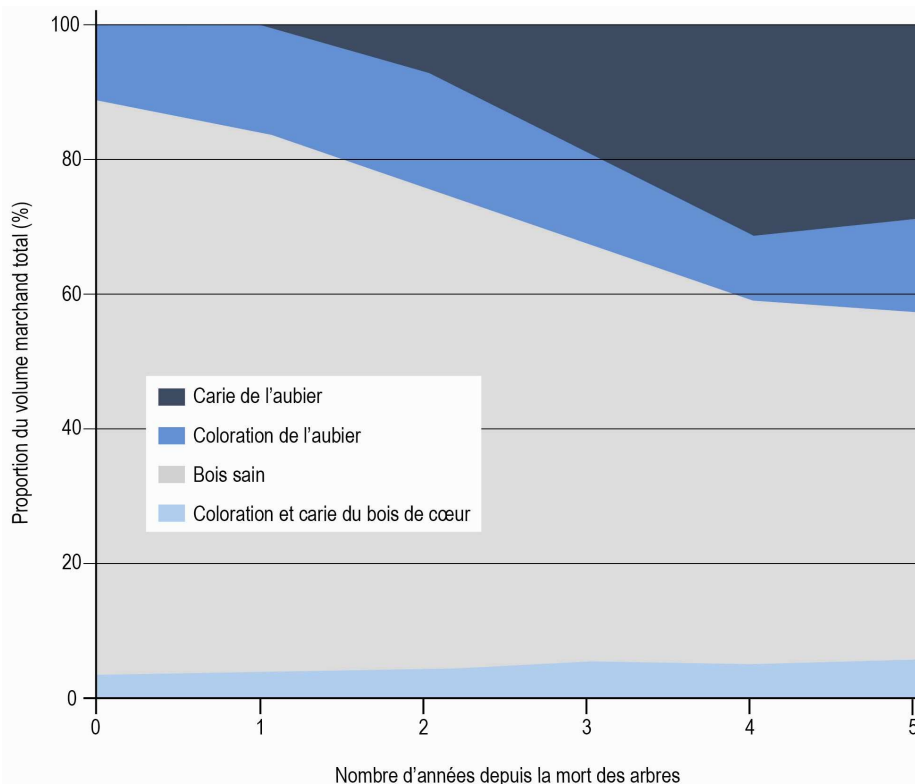


Figure 9 Évolution de la coloration et de la carie de l'aubier et du bois de cœur pour des sapins moribonds et des sapins morts depuis un à cinq ans

Une étude menée par Basham (1986) a démontré un lien clair entre l'importance de la carie de l'aubier et la densité des populations de scolytes sous l'écorce, à l'échelle d'un peuplement. Une densité inférieure à un trou de scolyte par dm^2 d'écorce serait indicatrice d'un faible taux de carie de l'aubier, et ce, même pour des arbres morts depuis quatre à cinq ans. Une densité supérieure à deux trous par dm^2 d'écorce permettrait, par ailleurs, de prédire un taux de carie important pour des arbres morts depuis deux à trois ans.

Les données présentées dans les figures 8 et 9 proviennent de sapins récoltés dans diverses régions du Québec, mais plus particulièrement dans les sous-domaines bioclimatiques de l'Ouest, donc ayant un climat plus chaud et plus sec que dans les sous-domaines de l'Est. Cela pourrait faire en sorte que le temps de dégradation ne soit pas le même dans d'autres régions. En effet, lors d'une étude similaire, Basham et autres (1976) ont observé une dégradation plus rapide des arbres en Ontario qu'à Terre-Neuve. Ce résultat laisse supposer qu'un climat plus frais et plus humide est moins propice à une dégradation rapide.

En somme, il faut retenir de ces différentes études que plusieurs facteurs contribuent à induire une variabilité dans le processus de dégradation des sapins touchés par la tordeuse des bourgeons de l'épinette et qu'il est donc nécessaire de se donner des repères avant d'entreprendre la récolte des arbres morts.

1.9 Détermination des périodes propices à la récolte des peuplements vulnérables

Lorsqu'on intègre les informations relatives aux agents de dégradation des arbres (figures 8 et 9) à celles sur la progression de la mortalité (figure 6), on peut obtenir une représentation du temps dont on dispose pour procéder à la récolte des peuplements vulnérables potentiellement ou réellement touchés par la tordeuse des bourgeons de l'épinette.

En période d'endémie (phase stable), les stratégies d'aménagement devraient toujours avoir pour objectif de diminuer la vulnérabilité du territoire, dans la mesure où les caractéristiques de composition et de structure d'âge recherchées demeurent à l'intérieur de seuils jugés acceptables. Avant le début de l'épidémie (phase de préépidémie), une **récolte préventive**¹ des peuplements les plus vulnérables peut être faite (figure 10). Au début de l'épidémie (phase sans mortalité), la récolte préventive continue; elle est dictée à la fois par la vulnérabilité des peuplements et par la défoliation facilement perceptible. Après quatre à cinq ans de défoliation, on entre dans la phase avec mortalité. Pour des considérations pratiques, un seuil de l'ordre de 10 % de volume de bois mort est proposé pour différencier cette phase de la précédente. On peut alors parler de **récolte associée à une perturbation naturelle**², puisque la proportion du volume à récolter, constitué d'arbres morts, commence à être significative. L'objectif de cette récolte est donc de récupérer la valeur marchande des arbres tués ou affaiblis par l'insecte.

C'est à partir de la phase avec mortalité qu'on peut parler de l'application d'un plan spécial d'aménagement pour la récolte. La période d'application du plan spécial devrait se terminer lorsque le volume non transformable atteint une limite critique qui peut varier, notamment selon les coûts de récolte et de transport, la destination des bois, les procédés de transformation ou les conditions du marché. Comme on le voit à la figure 10, la période de récupération se termine la dixième année. Les limites proposées concernent deux usages : le sciage et les pâtes et papiers.

1. Le terme « coupe de prérécupération » a déjà été employé pour qualifier la récolte servant à limiter les pertes de matière ligneuse avant une perturbation naturelle. Ce terme est désormais considéré comme désuet (Ministère des Ressources naturelles, 2013d).

2. Le terme « coupe de récupération » a longtemps été employé pour désigner la récolte des arbres tués ou affaiblis par une perturbation naturelle. Dans le tome 2 du *Guide sylvicole du Québec* (Ministère des Ressources naturelles, 2013d), il a été remplacé par l'appellation « récolte après perturbation naturelle » qui s'applique bien au contexte d'événements entraînant une mort rapide des arbres tels qu'un feu, un chablis ou une épidémie de l'arpenteuse de la pruche. Dans le présent guide, nous utilisons plutôt l'appellation « récolte associée à une perturbation naturelle », car la mortalité causée par l'épidémie de la tordeuse des bourgeons de l'épinette se poursuit pendant plusieurs années et parce que la récolte des arbres morts a lieu pendant et après la perturbation.

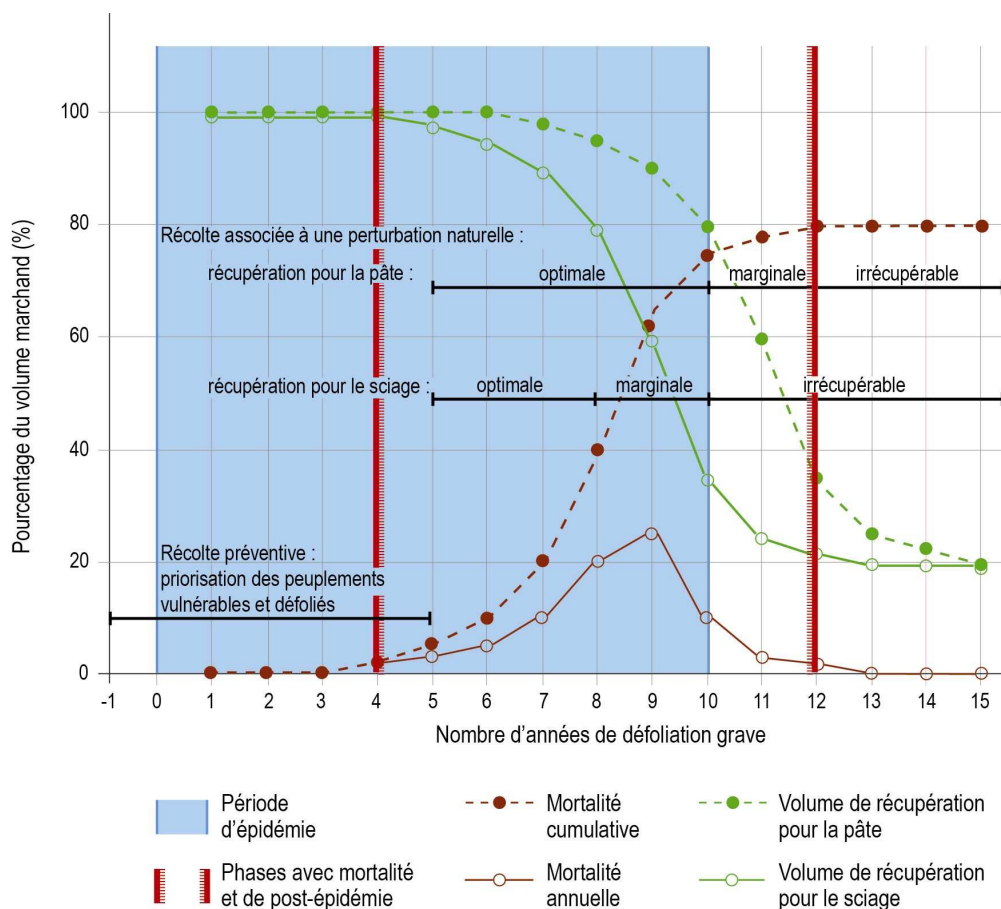


Figure 10 Période de récupération pour le sciage et la pâte pour un modèle typique de progression de la mortalité causée par la tordeuse des bourgeons de l'épinette dans une sapinière mature (voir le tableau 1 pour une description des périodes et des phases)

Le délai dont on dispose pour la récolte des arbres morts destinés au sciage est surtout déterminé par l'importance des dommages causés par les *Cerambycidae* (ou longicornes). Or, ceux-ci peuvent coloniser les arbres moribonds, mais ils sont plus souvent présents après la mort de l'arbre. Comme ils ont un cycle de deux ans et que leurs galeries pénètrent dans le bois surtout au cours du deuxième été, on peut assumer que la majorité des arbres morts depuis moins d'un an sont aptes au sciage sans perte importante. Dans la figure 10, une première courbe a été ajoutée à celles de la figure 6 pour illustrer la proportion du volume qui est encore apte au sciage selon le temps écoulé depuis le début de l'épidémie. Par ailleurs, dans le cas des arbres qui sont destinés aux usines de pâtes et papiers, le temps dont on dispose pour récolter les arbres morts peut varier selon les procédés de transformation et les exigences du marché. Il existe plusieurs études qui démontrent qu'il est possible d'utiliser ces arbres dans divers procédés de transformation. La figure 9 indique que 80 % du bois est toujours sain entre deux et trois ans après la mort de l'arbre. Une deuxième courbe a donc été ajoutée pour illustrer la proportion du volume qui pourrait être encore apte à la transformation pour les usines de pâtes et papiers. Une variable importante dont on devra tenir compte dans certains procédés de transformation est le taux d'humidité du bois. On sait toutefois que la dégradation touche essentiellement l'aubier parce que le taux d'humidité y est plus élevé au départ. C'est aussi dans cette partie de l'arbre que le taux d'humidité baisse le plus avant que n'apparaisse la

carie. Dans le modèle présenté à la figure 10, les périodes dont on dispose pour procéder à la transformation des sapins morts, selon l'usage auquel ils sont destinés, ont été qualifiées d'optimale, de marginale et d'irrécupérable, mais elles ne tiennent pas compte de la variable humidité.

L'information contenue dans la figure 10 est une référence fort utile pour planifier une récolte en cours d'épidémie, y compris l'élaboration de plans spéciaux d'aménagement. Toutefois, pour que son application soit adéquate, des validations doivent être faites sur le terrain.

1.10 Attributs écologiques des peuplements et des paysages forestiers façonnés par la tordeuse des bourgeons de l'épinette

Pour une grande partie des forêts du Québec, les perturbations naturelles comme le feu, les épidémies d'insectes et les chablis sont les principaux moteurs de leur dynamique. L'ampleur de la perturbation, c'est-à-dire son étendue et la quantité d'arbres tués, de même que la répartition de cette mortalité façonnent les attributs écologiques tels que la composition, la structure et l'organisation spatiale des peuplements qui émergeront par la suite. L'arrangement de ces attributs conditionne à son tour l'habitat des diverses espèces fauniques, floristiques et autres qui occupent le territoire forestier, compte tenu du climat et des sols qui s'y trouvent. La nature de la perturbation influence aussi les processus écologiques qui sont essentiels à la résilience et à la productivité de ces forêts.

Comme illustrées à la section 1.3, les épidémies de la tordeuse des bourgeons de l'épinette ont, depuis des siècles, joué un rôle dans la dynamique des écosystèmes du Québec méridional. Dans la sapinière, cette perturbation naturelle constitue même le moteur principal de la dynamique des forêts, car les épidémies s'y produisent de façon récurrente et périodique depuis une longue période. Par les divers patrons de mortalité résultant du comportement de l'insecte et de la vulnérabilité variable des arbres et des peuplements en place, elles conditionnent non seulement la composition et la structure interne des peuplements, mais elles influencent aussi la structure d'âge et l'organisation spatiale du paysage.

1.10.1 Structure d'âge des forêts

Bien que les épidémies de la tordeuse des bourgeons de l'épinette puissent causer une défoliation importante sur de grandes superficies et, dans certains cas, une perte de matière ligneuse considérable, la réinitialisation des peuplements est loin d'être la règle. Contrairement à la croyance populaire, sur le plan écologique, les épidémies de la tordeuse des bourgeons de l'épinette, même les plus graves, produisent généralement une perturbation partielle, comme en témoignent plusieurs études caractérisant la forêt préindustrielle qui montrent que cette forêt était dominée par les vieux peuplements (Leblanc et Bélanger, 2000; Barrette et Bélanger, 2007; Pinna et autres, 2009; Boucher et autres, 2009). Le registre des états de référence, publié par le MFFP (Boucher et autres, 2011), synthétise cette information pour toutes les régions du Québec et permet de mesurer l'effet qu'ont eu les perturbations graves causées par la tordeuse des bourgeons de l'épinette sur la structure d'âge au cours des 150 dernières années. Le taux de perturbation est demeuré très faible pendant cette période, variant de 0,001 à 0,003 % du territoire touché annuellement en moyenne pour les unités de végétation associées à la sapinière. Toutefois, compte tenu de la cyclicité de cette perturbation, les effets se produisent par vague et se concentrent donc sur des périodes de temps relativement restreintes (environ 20 ans).

L'analyse des données des inventaires forestiers¹ nous permet d'illustrer la prépondérance des perturbations dites partielles lors de la dernière épidémie (figure 11). La proportion des peuplements réinitialisés, ceux qui ont un code d'épidémie grave (code « ES »), est demeurée faible, et ce, même si l'on considère qu'une proportion des peuplements touchés par une épidémie modérée (code « EL ») ont aussi été réinitialisés (notamment ceux de faible densité). Par exemple, pour le sous-domaine de la sapinière de l'Est, qui est l'une des régions ayant été le plus touchées, 37 % du territoire aurait subi les effets de la tordeuse des bourgeons de l'épinette. De cette proportion, environ 29 % aurait subi une perturbation partielle et seulement 8 % du territoire aurait été réinitialisé.

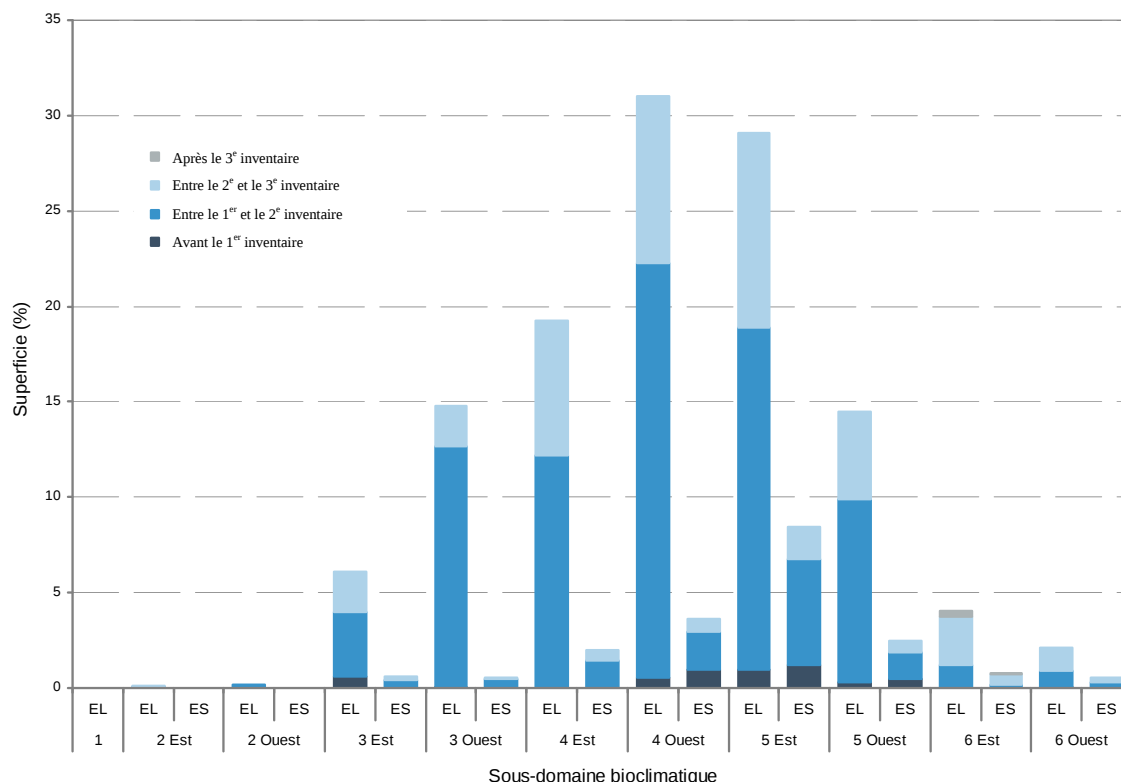


Figure 11 Proportion de la superficie forestière touchée par une épidémie modérée (EL) et une épidémie grave (ES), selon les sous-domaines bioclimatiques et la période d'inventaire avant (avant le 1^{er} inventaire), pendant (entre les 1^{er} et 2^e inventaires) et après (entre les 2^e et 3^e inventaires) l'épidémie de 1967 à 1992

1.10.2 Réinitialisation des peuplements

Lorsque le peuplement est très vulnérable, l'effet d'une défoliation grave et répétée par la tordeuse des bourgeons de l'épinette peut entraîner la mortalité de la quasi-totalité des arbres. On parle alors d'une réinitialisation du peuplement, c'est-à-dire qu'un nouveau peuplement, composé principalement de jeunes arbres, se développe à la suite de l'épidémie. Par convention, on considère que cette situation se produit lorsque la mortalité touche plus de 75 % de la surface terrière du peuplement avant l'épidémie.

1. La dernière épidémie s'est déroulée de 1967 à 1992. Les photographies aériennes des trois inventaires ont été prises principalement durant les années 1966 à 1975, 1980 à 1988 et 1990 à 1999, respectivement pour les 1^{er}, 2^e et 3^e inventaires.

La figure 12 illustre la répartition de la superficie des peuplements réinitialisés (code cartographique ES) lors de l'épidémie de 1967-1992, selon le couvert et le sous-domaine bioclimatique. On remarque que les peuplements qui ont émergé sont principalement de composition mixte et qu'une grande proportion du territoire gravement touché peut aussi maintenir un couvert résineux, ce qui a été le cas dans la sapinière de l'Est par exemple.

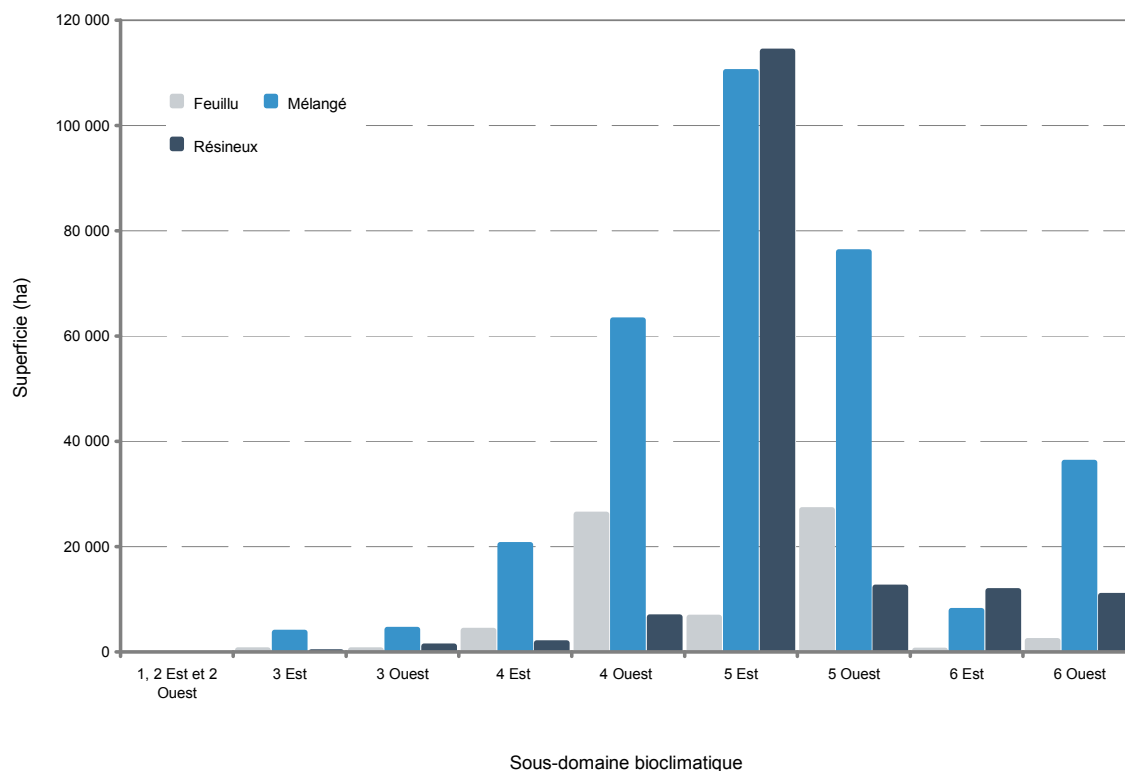


Figure 12 Superficies des peuplements réinitialisés (code ES) principalement par la tordeuse des bourgeons de l'épinette, selon le couvert forestier observé lors du 3^e inventaire

À la suite d'une réinitialisation, la composition du nouveau peuplement variera selon une combinaison de plusieurs facteurs. La mortalité provoquée par la tordeuse des bourgeons de l'épinette peut permettre le développement de nouvelles sapinières à partir d'une banque de semis bien établis et en densité suffisante pour empêcher les semis d'autres essences de croître, ce qui dépend notamment de l'âge du peuplement et de la station (Côté et Bélanger, 1991). Par contre, si la banque est incomplète en raison de la faible densité des semis ou de leur petite taille, les espaces vacants risquent d'être envahis par les feuillus intolérants, ce qui peut éventuellement conduire à l'établissement de peuplements feuillus ou mélangés (Déry et autres, 2000; Bouchard, Kneeshaw et Bergeron, 2006; Bouchard, Pothier et Gauthier, 2008).

Comme jusqu'à 25 % de la surface terrière du peuplement initial peut persister dans les peuplements réinitialisés, il est possible d'y trouver des arbres qui ne sont pas susceptibles de subir une défoliation par la tordeuse des bourgeons de l'épinette, qui sont peu ou qui ne sont pas vulnérables ou encore qui sont vulnérables, mais qui ont tout de même survécu. Ces survivants génèrent une diversité végétale au sein du futur peuplement et constituent des

éléments structuraux majeurs, grâce à la présence d'arbres pouvant parfois atteindre de fortes dimensions, notamment l'épinette blanche et le bouleau jaune. La persistance de ces arbres créera ainsi une structure horizontale et verticale hétérogène qui aura aussi un effet sur la biodiversité.

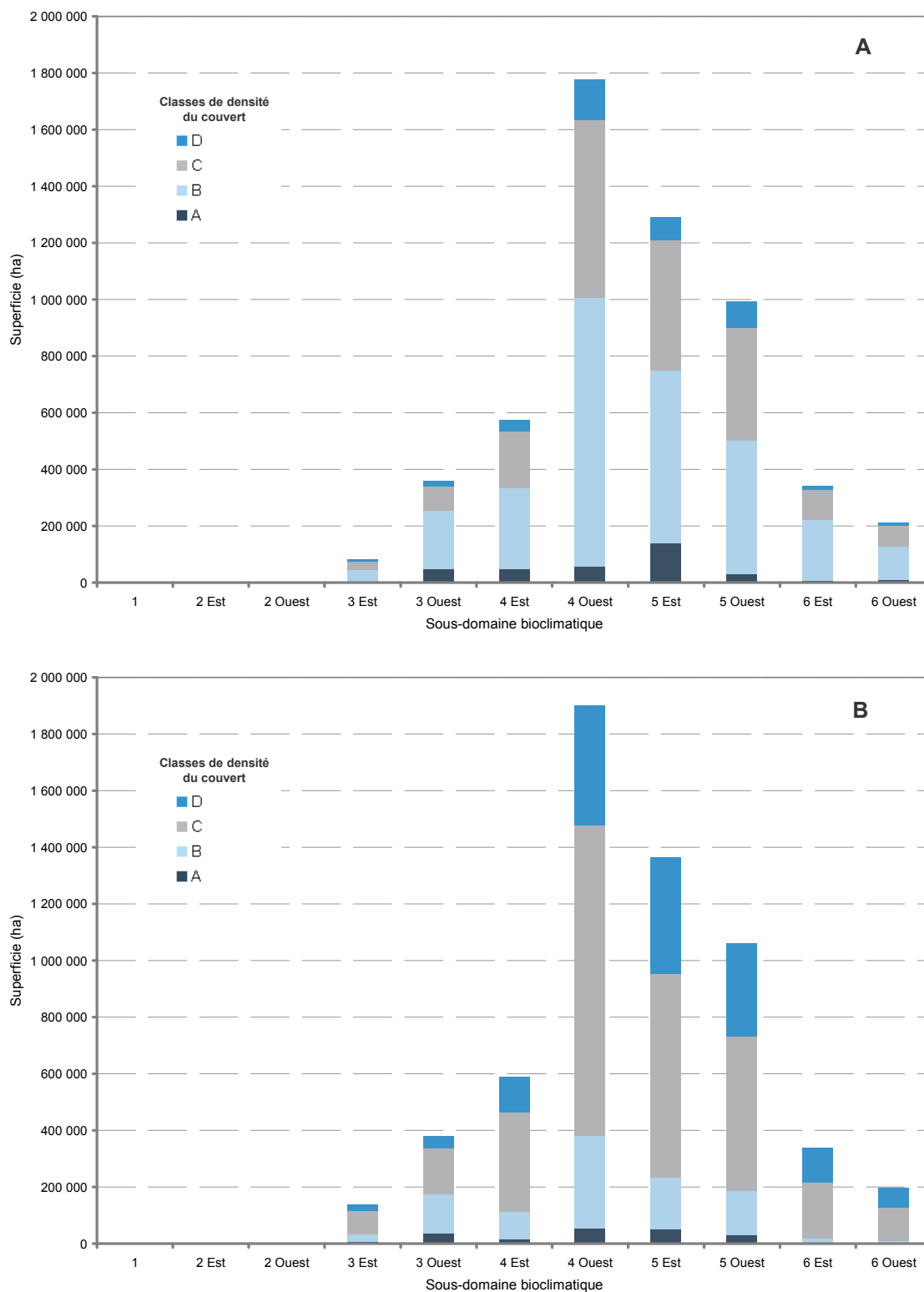
Par ailleurs, la mortalité abondante du sapin génère une très grande quantité de bois mort, sous forme de chicots d'abord, puis de débris ligneux. Les vagues de mortalité produites par les épidémies de la tordeuse des bourgeons de l'épinette sont à l'origine de pointes de recrutement de bois mort dans les peuplements (Bouchard, Pothier et Gauthier, 2008; Côté, Boucher et Thiffault, 2009), y compris des tiges de grosse dimension (Belle-Isle et Kneeshaw, 2007). Ce recrutement de bois mort est nécessaire à certains organismes tels que les champignons et les insectes xylophages, ainsi que les pics-bois et d'autres espèces dépendantes des cavités (Bouchard, Pothier et Gauthier, 2008; Côté, Boucher et Thiffault, 2009). Le bois mort représente aussi un lit de germination favorable pour l'établissement de plusieurs espèces d'arbres, dont l'épinette blanche (Belle-Isle et Kneeshaw, 2007).

1.10.3 Perturbation partielle des peuplements

Lorsque la mortalité des arbres est comprise entre 25 et 75 % de la surface terrière initiale du peuplement, on considère qu'il s'agit d'une perturbation partielle. Dans le cas de la tordeuse des bourgeons de l'épinette, on parle alors d'une épidémie modérée (code cartographique EL). La grande diversité d'ouvertures du couvert générée par ce type de perturbation donne aussi lieu à une grande diversité de peuplements. Dans certains cas, notamment lorsque la densité résiduelle du peuplement se situe entre 25 et 40 % (densité D), on peut considérer le peuplement comme étant partiellement réinitialisé.

Lorsque la densité du peuplement à l'issue de l'épidémie dépasse 40 % (densités C et B), les changements décrits ci-dessus peuvent se produire, mais sur une moins grande proportion de la superficie touchée. La mortalité partielle ou complète des sapins de dimensions commerciales engendre un changement immédiat de composition et de densité dans ces peuplements. Par exemple, des peuplements denses de couverts mélangés deviennent des peuplements moins denses, de couverts feuillus. La figure 13 illustre bien ce changement de la densité¹ des peuplements qui ont subi une perturbation partielle lors de l'épidémie de 1967-1992.

1. La classe de densité de couvert d'un peuplement est déterminée par la proportion de la surface occupée par la projection au sol des houppiers des arbres. Classe A = plus de 80 % de couvert; B : de 60 à 80 %; C : de 40 à 60 %; D : de 26 à 40 %.



La mortalité partielle peut aussi conduire à une structure étagée, notamment lorsque les ouvertures sont nombreuses et assez grandes pour stimuler la croissance de la régénération. La présence d'espèces longévives¹ peu ou pas vulnérables à la tordeuse des bourgeons de l'épinette, combinée à la mortalité par trouées propice au développement de la régénération préétablie, favorise parfois la formation de peuplements de structure irrégulière (Bouchard, Kneeshaw et Bergeron, 2005; Leblanc et Bélanger, 2000). Ce type de structure était beaucoup plus fréquent dans la forêt préindustrielle que dans la forêt aménagée (Leblanc et Bélanger, 2000; Barrette et Bélanger, 2007; Boucher et autres, 2009; Pinna et autres, 2009). La composition des parties réinitialisées se comporte comme cela a été décrit précédemment. Toutefois, la présence d'un couvert résiduel peut limiter l'envahissement par les espèces héliophiles et favoriser le développement de la régénération résineuse présente. D'ailleurs, les peuplements ayant subi une mortalité partielle sont généralement moins enclins à l'enfeuillement que ceux où la mortalité a été totale (Déry et autres, 2000; Belle-Isle et Kneeshaw, 2007). De plus, la présence de semenciers de ces espèces longévives, notamment l'épinette blanche, combinée à des conditions lumineuses partiellement ombragées et à la disponibilité de bois mort décomposé représentant un lit de germination propice, favorise la persistance de ces espèces (Belle-Isle et Kneeshaw, 2007).

En résumé, les perturbations partielles causées par la tordeuse des bourgeons de l'épinette, qui résultent de la sélectivité de l'insecte, combinée à la variabilité des peuplements initiaux et de l'intensité de l'épidémie, contribuent à créer une plus grande hétérogénéité du milieu forestier et favorisent la persistance des essences non susceptibles ou moins vulnérables. Ces perturbations peuvent contribuer à diminuer la vulnérabilité de la forêt à court terme et à plus long terme lorsqu'un couvert feuillu occupe les portions réinitialisées. Par ailleurs, le passage de la tordeuse des bourgeons de l'épinette peut accélérer l'atteinte de caractéristiques qu'on associe au stade vieux, par exemple par la création de trouées, qui accélère la formation d'une structure irrégulière et la présence de quantités importantes d'arbres morts.

1.10.4 Organisation spatiale des paysages

L'effet combiné des perturbations partielles et de la réinitialisation génère un entremêlement de peuplements d'âge, de structure, de superficie et de composition différents. Ceci conduit à la formation d'une mosaïque forestière fine qui résulte aussi de la récurrence rapprochée des épisodes d'épidémie (Bouchard, Pothier et Gauthier, 2008). Historiquement, dans la forêt naturelle de la sapinière à bouleau blanc de l'Est, le régime de perturbation induit principalement par la tordeuse des bourgeons de l'épinette produisait une mosaïque forestière hétérogène et fine, dont la majorité des peuplements présentait une superficie relativement petite, de l'ordre de quelques hectares (Leblanc et Bélanger, 2000; Belle-Isle et Kneeshaw, 2007). Ces caractéristiques spatiales sont propres aux domaines de la sapinière, mais peuvent aussi être rencontrées dans les autres domaines où la tordeuse des bourgeons de l'épinette contribue à façonner la forêt.

1. Voir l'annexe B pour une liste des espèces et de leurs caractéristiques.

CHAPITRE 2

Fondements de la démarche de modulation

Compte tenu de l'épidémie de la tordeuse des bourgeons de l'épinette qui sévit actuellement, et considérant son évolution possible au cours des prochaines années, le MFFP doit apporter des modifications aux stratégies d'aménagement en vigueur. Il est difficile de prévoir avec certitude le déroulement de cette nouvelle épidémie. Toutefois, on peut s'attendre à ce qu'il en résulte des baisses importantes de volumes de bois vivant (du moins par endroit) et qu'il y ait des répercussions sur les scénarios d'aménagement. Dans ces circonstances, le MFFP doit définir une démarche qui lui permet d'adapter ses actions pour tenir compte de l'épidémie, tout en poursuivant les objectifs d'aménagement durable des forêts prescrits par la loi.

Face à l'épidémie qui progresse, il faut toutefois se garder de précipiter les choses et de tirer des conclusions trop hâtives. Comme on l'a vu dans le chapitre 1, les peuplements forestiers qui subissent une défoliation ne mourront pas tous. Dans certains cas, plusieurs années de défoliation engendreront une mortalité telle que l'ensemble du volume marchand sera affecté et un nouveau peuplement émergera après l'épidémie. Toutefois, ce scénario est loin d'être la norme. Dans de nombreux cas, la mortalité sera partielle et le peuplement survivra. Il en résultera des baisses de volume de bois, mais l'effet de la mortalité causée par la tordeuse des bourgeons de l'épinette sera semblable à celui d'une éclaircie plus ou moins grave, avec une réduction temporaire de croissance pour les essences susceptibles. Finalement, certains peuplements, peu vulnérables à l'insecte, seront peu modifiés ou ne le seront pas, même si une défoliation peut parfois s'y produire au cours de l'épidémie. Devant la variété des possibilités, le défi pour le MFFP consiste à bien mesurer les risques de mortalité afin de circonscrire ses actions, dans l'espace et dans le temps, pour minimiser les conséquences néfastes que pourrait avoir l'épidémie sur la récolte de bois, tout en évitant de répéter les erreurs du passé. C'est par la mise en œuvre d'une approche de gestion adaptée aux effets de l'épidémie que le MFFP entend faire face à ce défi.



Arbres défoliés à divers degrés dans un peuplement

Pour l'essentiel, la démarche de modulation proposée par le MFFP consiste à :

- rassembler l'information sur l'état des forêts en vue d'en évaluer la vulnérabilité face à l'insecte, faire une analyse de la structure d'âge pour maintenir les cibles ministérielles en tenant compte de la probabilité de persistance des vieux peuplements après l'épidémie, établir une correspondance entre les aires admissibles à la lutte directe et la planification des interventions sylvicoles (section 2.2);

- analyser les suivis de l'insecte et de la défoliation annuelle, l'historique de la défoliation et l'évaluation périodique de l'état de santé des peuplements les plus touchés servant à prédire la mortalité des arbres à court terme afin de suivre l'évolution de la situation au fur et à mesure du déroulement de l'épidémie (section 2.3);
- présenter les moyens mis à la disposition des aménagistes pour faire face à l'épidémie et répondre aux objectifs de l'approche de gestion ministérielle (section 2.4).

C'est en fonction de toutes ces informations que les aménagistes seront en mesure de bien choisir les actions à entreprendre à chacun des stades de l'épidémie. À cet effet, des recommandations concernant la modulation des traitements d'éducation et la démarche à suivre pour la modulation de la récolte de peuplements ayant atteint la maturité sont proposées dans le chapitre 3.

2.1 Objectifs de l'approche de gestion des forêts face à l'épidémie

Afin d'assurer la cohérence entre l'approche de gestion et les principes d'aménagement durable des forêts, tout en respectant l'approche écosystémique prescrite par la loi, il importe d'avoir une vision claire des quatre objectifs de l'approche de gestion des forêts face à l'épidémie.

2.1.1 Minimiser les pertes de volumes de bois qui peuvent résulter de la mortalité des arbres causée par l'épidémie

Le MFFP doit déployer ses efforts en vue de récolter ou de protéger les volumes de bois qui sont les plus susceptibles d'être perdus à la suite de l'épidémie. Ces efforts consistent principalement à établir des priorités de récolte en fonction de la vulnérabilité et de la mortalité observées dans les peuplements ou à envisager la lutte directe pour préserver une partie des peuplements touchés. Ces actions seront menées principalement pour soutenir les approvisionnements en bois à court ou à moyen terme et les décisions seront prises en considérant les facteurs économiques et financiers ainsi que les cibles et les objectifs prévus dans le plan d'aménagement forestier intégré tactique (PAFIT) (ex. : l'aménagement écosystémique et d'autres objectifs ayant été convenus aux tables locales de gestion intégrée des ressources et du territoire).

2.1.2 Favoriser le rendement ligneux à moyen et à long terme dans les forêts perturbées par la tordeuse des bourgeons de l'épinette

En considérant l'effet de la tordeuse sur les peuplements forestiers, il est possible de moduler les interventions de manière à optimiser le rendement ligneux et le flux de bois à moyen et à long terme. Ceci implique qu'il faut faire des choix judicieux pour éviter la récolte prématurée de peuplements susceptibles de persister après l'épidémie. Ces décisions doivent être prises à partir de leur vulnérabilité potentielle, d'une évaluation du risque de mortalité à court terme, du suivi de la mortalité réelle et de leur intégration dans le programme de lutte directe à l'aide de pulvérisations aériennes d'insecticide. Ces peuplements joueront un rôle important dans le maintien d'un flux de bois qui assurera la stabilité des approvisionnements des usines après l'épidémie. L'objectif implique aussi qu'il faudra adapter les scénarios sylvicoles pour tenir compte de l'effet produit par la tordeuse des bourgeons de l'épinette et tirer profit des occasions où cet effet favorise l'atteinte des objectifs sylvicoles (ex. : effet d'éclaircies).

2.1.3 Maintenir les cibles de structure d'âge et éviter d'aggraver la raréfaction des peuplements capables de jouer le rôle écologique des vieilles forêts

En période d'épidémie, on peut s'attendre à ce qu'une partie des vieux peuplements subisse une perturbation grave qui conduira à leur réinitialisation. Toutefois, la plupart survivront et pourront continuer à jouer un rôle écologique clé. Étant donné l'écart négatif parfois grand entre la situation actuelle et les proportions normalement présentes dans la forêt naturelle, tous les efforts doivent être déployés pour assurer le maintien des vieux peuplements susceptibles de remplir leurs fonctions écologiques. Compte tenu du caractère irremplaçable de ce type d'écosystème à court terme, il ne faut pas faire en sorte que l'effet combiné de l'épidémie et des interventions de récupération conduisent à une raréfaction des vieux peuplements dans les paysages déjà altérés. À partir de la compréhension de la vulnérabilité des peuplements et de leur probabilité de persistance après l'épidémie, une analyse de l'état de la structure d'âge en fonction des cibles prévues devrait permettre d'optimiser les choix pour maintenir les peuplements qui répondent aux besoins de maintien ou de restauration de la structure d'âge des forêts.

2.1.4 Assurer le maintien des attributs naturels dans les peuplements perturbés faisant l'objet d'interventions

En rapport avec l'objectif précédent, il est également important de prêter attention au maintien des attributs naturels des peuplements faisant l'objet d'interventions pendant l'épidémie. Le maintien des attributs naturels de composition, de structure et d'organisation spatiale des forêts perturbées contribue non seulement à la biodiversité, mais agira aussi directement sur les facteurs de résistance et de résilience des forêts face aux futures épidémies.

2.2 Outils disponibles et analyses à faire

En vue d'atteindre les quatre objectifs de l'approche de gestion, le MFFP doit prendre une série de moyens en tenant compte de l'évolution de la situation et en ayant une compréhension fine des effets probables ou réels de l'épidémie. Pour ce faire, le MFFP compte tirer profit des leçons de la dernière épidémie. Il pourra ainsi s'appuyer sur une bonne compréhension du comportement de l'insecte et de ses effets sur le milieu. Il dispose aussi de différents outils qui lui permettent d'avoir accès à des informations à jour sur l'état de situation au fur et à mesure du déroulement de l'épidémie. Ces connaissances, qui sont essentielles à la mise en place de moyens en vue d'atteindre les objectifs, seront inscrites dans une démarche de modulation de la planification forestière qui tient compte des périodes et des phases du cycle de la tordeuse des bourgeons de l'épinette. Cette démarche intégrera implicitement les considérations économiques et financières habituelles qui influencent aussi les choix des aménagistes.

Dans la démarche de modulation, l'aménagiste doit colliger l'information pertinente à la prise de décision lors des différentes étapes de l'épidémie. Ainsi, il devra disposer de la cartographie de la vulnérabilité du territoire, procéder à une analyse de la structure d'âge en fonction de la persistance probable des peuplements et contribuer au choix des aires admissibles à la lutte directe.

2.2.1 Analyse de la vulnérabilité des peuplements et des territoires touchés

L'évaluation de la vulnérabilité des peuplements est essentielle pour anticiper les effets de l'épidémie sur la dynamique des peuplements et la mortalité probable. Cette évaluation permettra de distinguer, parmi tous les territoires touchés par la tordeuse des bourgeons de l'épinette, ceux qui courent le risque de connaître une mortalité importante et, en conséquence, de subir des baisses de matière ligneuse susceptibles de diminuer les approvisionnements en bois¹.

La méthode d'évaluation de la vulnérabilité proposée ici concerne les situations les plus couramment observées dans le passé. Elle se veut simple d'application sans prétendre s'adapter à toutes les nuances qu'il est possible de rencontrer sur le terrain. À ce sujet, dans l'évaluation de la vulnérabilité, les épinettes ne sont pas considérées comme étant très vulnérables, puisque la mortalité ne constitue généralement pas un enjeu économique d'importance. Par ailleurs, la classification proposée n'a pas pour objectif de prendre en compte les réductions de croissance associées à l'épidémie. Il se peut toutefois que les effets de la présente épidémie diffèrent des précédentes et que la vulnérabilité réelle soit différente de celle qui est prévue pour certains territoires. C'est pourquoi les aménagistes doivent surveiller la situation de près à l'aide des autres outils disponibles (ex. : suivi de l'insecte et de l'état de santé des peuplements, voir la section 2.3) afin de repérer les cas qui diffèrent et d'adapter l'image de la vulnérabilité et les actions à prendre en conséquence.

À l'échelle du peuplement, les variables retenues pour évaluer la vulnérabilité sont l'importance du sapin dans la composition forestière, le stade de développement et la qualité du site. Même si l'on sait que la densité influence aussi la vulnérabilité, cette variable n'a pas été retenue dans la présente méthode parce qu'on a voulu éviter de multiplier les classes et que la majorité des peuplements sont de densité B et C, pour lesquels la distinction du niveau de vulnérabilité est plutôt arbitraire. Cela n'exclut toutefois pas la pertinence de faire ressortir, pour une classe de vulnérabilité donnée, les peuplements de densité A lorsque leur superficie est importante dans le territoire analysé.

À l'échelle d'un territoire, la probabilité d'avoir une séquence prolongée de défoliation grave est fortement influencée par le climat. L'influence climatique peut être indirectement intégrée au moyen du cadre écologique de référence, qui tient compte à la fois des facteurs écologiques permanents (climat et milieu physique) et des perturbations (voir la section 1.5). Par ailleurs, le climat ne se fait pas sentir uniquement en fonction de la longitude et de la latitude. L'altitude influence aussi les conditions climatiques qui, à leur tour, conditionnent la durée des épidémies. C'est dans le sous-domaine de la sapinière à bouleau blanc de l'Est que l'effet de l'altitude s'est fait le plus sentir dans le passé. Puisque les épidémies du 20^e siècle ont couvert des territoires de plus en plus nordiques comparativement aux épidémies précédentes, probablement sous l'effet des changements climatiques, l'effet de l'altitude devrait être considéré également dans le domaine de la pessière à mousses, particulièrement dans le sous-domaine de l'Est puisqu'on y trouve un fort gradient altitudinal.

1. Un outil géomatique permettant de faire des analyses de vulnérabilité et de persistance probable des peuplements a été développé et sera mis à la disposition des aménagistes et autres professionnels du domaine forestier.

2.2.1.1 Méthode de classification

À l'échelle du peuplement

À l'échelle du peuplement, cinq classes de vulnérabilité, déterminées en fonction de l'effet attendu sur les divers types de peuplement lors d'une épidémie typique dont la durée est d'environ dix ans, sont proposées (tableau 2). Chacune des classes est définie de manière à orienter la décision de l'aménagiste ou du sylviculteur pour amoindrir les effets négatifs de l'épidémie tout en tirant le meilleur parti de ses effets positifs.

Tableau 2 Description des classes de vulnérabilité proposées

Classe de vulnérabilité	Description
1. Très élevée	Peuplements qui ont une forte probabilité d'être réinitialisés par l'épidémie : dans la classification de l'inventaire forestier, ce sont ceux dont la surface terrière après l'épidémie pourrait baisser de plus de 75 % (code de perturbation d'origine ES).
2. Élevée	Peuplements qui ne seront pas totalement réinitialisés par l'épidémie, mais dont la surface terrière initiale pourrait chuter de 50 à 75 %. Ce sont les peuplements qui pourraient avoir le code de perturbation moyenne EL au terme de l'épidémie avec le code de densité D.
3. Moyenne	Peuplements dont la surface terrière pourrait chuter de 25 à 50 % au terme de l'épidémie (code de perturbation moyenne EL et de densité B ou C).
4. Faible	Peuplements qui contiennent au moins 25 % de sapin, mais pour lesquels on ne s'attend pas à une baisse de plus de 25 % de la surface terrière à l'issue de la présente épidémie, principalement en raison de leur jeune âge (pas de code de perturbation moyenne). Toutefois, ils pourraient faire partie de l'une ou l'autre des classes précédentes lors de la prochaine épidémie.
5. Très faible ou nulle	Peuplements qui contiennent moins de 25 % de sapin, donc qui ne présentent pas de risque à court et à moyen terme.

On peut attribuer à chaque peuplement une vulnérabilité probable à l'aide de l'une ou l'autre de ces cinq classes, à partir de variables explicatives telles que la composition, l'âge et les caractéristiques physiques du milieu. Les analyses subséquentes permettront de dresser un tableau à différentes échelles, selon les niveaux de planification à analyser (du chantier de récolte à l'unité de gestion).

Par ailleurs, comme il est nécessaire de localiser géographiquement les peuplements selon les différentes classes de vulnérabilité à l'aide des outils dont les aménagistes disposent, seuls des descripteurs cartographiques ont été retenus dans l'élaboration de la classification.

Variables explicatives retenues

Composition forestière

La composition forestière pourra être définie en utilisant le couvert ainsi que le groupement et le sous-groupement d'essences selon les regroupements synthèses proposés au tableau 3. L'objectif est de classer les peuplements selon l'importance qu'y occupe le sapin, l'espèce la plus vulnérable.

Tableau 3 Type de couvert et groupement et sous-groupement synthèse d'essences proposés pour la classification de la vulnérabilité

Type de couvert	Groupement et sous-groupement synthèse d'essences
Résineux	Sapinière (SS) Sapinière avec autres résineux (SR) Autres résineux avec sapin (RS) Autres résineux (RA)
Mélangé	Sapinière avec feuillus (SF) Feuillus avec sapin (FS) Autres mélangés (MA)

Stade de développement

La vulnérabilité d'un peuplement varie en fonction de son stade de développement. Toutefois les peuplements n'atteignent pas les divers stades au même âge, principalement en raison du climat qui limite la vitesse de croissance. Nous proposons donc d'utiliser le cadre de classification écologique pour établir la relation entre les classes d'âge et le stade de développement. Les domaines et les sous-domaines bioclimatiques sont utilisés à cette fin comme on le voit dans le tableau 4. La relation proposée vise à caractériser le stade de développement des groupements d'essences avec sapin et repose sur la prémisse que le sapin arrive à maturité plus rapidement lorsque le climat est plus chaud.

Tableau 4 Relation entre la classe d'âge et le stade de développement des peuplements par domaine ou sous-domaine pour les groupements d'essences avec sapin^a

Domaine ou sous-domaine	Stade de développement selon la classe d'âge (années)			
	Jeune	Prémature	Mature	Vieux
1, 2 et 3	30	30	50	70 ou plus
4 et 5	30	50	70	90 ou plus
6 ouest	30-50	70	90	120 ou plus
6 est	30-50-70	90	120 ou plus	120 ou plus

a. Ce tableau (adapté de Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, 2009) est présenté à titre indicatif et pourra être modifié à la lumière d'informations plus pertinentes, le cas échéant.

Qualité de site

Deux classes de qualité de site sont proposées pour déterminer la vulnérabilité relative des peuplements à la tordeuse des bourgeons de l'épinette à partir des caractéristiques physiques du milieu (tableau 5). Ces classes reflètent le régime hydrique des sites, selon qu'il convient ou non au sapin, sachant que c'est une essence qui tolère mal le stress hydrique aux stades de gaulis et de futaie (Ministère des Ressources naturelles, 2013e).

Tableau 5 Qualité de site pour le sapin, évaluée à partir du régime hydrique découlant des caractéristiques physiques du milieu

Qualité de site pour le sapin	Premier caractère du code du milieu physique ^a	Régime hydrique
Bonne	2, 3, 4, 5, 6	Sol frais et sol humide
Mauvaise	0,1, 7, 8, 9	Sol très sec, sol sec et sol très humide

a. Pour la description des codes, se référer au tableau 26 de la *Norme de stratification écoforestière* (Ministère des Ressources naturelles, 2013e).

Intégration des variables

À partir de la combinaison des variables Composition, Stade de développement et Qualité de site, une évaluation de la vulnérabilité des peuplements peut être faite selon les cinq classes décrites au tableau 2. Le tableau 6 permet d'en visualiser le résultat.

Tableau 6 Classe de vulnérabilité selon le groupement et le sous-groupement synthèse d'essences, le stade de développement et la qualité du site pour le sapin baumier

Groupement et sous-groupement synthèse d'essences	Stade de développement	Classe de vulnérabilité ^a	
		Bon site	Mauvais site
Sapinière pure (SS)	Vieux	1	1
	Mature	1	1
	Prémature	2	1
	Jeune	3	2
Sapinière avec autres résineux (SR)	Vieux	2	2
	Mature	2	2
	Prémature	3	2
	Jeune	4	3
Sapinière avec feuillus (SF)	Vieux	2	2
	Mature	2	2
	Prémature	3	2
	Jeune	4	3
Résineux avec sapin (RS)	Vieux	3	3
	Mature	3	3
	Prémature	4	3
	Jeune	4	4
Feuillus avec sapin (FS)	Vieux	3	3
	Mature	3	3
	Prémature	4	3
	Jeune	4	4
Résineux autres qu'avec sapin (RA)	Vieux et mature	5	5
Mélangés autres qu'avec sapin (MA)	Vieux et mature	5	5

a. Classes de vulnérabilité : 1 = très élevée; 2 = élevée; 3 = moyenne; 4 = faible; 5 = très faible ou nulle

Même si, dans cette classification, la vulnérabilité ne varie pas entre les stades de développement mature et vieux pour un même groupe d'essences, la différenciation de ces stades a été conservée, car elle peut s'avérer intéressante pour comparer les analyses de vulnérabilité et de persistance probable des peuplements (voir la section 2.2.2) à l'échelle de l'unité territoriale.

Dans le cas des peuplements résineux et mélangés sans sapin, il est proposé de considérer uniquement ceux qui sont matures ou vieux afin de pouvoir en apprécier l'importance et la répartition spatiale. Ces peuplements pourraient être récoltés à court terme, mais il serait préférable de les conserver puisqu'ils survivront à l'épidémie et qu'ils pourront être récoltés ultérieurement.

En ce qui concerne la qualité de la station, celle-ci n'a pas pour effet de modifier la vulnérabilité des peuplements matures et vieux. Ce sont pour les peuplements prématures, dont l'essence principale ou seconde est le sapin, et pour les peuplements jeunes, ayant le sapin comme essence principale, qui se trouvent sur des sites de mauvaise qualité, que l'on propose de revoir la vulnérabilité à la hausse. Par exemple, la classe de vulnérabilité d'une sapinière pure (SS) prémature passe d'élevée (2), sur un bon site, à très élevée (1), sur un mauvais site. L'analyse de la vulnérabilité des peuplements prématures peut permettre de faire un diagnostic sur la vulnérabilité globale d'un territoire et de prévoir les risques à moyen et à long terme lors d'une prochaine épidémie.

La classification proposée vise à établir, à partir de données écoforestières, la vulnérabilité des peuplements susceptibles de subir une défoliation causée par la tordeuse des bourgeons de l'épinette. Elle ne couvre donc pas les peuplements feuillus ni ceux en régénération ou en voie de régénération dont on ne connaît pas le couvert ou la composition en essences, car ceux-ci risquent peu d'être affectés par l'épidémie actuelle. Certaines interventions sylvicoles peuvent toutefois augmenter la vulnérabilité des peuplements en régénération. Une analyse plus fine doit être conduite à l'échelle régionale pour évaluer les conséquences potentielles des interventions prévues afin d'éviter une perte de rendement dans ces peuplements (voir le chapitre 3).

Finalement, la classification ne couvre pas les jeunes plantations. À l'instar des peuplements en régénération, il est possible de se servir des informations sur les essences reboisées ou envahissantes et de celles concernant le site pour en assurer le suivi et juger des risques potentiels, le cas échéant.

À l'échelle d'un territoire

L'évaluation de la vulnérabilité à l'échelle d'un territoire doit tenir compte de la durée probable d'une période prolongée de défoliation grave. Ainsi, lorsqu'une unité d'aménagement chevauche des zones dont l'historique d'épidémies est très différent, il faut porter une attention particulière aux différences que l'on pourrait observer, même si la classification proposée en tient compte. C'est le cas, par exemple, pour une unité d'aménagement qui chevauche le sous-domaine de la sapinière à bouleau blanc de l'Est et celui de la pessière à mousses de l'Est (voir la figure 3). La proportion des peuplements qui ont survécu à la dernière épidémie était nettement plus élevée dans le domaine de la pessière à mousses, et plus particulièrement dans le sous-domaine de l'Est.

Par ailleurs, les épidémies sont généralement de plus courte durée à des altitudes plus élevées, ce qui influence aussi la vulnérabilité des peuplements. Puisque les zones de plus haute

altitude se trouvent principalement dans les domaines de la sapinière à bouleau blanc et de la pessière à mousses, il est proposé de revoir à la baisse les classes de vulnérabilité en fonction d'un gradient altitudinal qui leur est propre. Dans le cas de la sapinière à bouleau à blanc, les altitudes plus élevées se trouvent principalement dans les régions écologiques suivantes : le massif du lac Jacques-Cartier (5e), le massif des monts Valin (5f), le massif gaspésien (5h) et le haut massif gaspésien (5i). Dans le domaine de la pessière à mousses, les zones de plus haute altitude se situent surtout dans le sous-domaine de l'Est et sont souvent entrecoupées de vallées orientées selon un axe nord-sud. Ce sont les peuplements situés dans le fond et le bas des pentes de ces vallées qui présentent la plus grande probabilité de subir des défoliations graves et répétées, suffisantes pour causer une mortalité importante. Certaines de ces vallées peuvent être situées jusqu'au 51^e degré de latitude nord.

Le tableau 7 présente les seuils d'altitude proposés pour adapter « localement » la classification de la vulnérabilité présentée au tableau 6. Ces seuils serviront à définir un territoire pour lequel la classification peut être appliquée telle qu'elle est proposée, un territoire pour lequel les classes de vulnérabilité pourraient être revues à la baisse d'une classe et un territoire pour lequel la classification ne s'applique pas, compte tenu du faible risque de défoliation cumulative. Les seuils proposés sont fondés en partie sur la littérature (Blais, 1964, 1965 et 1985; Saucier et autres, 2009) et en partie sur les données historiques relatives aux épidémies passées (nombre d'années de défoliation et perturbation totale ou partielle notée lors des inventaires forestiers). Dans le cas du domaine de la pessière à mousses, ils tiennent compte aussi de la sous-évaluation vraisemblable de la gravité des épidémies passées et du fait, maintenant généralement reconnu, que l'aire optimale de la tordeuse des bourgeons de l'épinette couvre déjà des territoires plus nordiques et continuera probablement son extension vers le nord.

Puisque ces seuils s'appliquent sur une proportion relativement restreinte du territoire à l'échelle de la province et que leurs valeurs devront peut-être être revues en fonction du déroulement de l'épidémie, on propose de conserver la classe originale de vulnérabilité et d'ajouter une « classe de vulnérabilité révisée » selon l'altitude, de manière à pouvoir comparer les résultats et évaluer leur pertinence selon le déroulement de l'épidémie. Les seuils pourront être modifiés selon une connaissance plus fine du territoire analysé.

Tableau 7 Seuils d'altitude proposés pour adapter la classification de la vulnérabilité dans les domaines de la sapinière à bouleau blanc et de la pessière à mousses

Domaine bioclimatique	Modification de la classification de la vulnérabilité selon les seuils d'altitude		
	Comme proposé	Réduction d'une classe	Inapplicable
Sapinière à bouleau blanc	Moins de 600 m	Entre 600 et 750 m	750 m et plus
Pessière à mousses	Moins de 400 m	Entre 400 et 500 m	500 m et plus

2.2.1.2 Analyse et diagnostic

L'analyse de la vulnérabilité peut être faite à diverses échelles : peuplement, unité territoriale, unité d'aménagement, unité de gestion, région administrative, etc., selon les besoins et les niveaux de planification. De plus, la vulnérabilité doit être mise en relation avec la planification (plan d'aménagement forestier intégré opérationnel [PAFIO]). Déjà à cette étape, on sera en mesure de juger de l'importance des modifications qui devront être apportées.

L'analyse doit faire ressortir l'importance et les caractéristiques des peuplements les plus vulnérables, notamment ceux des classes 1, 2 et 3, à l'aide de tableaux synthèses. Une cartographie générale de la vulnérabilité à l'échelle d'un grand territoire s'avère aussi utile pour avoir une vue d'ensemble (figure 14), mais il est certainement intéressant de produire des cartes plus détaillées pour les classes les plus vulnérables. Il est aussi souhaitable, lors de la production des profils de vulnérabilité, d'inclure des éléments qui ne sont pas inclus dans la classification, mais qui pourraient influencer l'aménagement. C'est le cas notamment de la densité des peuplements et du volume de sapin baumier à l'hectare. La possibilité de consulter en tout temps l'information sur la qualité du site pour le sapin pourrait s'avérer utile dans le choix des interventions, y compris la décision d'inclure un peuplement dans les secteurs admissibles à la lutte directe (voir la section 2.2.3).

Au moment où l'épidémie a déjà touché ou est sur le point de toucher certaines régions, une analyse de vulnérabilité devrait y être conduite. Les aménagistes s'appuieront sur les informations fournies dans la présente section pour faire ce travail. En période d'épidémie, l'analyse de vulnérabilité, qui va de pair avec les suivis de défoliation, sert à détecter les risques de mortalité et de pertes de volume à court terme afin d'établir les priorités et l'urgence des récoltes, que ce soit sous la forme d'une récolte préventive ou d'une récolte d'arbres associée à une perturbation naturelle (récupération). Elle permet aussi d'anticiper les répercussions possibles sur la possibilité forestière et sur le flux de bois au cours des prochaines années.

Que leur planification se fasse en période d'endémie ou d'épidémie, les aménagistes devraient toujours tenir compte de l'analyse de vulnérabilité des peuplements et des forêts face à la tordeuse des bourgeons de l'épinette. On réduira ainsi progressivement, par les choix d'aménagement, la vulnérabilité du territoire et les risques auxquels les peuplements sont exposés lorsque l'épidémie survient.

En définitive, l'évaluation de la vulnérabilité constitue une information supplémentaire que les aménagistes et les sylviculteurs doivent ajouter à toutes celles dont ils disposent pour prendre des décisions leur permettant d'atteindre les objectifs qui figurent dans les PAFI.

Les aménagistes doivent garder en tête que l'analyse de vulnérabilité leur permet d'anticiper uniquement les risques de mortalité du sapin baumier. Par ailleurs, la précision des résultats peut varier selon les données qui ont été utilisées pour faire la classification. Par exemple, les régions utilisant les données du troisième inventaire décennal pourraient obtenir des résultats inexacts; lorsque c'est possible, une mise à jour « manuelle » de l'âge ou de la composition forestière pourrait s'avérer souhaitable. En tout temps, les aménagistes doivent s'assurer de consulter l'information la plus récente et la plus précise qui soit relativement au déroulement de l'épidémie.

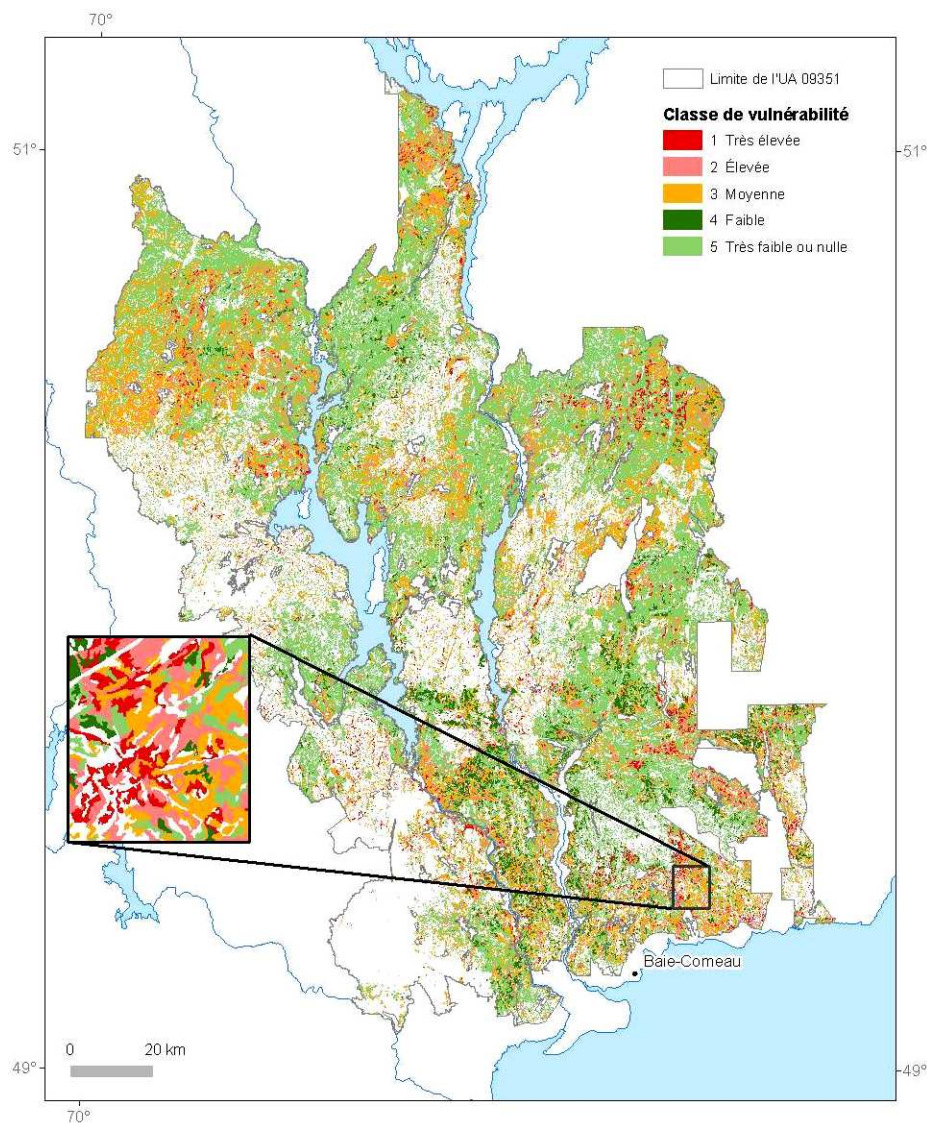


Figure 14 Cartographie de la vulnérabilité d'une unité d'aménagement située sur la Côte-Nord, avec un zoom sur un secteur plus à risque

2.2.2 Analyse de la structure d'âge du territoire en fonction de la persistance probable des peuplements

L'article 53 de la Loi sur l'aménagement durable du territoire forestier (RLRQ, chapitre A-18.1) stipule que les PAFI doivent être fondés sur l'aménagement écosystémique. À cet égard, l'établissement d'une stratégie de maintien ou de restauration de la structure d'âge de l'unité d'aménagement constitue un élément central et structurant du PAFIT. La cible ministérielle retenue consiste à maintenir la structure d'âge de l'unité d'aménagement à un degré d'altération faible ou modéré sur un minimum de 80 % de la superficie. Dans les cas où cette cible ne peut être atteinte à court terme, un plan de restauration doit être préparé pour qu'elle le soit dans les meilleurs délais possible (Jetté et autres, 2013a et b). Avec l'épidémie qui sévit actuellement, les aménagistes doivent avoir ces cibles en tête lors de la révision des plans d'aménagement.

En considérant les effets de la tordeuse des bourgeons de l'épinette sur les peuplements forestiers, soit la réinitialisation ou la perturbation partielle de certains peuplements (voir la section 1.10), on peut s'attendre à ce que l'insecte modifie la structure d'âge des territoires et leur évolution prochaine. La conduite des activités de récolte préventive ou de récolte associée à une perturbation naturelle (récupération) pourrait compromettre le respect des objectifs et des cibles ministérielles si les modifications ne tiennent pas compte de l'état de la structure d'âge. Il importe donc de détecter les vieux peuplements (et les recrues proches) qui pourront survivre à l'épidémie ou évoluer vers le stade vieux afin de s'assurer que ceux-ci ne fassent pas l'objet d'une récolte prématurée qui compromettrait l'atteinte des cibles en matière de structure d'âge. Les critères d'analyse des lignes directrices et des recommandations sur l'aménagement concernant l'enjeu de la structure d'âge pourront être utilisés à cet effet (Jetté et autres, 2013a et 2013b).

2.2.2.1 Méthode de classification

Les aménagistes ont besoin de prévoir l'évolution probable des vieux peuplements ainsi que celle des recrues proches (peuplements actuellement au stade mature) afin de prévoir l'état de la structure d'âge au terme de l'épidémie. En plus de l'analyse de vulnérabilité, cette information permettra d'adapter les choix d'aménagement de façon à optimiser le maintien ou la restauration de la structure d'âge, tout en tenant compte des pertes de volume de bois et du rendement escompté dans les peuplements préservés. Pour ce faire, nous proposons une interprétation de la vulnérabilité fondée sur la composition forestière qui permet de mieux analyser la probabilité de persistance des peuplements (vieux actuels ou recrues proches) face à l'épidémie. Nous y avons ajouté l'information concernant la longévité des essences et leur susceptibilité face à la tordeuse des bourgeons de l'épinette (tableau 8 et annexe B).

Les différents types de peuplements sont présentés par ordre décroissant de persistance, le type A représentant les peuplements ayant la plus forte persistance probable, et le type E, ceux qui ont le plus de risques d'être réinitialisés après l'épidémie. Nous croyons qu'à partir de cette classification, on peut évaluer la marge de manœuvre pour le maintien ou l'atteinte de la cible de structure d'âge de chacune des unités territoriales, ce qui permettra de modifier les choix d'aménagement au fur et à mesure du déroulement de l'épidémie¹. Le chapitre 3 présente des indications sylvicoles relativement à la typologie de la persistance probable des peuplements ainsi qu'une démarche d'analyse détaillée à partir de ces informations.

Il est à noter que les mêmes seuils d'altitude qui ont été proposés à la section 2.2.1.1 peuvent être appliqués à la typologie de la persistance. Au-delà du seuil maximal attribué selon le domaine bioclimatique (voir le tableau 7 à la section 2.2.1.1), les types B, D et E sont considérés comme persistants (type A), puisque l'effet de la tordeuse des bourgeons de l'épinette risque d'être négligeable. Par ailleurs, les peuplements de type C ne sont pas modifiés selon qu'ils sont ou non situés en altitude, car cette classe doit être distinguée en raison de son caractère non longévif. Il est également important de mentionner que l'on n'attribue pas de classe de persistance aux peuplements de moins de 30 ans, car les essences qui les composent ne sont pas assez précises dans la cartographie décennale pour en définir le type et qu'ils ont peu d'incidence dans la prise de décision concernant les cibles de vieilles forêts.

1. Un outil géomatique permettant de faire les analyses de vulnérabilité et de persistance probable a été développé et sera mis à la disposition des aménagistes et autres professionnels du domaine forestier.

Tableau 8 Typologie de la persistance probable des vieux peuplements et des recrues proches face à l'épidémie de la tordeuse des bourgeons de l'épinette

Type de peuplements	Description	Groupe d'essences	Contribution au flux de vieux peuplements
Type A – Peuplements persistants et peu touchés par l'épidémie	Ces peuplements sont dominés par des essences longévives qui ne sont pas ou qui sont peu vulnérables ou par des essences qui ne sont pas susceptibles. Leur persistance au terme de l'épidémie est certaine et les pertes de volume de bois, négligeables.	Le premier code du groupement d'essences est une essence longévivable susceptible, mais qui est peu ou qui n'est pas vulnérable, ou une essence qui n'est pas susceptible. Absence d'essence très vulnérable dans le groupement d'essences. Ex. : EnTo, EnPt ou EsBj	Ces peuplements constituent une base solide pour atteindre les cibles de structure d'âge et ont une composition principalement associée aux stades évolutifs de fin de succession qui sont souvent en raréfaction dans les vieilles forêts. En cas de raréfaction, ces peuplements devraient être conservés en priorité .
Type B – Peuplements persistants, mais parfois touchés par l'épidémie	Ces peuplements sont dominés par des essences longévives qui ne sont pas ou qui sont peu vulnérables ou par des essences qui ne sont pas susceptibles comme le type A, mais qui ont une composante de sapin minoritaire . Malgré la mortalité probable du sapin, ces peuplements sont peu sujets à une réinitialisation et persisteront ou évolueront vers le stade vieux. Toutefois, une perte de volume parfois significative est à prévoir en cas d'épidémie prolongée.	Le premier code du groupement d'essences est une essence longévivable susceptible, mais qui n'est pas ou qui est peu vulnérable ou une essence qui n'est pas susceptible. Présence d'essences très vulnérables dans le groupement d'essences (deuxième ou troisième code). Ex. : EnSb ou BjFtSb	Ces peuplements constituent aussi une base solide pour atteindre les cibles de structure d'âge et ont une composition principalement associée aux stades évolutifs de fin de succession qui sont souvent en raréfaction dans les vieilles forêts. En cas de raréfaction, ils devraient être conservés en seconde priorité , mais les pertes appréhendées en volume doivent être prises en compte. Dans le cas des recrues proches, l'épidémie peut avoir pour effet d'y accélérer le développement d'attributs propres aux vieux peuplements.
Type C – Peuplements persistants, parfois touchés par l'épidémie, mais peu longévifs	Ces peuplements sont formés d' essences non longévives parfois accompagnées d'une composante de sapin minoritaire.	Le premier code du groupement d'essences est une essence non longévivable qui n'est pas susceptible. Présence ou non d'un code d'essences très vulnérables dans le groupement d'essences (deuxième ou troisième code). Ex. : BbBb ou PeFiSb	Ces peuplements contribuent à l'atteinte des cibles de structure d'âge, mais leur contribution est de courte durée et représentative des stades évolutifs de début de succession, généralement moins fréquents dans la forêt naturelle.

Tableau 8 Typologie de la persistance probable des vieux peuplements et des recrues... (suite)

Type de peuplement	Description	Groupe d'essences	Contribution au flux de vieux peuplements
Type D – Peuplements à persistance variable touchés par l'épidémie	Ces peuplements sont dominés par le sapin avec une composante minoritaire d'essences longévives ou non, susceptibles, mais peu ou non vulnérables ou non susceptibles.	Seul le premier code du groupement d'essences est une essence très vulnérable. Ex. : SbEn ou SbBb	Ces peuplements ne sont pas toujours réinitialisés. Il peut parfois en résulter un peuplement de faible densité ayant plusieurs attributs des vieilles forêts. En cas de rareté, ils peuvent constituer une bonne base pour atteindre les cibles de structure d'âge. Lorsque c'est le cas, ils devraient faire l'objet d'un suivi serré de la défoliation cumulée et de la mortalité effective avant d'être récupérés. Dans le cas des recrues proches qui ne seront pas réinitialisées, l'épidémie peut avoir pour effet d'accélérer le développement d'attributs propres aux vieux peuplements.
Type E – Peuplements peu persistants touchés par l'épidémie	Ces peuplements présentent une très forte dominance de sapins et sont sujets à une mortalité élevée et à des pertes importantes de volume de bois dans les zones probables d'épidémie prolongée.	Les deux premiers codes du groupement d'essences sont des essences très vulnérables. Ex. : SbSb	Comme ces peuplements sont sujets à une réinitialisation, ils constituent une base très faible pour répondre aux cibles de structure d'âge. En cas de grande rareté, selon leur état (épidémie modérée), ils peuvent fournir des conditions « proches » de celles des vieilles forêts. Ils devraient donc être considérés en dernier recours pour contribuer au stade vieux et faire l'objet d'un suivi pour évaluer leur contribution aux attributs des vieilles forêts.

2.2.2.2 Analyse et diagnostic

Lors de l'élaboration du plan de maintien de la structure d'âge ou de la préparation d'un plan de restauration dans un PAFIT, les aménagistes doivent tenir compte de la persistance probable des vieux peuplements afin que ceux sur lesquels ils comptent pour atteindre les cibles de structure d'âge vivent assez longtemps pour jouer leur rôle écologique¹. Ils voudront notamment maximiser les chances d'assurer la persistance d'une quantité suffisante de vieux peuplements malgré l'épidémie. Dans le contexte actuel de modification de la planification forestière pour faire face à l'épidémie de la tordeuse des bourgeons de l'épinette, il est primordial que cet aspect soit considéré.

À partir de la typologie de la persistance probable, l'aménagiste procède à une analyse à l'échelle de chacune des unités territoriales en vue de poser un diagnostic à propos de l'effet probable de l'épidémie sur la structure d'âge. Pour y arriver, il est nécessaire de produire deux diagnostics, soit celui des vieux peuplements et des recrues proches (20 ans avant le stade vieux), ventilés par classe de persistance probable (tableau 8).

1. Cette question a été abordée dans l'annexe portant sur les plans de restauration (annexe B) dans le document *Intégration des enjeux écologiques dans les plans d'aménagement forestier intégré – Partie II* (Jetté et autres, 2013b). Nous parlions alors de la longévité des peuplements. La typologie de la persistance probable des vieux peuplements se veut une tentative de pousser plus loin la réflexion amorcée en 2012.

À partir de ces informations, illustrées dans les figures 15 à 18, l'aménagiste connaît l'état actuel et futur (proche) du territoire, le pourcentage de vieilles forêts et la proportion des peuplements par classe de persistance dans chacune des unités territoriales. En croisant ces informations avec l'état actuel de la structure d'âge, l'aménagiste pourra évaluer la marge de manœuvre vis-à-vis de l'atteinte de la cible attribuée. Par la suite, une liste de priorité par ordre décroissant des peuplements (du type A au type E) pouvant être maintenus est établie. Toutefois, puisqu'il est fort possible que les efforts de récolte préventive ne puissent inclure tous les peuplements vulnérables, il est primordial d'établir la liste des unités territoriales où il pourrait être plus risqué de faire des interventions hâtives (ex. : unité territoriale où la marge de manœuvre est faible ou négative ou qui présente un risque d'éradication des vieux peuplements). Pour ces secteurs, il est souhaitable d'approfondir l'analyse afin d'évaluer s'il est possible d'attendre une meilleure évaluation du risque de mortalité effective avant d'entamer la récolte totale de peuplements dont la persistance probable est faible (types D et E).

La figure 15 illustre l'état actuel de la structure d'âge d'une unité territoriale comprise dans une unité d'aménagement située dans la sapinière à bouleau blanc, et dont la moyenne historique de vieux peuplements est de 75 %. Le seuil d'altération forte de cette unité territoriale se situe à 25 % de vieilles forêts et le seuil d'altération faible, à 37 %. Cette unité territoriale (préépidémie) serait donc faiblement altérée puisqu'on y trouve 40 % de vieux peuplements. Les portions en gris pâle représentent le territoire exclu de la récolte, mais inclus dans les suivis du calcul de la possibilité (EXIN) selon les modèles du Bureau du forestier en chef (ex. : superficie forestière productive contenue dans les aires protégées); les portions en gris foncé représentent par ailleurs les superficies incluses dans les actions sylvicoles et les variables de suivi (INC) (ex. : superficie forestière productive où la récolte est permise). Mentionnons que tous les aménagistes devraient disposer de ces informations par l'entremise des cahiers d'analyse et des outils cartographiques fournis par le Bureau du forestier en chef.

Les figures 16 et 17 illustrent l'état de la structure d'âge (recrues proches et vieux peuplements) selon la persistance probable des peuplements. Le diagnostic général nous informe sur l'état probable des peuplements après le passage de l'épidémie et sur la marge de manœuvre disponible à l'échelle de l'unité territoriale par rapport à la cible fixée dans le PAFIT. Le diagnostic présenté à la fois pour les superficies incluses dans le calcul de possibilité forestière (INC) et pour celles qui sont exclues de ce calcul mais qui sont incluses dans les suivis (EXIN) permet d'apprécier l'état et l'évolution probable des superficies selon qu'elles feront ou non l'objet d'une récolte. Leur état respectif influencera donc la marge de manœuvre et les efforts de modulation dans les superficies destinées à être aménagées.

Dans l'exemple présenté ci-dessous, on remarque que les vieux peuplements ont une bonne persistance probable (faible proportion de types D et E), mais qu'il y a des superficies importantes de peuplements à faible persistance dans les recrues proches. Puisque la proportion de vieilles forêts est proche du seuil d'altération faible, la marge de manœuvre pour maintenir cet état est relativement petite. Toutefois, advenant un scénario pessimiste où la totalité des peuplements de types D et E seraient réinitialisés, il y aurait à moyen terme un gain de 2 % de vieilles forêts dans les superficies exclues de la récolte; l'équilibre serait maintenu entre les pertes de vieux peuplements et le recrutement dans le cas des superficies disponibles pour la récolte. Des efforts de modulation devraient tout de même être faits pour minimiser les risques de perte de volume en priorisant la récolte en fonction de la persistance probable des peuplements. Cette démarche d'analyse est reprise de façon plus détaillée dans la section 3.3.4.1 du chapitre 3.

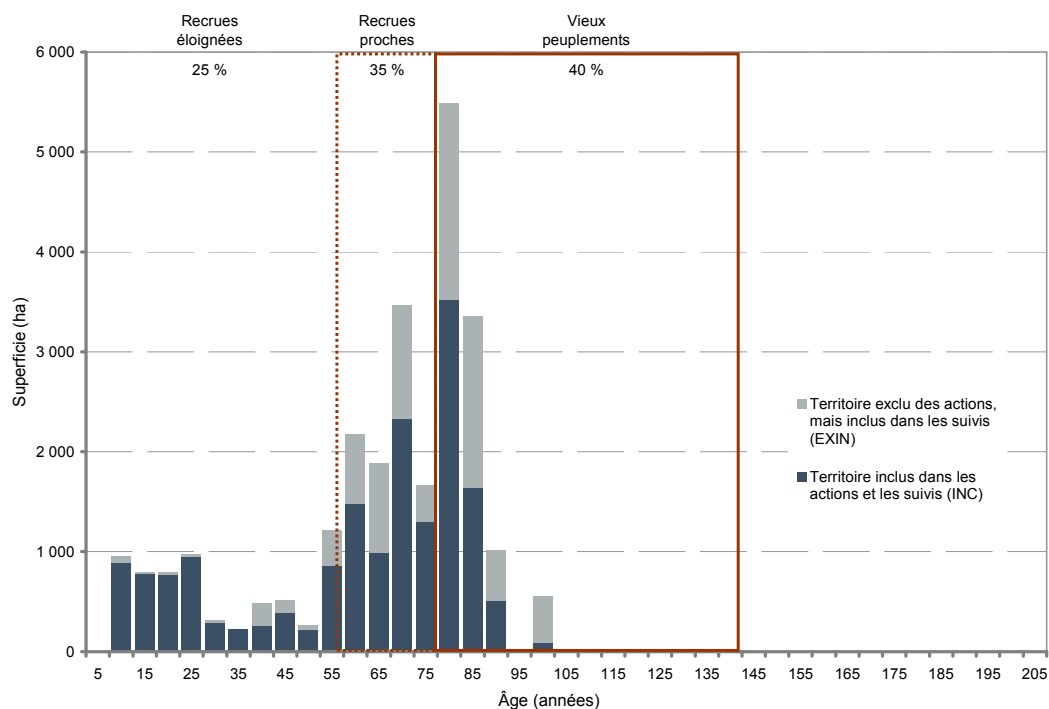


Figure 15 Structure d'âge d'une unité territoriale montrant la proportion de vieux peuplements, de recrues proches et de recrues éloignées pour une unité d'aménagement située dans le domaine de la sapinière et dont la moyenne historique de vieux peuplements est d'environ 75 %

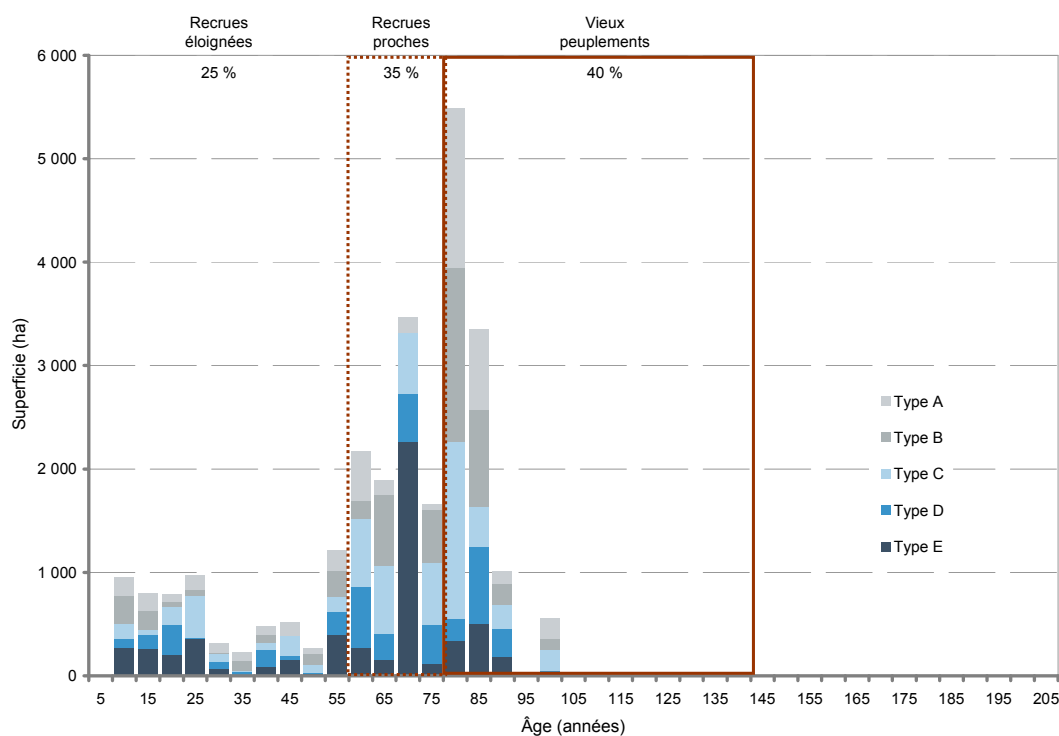


Figure 16 Structure d'âge d'une unité territoriale située dans le domaine de la sapinière, montrant la proportion de vieux peuplements et de recrues proches, ventilée par type de persistance probable face à l'épidémie de la tordeuse des bourgeons de l'épinette

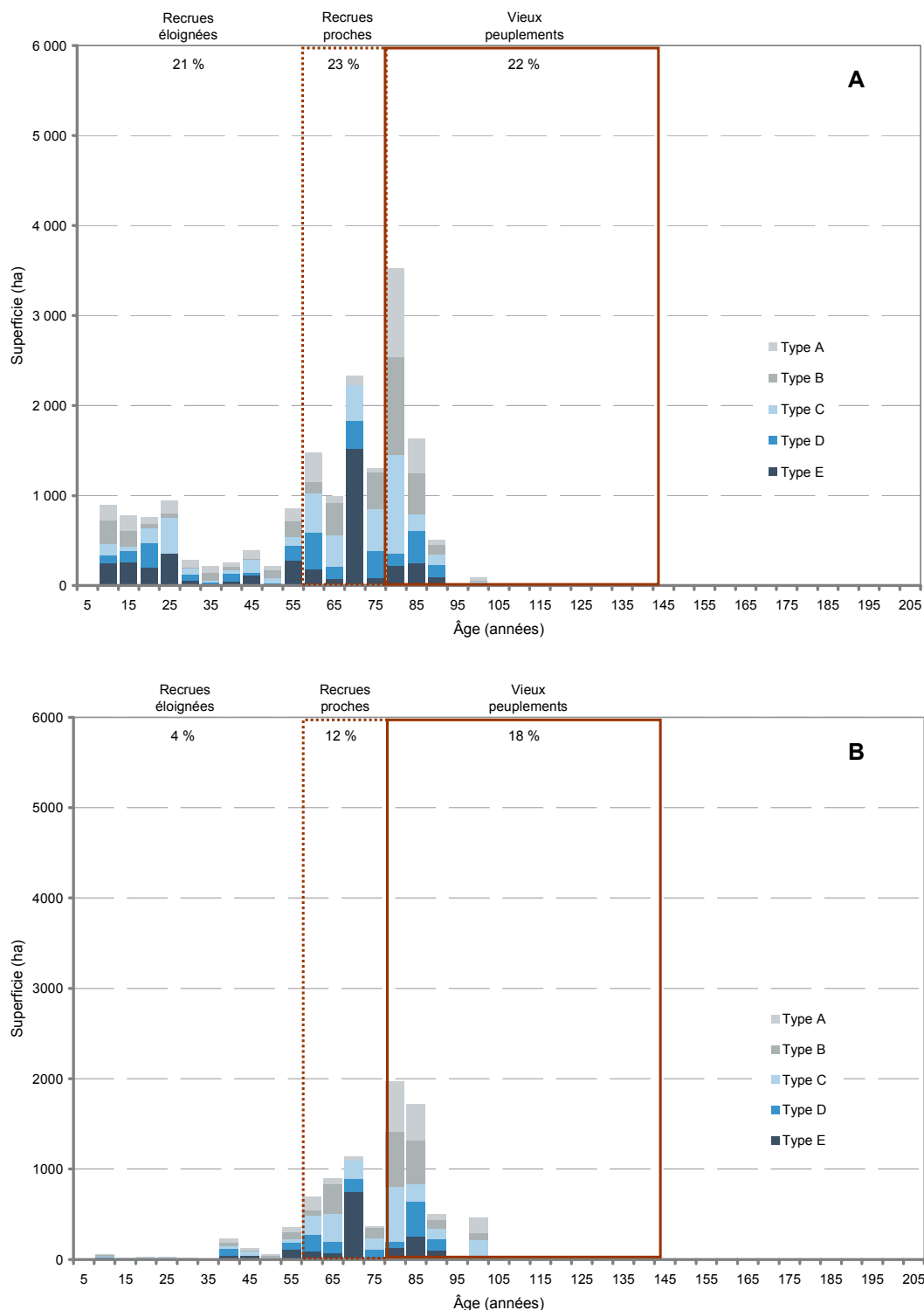


Figure 17 Structure d'âge d'une unité territoriale située dans le domaine de la sapinière, montrant la proportion de vieux peuplements et de recrues proches, ventilée par type de persistance probable face à l'épidémie de la tordeuse des bourgeons de l'épinette : **A)** territoire inclus dans les actions (INC); **B)** territoire exclu des actions, mais inclus dans les suivis du calcul (EXIN)

La figure 18 illustre la répartition des peuplements selon la typologie de la persistance probable à l'échelle d'une unité territoriale et en tenant compte de l'effet de l'altitude.

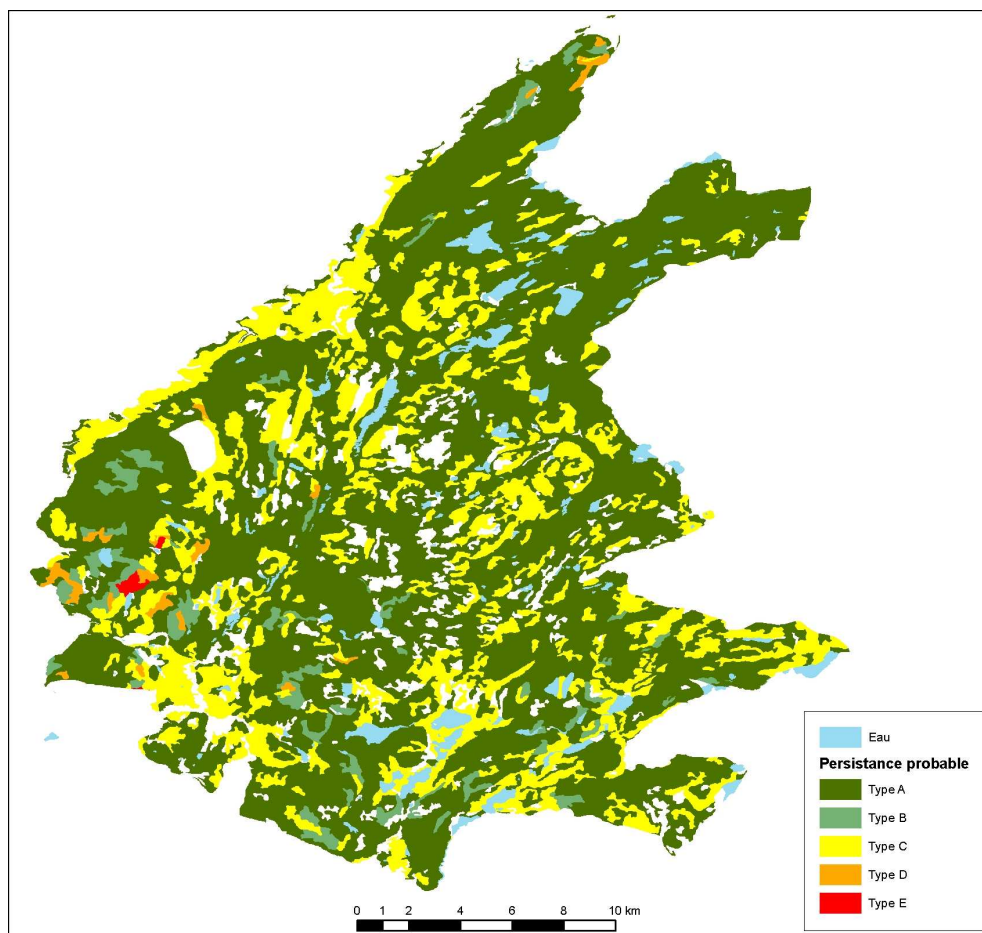


Figure 18 Cartographie de la persistance probable d'une unité territoriale donnée

2.2.2.3 Choix d'aménagement

Le choix de rendre des peuplements disponibles pour une récolte (préventive, avant ou après le début de la défoliation, ou associée à une perturbation naturelle [récupération]) sera fonction de :

- la disponibilité des vieux peuplements par rapport à la cible de l'unité territoriale;
- la probabilité de pertes de volume de bois;
- l'accessibilité du réseau routier.

Dans un premier temps, le choix consiste à décider de la quantité de peuplements disponibles pour la récolte dans chacune des unités territoriales ainsi que de l'emplacement approximatif des principaux chantiers. Dans ce choix, l'aménagiste fera tout en son pouvoir pour maintenir le plus grand nombre de vieux peuplements de manière à respecter les cibles du PAFIT. Il se peut toutefois que l'ampleur de l'épidémie l'oblige à revoir certaines cibles. Ce choix ne devrait être

fait que lorsque les pertes en volume sont majeures. La récolte devrait alors être limitée aux vieux peuplements sujets à subir des pertes importantes. Les peuplements à forte probabilité de persistance ne devraient être récoltés qu'au moment où les cibles de structure d'âge sont dépassées et là où la proportion de peuplements vulnérables est relativement faible. En cas de grande rareté, il faut aussi éviter l'éradication des vieux peuplements. Dans ces cas extrêmes, certains peuplements ayant subi une forte mortalité devraient être conservés. Même si, au point de vue biologique, ceux-ci auront perdu une grande partie de leur couvert forestier, on peut présumer que la forte quantité de bois mort de gros diamètre offrira certains attributs propres aux vieux peuplements qui leur permettront de jouer un rôle significatif pendant une certaine période. La durée de cette période devra toutefois être précisée prochainement afin de bien baliser la contribution de ces peuplements perturbés.

Plusieurs facteurs militent toutefois en faveur de l'adoption du principe de précaution en matière de récoltes préventives et de récoltes associées aux perturbations naturelles. Tout d'abord, l'oscillation du niveau de gravité des épidémies successives laisse supposer que l'épidémie actuelle sera moins intense que la précédente, du moins dans plusieurs régions et à l'échelle du Québec. Il est donc possible que la mortalité soit globalement moins importante. Ensuite, une récupération trop hâtive des volumes de bois peut entraîner une réduction de la superficie de peuplements qui participent au flux des recrues des vieilles forêts et à la régularisation du flux de bois. Enfin, les coupes qui sont faites dans des peuplements où la banque de semis est incomplète favorisent l'enfeuillement. Une récupération prématurée pourrait aggraver ce problème et engendrer des coûts importants de remises en production. Considérant qu'il n'est pas envisageable économiquement de récupérer et de remettre en production de vastes superficies, il apparaît plus judicieux de mener une analyse de la mortalité effective pour mieux circonscrire la récolte des peuplements perturbés et bénéficier de l'aide des peuplements résiduels survivants.

Avant de faire des récoltes préventives et de mettre des chantiers de récupération en place, il est essentiel de procéder à une analyse de la persistance des peuplements en rapport avec les cibles de structures d'âge énoncées dans les PAFIT. Cette analyse, qui doit tenir compte du stade de l'épidémie ainsi que des paramètres opérationnels et économiques régionaux, permettra aux aménagistes de mieux choisir les peuplements à récolter de façon à ne pas provoquer d'effet indésirable sur la structure d'âge dans l'unité d'aménagement.

2.2.3 Arrimage de la planification avec les secteurs admissibles à la lutte directe

La détermination des secteurs admissibles à la lutte directe est une responsabilité partagée entre le MFFP et la Société de protection des forêts contre les insectes et maladies (SOPFIM). Le MFFP établit les critères de protection et la SOPFIM procède à la délimitation des secteurs potentiellement admissibles sur la base de critères prédéfinis. La dernière mise à jour de ces critères remonte à l'étude d'impact destinée à justifier un éventuel programme de pulvérisations aériennes d'insecticides contre la tordeuse des bourgeons de l'épinette produite par la SOPFIM en 1992. La dernière mise à jour de la cartographie des secteurs admissibles a été faite entre 2006 et 2010 (Société de protection des forêts contre les insectes et maladies, 2011). Les critères actuels et les plus récents résultats de leur application sont présentés à l'annexe C.

L'objectif de la lutte directe est d'éviter la mortalité des essences vulnérables en conservant annuellement un minimum de 50 % de la pousse annuelle. La lutte directe est une réussite si l'objectif est atteint sur un minimum de 70 % des aires traitées d'une région. Elle contribue au maintien de l'approvisionnement en bois des usines et elle doit donc viser des peuplements dont les volumes sont attribués et dont le rendement pourrait être compromis par l'épidémie. Puisque ces peuplements peuvent être plus ou moins dispersés sur le territoire, il est nécessaire de limiter l'admissibilité aux pulvérisations à des concentrations de peuplements vulnérables, afin de maintenir la rentabilité économique de la lutte directe. À cette fin, un seuil de 50 % de peuplements vulnérables a été retenu pour chaque secteur. Pour des raisons de faisabilité opérationnelle, la superficie minimale des secteurs admissibles à un programme de pulvérisations a été fixée à 150 ha (Chabot et autres, 1998). Comme le contexte forestier actuel diffère de celui qui prévalait lors de la dernière épidémie, le MFFP a prévu de bonifier, au besoin, les critères servant à délimiter les secteurs admissibles aux pulvérisations afin de répondre à certaines demandes régionales.

À court terme, il est important de déterminer quels sont les secteurs admissibles pour lesquels il existe d'autres options que la lutte directe qui permettront d'atteindre le même objectif, soit de minimiser l'effet de l'épidémie sur les approvisionnements. On pensera notamment à l'option de la récolte préventive présentée à la section 2.4. Par ailleurs, il faut considérer qu'une proportion plus ou moins importante de peuplements vulnérables est exclue des aires admissibles, notamment pour des raisons de dispersion et de superficie. Puisque, dans ces cas, la lutte directe n'est pas applicable, il devient alors nécessaire d'arrimer la révision de la programmation des travaux d'aménagement avec celle de la lutte directe.

Par ailleurs, il est important de ne pas tenir pour acquis que la lutte directe sera livrée sur toutes les aires admissibles une fois l'arrimage fait, puisque des contraintes budgétaires, opérationnelles ou autres sont susceptibles de survenir. C'est pourquoi il est important d'établir des priorités. À l'échelle locale et régionale, les aménagistes du MFFP en région sont les mieux placés pour le faire. Actuellement, une analyse des aires admissibles selon la classification proposée à la section 2.2.1.1 permettrait de juger de l'importance de chacune des classes de vulnérabilité et aiderait les aménagistes à établir des priorités. Une analyse des aires admissibles en fonction de la marge de manœuvre des cibles de structure d'âge permettrait également de prioriser les secteurs de manière à favoriser l'atteinte de ces cibles (voir la section 3.3.4.1). Devant l'ampleur de la dernière épidémie, les autorités du MFFP avaient par ailleurs dû établir des priorités interrégionales pour des raisons budgétaires et opérationnelles. L'importance de l'effet prévu de l'épidémie sur les approvisionnements a été le principal critère considéré pour établir ces priorités.

En période d'épidémie, la SOPFIM met à jour les aires admissibles à partir d'images satellites et des planifications annuelles de récolte dans les régions. À la demande du ministre, elle prépare annuellement un plan d'intervention, et s'assure que les secteurs inclus dans son plan ne figurent pas dans la programmation de récolte. En effet, en début d'épidémie, il n'est pas nécessaire de protéger les secteurs dont on prévoit la récolte à l'intérieur d'une période de cinq ans puisque l'insecte n'aura pas le temps d'affecter significativement le rendement ligneux. La prescription de pulvérisations d'insecticide est établie selon la prévision de la défoliation des pousses annuelles (par le décompte des larves en hibernation, voir la section 2.3.2) et de l'état de santé de la forêt (défoliation totale, voir la section 2.3.5).

En tout temps, il faut se rappeler que, pour être efficace, la lutte directe doit être menée pendant plusieurs années au même endroit. Lors de la dernière épidémie, la majorité des superficies qui ont été réellement protégées avaient reçu des pulvérisations d'insecticide durant quatre à huit ans. Le choix des aires à protéger mérite donc une grande attention et son arrimage avec les autres options est essentiel pour assurer l'efficacité de l'ensemble des moyens employés pour maintenir les approvisionnements.

2.3 Suivi de l'épidémie

Les prochaines sections font un tour d'horizon des différentes méthodes que le MFFP utilise pour détecter la tordeuse des bourgeons de l'épinette et suivre le déroulement de l'épidémie. Pour plus d'informations, le lecteur peut consulter la fiche descriptive sur la tordeuse des bourgeons de l'épinette disponible sur le Web à l'adresse suivante : mffp.gouv.qc.ca/forets/fimaq/insectes/fimaq-insectes.jsp, ou communiquer avec le Ministère¹.

2.3.1 Suivi de l'insecte

Le MFFP procède depuis 1938 au dépistage et au suivi des populations des principaux insectes forestiers connus pour causer des dommages importants aux forêts. Dans le cas de la tordeuse des bourgeons de l'épinette, un réseau de stations permanentes d'observation a été mis en place dans les années 1980 et sert à mesurer les fluctuations des populations et des dommages dans l'espace et dans le temps. En période d'endémie, lorsque les populations sont très basses, elles sont évaluées à partir de la capture des papillons dans des pièges à phéromones. Le suivi des populations au cours de cette période permet de mesurer leur tendance au moment où il est difficile de repérer l'insecte et encore plus de percevoir la défoliation. Lorsque la capture des papillons dépasse le seuil à partir duquel on peut dénombrer les insectes directement dans les arbres, on procède alors à une évaluation des populations en faisant le décompte des larves en hibernation sur les branches (voir la section 2.3.2). Cette mesure est complétée par des évaluations de défoliation des pousses annuelles à la fois sur le terrain, à l'aide de jumelles, et en laboratoire, sur les branches récoltées pour le dénombrement des larves. Lorsque les populations atteignent un seuil à partir duquel on peut anticiper la défoliation facilement observable, on ajoute au réseau de stations permanentes des stations temporaires pour avoir une idée plus précise de la situation régionale des populations. Les données recueillies permettront de planifier un relevé aérien qui servira à évaluer l'étendue et la gravité de la défoliation l'année suivante dans les territoires où on est susceptible d'en observer. **Dans le cycle de la tordeuse des bourgeons de l'épinette, ce stade correspond à celui d'une épidémie imminente (période d'endémie, phase de préépidémie; voir l'encadré à la page suivante).** C'est à ce moment du cycle qu'il convient de réviser la programmation de certains traitements sylvicoles connus pour augmenter temporairement la vulnérabilité de peuplements autrement considérés comme peu ou non vulnérables (voir le chapitre 3). Étant donné que le dépistage et le suivi des populations de l'insecte se font surtout par échantillonnage dans un réseau de stations facilement accessibles par voie terrestre, on a aussi recours à l'imagerie satellitaire pour détecter les zones où la défoliation a pu survenir sans qu'on l'ait prévue.

1. Direction de la protection des forêts, Service de la gestion des ravageurs forestiers, 2700, rue Einstein, local D2.370A, Québec (Québec) G1P 3W8, téléphone : 418 643-9679, télécopieur : 418 643-0381, dpf@mffp.gouv.qc.ca

Les données recueillies vont aussi permettre à la SOPFIM de commencer les relevés de populations au moment opportun dans les secteurs admissibles à la lutte directe, en vue de préparer les plans annuels de pulvérisations qui sont demandés et approuvés par le MFFP avant leur exécution.

Déterminer les zones où l'épidémie est imminente pour gérer les risques associés à certains traitements sylvicoles

Bien qu'on étudie la tordeuse des bourgeons de l'épinette depuis longtemps, il est encore difficile de prévoir le développement des épidémies. L'analyse des tendances des populations sur plusieurs années, les inventaires automnaux de prévision et l'évolution des dommages annuels dans l'espace et dans le temps peuvent servir d'indicateurs pour déterminer les zones où l'épidémie serait imminente (période d'endémie, phase préépidémique). Ces zones revêtent une importance particulière, car il faut savoir où il est possible de procéder à certains traitements sylvicoles et où il faut les modifier ou les cesser lorsqu'ils mettent le rendement des peuplements en péril.

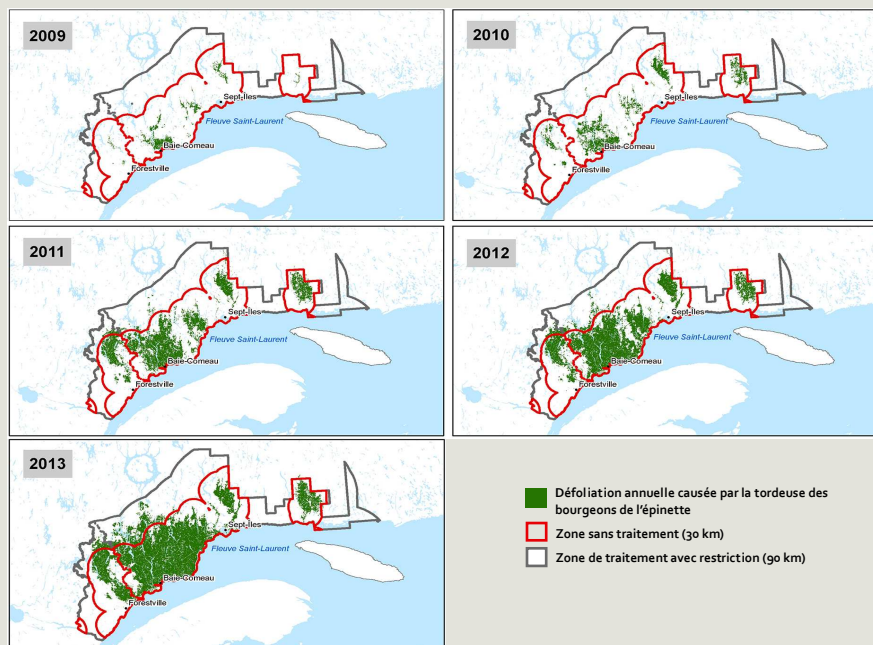
Malheureusement, le comportement imprévisible des populations de tordeuses ne permet pas de délimiter ces zones avec exactitude. Théoriquement, une épidémie peut être considérée comme imminente dans un territoire dès qu'on observe une tendance à la hausse des populations de tordeuses et avant même que la défoliation soit détectable. De plus, on doit prendre en compte la capacité des insectes à parcourir de grandes distances lorsqu'ils sont au stade adulte (papillon). Les déplacements sont conditionnés par plusieurs facteurs difficiles à prévoir et peuvent se faire sur des dizaines, voire des centaines de kilomètres, ce qui complique la délimitation des zones à risque. Comme il n'y a pas de méthode précise pour déterminer à l'avance l'imminence de l'épidémie et que le contexte forestier peut varier d'une région à l'autre, il vaut mieux obtenir l'avis des spécialistes du MFFP pour circonscrire à l'échelle d'un territoire la partie où l'épidémie peut être considérée comme imminente.

La situation vécue récemment sur la Côte-Nord illustre la difficulté d'effectuer une telle délimitation pour moduler les travaux sylvicoles. En 2010, une zone d'interdiction des travaux d'éducation a été établie à 30 km des superficies défoliées, basée sur la progression observée des dommages entre 2006 et 2009. Une zone de restriction a également été définie à l'aide d'une bande de 60 km de largeur au pourtour de la zone d'interdiction. Trois ans plus tard, en 2013, on constatait que l'épidémie avait débordé de la zone d'interdiction dans plusieurs secteurs. La zone à risque élevé délimitée en 2010 a donc été une bonne approximation de l'étendue des dommages pour les deux années suivantes. Ces zones de risque doivent toutefois être revues annuellement pour correspondre au rythme de développement de l'épidémie et tenir compte du fait que celui-ci peut être plus rapide à certains endroits, notamment le long des vallées.

Déterminer les zones où l'épidémie est imminente... (suite)

Malgré le respect du zonage, plusieurs peuplements au stade de gaulis, situés à l'extérieur de la zone d'interdiction et ayant été traités en 2010 par une éclaircie précommerciale, ont été gravement défoliés au point de menacer leur survie.

Des peuplements semblables, situés à proximité et qui n'ont pas été traités, ont été significativement moins défoliés (voir la photo ci-dessous).



Cet exemple doit inciter les forestiers à adopter une attitude prudente lorsque vient le temps d'établir une limite entre des zones où la programmation des travaux sylvicoles peut être poursuivie et celles où il est indiqué de modifier certains traitements.

Portion de peuplement non traitée (défoliation totale de 40 à 50 %)

Éclaircie précommerciale (défoliation totale ≥ 90 %)



Défoliation totale cinq ans après une éclaircie précommerciale : différence entre une portion de peuplement traitée pendant la phase de préépidémie et une portion non traitée

2.3.2 Évaluation du niveau de population des larves en hibernation

La mesure des populations de la tordeuse des bourgeons de l'épinette lorsqu'elle est en hibernation, alors que les chenilles sont au deuxième âge larvaire (L2), permet d'évaluer l'importance des populations de la prochaine génération et ainsi d'évaluer l'importance de la défoliation attendue des pousses annuelles. Lorsque cette évaluation est faite à la fin de l'été ou à l'automne, elle permet d'avoir un aperçu des zones où l'on peut s'attendre à trouver des populations en assez grand nombre pour causer des dommages détectables, ainsi qu'un aperçu du niveau de défoliation probable. Une mesure des populations à partir de stades larvaires plus avancés (L4-L5) peut être effectuée au printemps pour estimer la mortalité hivernale, ce qui s'avère important notamment pour confirmer – ou corriger en l'annulant ou en revoyant le nombre d'applications à la baisse – la prescription de lutte directe.

L'échelle d'évaluation permet de distinguer trois niveaux de population en fonction du nombre de larves par branche. À partir de ces niveaux de population, on peut déduire un niveau probable de défoliation des pousses annuelles (tableau 9).

Tableau 9 Niveau de population et défoliation des pousses annuelles prévue à partir du dénombrement des larves en hibernation

Nombre de larves en hibernation (L2) par branche de sapin de 75 cm	Niveau de population	Défoliation des pousses annuelles prévue
De 1 à 4	Faible	Légère
De 5 à 9	Moyen	Modérée
10 et plus	Élevé	Grave

2.3.3 Évaluation de la défoliation des pousses annuelles

L'évaluation de la défoliation des pousses annuelles peut être faite à l'échelle d'une pousse, d'une branche, d'une partie ou de l'ensemble du houppier d'un arbre, d'un ensemble d'arbres et d'un territoire. Dans le présent guide, c'est surtout à cette dernière échelle que l'on s'intéresse. La production de cartes de défoliation des pousses annuelles par la tordeuse des bourgeons de l'épinette fait partie de la trousse de suivi des principaux insectes et des principales maladies affectant les forêts du Québec. Elle vise à donner une idée générale de l'étendue et la gravité des dommages annuels et de leur évolution dans l'espace et le temps. L'accumulation de ces informations au fil des années est fort utile pour apprécier les changements qui se produisent d'une épidémie à l'autre, notamment en raison des changements climatiques et des activités humaines.

Pour avoir une bonne idée de la distribution et de la gravité de la défoliation sur de grands territoires, on a recours à des relevés aériens. Les résultats sont présentés sous forme cartographique et statistique et permettent d'obtenir un état général de la défoliation des pousses annuelles causée par la tordeuse des bourgeons de l'épinette selon les trois classes suivantes : défoliation légère, modérée et grave.

Méthodologie pour la production des cartes de défoliation des pousses annuelles

Les cartes de défoliation des pousses annuelles sont produites à partir d'observations réalisées à bord d'aéronefs. Les avions utilisés pour les survols doivent offrir une bonne visibilité, une bonne stabilité à basse altitude et à faible vitesse et avoir une autonomie de vol appréciable. Les territoires couverts par les survols sont choisis sur la base des inventaires de prévision de la défoliation effectués chaque année à l'automne de même qu'en fonction des territoires où des dommages ont déjà été observés, et ce, indépendamment de leur tenure.

Le survol s'effectue à une altitude d'environ 240 m, à une vitesse moyenne de 160 km/h. Le territoire à survoler est patrouillé en suivant des lignes orientées selon un axe nord-sud et équidistantes d'environ 4,5 km. L'observateur utilise une tablette numérique qui lui donne sa position en temps réel sur les lignes de vol. La carte sur laquelle les données sont inscrites comporte des informations sur la topographie, l'hydrographie, le réseau routier et d'autres infrastructures telles que les voies ferrées et les lignes de transport d'énergie. On peut aussi y trouver de l'information sur la forêt (peuplements forestiers susceptibles, feux récents, coupes récentes, etc.). Le survol se fait lorsque les dommages annuels sont le plus apparents, soit de la fin juin à la fin juillet; la défoliation annuelle est alors complétée, mais les aiguilles partiellement ou totalement coupées de l'axe des pousses y sont encore rattachées par la soie produite par les larves et ont pris une couleur roussâtre facilement détectable à distance. Au fur et à mesure qu'il survole une ligne, l'observateur délimite à main levée des zones de défoliation à l'aide des divers repères disponibles sur la carte et il inscrit une cote de défoliation pour chacune de ces zones. D'une ligne à l'autre, l'observateur s'assure de la concordance des limites des zones et des classes de défoliation. Trois classes de défoliation des pousses annuelles sont utilisées : légère, modérée et grave. Ces classes sont définies selon deux critères : la proportion d'arbres susceptibles (sapin et épinettes) qui montrent des signes de défoliation facilement observables (couleur rougeâtre) et l'endroit du houppier où se situe la défoliation des arbres touchés. La description des classes utilisées lors du survol pour cartographier la défoliation des pousses annuelles est présentée dans le tableau qui suit.

Classe utilisée pour la cartographie de la défoliation des pousses annuelles	Proportion d'arbres susceptibles avec défoliation facilement observable (couleur rougeâtre)	Position de la défoliation dans le houppier des arbres touchés	Défoliation moyenne des pousses annuelles généralement mesurée au sol
Légère	Quelques arbres	Tiers supérieur	Moins de 35 %
Modérée	Majorité des arbres	Moitié supérieure	Entre 35 et 70 %
Grave	Majorité des arbres	Totalité du houppier	Plus de 70 %

Méthodologie (suite)

La figure ci-contre illustre les classes de défoliation présentées dans le tableau précédent à l'échelle d'une pousse annuelle et en indique l'effet à court et à long terme. Ces classes peuvent être transposées à l'échelle d'une branche, d'une partie ou de l'ensemble du houppier d'un arbre susceptible. Dans le contexte des relevés aériens, la transposition se fait à l'échelle d'un ensemble de peuplements.

Classe de défoliation pour une pousse annuelle de sapin baumier	Impact à court et à long terme sur l'arbre
Nulle à légère (moins de 35 %) 	Aucun impact
Modérée (de 35 à 70 %) 	Ralentissement de la croissance, pas de risque de mortalité
Grave (plus de 70 %) 	Ralentissement marqué de la croissance, tête des arbres grisâtre après trois ou quatre années consécutives. Si la défoliation grave se poursuit au-delà de quatre ans, le feuillage restant peut être insuffisant pour que l'arbre survive.

Plusieurs facteurs influencent la précision des résultats de la cartographie. Les caractéristiques du survol font que l'observateur doit se prononcer sur plus de 1 000 ha à la minute. L'expérience de l'observateur, le synchronisme avec la période de plus grande visibilité des dommages et les différents phénomènes qui peuvent rendre l'évaluation de ces dommages problématique à distance sont autant de facteurs à considérer. Parmi les phénomènes qui compliquent la tâche de l'observateur, on compte les conditions météorologiques au moment du survol qui peuvent diminuer la visibilité et la destruction des bourgeons par les larves avant leur débourrement qui laisse des traces difficiles à percevoir à distance.



Observateur qui délimite des contours de défoliation à bord d'un aéronef

La précision des résultats est influencée par différents facteurs, dont les paramètres de vol et les conditions climatiques. De plus, il faut garder en tête que les zones endommagées sont délimitées sans tenir compte de la nature des peuplements et que l'observateur doit circonscrire et évaluer la gravité de la défoliation pour quelques 1 000 ha à la minute. Ainsi, des superficies comprenant des forêts de toutes natures et même des superficies non forestières peuvent être incluses dans les polygones numérisés. Ces superficies sont par le fait même incluses dans les statistiques qui seront présentées. Il importe donc de joindre ces informations à celles déjà disponibles pour le territoire. L'information forestière est certes la première qu'il convient de jumeler avec les données provenant des relevés aériens, ce qui permet de mieux apprécier la gravité de l'épidémie. Cette caractérisation forestière des zones touchées par de la défoliation peut être faite selon le niveau de précision souhaité. La classification de la vulnérabilité proposée (voir la section 2.2.1) de même que celle relative à la probabilité de persistance des peuplements (voir la section 2.2.2) sont toutes désignées pour faire une première analyse des enjeux de l'épidémie. Par ailleurs, en superposant l'information des relevés aériens à la programmation des travaux d'aménagement, on sera dès lors en mesure d'évaluer la pertinence de la revoir. On aura aussi intérêt à distinguer les superficies forestières qui présentent un intérêt particulier (ex. : aires admissibles à la lutte directe, traitements sylvicoles à risque, unité de paysage avec déficit de vieilles forêts) pour en faire un suivi plus serré de manière à s'assurer que les décisions qui les concernent seront le plus juste possible.

2.3.4 Historique de la défoliation

Étant donné que les dommages causés par la tordeuse des bourgeons de l'épinette se situent principalement sur les pousses de l'année courante, que les arbres susceptibles retiennent leurs pousses pendant plusieurs années et qu'ils peuvent survivre avec moins de 10 % de leur masse totale de feuillage, ils doivent subir une défoliation grave pendant plusieurs années consécutives pour être en danger de mort à court terme. Ainsi, en superposant les résultats des relevés de la défoliation annuelle (niveau grave seulement), la cumulation des informations relatives à la défoliation des pousses annuelles permet de circonscrire les secteurs où la probabilité de mortalité est la plus élevée.

La cartographie ainsi obtenue servira à établir le périmètre des secteurs ayant un historique de défoliation semblable et à les caractériser en utilisant les différentes sources de données dont on dispose : vulnérabilité, persistance, programmation de coupe, aires admissibles à la lutte directe, travaux sylvicoles potentiellement sensibles, etc. Lorsqu'il y a eu moins de quatre années successives de défoliation grave sur une même superficie, on peut considérer qu'on est en période d'épidémie, mais dans la phase sans mortalité significative. Lorsqu'une même superficie présente un minimum de quatre années successives de défoliation grave des pousses annuelles et qu'elle renferme des peuplements vulnérables qui présentent un enjeu, il y a lieu d'évaluer la défoliation sur l'ensemble de leur houppier. Cette évaluation indique leur état de santé après des défoliations répétées. Elle permet de connaître de façon plus précise la probabilité de survie à court terme.

La figure 19 présente un exemple simplifié de cartographie de l'historique de défoliation grave pour le territoire illustré à la figure 14.

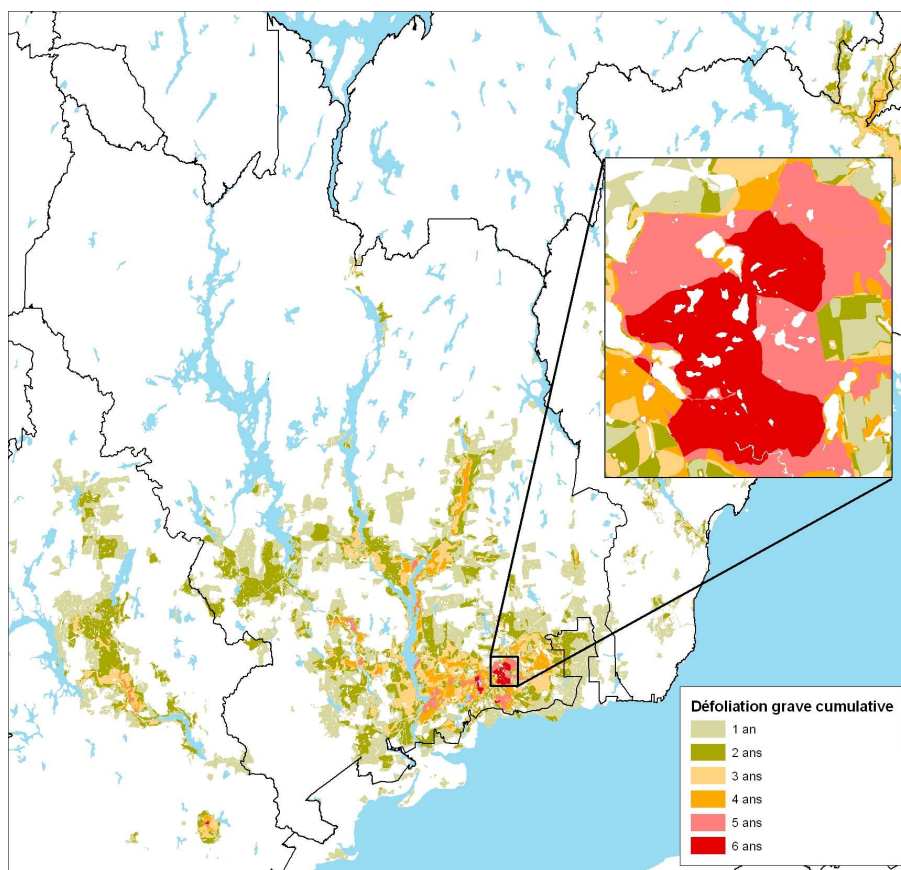


Figure 19 Cartographie de l'historique de la défoliation causée par la tordeuse des bourgeons de l'épinette

2.3.5 Évaluation de l'état de santé des peuplements touchés par l'épidémie

Étant donné le faible niveau de précision de la cartographie de la défoliation annuelle (voir la section 2.3.3), la cumulation de l'information sur plusieurs années et la mise à jour décennale des données écoforestières pour un territoire d'intérêt ne suffisent pas à nous informer correctement sur l'état de défoliation globale des peuplements touchés. L'évaluation de l'état de santé des peuplements permet d'obtenir un état de situation à jour de l'état des peuplements selon leur composition forestière et la défoliation pour l'ensemble de la masse foliaire des arbres susceptibles. Elle permet d'établir un pronostic quant à la probabilité de survie des arbres si l'épidémie se termine.

Cette information est nécessaire pour rediriger la récolte aux endroits les plus à risque, avant que la mortalité des arbres ne soit trop importante, de même que pour préparer des plans spéciaux d'aménagement si la nature des peuplements le justifie. Les informations sur l'état de santé des peuplements dans les aires admissibles à la lutte directe serviront aussi à en exclure des zones qui seraient trop endommagées pour bénéficier des traitements. Les résultats peuvent être présentés sous forme cartographique et statistique selon les quatre classes de défoliation de l'ensemble du houppier des arbres susceptibles (défoliation totale) utilisées pour décrire l'état de santé des peuplements et établir le risque de mortalité à court terme.

Évaluation visuelle de l'état de santé des peuplements touchés par la tordeuse des bourgeons de l'épinette au moyen de relevés aériens

Les relevés aériens qui sont utilisés pour évaluer l'état de santé des peuplements touchés par l'épidémie de la tordeuse des bourgeons de l'épinette sont habituellement faits à bord d'un hélicoptère parce qu'ils exigent de la visibilité et une grande souplesse. L'espacement entre les lignes de vol (1 km ou moins) de même que la vitesse de vol sont réduits pour permettre à l'observateur de bien évaluer la défoliation des arbres. L'évaluation doit être faite lorsque le feuillage, rougi par l'activité de l'insecte, est tombé afin que le feuillage résiduel de l'arbre soit bien visible. La technique actuellement utilisée permet à l'observateur de se concentrer sur l'évaluation de la défoliation sans avoir à établir un contour, ce qui simplifie son travail. L'évaluation est faite pour un polygone prédéterminé dont les limites sont artificielles, soit des limites de 15 secondes par 15 secondes en longitude et en latitude, dont la superficie est d'environ 14 ha (polygones utilisés pour géoréférencer les données forestières du Système d'information forestière par tesselle [SIFORT] [Pelletier, Dumont et Bédard, 2007]). Cette méthode a été adaptée de celle utilisée lors de l'épidémie de 1967 à 1992 qui a été décrite par Chabot et Roy (1979).

Quatre classes ont été retenues pour décrire l'état des arbres (tableau 10). Ces classes ont été choisies pour refléter la probabilité de survie, si l'épidémie se termine, ou le risque que les arbres meurent à court terme. La première classe concerne les arbres qui ont perdu moins de 50 % de leur masse foliaire. Leur probabilité de survie est élevée si l'épidémie cesse et le risque que ces arbres meurent à court terme (de deux à trois ans) est faible. La deuxième classe concerne les arbres qui sont défoliés sur une superficie de 50 à 89 % : leur probabilité de survie si l'épidémie cesse varie selon leur vigueur et la quantité résiduelle de feuillage, le risque que ces arbres meurent à court terme va de moyen à élevé. La troisième classe concerne les arbres défoliés entre 90 et 99 % pour lesquels le risque de mort à court terme est très élevé et la probabilité de survie, faible, même si l'épidémie cesse. Finalement, les arbres qui sont défoliés à 100 % sont présumés morts. Dans les faits, ils peuvent être morts depuis un certain temps ou être sur le point de mourir. Seul un examen du cambium peut permettre de statuer sur la vitalité des arbres. Par voie aérienne, on comprendra que c'est impossible. Toutefois, par expérience, on sait que les arbres défoliés à 100 % sont généralement condamnés à mourir à court terme.

Comme le coût de ces évaluations est élevé et qu'il y a peu d'observateurs expérimentés aptes à les réaliser, il est important de déterminer avec soin les territoires à survoler. Le choix des secteurs doit d'abord reposer sur l'identification de zones d'intérêt, notamment des secteurs de programmation annuelle ou quinquennale de récolte, des secteurs admissibles à la lutte directe ou encore des secteurs en déficit de vieilles forêts pour lesquelles l'historique de défoliation des pousses annuelles indique qu'on peut s'attendre à observer des arbres morts ou sur le point de mourir, ce qui est généralement le cas après quatre ou cinq ans de défoliation annuelle grave.

La période la plus propice pour procéder aux évaluations débute à la mi-août et peut se poursuivre tant qu'il n'y a pas de neige sur le houppier des arbres. Plus il est tard en saison, moins le nombre d'heures de bonne visibilité est élevé, ce qui réduit la production. À défaut de pouvoir évaluer tous les territoires désignés au cours de cette période, il est possible de reprendre les évaluations au printemps suivant, avant l'apparition de nouveaux dommages.

Le tableau 10 permet de visualiser rapidement les classes de défoliation totale et comment elles sont interprétées.

Tableau 10 Classe de défoliation totale (%), code utilisé lors du relevé et interprétation quant à l'état de santé des arbres et à leur risque de mortalité à court terme

Classe de défoliation totale	Code cartographique	Interprétation	
		État de santé	Risque de mortalité à court terme
Moins de 50 %	1	Forte probabilité de survie si l'épidémie cesse	Faible
De 50 à 89 %	2	Probabilité de survie si l'épidémie cesse selon la vigueur et la quantité résiduelle de feuillage	Moyen
De 90 à 99 %	3	Faible probabilité de survie même si l'épidémie cesse	Élevé
100 %	4	Probabilité quasi nulle de survie même si l'épidémie cesse, notamment pour les arbres de dimension commerciale	Présumé mort

L'évaluation de la défoliation totale des peuplements touchés par l'épidémie de la tordeuse des bourgeons de l'épinette n'a pas à être faite tous les ans pour un territoire donné, compte tenu de son caractère prédictif. L'historique de la défoliation et la connaissance des forêts touchées devront servir à déterminer les territoires pour lesquels il est nécessaire de mettre l'information à jour sur l'état de la forêt pour décider des actions à prendre. D'autres méthodes utilisant l'imagerie satellitaire ou divers types de photographies aériennes sont aussi à considérer pour évaluer l'état des forêts touchées par plusieurs années de défoliation.

Comme pour les résultats des relevés aériens de la défoliation des pousses annuelles, les résultats de l'évaluation de l'état de santé des peuplements touchés par l'épidémie doivent être utilisés de pair avec l'information forestière associée à chaque polygone. Dans ce cas-ci, toutefois, la résolution spatiale des données recueillies se rapproche davantage de celle des polygones forestiers. Malgré cela, il est bon d'avoir en tête que l'observateur a à évaluer en moyenne 100 ha à la minute dans ce type d'évaluation. De plus, même si la nouvelle méthode présente des avantages par rapport à la méthode originale, elle a pour inconvénient d'obliger l'observateur à choisir une seule cote de défoliation par polygone. Étant donné qu'un polygone peut contenir des peuplements de différentes compositions, que les arbres susceptibles peuvent être défoliés inégalement et que la cote de défoliation totale attribuée constitue une valeur moyenne, il est possible que la défoliation totale réelle soit sous-évaluée ou surévaluée pour une partie des arbres sans qu'on puisse en avoir une indication directe. C'est donc dire qu'il faut être prudent dans l'utilisation des résultats obtenus et qu'il vaut la peine de procéder à des vérifications sur le terrain pour en apprécier la précision, compte tenu de la répercussion des décisions qui en découlent : par exemple, hâter ou retarder la récolte d'un secteur ou l'en exclure; poursuivre ou mettre un terme à la lutte directe. Comme l'échelle d'évaluation a un

caractère prévisionnel, elle donne une indication sur l'urgence de procéder à la récolte, sur l'intérêt de poursuivre la lutte directe ou sur celui de mettre un terme à la récolte des arbres lorsqu'ils sont morts depuis trop longtemps pour être aptes à la transformation.

Il peut s'avérer utile d'utiliser la défoliation totale pour procéder à certaines évaluations sur le terrain, notamment dans le cadre de dispositif de suivi de traitements sylvicoles commerciaux. L'annexe D présente les caractéristiques de chacune des classes de défoliation totale à l'échelle de l'arbre.

La figure 20 présente un exemple de cartographie de la défoliation totale des peuplements touchés par l'épidémie de la tordeuse des bourgeons de l'épinette dans les territoires illustrés aux figures 14 et 19.

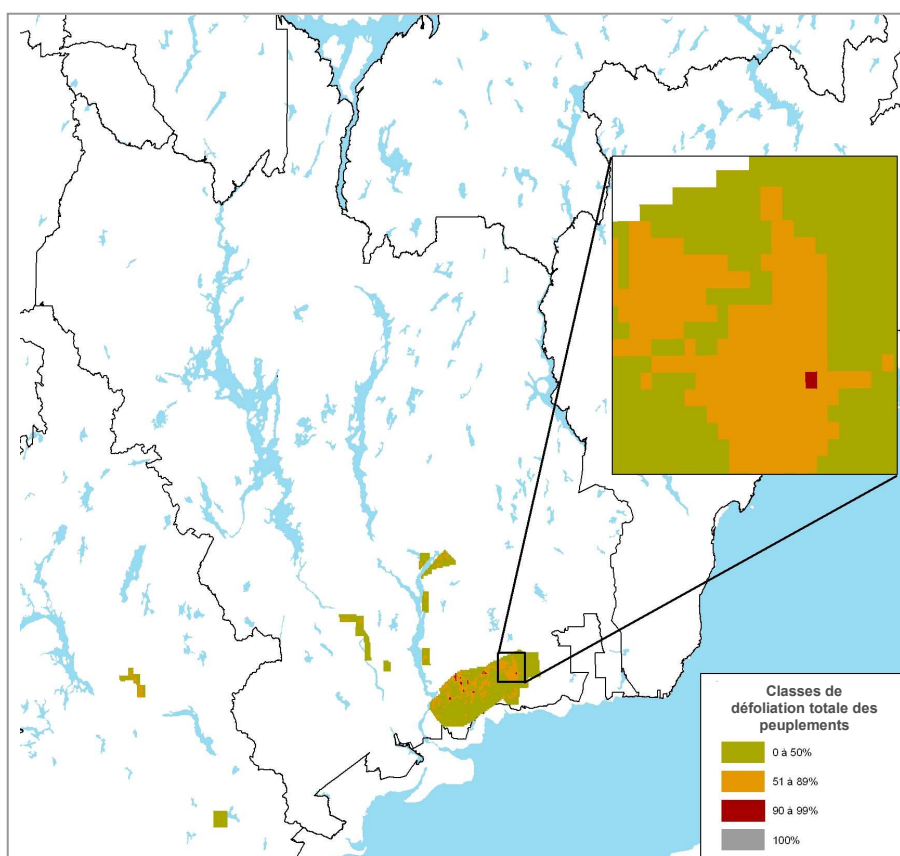


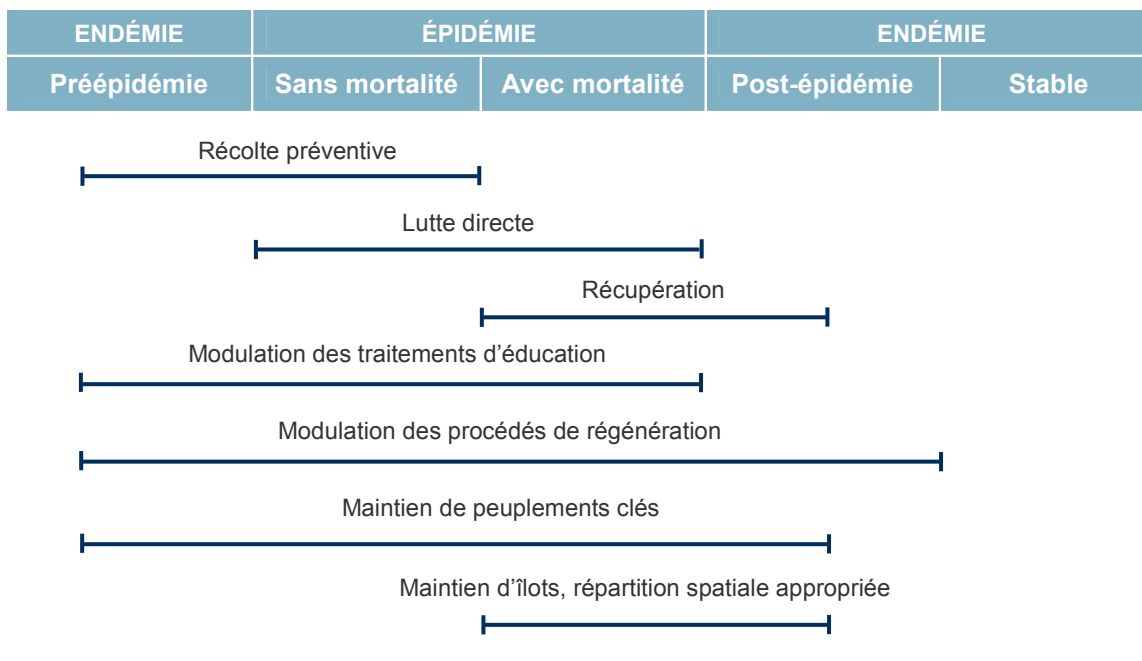
Figure 20 Défoliation totale des peuplements touchés par la tordeuse des bourgeons de l'épinette

2.4 Moyens disponibles pour faire face à l'épidémie

Les aménagistes disposent de plusieurs moyens pour atteindre les quatre objectifs de l'approche de gestion face à l'épidémie de la tordeuse des bourgeons de l'épinette. Ils devront décider du juste dosage de ces moyens en période d'endémie et tout au long de l'épidémie.

Nous présentons ici les principaux moyens disponibles ainsi qu'une explication de leur nature et de leur portée en rapport avec les périodes d'endémie et d'épidémie et selon leurs phases respectives (voir le tableau 1 à la section 1.6) s'il y a lieu. Le tableau 11 en présente un résumé.

Tableau 11 Résumé des moyens disponibles pour faire face à l'épidémie



En période d'endémie, dans la phase de préépidémie, la **récolte préventive** fait partie des moyens préconisés par le MFFP pour réduire la vulnérabilité des forêts et des peuplements à la tordeuse des bourgeons de l'épinette. Elle consiste à prioriser les peuplements les plus vulnérables dans la programmation de récolte au moyen de coupes totales ou partielles. Des indications détaillées sur les informations dont il faut tenir compte dans le choix des traitements à privilégier selon les conditions initiales et le déroulement probable de l'épidémie sont données dans le chapitre 3.

Au début de l'épidémie, avant d'observer un taux de mortalité significatif (période d'épidémie, phase sans mortalité), la **récolte préventive dictée par la défoliation** permet d'adapter la planification forestière à l'activité de l'insecte. Elle est faite dans les peuplements les plus vulnérables (plus particulièrement ceux des classes 1 et 2) ou les moins persistants (types D et E) déjà touchés par l'épidémie avant que l'on observe un taux de mortalité significatif. Il s'agit de récolter principalement des sapins baumiers, qui sont plus ou moins défoliés, mais dont le bois est encore sain. Cette option doit être utilisée prioritairement, en tenant compte des indications fournies dans le chapitre 3, et en complémentarité avec la lutte directe, s'il y a lieu.

La **récolte associée à une perturbation naturelle** (récupération) est aussi valable pour les peuplements les plus vulnérables touchés par un taux de mortalité significatif (au moins 10 % du volume). Elle consiste à récolter principalement, au moyen de coupes totales ou partielles, des sapins baumiers plus ou moins gravement défoliés, mais sains, mourants ou morts depuis généralement moins de trois ans, plus ou moins détériorés (tête tombée au sol, coloration et carie de l'aubier, trous d'insectes xylophages) selon l'usage auquel le bois est destiné. La récupération est la dernière chance qu'on a de minimiser les pertes de volume et permet de

diminuer la pression sur les peuplements sains. On pourrait devoir y recourir d'autant plus qu'on aura moins utilisé les deux options précédentes.

Dans un contexte où tous les peuplements touchés ne pourraient être récoltés pendant l'épidémie, il faudra tenir compte de considérations économiques pour établir des priorités qui engendrent les coûts les plus faibles possible (y compris ceux d'une remise en production, le cas échéant), tout en ayant un effet comparable en quantité et en qualité sur les approvisionnements. D'autres considérations, comme la capacité des usines de transformation et la disponibilité des marchés, pourraient être prises en compte pour établir des priorités de récolte et déterminer l'envergure des volumes à récolter.

La figure 10 du chapitre 1 sert de repère pour situer dans le temps le recours aux moyens présentés ci-dessus.

La **lutte directe** à l'aide de pulvérisations aériennes d'un insecticide biologique est un moyen complémentaire à portée plus ou moins limitée selon le profil forestier du territoire pour atteindre les deux premiers objectifs de l'approche de gestion. À la section 2.2.3, on a décrit brièvement le processus utilisé pour déterminer les secteurs admissibles à la lutte directe. Pour maintenir efficacement la bonne condition des peuplements vulnérables visés, les pulvérisations doivent être répétées pendant plusieurs années au même endroit au cours d'une épidémie. Compte tenu du coût que cela représente, il est important de porter une grande attention au choix des secteurs à protéger. La lutte directe doit d'abord contribuer au maintien des peuplements vulnérables destinés à l'approvisionnement des usines. Elle peut indirectement contribuer, dans certains cas, à atteindre des cibles liées aux divers enjeux, comme la structure d'âge ou l'harmonisation. Il est important de tenir compte des aires admissibles à la lutte directe pour éviter de récolter des peuplements qui pourraient être protégés lorsqu'il y a une abondance de peuplements vulnérables exclus des aires admissibles, en raison notamment de leur dispersion.

Le **maintien de peuplements clés** doit être considéré pour remplir des fonctions écologiques, liées notamment aux enjeux de structure d'âge et de répartition spatiale, ou pour répondre aux préoccupations de divers usagers du territoire (autochtones, gestionnaires fauniques, villégiateurs, etc.). Le choix des peuplements à préserver se fera selon leur probabilité de persistance et leur emplacement; il s'harmonisera à la récolte préventive et à la récupération.

La **modulation des traitements d'éducation** des peuplements doit être considérée afin de minimiser leurs effets sur la vulnérabilité des jeunes peuplements en période d'épidémie. De cette façon, on prévient des baisses de rendement ligneux à moyen terme et on évite de faire des investissements qui risquent d'être perdus. La pertinence du traitement, la fenêtre d'opérabilité et l'évolution de l'épidémie sont des informations qui doivent être considérées pour évaluer le risque des différentes options telles que l'option d'effectuer le traitement, de le modifier, de le différer ou de l'annuler, et faire le choix approprié.

La **modulation des procédés de régénération** doit être considérée afin de favoriser l'atteinte d'objectifs tels que la raréfaction de certaines essences ou des vieux peuplements tout en minimisant les risques de perte de volume. Ainsi, des analyses devront être faites afin d'évaluer le meilleur moment, selon le déroulement de l'épidémie, pour réaliser certaines coupes

progressives ou totales, en fonction des objectifs poursuivis et de l'état de situation de l'unité territoriale visée.

Les moyens dont il a été question précédemment font appel aux outils présentés dans les sections précédentes pour assurer la planification de même qu'à des orientations plus précises présentées dans le chapitre 3 concernant les traitements sylvicoles en période d'épidémie.

Par ailleurs, la **rétenction d'arbres ou d'îlots** au sein des peuplements récoltés vise à assurer la présence d'attributs de structure et de composition au sein des nouveaux peuplements. Ces attributs écologiques favoriseront le retour d'une forêt plus proche de la forêt naturelle. Une attention particulière sera portée à la rétenction d'essences longévives typiques de la forêt naturelle afin de contribuer à la reconstitution de peuplements plus résistants et plus résilients face aux épidémies.

L'utilisation d'un **patron spatial de récupération approprié** permet de répartir les coupes de manière à reconstituer un paysage qui contient des attributs spatiaux similaires à ceux observés dans la forêt naturelle perturbée. On tiendra compte des attributs comme la proportion de forêts résiduelles, leur taille, leur configuration et leur disposition au sein des chantiers de récupération. On prendra aussi en considération la probabilité de persistance des peuplements dans les choix relatifs à l'organisation spatiale.

La rétenction d'arbres ou d'îlots et le patron spatial de récupération approprié font appel aux recommandations formulées dans le chapitre 4 relativement à la planification et à la réalisation des chantiers de récupération.

L'option **Ne rien faire** peut aussi être envisagée. Dans certains cas, on pourra décider de ne rien faire parce que l'effet négatif à court terme pourra être compensé par un effet positif à moyen et à long terme. Il est important d'évaluer cette option lorsqu'elle peut avoir un effet important sur la possibilité forestière, notamment pour les raisons suivantes :

- une insuffisance de marché;
- des peuplements non rentables à récolter, à transformer et à mettre en marché (accessibilité, dispersion, éloignement, volume par hectare et volume par tige insuffisants);
- une surabondance de peuplements à récolter par rapport à la capacité de récolte et de transformation.

Cette option s'applique évidemment par défaut aux peuplements soustraits aux activités d'aménagement, mais qui font partie des solutions aux enjeux, qu'ils soient écologiques ou autres.

CHAPITRE 3

Orientations sylvicoles et ordonnancement de la récolte

Chaque stratégie d'aménagement en vigueur a été établie en fonction d'objectifs d'aménagement qui concernent notamment la structure d'âge et la composition en essences. Pour être atteints, ces objectifs doivent se traduire par des scénarios sylvicoles destinés à créer, dans le temps et dans l'espace, les compositions et les structures recherchées. Les recommandations sur la modulation de la planification présentées dans ce chapitre ont été développées en tenant pour acquis que les objectifs de la stratégie en vigueur s'appliquent toujours et que le territoire touché est en situation d'épidémie imminente (phase de préépidémie) ou en cours.

Ce chapitre débute par l'explication des fondements physiologiques et biologiques sur lesquels s'appuie la sylviculture et les particularités à prendre en compte dans un contexte d'épidémie. Par la suite, des recommandations pour la modulation des traitements d'éducation pour des cas types de peuplements sont faites sur la base d'une évaluation des risques. Une troisième partie porte sur la modulation de la récolte dans les peuplements matures. On y propose une démarche qui mène à l'ordonnancement des coupes totales et progressives. Cette démarche s'appuie sur les notions présentées dans le chapitre 1 concernant le déroulement d'une épidémie ainsi que sur les résultats des outils d'analyse et de suivi présentés dans le chapitre 2.

3.1 Fondements physiologiques et biologiques

3.1.1 Considérations habituelles pour la sylviculture des résineux

Allocation des sucres

Chaque organisme vivant possède une quantité limitée d'énergie à dépenser. Chez les arbres résineux, l'allocation des sucres générés par la photosynthèse se fait selon un ordre de priorité bien défini. L'arbre utilise d'abord les sucres pour se maintenir en vie. Il les utilise ensuite pour croître en hauteur, puis en diamètre. En dernier lieu, il s'en sert pour produire des composés chimiques qui augmentent sa résistance aux insectes et aux maladies. Un résineux dont la photosynthèse est réduite à la suite d'un manque de lumière, d'une défoliation ou d'une pénurie en eau commencera donc par cesser la production des composés chimiques qui augmentent sa résistance aux insectes et aux maladies. Si la situation s'aggrave, il ralentira sa croissance en diamètre. Lorsque ce n'est pas suffisant, sa croissance en hauteur sera affectée et, si la photosynthèse est encore réduite, l'arbre finira par mourir.

Besoin en lumière des semis

Les sapins et les épinettes peuvent tolérer un ombrage important avant que leur croissance en hauteur et en diamètre soit affectée par le manque de lumière. La croissance des semis d'épinette n'est pas affectée aussi longtemps que la réduction de la lumière ne dépasse pas 40 %. Les semis de sapin sont encore plus tolérants, leur croissance commence à ralentir à partir d'une réduction de 60 % de la lumière. Au dessus de ces seuils, on considère que les aiguilles sont saturées en lumière.

Hauteur potentielle de la végétation concurrente

La hauteur potentielle de la végétation concurrente influence la durée pendant laquelle les sapins et les épinettes subiront l'ombrage des espèces qui les entourent. Les espèces concurrentes peuvent être des plantes basses (framboisiers, graminées...), des arbustes (érables à épis, noisetiers...), ou encore des arbres (peupliers, bouleaux blancs, érables rouges...). Pour une même perte de croissance, la décision d'intervenir sera influencée par la différence entre la hauteur de l'essence désirée et la hauteur potentielle des espèces concurrentes. Cette hauteur potentielle varie selon les stations. Par exemple, la hauteur de l'érable de Pennsylvanie varie de 6 à 12 m selon les stations. Il est donc important de connaître la hauteur moyenne atteinte localement pour une espèce donnée.

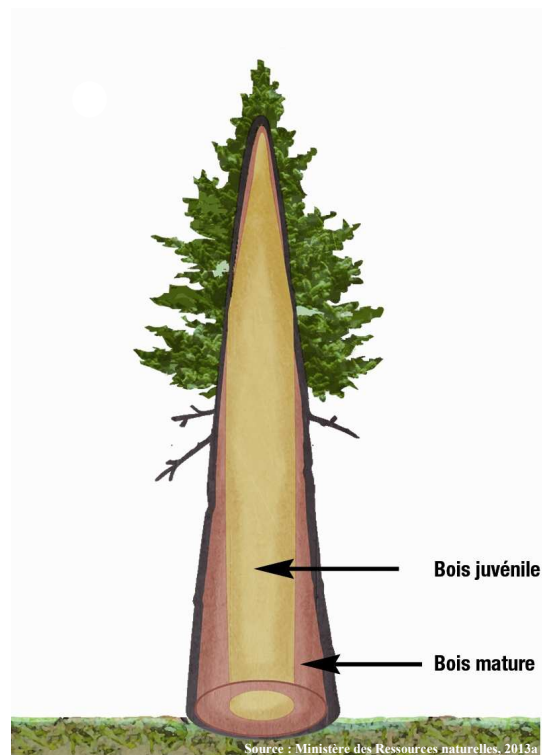


Figure 21 Représentation du bois juvénile et du bois mature

Proportion du houppier

La proportion de houppier correspond au ratio de la longueur de la tige où se trouvent les branches vivantes sur la hauteur totale de l'arbre. Ce ratio est utilisé comme un indicateur de la masse foliaire. La diminution de la concurrence pour la lumière permet à l'arbre d'augmenter la proportion de son houppier, puisque c'est l'ombrage qui provoque la chute des aiguilles sur les branches inférieures.

Une forte proportion de houppier engendre des effets positifs comme une augmentation de la croissance en diamètre et une plus grande résistance aux insectes défoliateurs. L'arbre est aussi mieux enraciné puisque la masse racinaire est proportionnelle à la masse foliaire. En revanche, la forte proportion de houppier augmente la présence de nœuds et la quantité de bois juvénile (figure 21), ce qui entraîne une diminution de la résistance mécanique du bois. Le bois juvénile se forme à proximité des branches vivantes. Contrairement à l'aubier qui se transforme en bois de cœur avec le temps, le bois juvénile ne se transforme jamais en bois mature.

Dans les scénarios sylvicoles comportant des plantations ou des éclaircies précommerciales systématiques, l'espacement entre les arbres est contrôlé. Les sylviculteurs gèrent l'exposition des sapins et des épinettes à la lumière pour trouver un équilibre entre les effets positifs et négatifs liés à la proportion des houppiers. La fermeture graduelle du couvert entraîne la diminution du houppier. Lorsqu'il atteint entre 33 et 50 % de la hauteur de l'arbre et que la surface terrière se situe entre 25 et 35 m²/ha, on procède à une éclaircie commerciale. La proportion du houppier peut alors augmenter de nouveau jusqu'à ce que le couvert se referme et que le houppier recommence à diminuer. Une nouvelle éclaircie commerciale ou une coupe finale devra éventuellement être faite avant que le houppier ne devienne trop réduit. Après l'éclaircie commerciale, le bas des arbres ne comporte plus de branches vivantes et le volume qui s'y accumule est constitué de bois mature. Pour atteindre ce résultat, il a fallu provoquer une réduction de croissance en diamètre liée à la réduction du houppier avant l'éclaircie commerciale. Cette réduction de la croissance au bas de l'arbre permet de diminuer le défilement et améliore la proportion de l'arbre transformable en bois de sciage.

Quel que soit le scénario sylvicole, il faut éviter une trop grande diminution de la proportion du houppier des arbres dominants, car ils deviennent alors très vulnérables aux insectes défoliateurs et au chablis. La diminution de la masse foliaire peut réduire la production de sucre à un niveau où les mycorhizes se raréfient et ne recouvrent plus entièrement les racines, ce qui accroît l'entrée de champignons de carie. Le risque de chablis devient alors très élevé, car le nombre de racines est faible et plusieurs d'entre elles sont cariées. Dans ces conditions, les coupes partielles deviennent impossibles et la proportion de houppier des arbres ne peut plus être augmentée avec des éclaircies.

Différenciation sociale des arbres

La différenciation sociale des arbres est un processus naturel qui consiste à établir un gradient de dominance entre les arbres qui se côtoient. Elle permet à une partie des résineux de conserver une proportion de houppier acceptable malgré la présence d'un grand nombre d'arbres au départ. Les arbres dominants bénéficient d'une plus grande proportion de houppier, bien qu'ils soient en concurrence avec les arbres codominants pour la lumière. Ces derniers peuvent remplacer un arbre dominant lorsque celui-ci meurt. Les arbres dont la hauteur est inférieure au deux tiers de la hauteur des dominants sont considérés comme dominés; ils ne sont plus en concurrence pour la lumière avec les dominants. La plupart d'entre eux vont mourir lorsque le couvert se refermera, ce processus est appelé l'autoéclaircie.

Dans certaines situations, la différenciation sociale ne se fait pas naturellement. C'est le cas dans les jeunes sapinières qui ont environ 30 000 arbres de hauteur uniforme par hectare. La croissance en diamètre et en hauteur de ces peuplements stagne, car la proportion du houppier de chacun des arbres est réduite au point où la photosynthèse ne parvient qu'à les maintenir en vie. L'autoéclaircie ne se produit pas et on doit alors procéder minimalement à un dépressage au stade de semis ou de bas gaulis pour permettre à certains arbres de devenir dominants.

Les plantations sont un autre exemple où la différenciation sociale peut ne pas s'opérer naturellement. Les arbres ayant tous une hauteur semblable, on doit procéder à une éclaircie commerciale pour éviter que la diminution de la proportion de houppier rende le peuplement très vulnérable au chablis et aux insectes défoliateurs.

Occupation de l'espace de croissance

Pour le sapin baumier et les épinettes, la production de matière ligneuse par unité de superficie est quasi maximale à maturité avec une densité de 1 200 arbres équidistants par hectare, ce qui correspond à un arbre par 8,33 m². Au-delà de ce seuil, une augmentation de la densité d'arbres augmente très peu le volume produit par hectare à maturité, mais elle fait diminuer la proportion de houppier et le volume par arbre. On considère donc qu'avec une densité de 1 200 arbres équidistants par hectare, il y a une pleine occupation de l'espace de croissance pour la production en volume. La superficie de 8,33 m² correspond à l'espace de croissance de référence sur laquelle s'appuient les réflexions. La production d'un peuplement en volume par hectare est proportionnelle à la quantité d'espaces de croissance occupée par au moins un arbre.

Au Québec, lorsque les plantations sont aménagées avec une densité de 2 000 arbres par hectare, cela correspond à l'établissement d'un arbre et deux tiers par espace de croissance. Lors de l'éclaircie commerciale, la récolte d'environ deux tiers d'arbre par espace de croissance (de 30 à 35 % de prélèvement) permet d'obtenir un peuplement ayant environ un arbre par espace de croissance. L'objectif poursuivi est de faire mourir les branches du bas lorsque les arbres sont jeunes, avant qu'elles ne deviennent trop grosses, et de favoriser la croissance en diamètre au cours des dernières années. Il s'agit d'un compromis pour avoir de plus petits nœuds et moins de bois juvénile dans les billes de pied. Pour les mêmes raisons, les scénarios sylvicoles avec éclaircies précommerciales systématiques comportent toujours une éclaircie commerciale au stade de prématurité.

Résistance au chablis

La détermination du taux de prélèvement maximal du couvert pour les coupes partielles est conditionnée par les objectifs de gestion de la quantité de lumière au sol. Dans les peuplements de sapin et d'épinettes matures, la capacité du couvert résiduel à résister au chablis est une préoccupation additionnelle à cause de leur enracinement superficiel. Le sapin est l'essence la plus susceptible au chablis, suivi de l'épinette noire, puis de l'épinette blanche. La structure du peuplement a également beaucoup d'importance, les peuplements irréguliers étant plus résistants que les peuplements réguliers, car les arbres grandissent en étant plus exposés aux turbulences du vent et développent un meilleur ancrage au sol. Les sapinières régulières sont les plus fragiles et les taux de prélèvement recommandés se situent entre 20 et 40 %. Le taux de prélèvement peut se rapprocher de 50 % dans le cas de sapinières irrégulières ou de pessières blanches.

3.1.2 Considérations propres à un contexte d'épidémie

La vulnérabilité des sapins et des épinettes à la tordeuse des bourgeons de l'épinette augmente temporairement après tous les traitements sylvicoles qui modifient le couvert. Cela se produit dans les jeunes peuplements, lors des travaux d'éducation, et dans les peuplements plus âgés, lors des coupes partielles. Les différentes hypothèses qui ont été proposées pour expliquer ce phénomène sont les suivantes :

- L'élimination d'une partie du couvert forestier entraîne des modifications dans l'environnement des arbres (quantité de lumière, température, humidité, nappe phréatique, etc.). Ces modifications engendrent un stress pour les arbres résiduels pendant quelques

années, le temps qu'ils s'adaptent aux nouvelles conditions environnementales. Ce stress réduit leur capacité à se défendre contre la tordeuse des bourgeons de l'épinette.

La capacité d'acclimatation de l'arbre au changement de luminosité est grandement influencée par les traits fonctionnels de ses aiguilles avant l'intervention. Les aiguilles dites de lumière possèdent des traits leur permettant d'optimiser leur capacité photosynthétique tout en limitant le plus possible les pertes en eau, plus importantes en pleine lumière. Tel que mentionné précédemment, la quantité de lumière nécessaire pour saturer les aiguilles du sapin et des épinettes est peu élevée. Lorsque les aiguilles se sont développées avec une luminosité en dessous du seuil de saturation, elles acquièrent des traits fonctionnels liés à l'ombrage. Leur masse foliaire par unité de surface diminue proportionnellement au manque de lumière, de sorte que les aiguilles sont de plus en plus aplaties. La masse foliaire par unité de surface est un trait morphologique; une fois les aiguilles formées, elle ne varie pas en fonction des conditions environnementales. Quand un changement de luminosité survient, l'arbre s'acclimate en produisant annuellement de nouvelles aiguilles adaptées à la luminosité. Si le changement de lumière est important, l'arbre peut subir un stress hydrique. Ce dernier peut même provoquer le rougissement ou la chute d'aiguilles. Cela prend environ cinq ans à un sapin pour changer complètement son feuillage. L'effet ne devrait pas durer cinq ans, car la capacité photosynthétique des aiguilles complètement formées est inversement proportionnelle à l'âge de celles-ci. Beauce et Fuentealba (2013) ont démontré que pour une quantité fixe de chenilles par branche, l'augmentation de la vulnérabilité du sapin, due à des éclaircies précommerciales systématiques effectuées à la forêt Montmorency, avait cessé après trois ans.

- L'augmentation de la quantité de lumière se traduit par une augmentation de la température, ce qui accélère le développement de l'insecte et favorise sa survie, puisqu'il est ainsi exposé moins longtemps aux facteurs naturels de contrôle des populations.
- Finalement, les traitements sylvicoles qui réduisent le nombre de sapins ou d'épinettes dans le peuplement concentrent la ponte des papillons sur les arbres résiduels et augmentent la quantité de chenilles sur ces arbres. Cet effet est très important et il influence la vulnérabilité aussi longtemps que la quantité de pousses annuelles est inférieure à celle que le peuplement aurait eu s'il n'avait pas été traité.

Cette augmentation temporaire de la vulnérabilité des arbres à la suite d'un traitement doit être prise en compte dans les orientations sylvicoles lorsqu'une épidémie est imminente ou en cours. En effet, de jeunes peuplements normalement peu vulnérables peuvent devenir très vulnérables après un traitement. L'augmentation de la vulnérabilité est proportionnelle à l'ouverture du couvert. Par exemple, une éclaircie commerciale augmentera peu la vulnérabilité, car le taux de prélèvement est relativement faible (environ 35 %) et ce sont principalement des arbres codominants qui sont prélevés, de sorte que l'augmentation de lumière sur les arbres dominants conservés est modérée. L'éclaircie précommerciale, par contre, peut entraîner une forte augmentation de la vulnérabilité lorsque les arbres conservés sont recouverts de feuillus intolérants ou entourés d'un grand nombre de résineux qui seront éliminés.

3.2 Modulation des traitements d'éducation

Cette section aborde la question des traitements sylvicoles généralement appliqués, en considérant leurs objectifs, les bénéfices attendus ainsi que l'effet prévu de la tordeuse des bourgeons de l'épinette afin d'évaluer le risque de procéder ou non à ces traitements. Des recommandations sont faites pour adapter les prescriptions sylvicoles aux périodes d'épidémie. Il est à noter que ce guide traite de cas généraux. Sur le terrain, le sylviculteur sera confronté à une variété de situations dont certaines ne sont pas abordées dans ce document. Toutefois, les principes évoqués et la démarche d'analyse proposée pour la prise de décision seront utiles pour l'ensemble des problématiques rencontrées.



3.2.1 Superficies non ou mal régénérées en essences désirées

En l'absence de couvert, la seule option pour pallier un manque de régénération en essences désirées est la **plantation**.

Peuplements non régénérés en résineux

- Considérant que la plantation est peu risquée,
 - les essences habituellement utilisées au Québec pour la remise en production étant peu ou n'étant pas vulnérables à la tordeuse des bourgeons de l'épinette,
- il est recommandé
 - de poursuivre la plantation uniforme selon les critères usuels prévus.

3.2.2 Peuplements au stade de semis

Le stade de semis correspond à la période où les essences désirées ont un diamètre à hauteur de poitrine (DHP) inférieur à 1 cm, soit lorsque leur hauteur est inférieure à environ 2 m. À ce stade, les traitements d'éducation possibles sont le dépressage et le dégagement.

Le **dépressage** vise à éviter que de jeunes peuplements résineux très denses et sans différenciation sociale tombent en stagnation de croissance. Il s'agit habituellement de sapinières avec environ 30 000 arbres/ha et peu de végétation concurrente. Le traitement consiste à créer de petites ouvertures pour permettre la différenciation sociale dans la plupart des espaces de croissance. Il ne faut pas éliminer l'ensemble des résineux en surnombre, mais

seulement donner plus de lumière à une portion des semis pour que certains puissent devenir dominants.

Peuplements fortement régénérés en sapin ou en épinettes

- Considérant que le dépressage n'est pas risqué, puisque
 - la modification du couvert est limitée,
 - que les semis sont peu vulnérables
 - et qu'un grand nombre de résineux demeure après traitement,
- et considérant que l'absence de dépressage conduirait le peuplement à la stagnation,
- il est recommandé
 - de procéder au dépressage lorsqu'il y a environ 30 000 semis/ha de sapin et d'épinettes dont la hauteur et l'exposition à la lumière sont semblables.

Le **dégagement** est le traitement à envisager lorsqu'il faut contrôler la végétation concurrente. Bien que la présence d'espèces concurrentes soit souvent impressionnante, son impact sur la croissance en hauteur des essences désirées est rarement important. Au stade de semis, c'est généralement la croissance en diamètre qui est affectée par la végétation concurrente. De plus, la croissance des épinettes est plus souvent ralentie que celle des sapins puisqu'elles ont besoin de plus de lumière.

Le recours au dégagement mécanique peut être utile pour maîtriser une végétation concurrente arbustive ou arborescente, mais le traitement a peu d'utilité lorsque la végétation concurrente est composée de plantes basses comme les graminées, les framboisiers, les fougères et les épilobes étant donné leur repousse rapide.

La diminution du houppier, qui engendre la diminution de la croissance en diamètre, se répercute au-delà du stade de semis. En effet, lors du nettoyage, lorsque les arbres n'ont pas été dégagés au stade de semis, la proportion de houppier est plus faible. Il faut plusieurs années de croissance après le nettoyage pour donner au houppier l'ampleur qu'il aurait eue si le dégagement avait eu lieu. La croissance en diamètre est donc réduite à la fois au stade de semis et durant une partie du stade de gaulis. L'impact de cette réduction de croissance en diamètre n'est pas négligeable, particulièrement dans les plantations au potentiel de production élevé composées d'épinettes, puisque ces dernières, qui ont un plus grand besoin de lumière, sont plus affectées.

Dans les plantations, le dégagement doit être fait dès que la luminosité franchit le seuil de lumière qui permet une pleine croissance en diamètre et en hauteur (60 % pour les épinettes). Le feuillage des semis est alors composé d'aiguilles de lumière ce qui minimise l'impact sur la résistance des arbres.

Habituellement, on ne fait pas de dégagement dans un peuplement qui se régénère naturellement. Toutefois, dans certains cas, la densité du couvert de la végétation concurrente peut compromettre la survie des semis d'essences désirées. Le dégagement est alors essentiel. On devrait commencer à craindre pour la survie des semis lorsque leur croissance en hauteur est inférieure à 50 % de leur croissance normale. Cela se produit habituellement sous un couvert arbustif dense d'érable à épis, de cerisier de Pennsylvanie, de noisetier ou de viorne

à feuilles d'aulne. Avant d'intervenir, il faut toutefois s'assurer que la diminution de la croissance en hauteur est due au manque de lumière. En effet, cette diminution de croissance pourrait aussi être causée par la sécheresse, car la fermeture des stomates empêche les échanges gazeux et interrompt la photosynthèse. Elle pourrait aussi être une conséquence de la défoliation provoquée par la tordeuse des bourgeons de l'épinette. Dans ce cas, le dégagement doit être proscrit, car il risque de favoriser davantage l'insecte au détriment des arbres.

Compte tenu des différences liées à l'impact de la croissance en diamètre et au risque de mortalité, les orientations diffèrent selon qu'il s'agit de plantations ou de peuplements naturels.

Plantations d'épinettes peu défoliées

- Considérant que le dégagement est peu risqué, puisque
 - l'augmentation de la vulnérabilité à court terme est faible étant donné que la majorité du feuillage devrait être constituée d'aiguilles de lumière
 - et que la vulnérabilité des épinettes avant dégagement est relativement faible,
- et considérant que l'absence de dégagement nuit beaucoup à la production de matière ligneuse, car
 - elle engendre une réduction de la croissance en diamètre
 - et que l'impact est amplifié par la forte productivité des plantations et la valeur du bois d'épinette,
- il est recommandé
 - de procéder au dégagement lorsqu'on constate une diminution de la croissance, causée par le manque de lumière dû à la présence d'une végétation concurrente arbustive ou arborescente.

Peuplements principalement régénérés en sapin

- Considérant que le dégagement est risqué, puisque
 - la vulnérabilité des sapins dégagés est élevée,
- et considérant que l'absence de dégagement nuit peu à la production, puisque
 - la réduction de la croissance en diamètre des sapins est plus faible en raison de leur plus grande tolérance à l'ombre,
 - la productivité des peuplements naturels est nettement inférieure à celle des plantations
 - et la valeur du bois de sapin est plus faible que celle du bois d'épinette,
- il est recommandé
 - de procéder au dégagement uniquement lorsque la survie des essences désirées est compromise par la présence d'une végétation concurrente arbustive ou arborescente. Il est suggéré d'intervenir lorsque leur croissance en hauteur a diminué de plus de 50 %.

3.2.3 Peuplements au stade de gaulis

Le stade de gaulis correspond à la période où les essences désirées ont un DHP supérieur à 1 cm, en général lorsque leur hauteur est supérieure à 2 m. À ce stade, les traitements d'éducation possibles sont le dépressage, l'éclaircie précommerciale par puits de lumière, le nettoyage et l'éclaircie précommerciale systématique.

Le **dépressage** se fait idéalement au stade de semis, mais il peut aussi être réalisé au stade de bas gaulis si la surabondance de résineux non différenciés n'a pas été constatée plus tôt.

Peuplements fortement régénérés en sapin et en épinettes

- Considérant que le dépressage n'est pas risqué, puisque
 - la modification du couvert est limitée
 - et qu'un grand nombre de résineux demeure après traitement,
- et considérant que l'absence de traitement entraîne la stagnation de la croissance, à moins que la mortalité partielle due à l'épidémie de la tordeuse des bourgeons de l'épinette produise un effet de dépressage,
- il est recommandé
 - de procéder au dépressage lorsqu'il y a environ 30 000 semis/ha de sapins et d'épinettes sans différenciation sociale. Il est toutefois possible de retarder le dépressage si l'on estime que l'effet de la défoliation causée par la tordeuse des bourgeons de l'épinette va enclencher le processus de différenciation sociale; un suivi serré doit alors être fait. Advenant que le passage de la tordeuse des bourgeons de l'épinette ne provoque pas de différenciation sociale, il faudra faire le traitement.

L'**éclaircie précommerciale par puits de lumière** (EPC par puits de lumière) s'applique aux peuplements régénérés naturellement avec un bon coefficient de distribution de bouleau jaune, sur des sites propices à cette essence. Elle permet la maîtrise de la végétation concurrente uniquement à proximité des arbres d'avenir et modifie peu le couvert.

Peuplements régénérés avec un bon coefficient de distribution de bouleau jaune

- Considérant que
 - la maîtrise de la végétation concurrente est essentielle,
 - que l'EPC par puits de lumière augmente peu la vulnérabilité
 - et que la principale essence à promouvoir est le bouleau jaune,
- il est recommandé
 - de réaliser l'EPC par puits de lumière selon les critères usuels prévus.

Le **nettoiemment** peut être utilisé dans des plantations ou des peuplements naturels. Dans les plantations, le nettoiemment est le seul traitement d'éducation applicable pour maîtriser la végétation concurrente. Il est souvent appelé à tort « éclaircie précommerciale de plantation ». Les orientations pour ce traitement dans les plantations varient selon le type de végétation concurrente.

Plantations d'épinettes non défoliées, dominées par une végétation concurrente arbustive

- Considérant que le nettoiemment est modérément risqué, puisque
 - la vulnérabilité des épinettes est relativement faible, mais que le nettoiemment augmente la vulnérabilité,
- et considérant que l'impact de l'absence de nettoiemment est variable, puisque
 - le bénéfice du traitement dépend de la période de temps requise pour que les essences désirées atteignent la hauteur potentielle de la végétation concurrente,
- il est recommandé
 - d'évaluer la pertinence du nettoiemment en fonction de la réduction de croissance observée et de la durée prévue pour que les essences désirées atteignent la hauteur potentielle de la végétation concurrente.

Plantations d'épinettes dominées par une végétation concurrente arborescente qui occupera plus de 75 % du couvert au cours des prochaines décennies (ce qui est habituellement le cas pour les végétations potentielles MS2, MS1, MJ1 et MJ2)

- Considérant que le nettoiemment est modérément risqué, puisque
 - la vulnérabilité initiale des épinettes est relativement faible, mais que le nettoiemment augmente sa vulnérabilité,
- et considérant que l'absence de nettoiemment compromet la production, puisque
 - les feuillus intolérants domineront le couvert durant des décennies,
- il est recommandé
 - de procéder au nettoiemment selon les critères usuels prévus.

Dans les **peuplements régénérés naturellement où se trouvent des résineux et des feuillus intolérants**, mais aucun feuillu tolérant, deux traitements sont analysés : l'éclaircie précommerciale systématique et le nettoiemment.

L'éclaircie précommerciale systématique (EPC systématique) permet, comme le nettoiemment, de maîtriser la végétation concurrente. Elle est utilisée pour éliminer les résineux en surnombre et créer un espacement régulier entre les tiges afin d'en augmenter la croissance en diamètre. L'éclaircie précommerciale systématique permet d'accélérer le processus naturel d'autoéclaircie. Toutefois, les suivis des éclaircies précommerciales

systématiques réalisées au Québec ont montré des gains de croissance en diamètre de seulement 1 cm après 25 ans. Certains sites ont mieux réagi, mais les connaissances actuelles ne permettent pas de définir les conditions qui mènent à un effet plus intéressant.

Généralement, le **nettoisement** sert uniquement à maîtriser la végétation concurrente sans éliminer les résineux en surnombre. Toutefois, on se questionne sur la pertinence d'éliminer les sapins qui entourent les épinettes noires lors du nettoisement. Des observations faites par les praticiens de la Côte-Nord concernant la défoliation des peuplements au stade gaulis comportant un mélange de sapins et d'épinettes noires indiquent une augmentation proportionnelle de la défoliation sur les deux essences avec l'augmentation de la proportion de sapin. L'augmentation de la défoliation des épinettes noires pourrait s'expliquer par un transfert entre les arbres d'une partie des chenilles au cours de la saison de croissance. En effet, une partie des chenilles qui se laissent pendre à leur fil de soie se trouvent projetées par le vent sur un arbre voisin. Comme mentionné dans la section 1.5.1, le principal mécanisme qui explique la plus forte résistance des épinettes noires est le débourrement plus tardif de leurs bourgeons. Au début de la saison, ce mécanisme entraîne un taux de mortalité important chez les jeunes chenilles qui doivent se nourrir sur de vieilles aiguilles avant l'ouverture des bourgeons. Une fois les bourgeons des épinettes noires ouverts, le nombre de chenilles est plus faible sur les épinettes noires que sur les sapins. Le transfert de chenilles entre les sapins et les épinettes se traduit par une augmentation du nombre de chenilles sur les épinettes noires et une diminution sur les sapins. Malgré ce mécanisme, il est possible que le maintien de l'ensemble des résineux en surnombre procure un effet protecteur plus élevé en répartissant la défoliation sur un plus grand nombre de branches. Il faudrait que le phénomène soit mieux documenté pour pouvoir juger si l'élimination des sapins au pourtour des épinettes est bénéfique et, dans l'affirmative, si le gain de protection justifie le coût de l'élimination des sapins. Ce questionnement ne concerne pas l'épinette blanche, car la diminution du nombre de chenilles sur cette essence est due à son aoûtement plus hâtif, le transfert de chenilles en cours de saison ne devrait donc pas augmenter la vulnérabilité des épinettes blanches. Le maintien des sapins qui entourent les épinettes blanches est recommandé.

Peuplements peu défoliés régénérés naturellement avec un grand nombre de résineux et dominés par des feuillus intolérants arborescents qui occuperont plus de 75 % du couvert au cours des prochaines décennies

- Considérant que la maîtrise des feuillus intolérants est requise
 - pour éviter qu'ils dominent le couvert durant des décennies,
- considérant que l'EPC systématique a de fortes chances d'entraîner une baisse de production en volume par hectare, puisque
 - la vulnérabilité des sapins augmente après l'ouverture du couvert
 - et que l'élimination des résineux en surnombre augmente le risque d'obtenir des espaces de croissance inoccupés advenant une mortalité partielle,
- et considérant que le gain en diamètre à la suite de l'EPC systématique sera trop faible pour justifier la perte de production en volume qui pourrait survenir après le passage de l'insecte,
- il est recommandé
 - d'utiliser uniquement le nettoisement et d'éviter l'EPC systématique jusqu'à la fin de l'épidémie.

3.2.4 Peuplements au stade de prématurité

À ce stade de développement, le principal traitement sylvicole utilisé pour poursuivre l'éducation des peuplements est l'éclaircie commerciale.

L'**éclaircie commerciale** permet la récolte d'une partie des arbres marchands d'une plantation ou d'un peuplement naturel de structure régulière afin de favoriser une augmentation de la croissance en diamètre des arbres conservés. Le traitement permet également de maintenir la vigueur des arbres en évitant que la fermeture du couvert entraîne une trop forte diminution de leur houppier. Afin de minimiser les risques de chablis dans les sapinières et les pessières, l'éclaircie commerciale ne devrait être utilisée que dans les peuplements éduqués, c'est-à-dire dans les peuplements qui sont issus d'une plantation ou qui ont fait l'objet d'une éclaircie précommerciale systématique. On exécute ce traitement à l'intérieur d'une fenêtre d'opérabilité bien précise. En effet, il faut éviter d'intervenir trop tôt pour laisser le temps aux branches situées dans le bas de l'arbre de mourir afin de diminuer la grosseur des nœuds et de produire un bois mature au lieu d'un bois juvénile. Il faut également éviter d'intervenir trop tard, car la faible proportion de houppier des arbres les rendrait inaptes à réagir à l'éclaircie. De plus, le risque de chablis serait trop élevé, le système racinaire ne procurant plus assez d'ancrage. Le taux de prélèvement de l'éclaircie commerciale est relativement faible et les arbres dominants sont peu récoltés. En conséquence, l'augmentation de la lumière sur les arbres éclaircis est modérée. L'augmentation de la vulnérabilité qui en découle devrait donc être plus faible que dans les autres traitements qui modifient le couvert.

Peuplements issus d'une éclaircie précommerciale systématique et dont plus de 40 % de la surface terrière est composée de sapin dans un territoire avec une forte proportion de peuplements vulnérables

- Considérant que l'éclaircie commerciale est risquée, puisque
 - le volume de sapin est trop élevé pour être récolté pendant la première intervention,
 - qu'une mortalité, du moins partielle, du sapin est probable
 - et que cette mortalité, ajoutée au prélèvement de 30 à 35 % de la surface terrière, risque de provoquer un chablis (l'éclaircie commerciale entraîne en effet un prélèvement qui correspond à la limite acceptable pour les sapinières de structure régulière; il n'y a donc pas de marge de manœuvre pour une diminution supplémentaire de la surface terrière causée par une mortalité probable),
- et considérant que l'absence de traitement est peu risquée, puisque
 - le risque d'une diminution excessive du houppier est modéré, étant donné que les arbres issus d'une éclaircie précommerciale systématique ont habituellement une certaine hétérogénéité en hauteur et qu'une mortalité partielle est attendue, la différenciation sociale devrait s'établir d'elle-même,
- il est recommandé
 - de cesser les éclaircies commerciales et d'attendre la fin de l'épidémie avant de recommencer.

Plantations d'épinettes comportant un maximum de 30 % de la surface terrière en sapin et ayant peu de différenciation sociale dans un territoire avec une forte proportion de peuplements vulnérables (Les peuplements qui ont fait l'objet d'EPC systématiques et qui comportent au moins 70 % d'épinettes peuvent être assimilés à ces plantations si leur différenciation sociale est faible.)

- Considérant que l'éclaircie commerciale est peu risquée, puisque
 - la majorité du volume de sapin peut être récolté lors de la première intervention,
 - qu'une mortalité partielle des épinettes est peu probable
 - et que le risque de chablis est faible, les plantations d'épinettes étant plus résistantes au vent que les sapinières (après l'ouverture du couvert créée par le traitement, ces plantations pourraient tolérer une ouverture additionnelle de 5 à 15 % s'il y avait une mortalité partielle),
- et considérant que l'absence de traitement est très risquée, puisque
 - la diminution excessive du houppier est probable, les arbres des plantations ayant habituellement une hauteur très homogène,
- lorsque l'épidémie est imminente ou a débuté,
- il est recommandé
 - d'effectuer les éclaircies commerciales et de récolter les sapins en priorité,
- et lorsque les défoliations répétées ont réduit la masse foliaire à moins de 50 %,
- il est recommandé
 - de suivre l'évolution de la mortalité. Dès qu'on estime que la mortalité dépasse 40 % du couvert, l'ensemble des arbres devrait être récupéré, car les coupes partielles ne sont alors plus possibles. Lorsqu'on estime que la mortalité a cessé et qu'elle est inférieure à 40 % du couvert, on peut procéder à une éclaircie commerciale si la mortalité est faible ou s'inspirer des coupes progressives pour faire la récupération.

3.3 Modulation de la récolte dans les peuplements matures

La modulation de la récolte des peuplements ayant atteint la maturité est plus complexe que celle des traitements d'éducation présentés dans la section précédente. Elle nécessite des analyses approfondies pour encadrer les actions sylvicoles en fonction des objectifs d'aménagement.

Afin de bien structurer cette modulation, les principaux procédés de régénération concernés sont présentés, puis la pertinence de procéder à des coupes progressives est examinée en fonction des objectifs d'aménagement. Une fois ces éléments de base décrits, les grands principes à prendre en compte pour orienter la récolte sont énoncés. Ces derniers permettront de favoriser l'atteinte des objectifs de l'approche de gestion présentés dans le chapitre 2. Finalement, une démarche d'analyse est proposée afin que le respect de ces principes soit adapté au déroulement de l'épidémie.

3.3.1 Procédés de régénération concernés

Les principaux procédés de régénération applicables aux peuplements ayant atteint la maturité et qui comportent des essences vulnérables à la tordeuse des bourgeons de l'épinette appartiennent à la **famille des coupes totales** ou à la **famille des coupes progressives**. La majorité des réflexions portera donc sur les procédés de régénération de ces deux familles. Deux autres procédés de régénération, soit la **coupe avec protection des petites tiges marchandes** (CPPTM) et la **coupe de succession** (CS), seront toutefois succinctement abordés à la fin du chapitre.

Les principaux traitements de la famille des coupes totales sont la coupe avec protection de la régénération et des sols (CPRS) et la coupe avec protection de la haute régénération et des sols (CPHRS).

La famille des coupes progressives est composée de la coupe progressive régulière (CPR), de la coupe progressive irrégulière à régénération lente (CPI-RL) et de la coupe progressive à couvert permanent (CPI-CP). La CPR et la CPI-RL comportent une phase de coupe finale qui implique la récolte de la quasi-totalité des tiges commerciales. La CPR maintient le couvert mature pendant moins de 20 % de la révolution (moins de 20 ans) et la CPI-RL pendant plus de 20 % de la révolution. Quant à la CPI-CP, elle conserve un couvert mature en tout temps.

Plus le couvert mature est maintenu longtemps, plus l'ensemble des bénéfices associés aux coupes progressives sera élevé. La capacité à maintenir le couvert est fonction de la proportion d'essences longévives et de bonne vigueur ainsi que de la complexité de la structure actuelle du peuplement.

3.3.2 Les coupes progressives sont-elles souhaitables et possibles?

Les bénéfices anticipés des coupes progressives concernent l'établissement de la régénération sous couvert, le maintien de conditions microclimatiques, la maîtrise de la végétation concurrente intolérante à l'ombre, l'étalement de la récolte en fonction de la maturité des essences et le maintien de structures complexes pour répondre à des enjeux de biodiversité, de composition en essences ou de paysage. Chacun de ces aspects doit être examiné pour déterminer jusqu'à quel point les coupes progressives sont souhaitables dans un peuplement donné. Dans certains cas, un seul motif peut être suffisant pour qu'elles soient préférables aux coupes totales, alors que dans d'autres cas, c'est l'accumulation des aspects positifs qui finit par dépasser les avantages des coupes totales. Les éléments qui varient en fonction des végétations potentielles sont présentés dans le tableau 12.

Tableau 12 Essences en raréfaction favorisées par les coupes progressives et concurrence pour la lumière des essences à maîtriser dans les végétations potentielles comportant beaucoup de sapins

Caractéristiques de la végétation potentielle	Végétation potentielle						
	RS3	RC3	RS5	RS2	RS1	MS2	MS1-MJ1-MJ2
	Sapinière à épinette noire et à sphaigne	Cédrière tourbeuse à sapin	Sapinière à épinette rouge	Sapinière à épinette noire	Sapinière à thuya	Sapinière à bouleau blanc	Sapinière à bouleau jaune et bétulaie jaune à sapin
Établissement de la régénération naturelle d'essences en raréfaction		Thuya	Épinette rouge		Thuya	Épinette blanche	Épinettes rouge et blanche et bouleau jaune
Conditions de croissance essentielles							Épinette rouge
Concurrence pour la lumière des espèces à maîtriser intolérantes à l'ombre	Inexistante	Inexistante	Faible	Moyenne	Moyenne	Forte	Très forte
Concurrence pour la lumière des espèces à maîtriser semi-tolérantes à l'ombre	Inexistante	Inexistante	Inexistante	Inexistante	Parfois forte	Parfois forte	Souvent forte

L'établissement de la régénération nécessite la présence de lits de germination. Lorsque l'humus est mince, avec une épaisseur de moins de 5 à 10 cm, la récolte en l'absence de neige au sol est suffisante pour créer les lits de germination. Lorsque l'humus est plus épais, un scarifiage sous couvert est requis et l'installation de la régénération peut uniquement compléter la régénération naturelle. En période d'épidémie, des restrictions particulières s'appliquent. Les fleurs, qui se transforment habituellement en cônes contenant les semences, sont la nourriture de prédilection de la tordeuse des bourgeons de l'épinette. Lorsque la défoliation est commencée, on ne peut plus compter sur la présence de semences dans les sapins et les épinettes rouges et blanches. Les cônes semi-sérotineux des épinettes noires peuvent contenir des semences pendant quatre ans, ce qui retarde un peu le phénomène pour cette essence. Pour les essences vulnérables, la prochaine intervention des coupes progressives dépend donc de la présence d'une régénération préétablie. Dans le cas des essences non susceptibles, les coupes progressives sont essentielles pour établir la régénération des essences qui ne peuvent faire l'objet d'un reboisement, comme le bouleau jaune, ou qui sont rarement reboisées, comme le thuya. Habituellement, les forestiers considèrent les coupes progressives souhaitables lorsque le couvert comprend une bonne proportion de bouleau jaune, de thuya ou d'épinette rouge. La proportion minimale du couvert varie entre 25 et 50 % selon le contexte régional. Idéalement, ces peuplements sont traités avec une coupe progressive irrégulière à couvert permanent. Toutefois, si la vigueur, la proportion d'essences longévives ou la complexité de la structure sont insuffisantes, le recours à la coupe progressive régulière ou à la coupe progressive irrégulière à régénération lente peut être nécessaire pour conduire graduellement le peuplement vers un état qui permettra éventuellement de recourir à la coupe progressive irrégulière à couvert permanent.

Les coupes progressives sont nécessaires pour **maintenir les conditions microclimatiques propices à la croissance de l'épinette rouge** dans les sapinières à bouleau jaune ou les bétulaies jaunes à sapin. Toutefois, ce n'est pas indispensable dans la sapinière à épinette rouge (RS5), car les épinettes rouges établies dans ces stations sont hybridées avec des épinettes noires et peuvent résister aux coupes totales. Le recours aux coupes progressives dans la sapinière à épinette rouge imite toutefois mieux la dynamique naturelle.

Les coupes progressives permettent de **maintenir des conditions d'humidité qui favorisent la survie de la basse régénération**. Lorsque les semis ont moins de 30 cm, plus ils sont petits et clairsemés, plus il est risqué de procéder à des coupes totales.

La maîtrise de la végétation concurrente intolérante à l'ombre est un des principaux motifs d'utilisation des coupes progressives lorsqu'on ne désire pas faire d'éclaircie précommerciale systématique et qu'on veut réduire l'utilisation du nettoyage. L'intensité de la concurrence des espèces intolérantes à l'ombre est généralement proportionnelle à la fertilité de la station et l'intérêt d'utiliser ces coupes pour contrôler la végétation concurrente devrait croître avec l'augmentation de la fertilité. Toutefois, sur les stations les plus fertiles, on trouve aussi des espèces à maîtriser qui sont semi-tolérantes ou tolérantes à l'ombre, comme l'érable à épis, la viorne bois-d'original, le noisetier à long bec, l'érable de Pennsylvanie et l'érable rouge. Les coupes progressives engendrent des conditions de lumière qui sont optimales pour ces espèces. Dans certains cas, des dégagements sous couvert pourraient être requis pour rabattre ces espèces, ce qui réduit l'intérêt économique de ce type de coupe lorsque la maîtrise de la végétation concurrente est la seule motivation. Pour évaluer la probabilité d'avoir à réaliser un dégagement sous couvert, on doit prendre en compte la vigueur de ces espèces sur la station, leur densité et la hauteur des espèces arbustives, comme l'érable à épis, dans le peuplement au moment de la coupe.

Néanmoins, il peut s'avérer moins dispendieux de maîtriser la végétation concurrente en maintenant l'ombrage au moyen de coupes progressives par rapport à un scénario de coupe totale suivi de traitements de dégagement et de nettoyage. La capacité de protéger la haute régénération au moment de la récolte finale est essentielle pour pouvoir en bénéficier. Or la récolte mécanisée des feuillus est souvent problématique en raison de la largeur de leur houppier et peut compromettre l'atteinte de cet objectif. Lorsque la régénération désirée est préétablie, il est possible d'utiliser l'ombrage de tout type de couvert. Toutefois, en situation d'épidémie, si la maîtrise de la végétation concurrente est la seule motivation, il est peu probable que les coupes progressives soient retenues lorsque le couvert comporte trop de sapin pour qu'elles puissent être appliquées en début d'épidémie.

L'étalement de la récolte en fonction de la maturité des essences peut être un des objectifs. Par exemple, dans un peuplement mixte composé de peuplier et de sapin, le peuplier peut arriver à maturité avant le sapin et sa récolte est habituellement faite à la première intervention. Dans le contexte de l'épidémie, c'est le sapin qu'il faudrait récolter en premier. L'arrivée de l'épidémie compromet donc parfois la capacité d'atteindre cet objectif.

Le maintien d'une structure de vieille forêt est un objectif que seules les coupes progressives permettent de réaliser tout en procédant à la récolte. Cet objectif est envisageable même si le couvert est dominé par le sapin. La coupe progressive doit alors être reportée après l'épidémie et on doit surveiller l'évolution de la mortalité afin de procéder à une coupe totale si la situation l'exige. Les vieilles forêts ne sont pas composées uniquement de vieux arbres, il s'agit de peuplements qui ont une structure irrégulière, ce qui rend possible un taux de prélèvement plus élevé sans risque excessif de chablis lorsqu'une coupe partielle de récupération est

nécessaire. De plus, lorsque la structure comporte plus de deux étages, plusieurs arbres ont une forte proportion de houppier ce qui les rend moins vulnérables.

Le maintien du paysage est aussi un objectif qui peut inciter les aménagistes à favoriser les coupes progressives. Dans certains cas, les coupes totales peuvent même être proscrites.

Même lorsqu'on souhaite faire des coupes progressives, cela peut s'avérer impossible. Le recours aux coupes totales devient alors la seule option pour effectuer la récolte. En effet, une trop forte proportion de carie ou un mauvais enracinement peut rendre le **risque de chablis** inacceptable. De même, lorsque le peuplement est juxtaposé à de grandes ouvertures non boisées, son exposition au vent pourrait être trop élevée, surtout si la structure du peuplement est régulière. Il est tout de même possible de faire une coupe progressive si on maintient une bande non traitée en bordure du peuplement. La largeur requise de cette bande dépend des conditions locales. Le **degré de fermeture du couvert** est également important. Si la projection au sol des houppiers n'est pas d'au moins 60 % avant la coupe dans les peuplements réguliers ou de 40 % dans les peuplements irréguliers, il sera difficile de maintenir suffisamment d'ombrage au sol pour maîtriser la végétation concurrente intolérante à l'ombre. Finalement, la **capacité de revenir dans le peuplement** pour procéder à d'autres interventions est essentielle.



3.3.3 Principes orientant la récolte

Trois principes guident les aménagistes et les sylviculteurs dans le choix des peuplements à récolter et des procédés de régénération à utiliser pendant l'épidémie. Ceux-ci viennent appuyer l'atteinte des objectifs de l'approche de gestion qui vise à minimiser les pertes de volumes, mais également à maximiser le rendement à moyen et long terme des forêts et à maintenir les cibles de structure d'âge en favorisant le maintien des arbres et des peuplements les plus persistants.

- 1) *Pour diminuer les pertes en volume de bois, il faut diriger la récolte sur les arbres qui ont la plus forte probabilité de mourir.*

Les sources d'information qui servent à orienter la récolte varient selon le déroulement de l'épidémie. Lors de la phase de préépidémie, on utilise la vulnérabilité des peuplements et leur persistance probable pour orienter la récolte (voir les sections 2.2.1 et 2.2.2). Lorsque la défoliation débute, lors de la phase sans mortalité de l'épidémie, on tient compte de cette défoliation dans les peuplements où elle excède 50 %. Lorsque la mortalité débute, c'est son intensité qui guide les choix (voir la section 2.3.5).

Dans les chapitres précédents, il a été démontré que ce ne sont pas tous les peuplements qui seront réinitialisés par l'épidémie. Il est donc préférable que la récolte de certains peuplements persistants, comme les pessières, les mélézins, les pinèdes grises et les peuplements de haute altitude, soit reportée après l'épidémie. De plus, parmi les peuplements comportant une forte proportion de sapin, certains seront touchés par une mortalité partielle et d'autres pourraient être épargnés. Il serait donc inapproprié de traiter rapidement tous les peuplements comprenant du sapin avec des coupes totales, car cela signifierait renoncer à plusieurs objectifs sylvicoles et écologiques que les coupes progressives permettent d'atteindre.

- 2) *La proportion de sapin dans le peuplement détermine la période de l'épidémie durant laquelle il faut procéder à des coupes progressives.*

Lorsque la proportion de sapin est suffisamment faible pour que celui-ci soit presque totalement prélevé dès la première intervention, il est avantageux de réaliser les coupes progressives lors de la phase de préépidémie ou au début de l'épidémie. Dans les peuplements ayant une plus forte proportion de sapin, on ne peut faire de coupes progressives à ce stade de l'épidémie, car le risque de chablis est alors trop élevé. Une mortalité partielle des sapins résiduels, ajoutée au prélèvement, entraînerait une trop grande ouverture du couvert. Les coupes progressives dans ces peuplements devront donc être reportées à la fin de l'épidémie. De plus, il faudra suivre l'évolution de la défoliation totale et de la mortalité effective de près dans ces peuplements, car une mortalité de plus de 40 % du couvert compromet la possibilité de réaliser ce type de traitement. Plus on souhaite réaliser une coupe progressive, plus les informations montrant son impossibilité devront être fiables. En revanche, plus la décision de procéder à une coupe totale sera prise rapidement, moins il y aura de pertes de volume et de qualité.

Il existe toutefois une exception au report des coupes progressives après l'épidémie lorsque la proportion de sapin est trop grande. Si le maintien du couvert pendant seulement une courte période est acceptable, il est possible de réaliser une première intervention pendant que le peuplement est peu défolié ou qu'il ne l'est pas encore, et de procéder à la coupe finale dès que la défoliation totale devient trop élevée. Cette courte période pourrait servir dans le cas de peuplements avec une régénération préétablie très basse (inférieure à 30 cm) et clairsemée.

Dans ce cas, la coupe progressive régulière viserait principalement à maintenir des conditions adéquates d'humidité jusqu'à ce que les semis soient mieux développés et moins vulnérables à la sécheresse lors de l'ouverture complète du couvert.

- 3) *La marge de manœuvre par rapport aux cibles de structure d'âge oriente la répartition des coupes totales en début d'épidémie dans les peuplements à faible persistance probable et doit être considérée dans la hiérarchisation des chantiers de récupération.*

En effet, comme nous l'avons décrit dans la section 2.2.2 du précédent chapitre, des cibles de structure d'âge ont été intégrées dans les PAFIT pour toutes les unités d'aménagement et celles-ci doivent être analysées en tenant compte de l'effet anticipé de l'épidémie à l'aide de la typologie de la persistance probable. L'évaluation de la marge de manœuvre dans chacune des unités territoriales permettra d'orienter la répartition des coupes totales de manière à atteindre les cibles relatives aux vieux peuplements. Cette marge de manœuvre influencera la pertinence de procéder à des coupes totales préventives, avant l'apparition de la défoliation ou de la mortalité, dans les peuplements les moins persistants de certaines unités territoriales. En effet, plus la marge est faible, plus il est souhaitable d'attendre que la probabilité de mortalité se confirme avant d'intervenir avec des coupes totales.

3.3.4 Démarche proposée pour l'ordonnancement des coupes progressives et totales en fonction du déroulement de l'épidémie

Une démarche d'analyse est proposée afin de respecter les principes évoqués dans la section précédente pour moduler la planification et la réalisation des coupes totales et progressives en fonction du déroulement de l'épidémie. Elle débute par la réalisation d'analyses préliminaires qui serviront d'intrants pour orienter la délimitation des zones d'interventions potentielles (ZIP) et la validation des coupes progressives tout au long de l'épidémie.

3.3.4.1 Analyses préliminaires

Établissement de la persistance probable

À l'aide de l'outil géomatique fourni, il s'agit de classer les peuplements en fonction de la typologie de la persistance probable présentée à la section 2.2.2. Cette classification automatisée s'applique à la cartographie décennale utilisée pour établir les stratégies d'aménagement. Elle pourrait également être transposée aux photos-interprétations plus fines qui sont utilisées pour préparer les prescriptions sylvicoles, mais cela nécessiterait un traitement informatique.

La typologie de la persistance probable, présentée au tableau 8 de la section 2.2.2.1, a été transposée en schéma de composition afin de faciliter sa prise en compte dans la démarche d'analyse qui suit (tableau 13).

Tableau 13 Schéma de la composition liée à la typologie de la persistance probable

Type de peuplements	Schématisation de la composition ^a	Proportion de sapin dans le couvert ^b
Type A – Peuplements persistants et peu touchés par l'épidémie		< 25 % sauf les sapinières de haute altitude
Type B – Peuplements persistants, mais parfois touchés par l'épidémie		De 25 à 50 %
Type C – Peuplements persistants, parfois touchés par l'épidémie, mais peu longévifs	1	< 25 % et végétations potentielles non propices au sapin
	2	< 25 % et végétations potentielles propices au sapin
	3	De 25 à 50 %
Type D – Peuplements à persistance variable touchés par l'épidémie		De 50 à 75 %
Type E – Peuplements peu persistants touchés par l'épidémie		> 75 %

a. Les lettres indiquent les essences qui composent le couvert : L = essences longévives; N = essences non longévives; S = sapin; ? = essences longévives, non longévives ou sapin.

b. Les végétations potentielles où le sapin n'est pas une essence qui oriente le choix du procédé de régénération sont les suivantes : FC1, FE1, FE2, FE3, FE4, FE5, FE6, FO1, ME1, RB1, RB2, RE1, RE2, RE3, RE4, RE7 et RP1.

Évaluation de la marge de manœuvre par unité territoriale pour atteindre les cibles de structure d'âge¹

L'évaluation de la marge de manœuvre permet, d'une part, d'évaluer le réalisme des cibles en fonction de l'effet probable de l'épidémie et, d'autre part, de spatialiser les priorités de récolte préventive sous forme de coupe totale en fonction des cibles de vieux peuplements qui ont été déterminées dans le PAFIT. Elle peut également servir d'intrant à la détermination de priorités d'arrosage en ce qui a trait aux aires admissibles à la lutte directe.

1. Un jeu d'outils géomatiques ainsi qu'un fichier d'analyse Excel ont été mis au point afin que les aménagistes puissent calculer les marges de manœuvre de chacune des unités territoriales en fonction de la persistance probable des peuplements à partir des livrables cartographiques fournis par le Bureau du forestier en chef.

Voici les étapes à suivre pour évaluer la marge de manœuvre de chacune des unités territoriales par rapport aux cibles de structure d'âge à l'aide de la persistance probable des peuplements :

- *Détermination de la cible de vieilles forêts envisagée une fois l'épidémie terminée (colonne b).*

Il s'agit de déterminer les cibles de vieilles forêts que l'on souhaite atteindre pour chaque unité territoriale en 2033 dans la stratégie actuelle d'aménagement. Celles-ci ont été déterminées en fonction de l'état actuel de la structure d'âge et tiennent compte des délais de restauration prévus pour atteindre la cible ministérielle.

- *Établissement d'un scénario pessimiste où la totalité des peuplements de types D et E (recrues proches et vieux actuels) serait réinitialisée (colonne j), mais où les recrues proches de types A, B et C seraient maintenues (colonne i).*

Les peuplements de types E sont ceux qui ont la plus forte probabilité d'être gravement touchés par une épidémie de forte intensité. Il est donc plausible qu'une très forte proportion de ces peuplements soit réinitialisée. Les peuplements de type D sont ceux pour lesquels on s'attend à une mortalité partielle, mais relativement élevée (entre 50 et 75 %). Il est donc utile de chercher à savoir quel serait l'effet d'un scénario où la totalité de ces peuplements serait réinitialisée. Puisque, selon les connaissances actuelles, les recrues proches et les vieux peuplements dominés par le sapin ont une vulnérabilité similaire, ce scénario s'applique aux deux classes de peuplements. Par contre, les peuplements de types A, B et C, ne sont pas sujets à être réinitialisés par l'épidémie. Le scénario considère que les vieux peuplements seront maintenus et que les peuplements proches du stade vieux seront recrutés.

Comme mentionné dans la section 2.2.2, il est recommandé de faire un diagnostic distinct des territoires exclus des actions sylvicoles, mais suivis au calcul des possibilités forestières (EXIN), et des territoires inclus dans les actions (INC) afin de pouvoir évaluer leur rôle respectif dans l'atteinte des cibles. Il est également important de rappeler que les territoires exclus des actions sylvicoles ne feront pas l'objet d'arrosage dans le cadre du programme de lutte directe.

- *Établissement d'une hypothèse de peuplements D et E qui seront préservés par la lutte directe.*

Une proportion significative de peuplements de types D et E est incluse dans les aires admissibles à la lutte directe. Si des arrosages ont lieu durant plusieurs années consécutives, la majorité de ces peuplements vont survivre à l'épidémie et pourront être récoltés plus tard. Il faut donc retrancher des pertes anticipées, les peuplements qui sont ou seront arrosés dans le cadre du programme de lutte. À l'échelle d'une unité d'aménagement, il est suggéré de considérer comme scénario de départ qu'une proportion de 80 % des aires admissibles soit traitée. Il est toutefois conseillé de faire également un scénario sans pulvérisations d'insecticide, car celui-ci peut aider à prioriser des secteurs d'arrosage afin de favoriser la synergie entre les objectifs de l'approche de gestion.

- *Calcul de la proportion de peuplements D et E qui peut être réinitialisée sans porter atteinte à la cible de l'unité territoriale (colonnes k et l).*

En évaluant l'écart par rapport à la cible initiale à l'aide du scénario pessimiste et en tenant compte ou non de l'effet des arrosages, on peut déterminer la marge de manœuvre de chacune des unités territoriales pour maintenir l'atteinte de la cible. Il s'agit alors d'établir la proportion de peuplements D et E qui peut être réinitialisée par rapport à leur disponibilité à l'échelle de l'unité territoriale.

Le tableau 14 présente un exemple théorique de marge de manœuvre pour quatre unités territoriales, afin d'illustrer les différents cas qui peuvent survenir dans une unité d'aménagement.

Tableau 14 Évaluation de la marge de manœuvre par rapport aux cibles de vieux peuplements par unité territoriale (UT) advenant une épidémie grave

UT	Vieux actuels (%)	Proportion minimale visée dans 20 ans (%)	Territoire exclu (EXIN)			Territoire inclus (INC) ^a				Total		
			Recrues proches A, B et C (%)	Vieux D et E (%)	Marge (%)	Recrues proches A, B et C (%)	Vieux D et E (%)	Marge (%)	Recrues proches D et E (%)	Écart à la cible selon un scénario pessimiste (%)	Peuplements D et E pouvant être réinitialisés tout en atteignant la cible (%)	Marge pour la coupe totale (ha)
	a	b	c	d	e = c - d	f	g	h = f - g	i	j = (a - b) + (e + h)	k = j ÷ (g + i)	l = k x superficie de l'UT
1	44	37	6	0	6	10	2	8	11	21	105	3 000
2	25	25	4	1	3	18	8	10	21	13	56	1 000
3	24	25	3	6	-2	12	8	4	14	0	11	600
4	11	25	0	5	-4	1	4	-3	15	-21	-103	-3 000

a. On devrait ajouter à la **colonne h** la proportion de recrues proches et de vieux peuplements qui est incluse dans les aires admissibles à la lutte directe dont l'arrosage est entamé ou escompté.

Selon les résultats présentés dans le tableau 14, on constate ceci :

UT 1 : La marge de manœuvre est supérieure à la quantité de peuplements à faible persistance. La récolte préventive de ces peuplements ne risque pas de nuire à l'atteinte des cibles, elle peut donc y être entamée en priorité avant l'apparition de la défoliation et au début de celle-ci.

UT 2 : La marge de manœuvre représente un peu plus de la moitié des peuplements à faible persistance disponible pour la récolte. Une proportion de ces peuplements peut être réinitialisée sans porter atteinte à la cible, la récolte préventive peut être déployée progressivement, mais le suivi serré de la défoliation devra guider les interventions pour éviter de récolter des peuplements vulnérables qui pourraient survivre.

UT 3 : La marge de manœuvre représente une petite proportion des peuplements à faible persistance. Cette unité territoriale ne devrait pas être priorisée pour la récolte préventive, la récolte devrait être entamée lorsque le niveau de défoliation totale indiquera une mortalité probable imminente.

UT 4 : Cette unité territoriale n'a pas de marge de manœuvre pour la réinitialisation de peuplements à faible persistance. Dans la mesure du possible, il ne devrait pas y avoir de récolte préventive dictée par la vulnérabilité et la récolte pourrait être entamée lorsque le niveau de défoliation indiquera une mortalité probable imminente.

En posant un diagnostic sur l'ensemble des unités territoriales et en comparant leur état relatif en plus de considérer les données disponibles à l'échelle régionale (accès routier, coûts d'opération, état des marchés, gravité de la défoliation, risque de perte en volume à court terme, etc.), l'aménagiste pourra prioriser les secteurs de récolte en début d'épidémie et réviser les options au fur et à mesure que celle-ci évolue (lorsque le niveau de défoliation totale permet de mieux anticiper la mortalité de certains peuplements).

Sélection des peuplements où les coupes progressives sont souhaitables

Cette étape consiste à procéder à des analyses cartographiques pour déterminer les peuplements où les coupes progressives sont souhaitables et possibles. Dans un premier temps, nous aborderons ce qu'il faut faire pour sélectionner les peuplements où les coupes sont souhaitables, puis nous décrirons comment éliminer les peuplements où elles sont impossibles. Quatre thématiques devront être analysées pour y arriver. Notons d'entrée de jeu que le choix des coupes progressives souhaitables et possibles à l'aide de critères cartographiques a ses limites et une validation à l'aide de photographies aériennes et de visite terrain sera éventuellement requise. Toutefois, ce type de validation demande beaucoup d'efforts et il n'est pas pertinent d'aller à ce niveau de précision immédiatement.

La première thématique à analyser est celle des vieilles forêts. Celles-ci doivent être localisées de façon plus précise, notamment à l'aide de critères cartographiques tels que la structure, l'âge et la densité. À cette étape, il est recommandé de chercher les peuplements matures qui ont une structure irrégulière¹. On considère habituellement les peuplements dont la classe d'âge cartographique correspond à des peuplements étagés ou qui sont classés « VIN » ou « VIR ». De même, les peuplements qui appartiennent à la classe d'âge 120 ans et qui sont de densité C ou D possèdent souvent un sous couvert de gaules et de petites tiges marchandes. Les autres peuplements matures dont la classe de densité est C ou D et dont l'ouverture du couvert remonte à plusieurs décennies, par exemple lors de la dernière épidémie de la tordeuse des bourgeons de l'épinette, sont également susceptibles d'avoir une structure irrégulière. Il est à noter que les peuplements de densité D ne sont pas propices à la réalisation de coupes progressives et il faudra les distinguer lorsqu'on utilisera ce thème dans la cartographie. En effet, pour maintenir le statut actuel de vieille forêt dans les peuplements de densité D, il faut les exclure de la récolte. Lorsqu'on récolte ces peuplements, le délai pour regagner le statut de vieille forêt sera plus court si les hautes gaules ont été protégées.

La deuxième thématique est celle des coupes progressives souhaitables pour promouvoir des essences en raréfaction telles que le bouleau jaune, l'épinette rouge ou le thuya. Il faut généralement sélectionner les peuplements qui comportent ces essences dans le groupement d'essences et qui ont une classe de densité suffisante pour être traités en coupes progressives.

¹. Il n'est pas toujours aisé de reconnaître les vieilles forêts actuelles étant donné la grande variabilité des cas qui peuvent être rencontrés. Cette problématique sera abordée par le MFFP afin d'évaluer la possibilité de définir des critères opérationnels plus précis pour définir les vieilles forêts tout en considérant l'historique de perturbation lorsqu'il est disponible.

La troisième thématique est liée aux enjeux de paysage, et il s'agit de localiser les peuplements où les coupes totales sont proscrites en vertu d'ententes ou de mesures d'harmonisation.

La quatrième thématique porte sur les coupes progressives régulières souhaitables pour maîtriser la végétation concurrente intolérante à l'ombre. Ce sont les peuplements dominés par des essences intolérantes (type de persistance C) sur des stations ciblées qui seront habituellement retenus. Il faut que la protection de la haute régénération soit considérée comme possible lors de la coupe finale des feuillus. De plus, la classe de densité du couvert devrait être A ou B pour maintenir suffisamment d'ombrage après l'intervention.

Une fois ces quatre thématiques analysées, on doit éliminer les superficies où les contraintes d'accessibilité ou la trop grande dispersion des peuplements propices rendent les coupes progressives impossibles.

3.3.4.2 Localisation des ZIP et validation des coupes progressives souhaitables

En fonction des analyses mentionnées dans la section précédente, une démarche est proposée pour chacune des phases de l'épidémie telles qu'elles sont présentées à la section 1.6 du chapitre 1. Le tableau 15 résume l'essence de la démarche et une version plus détaillée, qui tient compte de la persistance probable des peuplements, est présentée à l'annexe E.

Tableau 15 Ordonnancement de la récolte en fonction du déroulement de l'épidémie

Familles de coupes souhaitées	ENDÉMIE	ÉPIDÉMIE (Échelle du peuplement)			ENDÉMIE	
	Phase de préépidémie	Phase sans mortalité		Phase avec mortalité	Phase de post-épidémie	Phase stable
	Défoliation annuelle faible	< 50 % de défoliation totale	> 50 % de défoliation totale	Défoliation variable selon les arbres	Reprise progressive des survivants	Aucune défoliation
Coupes progressives	Faire les coupes progressives dans les peuplements où la proportion de sapin est modérée (types B et C).		Attendre l'évolution de l'épidémie. Si la mortalité anticipée excède 40 %, procéder à une coupe totale de récupération.		Faire les coupes partielles de récupération.	Reprendre les coupes progressives dans les peuplements non touchés.
Coupes totales (coupes progressives non souhaitables ou impossibles)	Dans les unités territoriales prioritaires, faire les coupes totales dans les peuplements à faible persistance (types D et E).		Faire les coupes totales dans les peuplements les plus défoliés.	Faire les coupes totales de récupération dans les peuplements les plus touchés.	Terminer la récupération en utilisant au besoin des coupes partielles pour diminuer le flux de résineux.	Reprendre les coupes totales dans les pinèdes grises, mélèzins, pessières et peuplement en haute altitude (type A).

Phase de préépidémie et début de la phase sans mortalité (la majorité des arbres ont une défoliation totale inférieure à 50 %)

Détermination des ZIP

L'évaluation des marges de manœuvre pour atteindre les cibles de vieilles forêts permet de répartir les coupes totales préventives entre les unités territoriales. Pour localiser les ZIP à l'intérieur de chaque unité territoriale, il faut considérer :

- les peuplements ayant de 25 à 50 % de sapin et dans lesquels on souhaite faire des coupes progressives en début d'épidémie (types B et C3);
- les peuplements ayant plus de 50 % de sapin et dans lesquels on ne souhaite pas faire de coupes progressives et qui feront plutôt l'objet de coupes totales (types D et E);
- les peuplements ayant plus de 50 % de sapin et dans lesquels on souhaite faire des coupes progressives après l'épidémie (types D et E).

En plus des autres contraintes habituelles, la délimitation des ZIP devrait viser à maximiser la proportion des deux premiers groupes de peuplements et à minimiser la proportion du dernier groupe. Elle doit également tenir compte de la cartographie des aires admissibles à la lutte directe pour s'assurer de ne pas inclure de récolte dans les zones qui bénéficieront d'arrosage.

Validation des coupes progressives souhaitables

Parmi les coupes progressives souhaitables et possibles selon l'analyse cartographique, il faut valider celles qui devraient être faites immédiatement, car la proportion de sapin est faible (types B et C), et celles qui seraient normalement reportées (types D et E). La figure 22 résume cette démarche.

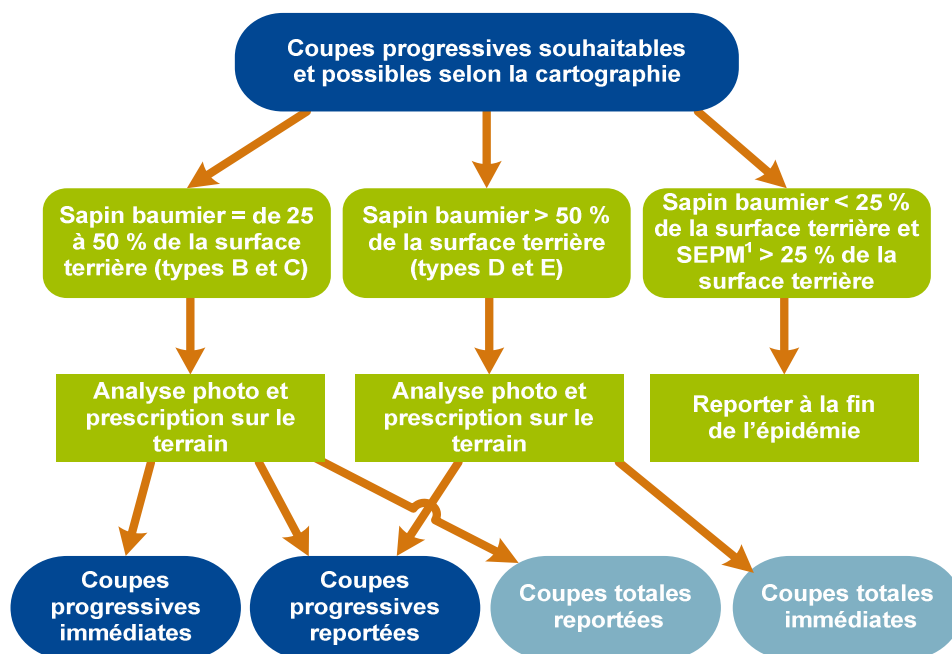


Figure 22 Validation des coupes progressives souhaitables

Phase sans mortalité (la majorité des arbres ont une défoliation totale supérieure à 50 %)

Détermination des ZIP

À la suite de quelques années de défoliation grave, lorsqu'une proportion significative des arbres atteint un niveau de défoliation totale supérieur à 50 %, le risque de mortalité à court terme augmente considérablement et la priorisation de la récolte devrait être établie sur cette base. Les superficies et le volume touchés selon les classes de vulnérabilité et les années de défoliation seront localisés et estimés annuellement à l'aide des outils de suivi présentés à la section 2.3. D'autres outils, présentement en développement, permettront d'optimiser la sélection et l'allocation des bois provenant des peuplements touchés (voir l'encadré à la page suivante). La prise en compte des coupes progressives souhaitables demeure pertinente dans la délimitation des ZIP.

Validation des coupes progressives souhaitables

La démarche de validation décrite dans la phase précédente continue de s'appliquer.

Phase avec mortalité

Détermination des ZIP

Dans cette phase, la récolte est faite principalement sous forme de coupe totale de récupération, conformément à la planification usuelle ou sous forme de plan spécial d'aménagement, dans les peuplements où la mortalité débute et où l'on anticipe des pertes majeures en volume. Il faut alors se référer au chapitre 4 du présent guide pour les recommandations sur les modalités de récolte. L'analyse de la marge de manœuvre au sujet des cibles de structure d'âge doit être considérée dans la hiérarchisation des secteurs potentiels.

Validation des coupes progressives souhaitables

La prise en compte des coupes progressives souhaitables demeure pertinente. Dans le cas de celles qui ont été reportées compte tenu de leur forte proportion de sapin, un suivi de la mortalité effective doit être réalisé. Lorsqu'on anticipe que la mortalité va excéder 40 % du couvert, l'objectif qui est d'effectuer une coupe progressive doit être abandonné et une coupe totale doit être effectuée.

Phase de post-épidémie

Détermination des ZIP

La priorité est de compléter la récupération des peuplements touchés qui ont suffisamment d'arbres encore aptes à être transformés. La présence de mortalité guide le choix des secteurs de récolte.

Validation des coupes progressives souhaitables

La récupération peut être complétée en fonction du niveau de défoliation totale des peuplements. Si la proportion de tiges mortes le permet, la récolte partielle de récupération représente une occasion d'atteindre les cibles de vieilles forêts et de diminuer le flux de bois

résineux. Tout en tenant compte de l'état des secteurs concernés, il faut porter une attention particulière à la présence de peuplements qui jouent les rôles écologiques de vieilles forêts. En fonction de la situation de l'unité territoriale et de l'état des marchés, ces peuplements peuvent être maintenus tels quels, particulièrement s'ils ont conservé ou acquis les caractéristiques de vieilles forêts.

Phase stable

Les coupes totales dans les peuplements persistants (type A) peuvent reprendre. Les cibles de structure d'âge doivent être réévaluées. Si elles ne sont pas atteintes, l'augmentation des coupes progressives dans ces peuplements peut empêcher d'aggraver la situation. Cette réévaluation définira la démarche à suivre pour la détermination des ZIP et le processus d'élaboration des prescriptions sylvicoles.

Développements en cours

En collaboration avec FPIInnovations, le MFFP développe présentement des outils d'aide à la décision qui permettront d'estimer les volumes disponibles pour la transformation qui répondent aux critères de qualité des différents utilisateurs dans les régions touchées par l'épidémie de la tordeuse des bourgeons de l'épinette. Ce travail permet notamment d'intégrer une multitude de connaissances afin de prévoir l'évolution de la détérioration des arbres et les conséquences sur la valeur nette des bois récoltés. Les outils seront utiles pour sélectionner et allouer les bois en tenant compte à la fois des objectifs du MFFP et de critères opérationnels. Ils permettront aussi aux équipes du MFFP responsables de la planification forestière d'élaborer différents scénarios d'approvisionnement. Elles seront ainsi en mesure de prendre les meilleures décisions pour assurer une récupération optimale des bois et en maximiser la transformation dans un contexte épidémique.

Les outils d'aide à la décision en développement sont compatibles avec ceux déjà utilisés par le MFFP dans la planification stratégique et opérationnelle (par exemple, FPIInterface et outil de sélection des chantiers et de destination des bois). Les résultats contribueront aussi à la démarche de modulation proposée dans le cadre des stratégies d'aménagement régionales.

3.3.5 Coupe avec protection des petites tiges marchandes et coupe de succession

La présence d'une régénération sous couvert, comportant une quantité importante de gaules et de petites tiges marchandes résineuses, permet d'utiliser des coupes partielles où la quasi-totalité du volume marchand est prélevée. Lorsque le couvert comporte des résineux, on opte pour une coupe avec protection des petites tiges marchandes (CPPTM). Si le couvert est constitué uniquement de feuillus intolérants, c'est alors la coupe de succession (CS) qui est appropriée. Dans le cas de la CPPTM, l'exclusion de la récolte des petites tiges marchandes résineuses nécessite l'évaluation de leur probabilité de survie. Si elles sont déjà fortement défoliées, elles ne devraient pas être exclues de la récolte. Le traitement approprié serait plutôt une coupe avec protection de la haute régénération et des sols (CPHRS). Cette évaluation n'est

pas requise avec la coupe de succession, puisque les petites tiges marchandes résineuses sont toujours exclues de la récolte. En effet, étant donné qu'il n'y a pas de récolte de résineux dans le couvert, la récolte des petites tiges marchandes résineuses n'est pas rentable.

La récolte de la quasi-totalité du volume marchand à l'aide de ces deux traitements modifie beaucoup le couvert et augmente substantiellement la vulnérabilité des arbres conservés. Il est préférable, lorsque c'est possible, de reporter la récolte jusqu'à ce que l'épidémie soit terminée. Les coupes progressives peuvent également être envisagées pour ouvrir graduellement le couvert. Par exemple, la coupe progressive régulière par bande pourrait être évaluée. La largeur de la bande correspondrait environ à une hauteur d'arbre et pourrait être orientée en fonction de l'exposition au soleil.



CHAPITRE 4

Recommandations pour la planification et la réalisation des chantiers de récupération

Dans la section précédente, nous avons vu que les aménagistes auront à décider de procéder à des récoltes associées aux perturbations naturelles lorsqu'une proportion significative de peuplements entrera dans la phase avec mortalité (voir la section 1.9). Dans de telles circonstances, ils auront à préparer un plan spécial d'aménagement conformément à l'article 60 de la Loi sur l'aménagement durable du territoire forestier, en tenant compte du cadre de gestion des plans spéciaux d'aménagement préparé annuellement par le Secteur des opérations régionales du MFFP. Le présent chapitre propose des modalités de réalisation des chantiers de récupération, selon un plan spécial d'aménagement basé sur les quatre objectifs de l'approche de gestion pendant une épidémie de la tordeuse des bourgeons de l'épinette (voir la section 2.1).

La démarche pour localiser les secteurs qui feront l'objet du plan spécial de même que les modalités qui devront être appliquées à l'échelle du paysage et de chaque chantier de récupération sont décrites dans les sections suivantes. Puisque les modalités sur la répartition des interventions dans les domaines bioclimatiques de la sapinière sont en cours de développement, celles qui sont recommandées dans le présent document s'en inspirent de façon générale (voir l'encadré à la page suivante). Leur application fera toutefois en sorte que les plans spéciaux s'intégreront adéquatement dans le nouveau modèle d'organisation spatiale des forêts actuellement en développement pour la sapinière.

Ce contexte particulier aux épidémies de la tordeuse des bourgeons de l'épinette exige une approche structurée pour délimiter les territoires qui peuvent être intégrés à un plan spécial.



Travaux en cours pour le développement d'un nouveau mode d'organisation spatiale des forêts dans les domaines bioclimatiques de la sapinière

Le MFFP travaille actuellement au développement d'un nouveau mode d'organisation spatiale des forêts pour remplacer l'approche de coupe en mosaïque (CMO-CPRS) dans les domaines bioclimatiques de la sapinière. Les travaux ont pour but de développer des orientations d'aménagement mieux adaptées à l'écologie de ces écosystèmes. On constate actuellement que la répartition des interventions associées à la coupe en mosaïque ne permet pas de reproduire tous les attributs spatiaux des paysages naturels. Il est maintenant reconnu que l'organisation spatiale des peuplements forestiers est grandement influencée par le régime des perturbations naturelles. Par conséquent, dans un contexte d'aménagement écosystémique, la répartition spatiale et temporelle des interventions forestières devrait s'inspirer des perturbations naturelles propres à chaque type d'écosystème afin d'en maintenir la biodiversité et d'en respecter les processus écologiques. Ainsi, les travaux s'inspirent du modèle de paysage résultant du régime des perturbations naturelles propre à chacun des sous-domaines bioclimatiques de la sapinière. Ils visent à développer une approche intégrant à la fois les enjeux écologiques, économiques et sociaux.

Grandes lignes du nouveau modèle d'organisation spatiale des forêts

Le modèle écosystémique d'organisation spatiale des forêts dans la sapinière doit permettre de réduire les écarts entre la forêt naturelle et la forêt aménagée. Le régime des perturbations naturelles a une influence déterminante sur la matrice forestière. Dans le domaine bioclimatique de la pessière à mousses, le feu est une perturbation fréquente qui influence grandement le paysage. Toutefois, dans les domaines bioclimatiques de la sapinière, les épidémies d'insectes, particulièrement celles de la tordeuse des bourgeons de l'épinette, ainsi que les chablis et les trouées vont également modeler le paysage. L'importance relative de ces perturbations naturelles varie grandement entre les quatre sous-domaines de la sapinière selon, entre autres, les conditions climatiques. Le climat plus sec dans la sapinière à bouleau blanc et la sapinière à bouleau jaune de l'Ouest fait en sorte que les feux y sont généralement plus fréquents que dans la sapinière à bouleau blanc et la sapinière à bouleau jaune de l'Est où le climat est plus humide. Dans ces sous-domaines, la tordeuse des bourgeons de l'épinette, les chablis et les trouées ont une grande influence sur le paysage. Malgré ces spécificités, indépendamment du sous-domaine bioclimatique de la sapinière dans lequel on se situe, l'état de la forêt naturelle indique que la matrice forestière est dominée par une forêt à couvert fermé, composée en grande partie de peuplements matures et vieux (Boucher et autres, 2011).

Selon les travaux en cours, l'objectif principal consiste à maintenir, à l'échelle du paysage, une matrice forestière majoritairement dominée par une forêt à couvert fermé, de manière à ce que les paysages aient des caractéristiques qui s'apparentent à celles léguées par le régime des perturbations naturelles. À l'intérieur de cette matrice forestière, l'approche en développement consiste à répartir des coupes totales de tailles variables et des coupes partielles. Le maintien de forêts résiduelles dans les secteurs où il y a des concentrations importantes de forêts de moins de 7 m de hauteur est un élément crucial de la démarche, et le maintien de legs biologiques sur les parterres de coupe est privilégié.

4.1 Délimitation des chantiers de récupération

Dans le cas d'un feu ou d'un chablis, il est relativement facile de circonscrire les secteurs pouvant faire l'objet d'un plan spécial, puisque ces événements sont bien définis dans l'espace et dans le temps. Comme nous l'avons vu précédemment, dans le cas de la tordeuse des bourgeons de l'épinette, la défoliation peut toucher des territoires immenses pendant plusieurs années. La mortalité des arbres ne débute qu'après plusieurs années de défoliation et seuls les peuplements les plus vulnérables sont susceptibles d'être réinitialisés lorsque l'épidémie perdure. Comme les arbres ne perdent de la valeur qu'après leur mort, les plans spéciaux doivent être conçus pour les récolter avant qu'ils soient devenus impropres à la transformation. Puisque la mortalité se poursuit pendant plusieurs années, on ne peut attendre qu'elle soit complétée pour commencer la récupération. La section 3.3.4.2 propose une démarche d'ordonnancement de la récolte en fonction du déroulement de l'épidémie. Le choix de l'emplacement des chantiers de récupération découle donc de l'information colligée lors de cette démarche et de la récolte qui aura été faite dans les phases de préépidémie et sans mortalité.

4.1.1 Repérage des peuplements à récupérer ou à préserver

Les chantiers de récupération sont délimités en considérant les informations sur l'état de la forêt touchée par l'épidémie. Ainsi, le choix portera sur les peuplements dont la persistance est la moins probable et dont le niveau de défoliation est le plus avancé. La priorisation des secteurs pour la récolte sera fonction de la marge de manœuvre de l'unité territoriale vis-à-vis des cibles de structure d'âge (voir la section 3.3.4.1).

Ces informations nous fournissent l'inventaire total des superficies disponibles dans l'unité d'aménagement. La délimitation des chantiers de récolte à partir de ces informations se fera ensuite en fonction de critères de faisabilité technique et financière de même qu'en fonction de critères écologiques et sociaux de répartition spatiale des coupes.

4.1.2 Modalités d'organisation spatiale des forêts à l'échelle du paysage

Dans le nouveau mode d'organisation spatiale des forêts en cours de développement pour les domaines bioclimatiques de la sapinière (voir l'encadré précédent), les objectifs à l'échelle du paysage consistent essentiellement à maintenir une matrice forestière principalement dominée par la forêt à couvert fermé (forêt de 7 m ou plus de hauteur) ainsi qu'à limiter la proportion du paysage qui comprend des secteurs où il y a des concentrations importantes de forêts de moins de 7 m de hauteur. Ces concentrations de forêts comprennent les coupes récentes (forêts de 0 à 4 m de hauteur) et moins récentes (forêts de 4 à 7 m de hauteur) ainsi que les perturbations naturelles graves (feux, chablis et épidémies d'insectes). Les chantiers de récupération sont considérés comme étant des concentrations de forêts de moins de 7 m de hauteur, de sorte qu'il y a une limite à la taille cumulative des chantiers de récupération qu'il sera possible de récolter à l'échelle d'un même paysage.

Pour les enjeux liés à l'organisation spatiale des forêts en sapinière, l'échelle du paysage correspond aux unités territoriales qui sont utilisées pour les enjeux liés à la structure d'âge des forêts, puisqu'ils sont intimement liés. La proportion minimale de forêt de 7 m ou plus de hauteur à maintenir à l'échelle de l'unité territoriale ainsi que la proportion maximale de l'unité territoriale pouvant comprendre des concentrations de secteurs de forêt de moins de 7 m de

hauteur sont disponibles dans la version 3.0 des *Orientations préliminaires pour l'organisation spatiale des forêts dans les domaines bioclimatiques de la sapinière* (Seto et autres, en préparation).

4.1.3 Processus de délimitation

Un processus en sept étapes est proposé pour délimiter les chantiers de récupération.

- **Étape 1 :** Repérage des secteurs ayant un historique de défoliation et des cotes de défoliation totale indiquant une mortalité significative ou laissant entrevoir qu'il y en aura une à court terme.
- **Étape 2 :** Repérage des peuplements les plus vulnérables retenus pour les approvisionnements en bois, par ordre d'intérêt, dans les secteurs repérés à l'étape 1.
- **Étape 3 :** Repérage des peuplements ayant une forte probabilité de persistance selon qu'ils ont été retenus ou non pour les approvisionnements en bois et par ordre de priorité.
- **Étape 4 :** Délimitation de secteurs potentiellement récoltables en croisant les résultats des étapes 1 et 2.
- **Étape 5 :** Délimitation des secteurs à préserver à l'aide du résultat de l'étape 3 et de l'analyse des cibles de structures d'âge (voir la section 3.3.4.1).
- **Étape 6 :** Validation des résultats obtenus aux étapes précédentes à l'aide d'informations plus fines (imageries satellitaires ou relevés complémentaires).
- **Étape 7 :** Choix des chantiers de récupération selon les modalités proposées à la section 4.2.

On cherchera à délimiter des chantiers qui permettront de récupérer le plus de bois possible (du bois en voie de mourir ou déjà mort, mais encore apte à la transformation). Les limites des chantiers potentiels devront tenir compte de celles des unités territoriales afin que l'atteinte des cibles et le respect des seuils établis à l'échelle du paysage pour l'enjeu d'organisation spatiale des forêts puissent être vérifiés.

La validation est une étape importante du processus en raison du niveau variable de précision dans les informations utilisées pour délimiter les chantiers. D'une part, il existe généralement un certain flou entre l'information forestière dont on dispose et la réalité sur le terrain et, d'autre part, l'information relative à l'état de la forêt obtenue à partir de relevés aériens est moins précise que l'information forestière. L'imagerie satellitaire ou des relevés complémentaires (à partir du sol ou des airs) s'avèrent des moyens dont le coût est largement compensé par les gains ultérieurs pour procéder à la validation. Les informations recueillies vont aussi contribuer à établir un ordre de priorité dans le cas où plusieurs chantiers potentiels auraient été délimités. Dans les éléments à considérer pour établir un ordre de priorité parmi les chantiers retenus, il y a notamment le temps et l'argent requis pour mettre en place les infrastructures afin de procéder à la récupération et l'urgence de celle-ci (dictée par le pourcentage de mortalité), ainsi que l'importance relative du sapin baumier récolté à l'échelle du chantier. Une grille multicritère pourrait servir à distinguer les chantiers selon un ordre de priorité relatif.

4.2 Modalités à l'échelle du chantier de récupération

À l'intérieur des chantiers de récupération, l'objectif consiste à maintenir des attributs forestiers servant de refuges et de foyers de recolonisation aux espèces présentes sur le territoire, tout en permettant d'atténuer l'impact visuel des coupes. Pour ce faire, on privilégie le maintien d'une quantité minimale de forêts résiduelles, autant que possible organisées en blocs de grande taille et de forme compacte. De plus, on vise la rétention d'une quantité variable d'arbres de taille marchande sur une proportion des parterres de récolte en y pratiquant des coupes à rétention variable. Cette rétention constituera une contribution additionnelle à celle de la forêt résiduelle dans l'accomplissement de ses fonctions.

Les modalités proposées ont trait à la quantité, à la configuration et à la composition de la forêt résiduelle de même qu'à la rétention sur les parterres de coupe.

4.2.1 Quantité de forêt résiduelle à maintenir

Dans le mode d'organisation spatiale des forêts en cours de développement pour la sapinière, on vise, dans les secteurs où il y a des concentrations importantes de forêts de moins de 7 m de hauteur, le maintien d'un minimum de 30 % de la superficie du secteur en forêt résiduelle (forêt de 7 m ou plus de hauteur). Dans cette perspective, pour les chantiers de récupération, on visera donc à maintenir un minimum de 30 % de forêt résiduelle dont la probabilité de persistance est la plus élevée possible.

4.2.2 Configuration de la forêt résiduelle

La forêt résiduelle (forêt de 7 m ou plus de hauteur) à l'intérieur des chantiers de récupération peut prendre différentes formes (blocs, fragments ou lisières boisées riveraines). La forêt résiduelle organisée en blocs permet de répondre aux exigences écologiques d'espèces nécessitant de grandes concentrations d'arbres, tout en permettant, dans certaines conditions, d'atténuer les impacts visuels des coupes. De plus, cette forêt résiduelle permet de retrouver dans un même bloc une plus grande diversité de conditions naturellement présentes. Contrairement aux séparateurs de coupes usuels, la forêt résiduelle organisée en blocs constitue également un avantage sur le plan écologique, en fournissant à plusieurs espèces sensibles à l'effet de bordure des conditions de forêt d'intérieur. Sur le plan économique, ces forêts résiduelles sont plus avantageuses au moment de leur récolte et elles diminuent le risque de chablis. Par conséquent, il faudrait veiller, autant que possible, à ce que la forêt résiduelle dans les chantiers de récupération soit organisée en blocs de grande taille (25 ha et plus) de forme compacte (circulaire). Les fragments (zones soustraites à la récolte en raison de contraintes opérationnelles) et les lisières boisées riveraines contiennent généralement des peuplements de 7 m ou plus de hauteur qui peuvent également contribuer à atteindre la cible de maintien de la forêt résiduelle à l'échelle du chantier de récupération.

4.2.3 Répartition de la forêt résiduelle

Dans les secteurs où il y a des concentrations importantes de forêts de moins de 7 m de hauteur, on vise à maintenir une répartition adéquate de la forêt résiduelle avec forêt d'intérieur. Cela, dans le but de permettre la recolonisation par la faune et la flore, de diminuer l'impact visuel et de favoriser la rentabilité financière des interventions lors de la récolte de cette forêt résiduelle dans le futur. La ligne directrice actuellement en vigueur pour la répartition de la forêt résiduelle dans les agglomérations de coupes situées dans la pessière à mousses (voir la section 3.1.2.4 du document de Seto et autres, 2012) s'appliquera aux secteurs où il y a des concentrations importantes de forêts de moins de 7 m de hauteur dans la sapinière. Toutefois, dans le cas des chantiers de récupération, il est compréhensible que le fait de viser à maintenir au moins 30 % de forêt résiduelle ayant la persistance probable la plus élevée possible puisse parfois être incompatible avec la volonté de maintenir, en plus, une répartition adéquate. Si la situation se présente, l'aménagiste doit éviter, autant que possible, que la forêt résiduelle soit concentrée dans seulement quelques secteurs à l'intérieur des chantiers de récupération. Sans précaution particulière, les zones récoltées pourraient occuper des superficies relativement grandes par rapport à la taille du chantier, particulièrement lorsque celle-ci excède 1 000 ha. Ceci aurait pour effet de créer de grandes zones désertes à l'intérieur du chantier, ce qui irait à l'encontre de certains objectifs écologiques et d'acceptabilité sociale. Afin d'analyser la répartition de la forêt résiduelle, la méthode d'analyse utilisée pour la pessière peut être suivie (voir la section 6.1.3 du document de Seto et autres, 2012).

4.2.4 Composition de la forêt résiduelle

Une des principales fonctions de la forêt résiduelle est de servir de refuges et de foyers de recolonisation pour les espèces présentes sur le territoire. Par conséquent, on devrait viser à ce que la composition de la forêt résiduelle soit représentative de la forêt qui est récoltée. Cependant, dans le contexte où les chantiers de récupération sont majoritairement composés de peuplements très vulnérables à la tordeuse des bourgeons de l'épinette (forte proportion de sapin), il est opportun de déroger quelque peu à cette règle générale afin de laisser une forêt résiduelle moins vulnérable à la tordeuse des bourgeons de l'épinette et qui aura une plus forte probabilité de persistance au stade vieux. La typologie de la persistance probable des vieux peuplements (voir le tableau 13 à la section 3.3.4.1) fournit des indications pour guider les choix prioritaires. Une certaine flexibilité s'avère toutefois nécessaire puisque certains chantiers de récupération pourraient présenter des conditions où des proportions significatives de peuplements plus vulnérables devront nécessairement être maintenues afin d'atteindre les cibles de maintien de la forêt résiduelle. Dans cette situation, il faudrait favoriser le maintien de peuplements pouvant conserver des attributs de forêt de 7 m ou plus de hauteur après le passage de l'épidémie. Le tableau 13 aidera à orienter le choix des peuplements à privilégier. Cette approche se justifie d'ailleurs par le fait qu'à la suite d'une perturbation naturelle, en plus de la forêt résiduelle intacte (houppiers) qui est maintenue, il y a aussi présence de forêt résiduelle partiellement touchée où des arbres morts demeurent sur pied pendant un certain temps. Selon Morissette et autres (2002), ce type de forêt résiduelle pourrait jouer un rôle s'apparentant davantage à celui d'une forêt résiduelle intacte qu'à celui d'une coupe totale, du moins pour un certain temps.

4.2.5 Rétention sur les parterres de coupe

Les coupes à rétention variable constituent une catégorie de traitements sylvicoles où une quantité variable d'arbres de taille marchande est laissée sur un parterre de coupe en vue de remplir diverses fonctions écologiques. Dans un chantier de récupération, les coupes à rétention variable permettent de maintenir des legs biologiques à l'exemple de ceux qu'on trouve à l'intérieur d'un peuplement après une perturbation naturelle. À court terme, les coupes à rétention variable peuvent servir de refuges et de foyers de recolonisation pour certains organismes (Jetté et autres, 2013b). Elles permettent aussi d'atténuer l'impact des coupes sur le débit des cours d'eau (Langevin et Plamondon, 2004). De plus, selon la façon dont elles sont réalisées, ces coupes peuvent contribuer à atténuer l'impact de la récolte sur la qualité visuelle des paysages (Yelle, Pâquet et Jetté, 2009). Autant que possible, la rétention visera principalement le maintien d'essences peu vulnérables et longévives afin de faciliter la reconstitution de peuplements plus résistants et plus résilients face aux épidémies. Dans des conditions normales, les coupes à rétention variable jouent un rôle très important pour reproduire les attributs des forêts naturelles à moyen et à long terme, notamment en ce qui concerne le recrutement du bois mort de forte dimension. Cependant, dans un contexte d'épidémie de la tordeuse des bourgeons de l'épinette, le recrutement de bois mort de forte dimension ne devrait pas représenter un enjeu. À l'instar des coupes totales dans les agglomérations de coupes usuelles, on tend à ce qu'au moins 20 % des coupes faites dans un contexte de récupération soient des coupes à rétention variable. La coupe avec protection de la haute régénération et des sols (CPHRS) ainsi que la coupe avec protection des petites tiges marchandes (CPPTM) devraient généralement continuer à être pratiquées (voir la section 3.3.5). Toutefois, au moment de prescrire la CPPTM, le traitement ne devrait pas être retenu si l'on constate que la défoliation subie par les petites tiges marchandes compromet sérieusement leur chance de survie.





CHAPITRE 5

Synthèse des actions à entreprendre selon le déroulement de l'épidémie

À partir des informations colligées dans les analyses décrites à la section 2.2, et en fonction de l'information fournie par le MFFP à propos du déroulement de l'épidémie présentée à la section 2.3, une série d'actions devront être entreprises pour moduler la planification forestière selon les différentes périodes de l'épidémie sur le territoire aménagé. Le chapitre 3 donne des indications détaillées pour la modulation des traitements sylvicoles d'éducation et des procédés de régénération et propose une démarche pour ordonnancer la récolte. Quant au chapitre 4, il fournit des recommandations sur la mise en place des chantiers de récupération. En guise de conclusion, nous présentons une synthèse de ces actions. Lorsque celles-ci ne relèvent pas directement des aménagistes, le nom des organismes responsables est mentionné.

5.1 Période d'endémie – Phase de préépidémie

L'épidémie est imminente, le suivi de l'insecte permet de prévoir les zones probables d'infestation.

- Évaluer la planification de la récolte en cours en ayant à l'esprit les zones probables d'infestation afin de modifier et de réorganiser certaines des activités de manière à procéder à une récolte préventive sous forme de coupes partielles ou totales. Les choix doivent tenir compte des résultats de l'analyse de la structure d'âge et des aires admissibles à la lutte directe.
- Évaluer la planification des traitements d'éducation en ayant à l'esprit les zones probables d'infestation afin d'interrompre, de modifier ou de reporter ceux pour lesquels le risque associé à l'épidémie est élevé.
- Mettre à jour l'information sur les secteurs admissibles à la lutte directe (SOPFIM, en collaboration avec le MFFP en région).
- Justifier la pertinence de recourir à la lutte directe et assurer le financement du programme de lutte (Direction de la protection des forêts du MFFP).
- Établir des priorités régionales et provinciales de protection (MFFP).

5.2 Période d'épidémie – Phase de défoliation sans mortalité

Durant cette période, la défoliation grave commence à se produire et peut couvrir de vastes territoires. On dispose d'au moins quatre années à partir du début de la défoliation grave pour procéder à la récolte avant qu'une mortalité significative ne se produise. Les superficies et le volume touchés selon les classes de vulnérabilité et les années de défoliation sont établis et estimés annuellement.

- Assurer un suivi des peuplements vulnérables qui présentent un intérêt pour la récolte, en particulier ceux qui ont subi l'équivalent d'au moins quatre années de défoliation grave, de manière à en prévoir l'évolution à court terme et à planifier la récolte en temps opportun.

- Élaborer un plan d'intervention de lutte directe (SOPFIM à la demande du MFFP) et établir des priorités annuelles de lutte directe au besoin selon les modalités établies (MFFP).
- Déterminer l'ampleur des travaux de récolte préventive à partir de l'estimation du volume probable de bois à récolter dans les peuplements les plus vulnérables, en tenant compte notamment des résultats de l'analyse de la structure d'âge, des dommages cumulatifs, de l'accessibilité des peuplements, de la capacité des usines de transformation à traiter le bois ainsi que des besoins des marchés.

5.3 Période d'épidémie – Phase de défoliation avec mortalité

Comme la mortalité est étalée sur plusieurs années et que les arbres morts peuvent demeurer aptes à la transformation pendant un à trois ans selon leur usage, la récupération pourra se poursuivre quelques années après le début de la mortalité.

- Poursuivre les évaluations servant à établir l'état de santé des peuplements là où c'est pertinent (MFFP).
- Adapter le plan de lutte directe selon l'évolution de la situation (MFFP et SOPFIM).
- Planifier les chantiers de récupération selon l'évolution de la mortalité des arbres et en fonction des résultats de l'analyse de la structure d'âge.

5.4 Période d'endémie – Phase de post-épidémie

Le suivi des populations d'insectes et l'évaluation de la défoliation des pousses annuelles montrent que l'épidémie se résorbe définitivement.

- Poursuivre les évaluations sur l'état de la forêt, là où c'est encore pertinent, pour orienter la récupération ou y mettre un terme (MFFP).
- Cesser la récupération à partir du moment où la récolte n'est plus rentable parce que trop d'arbres morts ne sont plus propres à la transformation.
- Réévaluer la pertinence d'appliquer les traitements sylvicoles reportés en raison de l'épidémie.
- Reprendre les travaux d'éducation jugés encore utiles après le passage de l'épidémie sur l'ensemble du territoire qui est rendu à ce stade du cycle de la tordeuse des bourgeons de l'épinette.

5.5 Période d'endémie – Phase stable

Il n'y a pas de signes majeurs indiquant que l'épidémie est en cours. Les actions entreprises sont strictement préventives.

- Récolter en priorité les peuplements les plus vulnérables, tout en respectant les cibles de structure d'âge et en conservant prioritairement les peuplements qui ont une forte probabilité de persistance. Par exemple, on planifiera la coupe totale des sapinières pures avant la récolte de peuplements contenant une bonne proportion d'essences longévives. Aux endroits où cela s'avère possible, des coupes partielles devraient être faites de manière à favoriser la persistance des peuplements.
- Choisir les secteurs à récolter en tenant compte de ceux qui pourraient faire l'objet de pulvérisations aériennes d'insecticide selon les critères en vigueur.

ANNEXE A

Vocabulaire relatif à l'épidémie de la tordeuse des bourgeons de l'épinette

Voici la définition de quelques termes et notions propres aux épidémies de la tordeuse des bourgeons de l'épinette.

1. Défoliation

Certains termes liés à la défoliation viennent en préciser le sens. C'est le cas pour la **défoliation annuelle**, la **défoliation annuelle cumulée** (défoliation cumulative) et la **défoliation totale**. La défoliation est mesurée sur les essences susceptibles d'être atteints par la tordeuse des bourgeons de l'épinette, à savoir le sapin baumier, l'épinette blanche et l'épinette noire.

Défoliation annuelle

La défoliation des pousses annuelles des essences susceptibles peut être estimée de quatre façons :

- Sur le terrain, à l'aide de jumelles, généralement selon des classes de 10 % (Fettes, 1950), par arbre ou partie d'arbre ou par placette d'étude.
- En laboratoire, selon des classes de 10 % (Fettes, 1950), à partir d'une branche prise généralement dans le tiers médian du houppier.
- En aéronef, selon les classes ci-dessous, servant à décrire l'étendue et la gravité de la défoliation annuelle **pour les aires non traitées** (Thériault, 2002, voir l'encadré intitulé « Méthodologie pour la production des cartes de défoliation des pousses annuelles » à la section 2.3.3) :
 - légère : perte de feuillage annuel dans le tiers supérieur du houppier de quelques arbres;
 - modérée : perte de feuillage annuel dans la moitié supérieure du houppier de la majorité des arbres;
 - grave : perte de feuillage annuel sur toute la longueur du houppier de la majorité des arbres.

Pour les aires traitées¹, c'est la présence de pousses annuelles qui sert d'indicateur pour évaluer l'efficacité des pulvérisations aériennes d'insecticide sur une base annuelle :

- légère : présence de pousses annuelles dans le tiers supérieur du houppier de la majorité des arbres;

1. L'évaluation porte sur l'essence principale (SAB, EPN ou EPB) présente dans le bloc à traiter.

- modérée (-) : présence de pousses annuelles dans le tiers supérieur du houppier de 36 à 50 % des arbres;
 - modérée (+) : présence de pousses annuelles dans le tiers supérieur du houppier de 51 à 70 % des arbres;
 - grave : très peu de pousses annuelles jusqu'à absence totale de feuillage.
- À partir d'images satellitaires, pour la localisation générale de secteurs avec présence de défoliation annuelle, entre autres dans les régions éloignées.

Défoliation annuelle cumulée (défoliation cumulative)

Cumulation des données de défoliation annuelle pour obtenir un indice de la gravité de la défoliation à une échelle pour laquelle l'historique de défoliation annuelle est disponible (arbre, placette, territoire). Dans un territoire donné, on utilise cette information pour déterminer les secteurs où il est souhaitable de procéder à une évaluation plus précise. La défoliation annuelle cumulée est un indice de la gravité de l'épidémie permettant d'établir la probabilité de mortalité.

Défoliation totale

Il s'agit de la défoliation évaluée sur l'ensemble de l'arbre en fonction de la masse de feuillage présumée. C'est une évaluation qui permet d'établir avec plus de précision la probabilité de mortalité des arbres, puisqu'elle donne un aperçu de l'état des arbres par observation directe, contrairement à la défoliation cumulative décrite plus haut. Comme pour la défoliation annuelle, la défoliation totale peut être évaluée de plusieurs façons :

- Sur le terrain, elle est calculée par arbre, en fonction des classes définies selon l'objectif de l'évaluation (classe de 10 %, de 25 % ou une combinaison des deux) (voir l'annexe D). Lorsque l'arbre a l'air mort (moins de 10 % de feuillage restant), on vérifie le cambium pour le confirmer.

N. B. Lors des inventaires forestiers qui ont été faits pendant et après la dernière épidémie, les classes ci-dessous ont été utilisées sur le terrain pour être intégrées au code de l'essence. Exemple : pour la défoliation du sapin, SAB indique une défoliation totale inférieure à 50 %; SAE, une défoliation allant de 50 à 89 %; SAF, de 90 à 99 % et SAD, sa mort présumée (voir les normes d'inventaire). Les mêmes pourcentages s'appliquent aux épinettes.

- En laboratoire, à partir des mêmes branches que celles utilisées pour vérifier la défoliation annuelle (classes de 10 % ou autres selon le besoin).
- À partir d'un aéronef, survolant des secteurs ayant subi au moins trois années de défoliation annuelle modérée ou grave, selon les classes proposées par Chabot et Roy (1979) : moins de 50 % (risque de mortalité à court terme, faible); de 50 à 89 % (risque de mortalité à court terme, moyen à élevé); de 90 à 99 % (risque de mortalité à court terme, très élevé); 100 % (présumé mort). Voir l'encadré intitulé « Évaluation visuelle de l'état de santé des peuplements touchés par la tordeuse des bourgeons de l'épinette au moyen de relevés aériens » à la section 2.3.5.
- À partir de photographies aériennes RGB (couleurs naturelles) ou IRC (composé infrarouge). Lorsque l'épidémie est en cours au moment de l'inventaire, le photo-interprète

peut voir que les arbres sont défoliés. Il ajoute alors un symbole pour représenter la défoliation totale. Lors du premier inventaire décennal, on distinguait quatre classes de défoliation totale : moins de 25 %, de 25 à 50 %, de 51 à 75 % et plus de 75 %. Lors du deuxième inventaire décennal, on distinguait deux classes de défoliation totale avec leur symbole respectif : de 1 à 50 %, de 51 à 99 %. Pour les troisième et quatrième inventaires décennaux, on ne retrouve plus cette information.

N. B. Si les photos sont prises au moment où le feuillage rougi est encore présent et forme un cône extérieur qui masque le feuillage encore vert des années antérieures, il se peut que le photo-interprète confonde la défoliation annuelle grave avec la défoliation totale ou la mort.

- À partir d'images satellitaires : mortalité (mise à jour des cartes écoforestières). Les images satellites servent à délimiter et à classer les zones de mortalité selon les classes suivantes : moins de 25 %; de 25 à 75 %; plus de 75 %.

2. Mortalité

Au sens biologique, un arbre est considéré comme mort lorsque son cambium est mort sur toute la périphérie du tronc. Si l'arbre est mort, la couleur du cambium sera orangée au lieu de beige pâle. D'autres signes apparents témoignent de la mort de l'arbre : la présence de trous d'insectes, le soulèvement de l'écorce, les trous de pics-bois, une cassure dans une partie de l'arbre, etc. À l'échelle d'un territoire, on considère comme morts les arbres qui n'ont plus de feuillage vivant.

L'importance de la mortalité peut être estimée directement sur le terrain, arbre par arbre. À l'échelle d'un peuplement, on peut procéder par échantillonnage. Pour un territoire plus vaste, on peut faire des évaluations visuelles à partir d'un aéronef ou interpréter des photographies aériennes ou des images satellitaires, auquel cas il est recommandé de procéder à des validations sur le terrain.

3. Épidémie et endémie

Dans ce document, nous présentons une échelle temporelle applicable à la fois aux niveaux de populations de l'insecte et à la période où les dommages sont visibles. Nous utilisons les termes « **épidémie** » et « **endémie** » pour désigner ces périodes.

Épidémie

Au sens propre, le terme « épidémie » fait habituellement référence à une maladie. Son utilisation s'est élargie pour désigner divers autres phénomènes toujours liés à la notion d'éruption, de déclenchement ou d'explosion. En anglais, c'est le terme *outbreak* qui est généralement employé.

Pour les entomologistes, ce terme désigne la période caractérisée par la montée et le maintien des populations de la tordeuse des bourgeons de l'épinette au-delà d'un seuil donné. Pour les chercheurs qui étudient l'histoire des épidémies, leur reconstitution est généralement basée sur les patrons de croissance d'arbres susceptibles, survivants ou morts, mais bien conservés. Les forestiers parlent généralement d'épidémie pour décrire la période pendant laquelle la défoliation est facilement observable. Pour les photo-interprètes forestiers, le terme

« épidémie » est utilisé pour caractériser les perturbations totales ou partielles causées par un insecte (une épidémie grave [ES] correspond à une réduction de plus de 75 % de la surface terrière tandis qu'une épidémie modérée [EL] correspond à une réduction qui se situe entre 25 et 75 %). L'inventaire forestier ne fournit cependant pas d'informations sur l'insecte qui a causé la réduction de la surface terrière. Il y a alors lieu de consulter les informations provenant du suivi des insectes pour associer correctement les perturbations aux bons agents.

Dans le présent guide, on parle d'épidémie lorsque la défoliation devient apparente. Selon l'effet cumulé de la défoliation, la période d'épidémie est subdivisée en deux phases : une **phase sans mortalité significative** des arbres durant laquelle la défoliation se répète annuellement et une **phase avec mortalité** où il y a une progression significative de la mortalité associée à la défoliation annuelle (voir le tableau 1 à la section 1.6). Le passage d'une phase à l'autre n'est cependant pas toujours facile à apprécier.

Endémie

Dans le présent guide, la période où la défoliation n'est pas apparente est l'endémie. Cette période se subdivise en trois phases : la post-épidémie, l'endémie stable et la préépidémie. Au cours de la **phase de post-épidémie**, les populations sont en baisse, la défoliation annuelle est peu apparente, mais des arbres affaiblis par la défoliation répétée peuvent mourir. La **phase d'endémie stable** est caractérisée par des populations très faibles, difficiles à détecter et à mesurer. La **phase de préépidémie** est caractérisée par le retour de populations mesurables et à la hausse (voir le tableau 1 à la section 1.6).

ANNEXE B

Codes des essences et des caractéristiques associées pour déterminer la persistance probable des peuplements (voir les tableaux 8 et 13)

Essence	Code	Longévive ^a	Vulnérable ^b	Susceptible ^c
Feuillus				
Bouleau à papier	Bp	Non	Non	Non
Bouleau gris	Bg	Non	Non	Non
Bouleau jaune	Bj	Oui	Non	Non
Caryer à fruits doux	Cf	Oui	Non	Non
Caryer cordiforme	Cc	Non	Non	Non
Cerisier tardif	Ct	Non	Non	Non
Chêne à gros fruits	Cg	Oui	Non	Non
Chêne bicolore	Ci	Oui	Non	Non
Chêne blanc	Cb	Oui	Non	Non
Chêne rouge	Cr	Oui	Non	Non
Érable argenté	Ea	Non	Non	Non
Érable noir	Ei	Non	Non	Non
Érable à sucre	Es	Oui	Non	Non
Érable rouge	Eo	Non	Non	Non
Feuillus indéterminés	Fx	Oui	Non	Non
Feuillus sur station humide	Fh	Oui	Non	Non
Feuillus intolérants à l'ombre	Fi	Non	Non	Non
Feuillus tolérants à l'ombre	Ft	Oui	Non	Non
Frêne d'Amérique	Fa	Oui	Non	Non
Frêne de Pennsylvanie	Fp	Non	Non	Non
Frêne noir	Fo	Non	Non	Non
Hêtre à grandes feuilles	Hg	Oui	Non	Non
Noyer cendré	Nc	Non	Non	Non
Noyer noir	Nn	Non	Non	Non
Orme d'Amérique	Oa	Non	Non	Non
Orme de Thomas	Ot	Non	Non	Non
Orme rouge	Oo	Non	Non	Non
Ostryer de Virginie	Ov	Non	Non	Non
Peuplier à feuilles deltoïdes	Pl	Non	Non	Non
Peuplier à grandes dents	Pd	Non	Non	Non
Peuplier baumier	Pa	Non	Non	Non
Peuplier européen	Po	Non	Non	Non
Peuplier faux-tremble	Pt	Non	Non	Non
Peuplier hybride	Ph	Non	Non	Non
Tilleul d'Amérique	Ta	Non	Non	Non

Résineux				
Épinette blanche	Eb	Oui	Non	Oui
Épinette noire	En	Oui	Non	Oui
Épinette rouge	Eu	Oui	Non	Oui
Épinette de Norvège	Ev	Non	Non	Oui
Mélèze européen	Me	Non	Non	Non
Mélèze hybride	Mh	Non	Non	Non
Mélèze laricin	MI	Non	Non	Non
Mélèze japonais	Mi	Non	Non	Non
Pin blanc	Pb	Oui	Non	Non
Pin gris	Pg	Non	Non	Non
Pin rigide	Pc	Oui	Non	Non
Pin rouge	Pr	Oui	Non	Non
Pin sylvestre	Ps	Oui	Non	Non
Pruche de l'Est	Pu	Oui	Non	Non
Résineux indéterminés	Rx	Oui	Non	Non
Sapin baumier	Sb	Non	Oui	Oui
Sapin baumier et épinette blanche	Se	Non	Oui	Oui
Thuya occidental	To	Oui	Non	Non

a. La longévité d'une essence peut varier selon différents facteurs tels que le climat ou la qualité de la station. Dans le contexte de l'évaluation de la persistance probable, le critère de longévité a été attribué de façon binaire de manière à départager les essences qui risquent de contribuer au bassin de vieux peuplements sur une plus longue période. Généralement, les essences dites longévives sont des essences typiques des peuplements de fin de succession. Dans le cas du sapin baumier, celui-ci pourrait être considéré comme longévif au nord de sa limite de distribution. Toutefois, comme la vulnérabilité est la variable la plus discriminante dans son cas, sa longévité relative n'a pas été prise en compte.

b. La vulnérabilité a été attribuée de façon binaire de manière à départager les essences ou les groupes d'essences très vulnérables par rapport aux essences dont la vulnérabilité est moins élevée.

c. La susceptibilité a été attribuée de façon binaire, selon l'information décrite à la section 1.4.

ANNEXE C

Critères de sélection des secteurs admissibles aux pulvérisations aériennes d'insecticide biologique contre la tordeuse des bourgeons de l'épinette¹

Les pulvérisations aériennes contre la tordeuse des bourgeons de l'épinette se limitent aux territoires forestiers susceptibles qui contribuent à l'approvisionnement en matière ligneuse. Les critères utilisés pour délimiter les aires admissibles sont établis par le MFFP. Les travaux de délimitation des aires admissibles sont réalisés par la SOPFIM, puis validés par le MFFP en région pour tenir compte des problématiques régionales. Les secteurs admissibles à la protection sont d'abord déterminés en fonction des critères forestiers. Les peuplements admissibles dont la pente est supérieure à 40 % sont exclus. Par la suite, des secteurs comprenant des concentrations de peuplements admissibles sont délimités selon des critères opérationnels. Ces critères ne sont pas sans conséquences financières puisque le coût à l'hectare pour les pulvérisations aériennes est le même pour une superficie contenant une proportion plus ou moins élevée de peuplements admissibles. De même, plus la superficie d'un secteur est réduite, plus le temps requis pour le traiter est élevé par unité de superficie, donc plus le coût du traitement à l'hectare est élevé. La connotation opérationnelle est liée au temps de traitement par unité de superficie et à la durée limitée de la période propice aux pulvérisations. Jumelé à cette dernière, le temps de traitement a une incidence importante sur la planification des opérations.

Par ailleurs, tous les secteurs qui pourraient répondre aux critères ne sont pas nécessairement inclus dans les aires admissibles aux pulvérisations pour les raisons suivantes : pour les forêts publiques, seuls les secteurs compris dans les territoires d'approvisionnement sont retenus; pour les forêts privées, seuls les secteurs répondant aux critères et situés sur les grandes propriétés comprises dans le territoire sous protection de la SOPFIM sont inclus dans les aires admissibles. Une liste des exclusions est présentée plus bas.

Critères forestiers pour sélectionner les peuplements admissibles

- Composition : peuplements résineux et mélangés où le sapin et l'épinette blanche constituent plus de 38 % du volume.
- Classe de densité – hauteur : A1 à A5, B1 à B5 et C1 à C5
- Classe d'âge : 30 ans et plus

Note : Des cas d'exception pourront être considérés, après justifications, par exemple des éclaircies précommerciales qui répondraient aux critères de composition et de densité-hauteur, mais ne répondraient pas à celui de classe d'âge.

Critère de pente

- Pente inférieure à 40 %

1. Le contenu de cette annexe est adapté de la section 2.1 du document de la SOPFIM (2011).

Critères opérationnels

- Regroupement : la proportion de peuplements admissibles selon les critères forestiers et la topographie contenue dans une aire à protéger doit être d'au moins 50 %.
- Superficie minimale : la superficie minimale des blocs à traiter est de 150 ha, à moins qu'un secteur admissible au traitement ne fasse l'objet d'un redécoupage en plusieurs blocs pour des raisons opérationnelles ou environnementales.

Exclusions

Les secteurs qui pourraient répondre aux critères décrits plus haut, mais qui font partie des catégories suivantes, sont exclus des aires admissibles.

- Dans la forêt publique :
 - aires protégées (parcs de conservation, refuges biologiques, réserves écologiques, îlots de vieillissement);
 - zones non accessibles à la récolte;
 - programmation de coupe de cinq ans;
 - bandes de protection d'un kilomètre bordant les rivières à saumon, comme convenu dans le projet d'entente avec les Innus.
- Dans la forêt privée :
 - petites propriétés privées;
 - grandes propriétés privées ne faisant pas partie du territoire de protection défini par les membres de la SOPFIM.

ANNEXE D

Évaluation de la défoliation totale à l'échelle de l'arbre¹

L'évaluation de la défoliation totale des arbres causée par leur défoliation annuelle répétée est une façon simple de déterminer l'état de santé des peuplements. Elle doit être faite lorsque le feuillage mort et rougi, situé à l'extrémité des branches, est tombé et ne masque plus le feuillage vert restant. Cette période se situe entre la mi-août et le début de juin de l'année suivante. Par ailleurs, l'évaluation ne peut pas être faite lorsque les arbres sont couverts de neige.

L'évaluation de la défoliation totale d'un arbre se fait en fonction de quatre classes basées sur la masse présumée du feuillage de l'arbre avant la défoliation :

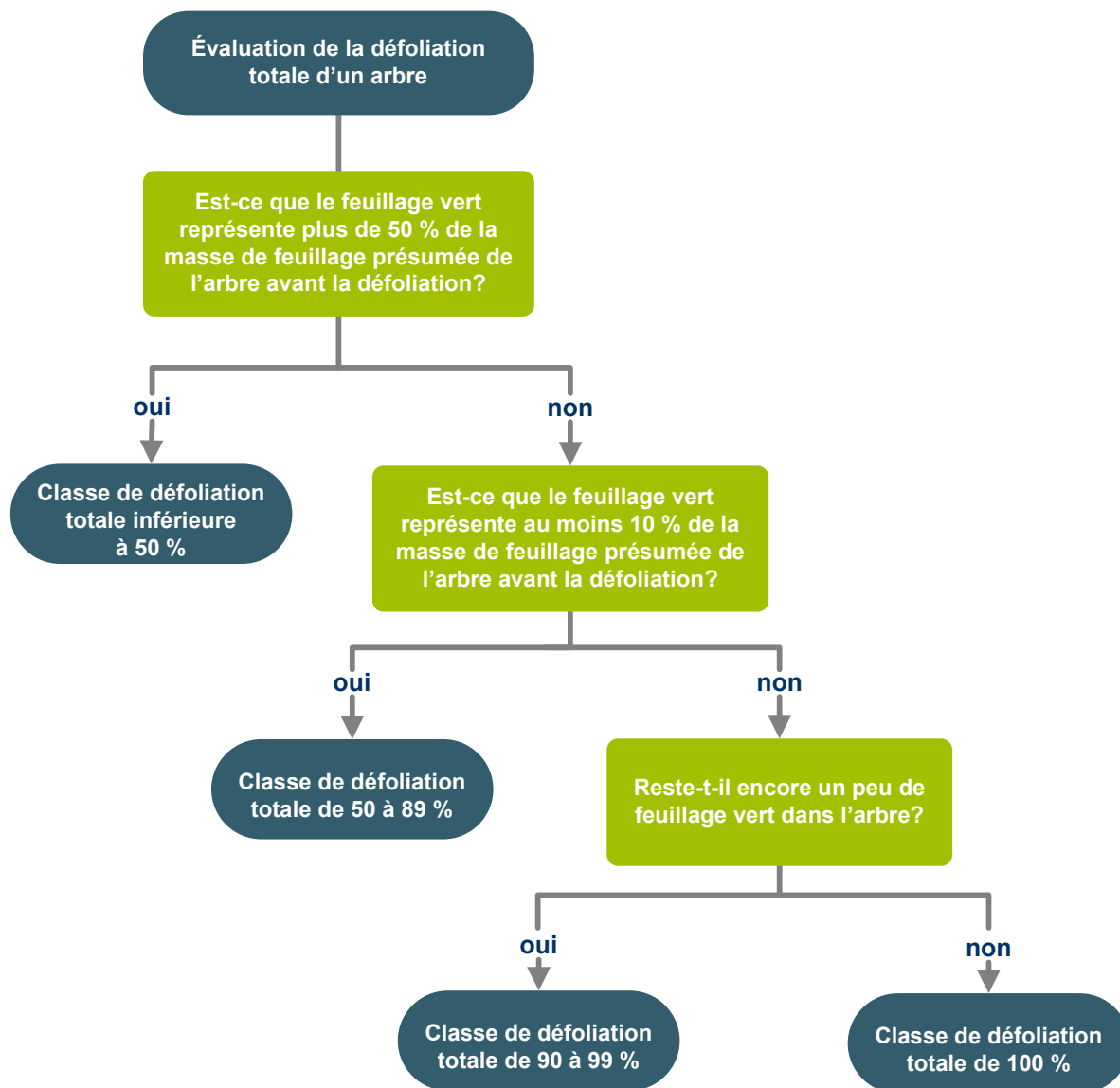
1. Inférieure à 50 %
2. De 50 à 89 %
3. De 90 à 99 %
4. 100 %



Au centre de la photo, six sapins qui représentent l'ensemble du gradient de défoliation dans un même peuplement : depuis l'arbre mort (à gauche) jusqu'à l'arbre défolié à moins de 50 % (à droite)

1. Il est à noter que cette méthode d'évaluation de la défoliation totale est utilisable pour les arbres prématurs et matures, mais qu'elle ne s'applique pas aux semis et aux gaules.

La figure ci-dessous illustre comment s'y prendre pour établir la classe de défoliation d'un arbre. Les pages suivantes présentent des photos d'arbres et de branches illustrant chacune des classes de défoliation ainsi que les principales caractéristiques de celles-ci.



1. Défoliation totale inférieure à 50 %

Caractéristiques

- La masse de feuillage vert domine, même si le bout des branches est dénudé ou que les branches ont une apparence brunâtre ou grisâtre, résultat d'une défoliation qui s'est produite pendant quelques années (généralement trois ou moins).
- Le risque de mortalité de l'arbre à court terme est **faible**.



Arbre défolié à moins de 50 %

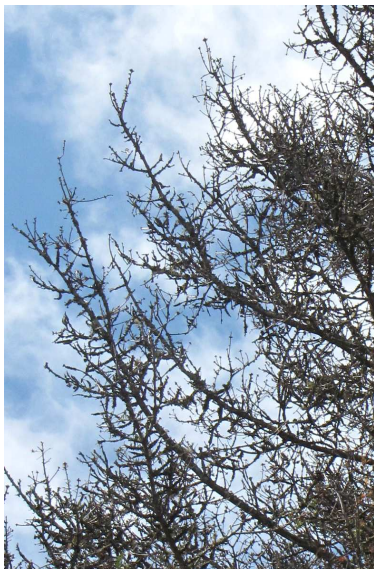


Branche de sapin défoliée à moins de 50 %

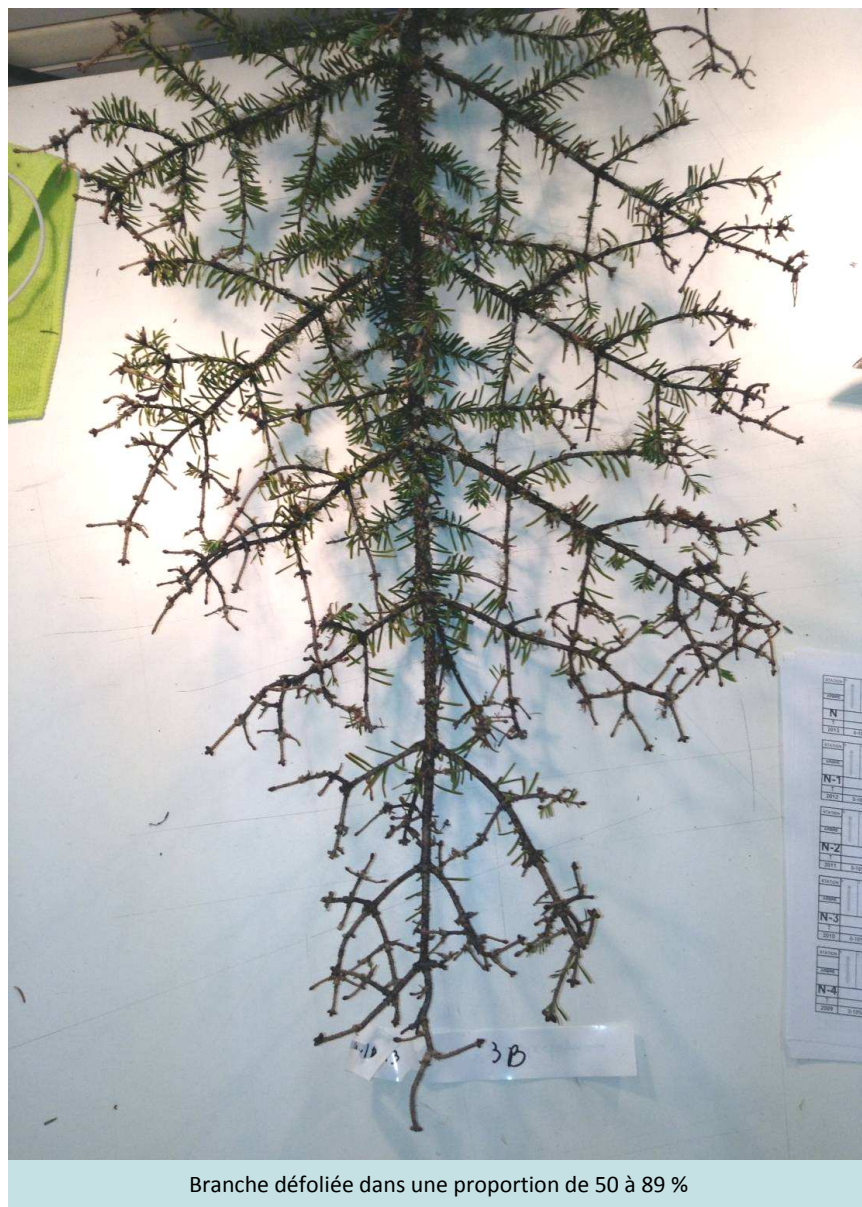
2. Défoliation totale de 50 à 89 %

Caractéristiques

- À première vue, l'arbre a une apparence plus ou moins brunâtre ou grisâtre. Le feuillage restant est habituellement au centre et dans le bas du houppier.
- L'arbre peut survivre à quelques années de défoliation ou atteindre le point de non-retour et mourir même si l'épidémie cesse. Cela dépendra de la vigueur et de la quantité résiduelle de feuillage.
- Le risque de mortalité de l'arbre est **moyen**.



Arbre défolié dans une proportion de 50 à 89 %



3. Défoliation totale de 90 à 99 %

Caractéristiques

- À première vue, l'arbre a l'air mort. Il lui reste moins de 10 % de feuillage. La plupart des arbres de cette classe vont mourir même si l'épidémie cessait rapidement. Il est d'ailleurs possible que certains d'entre eux soient déjà morts. On peut le vérifier en soulevant légèrement l'écorce à quelques endroits autour du tronc.
- Le risque de mortalité de l'arbre est **élevé**. On considère ces arbres comme moribonds.



4. Défoliation totale de 100 %

Caractéristiques

- L'arbre est présumé **mort**, puisqu'il n'a plus de feuillage vert.
- La probabilité que l'arbre survive est quasi nulle même si l'épidémie cesse, particulièrement si l'arbre a une dimension commerciale.
- Comme pour la classe précédente, on peut s'assurer qu'il est mort en soulevant un peu d'écorce.



Arbre défolié à 100 %



Le cambium de couleur orange atteste que l'arbre est bel et bien mort.

Arbre mort depuis moins d'un an



Cambium orangé et présence d'une galerie d'insectes en surface

Arbre mort depuis plus de deux ans



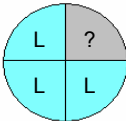
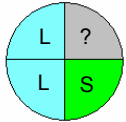
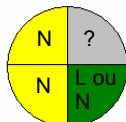
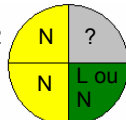
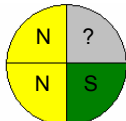
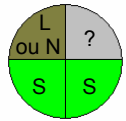
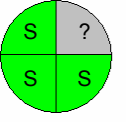
L'écorce se soulève.



Le trou de sortie du longicorne adulte témoigne que la mort de l'arbre remonte à plus de deux ans. On peut aussi observer des sciures de bois à la base de l'arbre.

ANNEXE E

Ordonnancement de la récolte en fonction du déroulement de l'épidémie et de la persistance probable d'un peuplement

Classe de persistance ^a	Proportion de sapin dans le couvert ^b	ENDÉMIE	ÉPIDÉMIE (Échelle du peuplement)			ENDÉMIE		
		Phase de préépidémie	Phase sans mortalité		Phase avec mortalité	Phase de post-épidémie	Phase stable	
		Défoliation annuelle faible	< 50 % défoliation totale	> 50 % défoliation totale	Défoliation variable selon les arbres	Reprise progressive des survivants	Aucune défoliation	
A		< 25 % sauf les sapinières de haute altitude	Reporter la récolte des pessières et des sapinières de haute altitude. La récolte dans les autres types de peuplements n'est pas perturbée par l'épidémie.					Reprise de la stratégie sylvicole normale, dont les coupes totales dans les pessières, et diminution de la vulnérabilité à long terme.
B		De 25 à 50 %	Faire les coupes progressives pour promouvoir les To, Bj et Eu. Dans les pessières, reporter les coupes totales. Les coupes progressives y sont possibles si la régénération est préétablie ou s'il y a des semences dans les cônes.	Attendre l'évolution de la mortalité.	Récupération avec des coupes partielles sauf si le risque de chablis est trop élevé (carie, enracinement, juxtaposition aux ouvertures).			
C1		< 25 % et végétation potentielle non propice au sapin ^b	Reporter la récolte dans les pinèdes grises et les mélézins.					
C2		< 25 % et SEPM < 25 %	Faire les coupes progressives régulières (CPR) pour promouvoir les To, Bj et Eu.	Lorsque la régénération en résineux est préétablie, la CPR est possible en récoltant en premier les sapins et les épinettes. Les coupes totales sont toujours possibles. Lorsque le peuplement est constitué de Fi et qu'il est déjà considéré comme une vieille forêt, il peut être avantageux de ne pas le récolter avant que la succession naturelle soit complétée et qu'un nouveau peuplement résineux atteigne la maturité.				
C3		< 50 % et SEPM ≥ 25 %		Reporter la récolte pour se concentrer sur les peuplements plus vulnérables.	Attendre l'évolution de la mortalité.		Les coupes partielles de récupération sont une option lorsque la régénération en résineux est préétablie. Les coupes totales sont également possibles.	
D		De 50 à 75 %	Reporter les coupes progressives pour promouvoir To, Bj et Eu, les vieilles forêts et le paysage.		Coupe totale de récupération lorsque le risque de chablis est trop élevé incluant une mortalité anticipée > 40 %. Sinon, la coupe partielle de récupération est possible pour atteindre la cible de vieilles forêts ou réduire le volume de résineux récolté.			
E		> 75 %	Les CPR demeurent possibles, mais la défoliation peut devancer la coupe finale.	Le rythme de réalisation des coupes totales dépend de la marge de manœuvre dans l'unité territoriale par rapport à l'enjeu des vieilles forêts. Plus la marge de manœuvre est grande, plus la récolte peut être importante au début. Avant l'épidémie, il faut cibler les plus vulnérables, puis c'est le niveau de défoliation qui dicte la récolte.				
			Reporter les coupes progressives pour les vieilles forêts et le paysage.					

a. Les lettres indiquent les essences qui composent le couvert : L = essences longévives ; N = essences non longévives ; S = sapin ; ? = essences longévives, non longévives ou sapin.

b. Les végétations potentielles où le sapin n'est pas une essence qui oriente le choix du procédé de régénération sont les suivantes : FC1, FE1, FE2, FE3, FE4, FE5, FE6, FO1, ME1, RB1, RB2, RE1, RE2, RE3, RE4, RE7 et RP1.

BIBLIOGRAPHIE

- ARCHAMBAULT, L., et autres (1990). « Influence du drainage et de la texture du dépôt sur la vulnérabilité du sapin baumier et de l'épinette blanche aux attaques de la tordeuse des bourgeons de l'épinette », *Revue canadienne de recherche forestière*, vol. 20, n° 6, p. 750-756.
- BARRETTE, M., et L. BÉLANGER (2007). « Reconstitution historique du paysage préindustriel de la région écologique des hautes collines du Bas-Saint-Maurice », *Revue canadienne de recherche forestière*, vol. 37, n° 7, p. 1147-1160.
- BASHAM, J. T. (1984). "Degradation and loss of wood fiber in spruce budworm killed timber and effects on utilization", *The Forestry Chronicle*, vol. 60, n° 1, p. 10-14.
- BASHAM, J. T. (1986). "Biological factors influencing stem deterioration rates and salvage planning in balsam fir killed after defoliation by spruce budworm", *Revue canadienne de recherche forestière*, vol. 16, n° 6, p. 1217-1229.
- BASHAM, J. T., et autres (1976). "Balsam fir death and deterioration in eastern Canada following girdling", *Revue canadienne de recherche forestière*, vol. 6, n° 3, p. 406-414.
- BASHAM, J. T., et R. M. BELYEA (1960). "Death and deterioration of balsam fir weakened by spruce budworm defoliation in Ontario, Part III, The deterioration of dead trees", *Forest Science*, vol. 6, p. 78-96.
- BASKERVILLE, G. L. (1983). "Balsam fir foliage regression are age dependent", *Revue canadienne de recherche forestière*, vol. 13, n° 6, p. 1248-1251.
- BASKERVILLE, G. L., et D. A. MACLEAN (1979). *Budworm-caused mortality and 20-year recovery in immature balsam fir stands*, Canadian Forestry Service, Maritimes Forest Research Centre, 23 p. (Inf. Report; M-X-102).
- BAUCE, É., et A. FUENTEALBA (2013). "Interactions between stand thinning, site quality and host tree species on spruce budworm biological performance and host tree resistance over a 6-year period after thinning", *Forest Ecology and Management*, vol. 304, p. 212-223.
- BELLE-ISLE, J., et D. KNEESHAW (2007). "A stand and landscape comparison of the effects of a spruce budworm (*Choristoneura fumiferana* [Clem.]) outbreak to the combined effects of harvesting and thinning on forest structure", *Forest Ecology and Management*, vol. 246, n°s 2-3, p. 163-174.
- BERGERON, Y., et autres (1995). "Balsam fir mortality following the last spruce budworm outbreak in northwestern Quebec", *Revue canadienne de recherche forestière*, vol. 25, n° 8, p. 1375-1384.
- BLAIS, J. R. (1964). "Account of a recent spruce budworm outbreak in the Laurentide Park region of Quebec and measures for reducing damage in future outbreaks", *The Forestry Chronicle*, vol. 40, p. 313-323.

- BLAIS, J. R. (1965). "Spruce budworm outbreaks in the past three centuries in the Laurentides Park, Quebec", *Forest Science*, vol. 11, n° 2, p. 138-139.
- BLAIS, J. R. (1984). « Réflexions sur l'épidémiologie de la tordeuse des bourgeons de l'épinette (*Choristoneura fumiferana* [Clem.]) suite à 40 années d'études », *Revue d'Entomologie du Québec*, vol. 29, n° 1, p. 27-34.
- BLAIS, J. R. (1985). "The ecology of the eastern spruce budworm: a review and discussion", dans SANDERS, C. J., et autres (éditeurs), *Recent advances in spruce budworms research: Proceedings of the CANUSA spruce budworms research symposium, September 16-20, 1984, Bangor, Maine*, Ottawa, Service canadien des forêts, p. 49-59.
- BLAIS, J. R., et L. ARCHAMBAULT (1982). *Vulnérabilité du sapin baumier aux attaques de la tordeuse des bourgeons de l'épinette au Québec*, Sainte-Foy (Québec), Environnement Canada, Service canadien des forêts, Centre de recherches forestières des Laurentides, 21 p. [Rapport d'information; LAU-X-51F].
- BOUCHARD, M., D. KNEESHAW et Y. BERGERON (2005). "Mortality and stand renewal patterns following the last spruce budworm outbreak in mixed forests of western Quebec", *Forest Ecology and Management*, vol. 204, n°s 2-3, vol. 17, p. 297-313.
- BOUCHARD, M., D. KNEESHAW et Y. BERGERON (2006). "Forest dynamics after successive spruce budworm outbreaks in mixedwood forests", *Ecology*, vol. 87, n° 9, p. 2319-2329.
- BOUCHARD, M., et D. POTHIER (2010). "Spatiotemporal variability in tree and stand mortality caused by spruce budworm outbreaks in eastern Quebec", *Revue canadienne de recherche forestière*, vol. 40, n° 1, p. 86-94.
- BOUCHARD, M., D. POTHIER et S. GAUTHIER (2008). "Fire return intervals and tree species succession in the North Shore region of eastern Quebec", *Revue canadienne de recherche forestière*, vol. 38, n° 6, p. 1621-1633.
- BOUCHER, Y., et autres (2009). "Logging pattern and landscape changes over the last century at the boreal and deciduous transition in Eastern Canada", *Landscape Ecology*, vol. 24, n° 2, p. 171-184.
- BOUCHER, Y., et autres (2011). *Le registre des états de référence : intégration des connaissances sur la structure, la composition et la dynamique des paysages forestiers naturels du Québec méridional*, Québec, gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Direction de la recherche forestière, 21 p.
- BOULET, B. (2001). « Les enseignements de la dernière épidémie de tordeuses des bourgeons de l'épinette », dans SERVICE CANADIEN DES FORÊTS, *Tordeuse des bourgeons de l'épinette : l'appriivoiser dans nos stratégies d'aménagement*, Actes du colloque tenu à Shawinigan les 27, 28 et 29 mars 2001, p. 3-13. (Fo18-48/2001F)
- BOULET, B. (2003). *Les champignons des arbres de l'est de l'Amérique du Nord*, Sainte-Foy, Québec, Les Publications du Québec, 727 p.
- CENTRE D'ÉTUDE SUR LA FORÊT (2008). *Avis scientifique portant sur l'article 92.0.3.2 de la Loi sur les forêts*, 41 p.

- CHABOT, M., et autres (1998). *Délimitation des aires admissibles au programme de lutte contre la tordeuse des bourgeons de l'épinette (1996-2000)*, Québec, ministère des Ressources naturelles et Société de protection des forêts contre les insectes et maladies, 20 p.
- CHABOT, M., et J.-F. ROY (1979). *Méthode d'évaluation de l'état de santé des peuplements attaqués par la tordeuse des bourgeons de l'épinette*, ministère de l'Énergie et des Ressources, Direction de la conservation, 11 p. (Rapport interne; EP-79-17) [Non publié].
- COOKE, B. (2014). "Spruce budworm: a century of observation, conjecture, and insight-now what can we predict?", dans MINISTÈRE DES RESSOURCES NATURELLES DU QUÉBEC, RESSOURCES NATURELLES CANADA et ORDRE DES INGÉNIEURS FORESTIERS DU QUÉBEC, *Tordeuse des bourgeons de l'épinette – Faire face à la nouvelle épidémie*, Actes du colloque tenu à Québec les 19-20 février 2014, p. 132-140.
- COOKE, B. J., V. G. NEALIS et J. RÉGNIÈRE (2007). "Insect defoliators as periodic disturbances in northern forest ecosystems", dans JOHNSON, E. A., et K. MIYANISHI, *Plant disturbance ecology: The process and the response*, Burlington, Maine, Elsevier, Academic Press, p. 487-525.
- CÔTÉ, S., et L. BÉLANGER (1991). « Variations de la régénération préétablie dans les sapinières boréales en fonction de leurs caractéristiques écologiques », *Revue canadienne de recherche forestière*, vol. 21, n° 12, p. 1779-1795.
- CÔTÉ, S., Y. BOUCHER et N. THIFFAULT (2009). « Le bois mort dans la sapinière à bouleau blanc : importance, caractéristiques et considérations pour l'aménagement écosystémique », *Le naturaliste canadien*, vol. 133, n° 1, p. 65-72.
- DE GRANDPRÉ, L., et autres (2008). « Vers un aménagement écosystémique de la forêt boréale de la Côte-Nord : régime des perturbations et dynamique naturelle », dans GAUTHIER, S., et autres (éditeurs), *Aménagement écosystémique en forêt boréale*, Québec, Presses de l'Université du Québec, p. 241-268.
- DE GRANDPRÉ, L., et autres (2014). « Expansion nordique de la tordeuse des bourgeons de l'épinette et résilience de la forêt boréale », dans MINISTÈRE DES RESSOURCES NATURELLES DU QUÉBEC, RESSOURCES NATURELLES CANADA et ORDRE DES INGÉNIEURS FORESTIERS DU QUÉBEC, *Tordeuse des bourgeons de l'épinette – Faire face à la nouvelle épidémie*, Actes du colloque tenu à Québec les 19-20 février 2014, p. 34-38.
- DÉRY, S., et autres (2000). « Succession après épidémie de la tordeuse des bourgeons de l'épinette (*Choristoneura fumiferana*) dans des sapinières boréales pluviales de seconde venue », *Revue canadienne de recherche forestière*, vol. 30, n° 5, p. 801-816.
- DUPONT, A., L. BÉLANGER et J. BOUSQUET (1991). "Relationship between balsam fir vulnerability to spruce budworm and ecological site conditions of fir stands in central Quebec", *Revue canadienne de recherche forestière*, vol. 21, n° 12, p. 1752-1759.
- FETTES, J. J. (1950). *Investigations of sampling techniques for population studies of the spruce budworm on balsam fir in Ontario*, Sault-Sainte-Marie, Ontario, Forest Insect Laboratory, Service canadien des forêts, p. 163-401. (Annual technical report; 4).

- GHENT, A. N., D. A. FRASER et J. B. THOMAS (1957). "Studies of regeneration in forest stands devastated by the spruce budworm – I. Evidence of trends in forest succession during the first decade following budworm devastation", *Forest Science*, vol. 3, n° 2, p. 184-208.
- GRAY, D. R., et W. E. MACKINNON (2006). "Outbreak patterns of the spruce budworm and their impacts in Canada", *The Forestry Chronicle*, vol. 82, n° 4, p. 550-561.
- GRAY, D. R., J. RÉGNIÈRE et B. BOULET (2000). "Analysis and use of historical patterns of spruce budworm defoliation to forecast outbreak patterns in Quebec", *Forest Ecology and Management*, vol. 127, n° 1-3, p. 217-231.
- HAN, E. N., et É. BAUCE (1998). "Timing of diapause initiation, metabolic changes and overwintering survival of the spruce budworm, *Choristoneura fumiferana*", *Ecological Entomology*, vol. 23, n° 2, p. 160-167.
- HARDY, Y. J., A. LAFOND et L. HAMEL (1983). "The epidemiology of the current spruce budworm outbreak in Quebec", *Forest Science*, vol. 29, n° 4, p. 715-725.
- HENNIGAR, C. R., et autres (2008). "Differences in spruce budworm defoliation among balsam fir and white, red and black spruce", *Forest Science*, vol. 54, n° 2, p. 158-166.
- JETTÉ, J. P., et autres (2013a). *Intégration des enjeux écologiques dans les plans d'aménagement forestier intégré, Partie I, Analyse des enjeux*, Québec, gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Direction de l'aménagement et de l'environnement forestiers, 150 p.
- JETTÉ, J. P., et autres (2013b). *Intégration des enjeux écologiques dans les plans d'aménagement forestier intégré, Partie II, Élaboration des solutions aux enjeux, version 1.2*, Québec, gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Direction de l'aménagement et de l'environnement forestiers, 159 p.
- LANGÉVIN, R., et A. P. PLAMONDON (2004). *Méthode de calcul de l'aire équivalente de coupe d'un bassin versant en relation avec le débit de pointe des cours d'eau dans la forêt à dominance résineuse*, Québec, gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs, Direction de l'environnement forestier et Université Laval, Faculté de foresterie et de géomatique, 24 p.
- LEBLANC, M., et L. BÉLANGER (2000). *La sapinière vierge de la forêt Montmorency et de sa région : une forêt boréale distincte*, Québec, gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles, Direction de la recherche forestière, 91 p. (Mémoire de recherche forestière; 136).
- LOGAN, T., et autres (2011). *Atlas de scénarios climatiques pour la forêt québécoise*. Ouranos et ministère des Ressources naturelles et de la Faune, 124 p.
- LOGAN, J. A., J. RÉGNIÈRE, et J. A. POWELL (2003). "Assessing the impacts of global warming on forest pest dynamics", *Frontiers in Ecology and Environment*, vol. 1, n° 3, p. 130-137.
- LORTIE, M. (1968). *Quelques défauts indicateurs de carie chez le sapin baumier*, Québec, Fonds de recherche forestière de l'Université Laval, 38 p. (Bulletin; 11).

- LYNCH, A. M., et J. A. WITTER (1985). "Relationships between balsam fir mortality caused by the spruce budworm and stand, site, and soil variables in Michigan's Upper Peninsula", *Revue canadienne de recherche forestière*, vol. 15, n° 1, p. 141-147.
- MACLEAN, D. A. (1980). "Vulnerability of fir-spruce stands during uncontrolled spruce budworm outbreaks: a review and discussion", *The Forestry Chronicle*, vol. 56, n° 5, p. 213-221.
- MACLEAN, D. A., et W. E. MACKINNON, (1997). "Effects of stand and site characteristics on susceptibility and vulnerability of balsam fir and spruce to spruce budworm in New Brunswick", *Revue canadienne de recherche forestière*, vol. 27, n° 1, p. 1859-1871.
- MACLEAN, D. A., et D. P. OSTAFF (1989). "Patterns of balsam fir mortality caused by an uncontrolled spruce budworm outbreak", *Revue canadienne de recherche forestière*, vol. 19, n° 9, p. 1087-1095.
- MINISTÈRE DES RESSOURCES NATURELLES (2013a). *Relevés aériens des dommages causés par les insectes*, [En ligne]. [www.mrn.gouv.qc.ca/forets/fimaq/insectes/fimaq-insectes-portrait-relevés.jsp] (Page consultée le 2 juin 2013)
- MINISTÈRE DES RESSOURCES NATURELLES (2013b). *Manuel de planification forestière 2013-2018*, Québec, gouvernement du Québec, Direction de l'aménagement et de l'environnement forestiers, 246 p.
- MINISTÈRE DES RESSOURCES NATURELLES (2013c). *Le guide sylvicole du Québec, Tome 1, Les fondements biologiques de la sylviculture*, ouvrage collectif sous la supervision de B. Boulet et de M. Huot, Québec, Les Publications du Québec, 1011 p.
- MINISTÈRE DES RESSOURCES NATURELLES (2013d). *Le guide sylvicole du Québec, Tome 2, Les concepts et l'application de la sylviculture*, ouvrage collectif sous la supervision de C. Larouche, F. Guillemette, P. Raymond et J.-P. Saucier, Québec, Les Publications du Québec, 709 p.
- MINISTÈRE DES RESSOURCES NATURELLES (2013e). *Norme de stratification écoforestière – Quatrième inventaire écoforestier du Québec méridional*, Québec, Les Publications du Québec, 101 p.
- MINISTÈRE DES RESSOURCES NATURELLES ET DE LA FAUNE (2009). *Le portrait de l'évolution de la forêt publique sous aménagement du Québec méridional des années 1970 aux années 2000*, Québec, gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Direction des inventaires forestiers et Direction de l'environnement et de la protection des forêts, 142 p.
- MINISTÈRE DES RESSOURCES NATURELLES ET DE LA FAUNE (2012). *Document d'information sur les plans spéciaux d'aménagement et l'aide financière à l'intention des bénéficiaires de contrat forestier*, Québec, gouvernement du Québec, 16 p.
- MORIN, H., et autres (2008). « Régime des épidémies de la tordeuse des bourgeons de l'épinette dans l'Est de l'Amérique du Nord », dans GAUTHIER, S., et autres, *Aménagement écosystémique en forêt boréale*, Québec, Presses de l'Université du Québec, p. 167-192.

- MORIN, H., Y. JARDON et R. GAGNON (2007). "Relationships between spruce budworm outbreaks and forest dynamics in eastern North America", dans JOHNSON, E. A., et K. MIANISHI, *Plant disturbance ecology – The process and the response*, Elsevier, New-York, p. 555-577.
- MORRISSETTE, J. L., et autres (2002). "The response of boreal forest songbird communities to fire and post-fire harvesting", *Revue canadienne de recherche forestière*, vol. 32, n° 12, p. 2169-2183.
- NEALIS, V. G., et J. RÉGNIÈRE (2004). "Insect–host relationships influencing disturbance by the spruce budworm in a boreal mixedwood forest", *Revue canadienne de recherche forestière*, vol. 34, no 9, p. 1870-1882.
- PELLETIER, G., Y. DUMONT et M. BÉDARD (2007). *SIFORT, Système d'information forestière par tesselle, Manuel de l'usager*, [En ligne], Québec, ministère des Ressources naturelles et de la Faune. [www.mrn.gouv.qc.ca/publications/forets/fimaq/usager.pdf].
- PINNA, S., et autres (2009). *Portrait forestier historique de la Gaspésie*, Gaspé, Consortium en foresterie Gaspésie–Les-Îles, 204 p.
- RÉGNIÈRE, J. (2014). « Les fondements d'une stratégie d'intervention hâtive contre la tordeuse des bourgeons de l'épinette », dans MINISTÈRE DES RESSOURCES NATURELLES DU QUÉBEC, RESSOURCES NATURELLES CANADA et ORDRE DES INGÉNIEURS FORESTIERS DU QUÉBEC, *Tordeuse des bourgeons de l'épinette – Faire face à la nouvelle épidémie*, Actes du colloque tenu à Québec les 19-20 février 2014, p. 86-91.
- RÉGNIÈRE, J., R. ST-AMANT et P. DUVAL (2012). "Predicting insect distributions under climate change from physiological responses: spruce budworm as an example", *Biological Invasions*, vol. 14, n° 8, p. 1571-1586.
- SAUCIER, J.-P., et autres (2009). « Écologie forestière », dans ORDRE DES INGÉNIEURS FORESTIERS DU QUÉBEC, *Manuel de foresterie*, 2^e édition, Québec, Édition MultiMondes, p. 165-316.
- SETO, M., et autres (2012). *Préparation du volet opérationnel des plans d'aménagement forestier intégré – Répartition des interventions forestières dans la pessière à mousses, version 1.2*, Québec, gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Direction de l'aménagement et de l'environnement forestiers, 82 p. [Publié dans l'intranet du MFFP].
- SETO, M., et autres (en préparation). *Orientations préliminaires pour l'organisation spatiale des forêts et la répartition des interventions forestières dans les domaines bioclimatiques de la sapinière, version 3.0*, Québec, gouvernement du Québec, ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, Direction de l'aménagement et de l'environnement forestiers.
- SOCIÉTÉ DE PROTECTION DES FORÊTS CONTRE LES INSECTES ET MALADIES (2011). *Délimitation des secteurs admissibles aux pulvérisations aériennes d'insecticide biologique pour lutter contre la tordeuse des bourgeons de l'épinette – Rapport d'avancement des travaux* [En ligne]. [www.sopfim.qc.ca/admin/datas/pdf/Rapport_-_Aires_admissibles_mai_2011.pdf].

- STILLWELL, M. A., et J. KELLY (1964). "Fungous deterioration of balsam fir killed by spruce budworm in northwestern New Brunswick", *The Forestry Chronicle*, vol. 40, n° 4, p. 482-487.
- THÉRIAULT, G. (2002). *Échelles d'évaluation aérienne des dommages causés aux forêts par les insectes, les maladies, les feux et autres perturbations naturelles*, Québec, ministère des Ressources naturelles, Direction de la conservation des forêts, 9 p.
- WALL, R. E. (1988). "Deterioration of severely defoliated balsam fir in relation to stand age, spacing, and foliar protection", *Revue canadienne de recherche forestière*, vol. 18, n° 5, p. 490-497.
- YELLE, V., J. PÂQUET et J.-P. JETTÉ (2009). *Guide d'atténuation des impacts visuels causés par les agglomérations de coupes dans le domaine de la pessière à mousses*, Québec, ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Direction de l'environnement et de la protection des forêts, 27 p.

