

FORÊTS,
FAUNE ET
PARCS

ANALYSE DE LA RENTABILITÉ ÉCONOMIQUE des opérations de pulvérisations aériennes contre la tordeuse des bourgeons de l'épinette



ANALYSE DE LA RENTABILITÉ ÉCONOMIQUE
des opérations de pulvérisations aériennes contre
la tordeuse des bourgeons de l'épinette

RÉALISATION

Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs
Direction de la protection des forêts
Service de la gestion des ravageurs forestiers
2700, rue Einstein, local D 2.370a
Québec (Québec) G1P 3W8
Téléphone : 418 643-9679
Télécopieur : 418 643-0381
Courriel : dpf@mffp.gouv.qc.ca

Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs
Bureau de mise en marché des bois
Direction des évaluations économiques et des opérations financières
5400, 4^e Avenue Ouest, A-204
Québec (Québec) G1H 6R1
Téléphone: (418) 627-8640
Télécopieur: (418) 528-1278
Courriel : servicebmmb@bmmb.gouv.qc.ca
<http://www.bmmb.gouv.qc.ca>

RÉDACTION

Cédric Fournier, ing.f., M. Sc., Direction de la protection des forêts
François Labbé, ing.f., M. Sc., Bureau de mise en marché des bois
Mélicca Lainesse, économiste, M.A., Bureau de mise en marché des bois

RÉVISION

Louis Morneau, ing.f., M. Sc., Direction de la protection des forêts
Danièle Pouliot, analyste en géomatique, Direction de la protection des forêts

COLLABORATION

Yves Gauthier, économiste, Bureau de mise en marché des bois

DIFFUSION

Cette publication est disponible à l'adresse suivante : mffp.gouv.qc.ca/forets/protection/TBE.jsp ainsi que sur le site du Bureau de mise en marché des bois.

NOTE

La consultation en couleurs de ce document est recommandée pour mieux apprécier les cartes, les tableaux et les photographies (Photos MFFP).

© Gouvernement du Québec
Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, 2016
Dépôt légal – Bibliothèque nationale du Québec, 2016
ISBN en ligne : 978-2-550-77154-8 (PDF)
N° de publication : F17-02-1701

RÉSUMÉ

En 2016, les superficies défoliées par la tordeuse des bourgeons de l'épinette (TBE) totalisent 7 018 287 hectares comparativement à 6 315 262 hectares en 2015 et 4 275 065 hectares en 2014. Afin de limiter les pertes de volume marchand provoquées par l'épidémie, des activités de pulvérisations aériennes d'insecticide biologique sont effectuées, entre autres dans les régions les plus touchées : la Côte-Nord, le Saguenay–Lac-Saint-Jean, le Bas-Saint-Laurent et la Gaspésie–Îles-de-la-Madeleine. Le plan d'action TBE 2015-2020 du ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs prévoit la réalisation d'une analyse économique des investissements consentis dans ce moyen de lutte pour ces régions. L'analyse présentée dans ce rapport porte sur deux volets soit : 1) la rentabilité économique et 2) les impacts économiques des pulvérisations aériennes.

Dans le cadre de la première analyse, la rentabilité économique mesure les bénéfices de l'arrosage pour l'ensemble de la société (État, travailleurs, entreprises). Elle est évaluée pour deux territoires distincts soit les blocs opérationnels traités en 2015 et les aires admissibles à la protection. L'analyse des aires admissibles permet d'évaluer le potentiel de la rentabilité économique des arrosages aériens pour l'ensemble des superficies admissibles dans les quatre régions mentionnées précédemment. Celle des blocs opérationnels traités en 2015 trace un bilan de la rentabilité des superficies actuellement arrosées. La deuxième partie du rapport vise à déterminer les impacts économiques des arrosages à l'échelle de l'ensemble du secteur forestier et de l'économie. En effet, les pulvérisations aériennes, destinées à maintenir les peuplements en vie, permettraient également de soutenir les volumes de possibilités forestières et l'approvisionnement qui autrement diminueraient. Cette diminution entraînerait des répercussions directes sur le secteur forestier et l'économie des régions touchées par l'épidémie de la TBE.

Pour la plupart des scénarios analysés, les pulvérisations aériennes sont globalement rentables. Il existe toutefois des différences régionales importantes conséquentes aux caractéristiques forestières moyennes des aires admissibles de chacune des régions considérées dans l'analyse. En effet, pour une aire admissible donnée, le niveau de rentabilité est principalement influencé par le volume à l'hectare d'essences vulnérables (sapin baumier et épinette blanche) qu'elle contient et, dans une moindre mesure, par le délai de récolte dans ces aires, par le coût de chaque pulvérisation, le nombre d'années d'arrosage et la valeur économique des bois. La quantité beaucoup plus importante de sapins baumiers et d'épinettes blanches contenue dans les aires admissibles du Bas-Saint-Laurent et de la Gaspésie–Îles-de-la-Madeleine par rapport à celles des autres régions explique pourquoi le niveau de rentabilité des activités de pulvérisation y est plus élevé. Sur la base des pertes de possibilité forestière anticipées si aucun arrosage n'était effectué, les impacts économiques des arrosages sont de l'ordre de 195 M\$. Ce résultat est influencé par les mêmes facteurs que ceux de la rentabilité économique.

Les résultats obtenus dans la présente étude serviront à bonifier la planification des pulvérisations aériennes dans les prochaines années et aideront le Ministère à établir un ordre de priorité au moment opportun. De plus, ils ouvrent la porte à d'autres analyses, comme les arrosages aériens en forêt privée et dans les superficies faisant l'objet d'investissements sylvicoles importants (ex. plantations, etc.).

TABLE DES MATIÈRES

Résumé	iii
Liste des tableaux	.vii
Liste des figures	.vii
Introduction	1
Chapitre 1. Analyse de la rentabilité des pulvérisations aériennes	3
1.1 – Méthodologie	3
1.1.1 – Superficies et caractéristiques dendrométriques des peuplements dans les aires analysées	3
1.1.2 – Défoliation cumulative	3
1.1.3 – Hypothèses de travail	4
1.1.3.1 – Évolution de l'épidémie	4
1.1.3.2 – Paramètres d'analyse	4
1.1.3.3 – Mortalité et pertes de croissance	5
1.1.3.4 – Concept de perte évitée et de récolte	6
1.1.4 – Analyse de la rentabilité	6
1.1.4.1 – Coûts des arrosages	6
1.1.4.2 – Revenus économiques	6
1.1.4.3 – Analyse de la rentabilité économique	6
1.1.5 – Détermination des facteurs contribuant à la rentabilité	7
1.2 – Résultats	8
1.2.1 – Aires admissibles	8
1.2.1.1 – Détermination des facteurs de rentabilité	8
1.2.2 – Blocs opérationnels traités en 2015	12
1.3 – Discussion	14
Chapitre 2. Analyse des impacts économiques	17
2.1 – Méthodologie	17
2.1.1 – Principes d'évaluation des impacts économiques	17
2.1.2 – Valeurs économiques	17
2.1.3 – Autres paramètres de l'analyse	17
2.2 – Résultats et discussion	17
Conclusion générale	19

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Superficies traitées 2009-2016 et régions visées	1
Tableau 2. Description des scénarios utilisés pour la réalisation de l'analyse des blocs opérationnels traités en 2015 et des aires admissibles	4
Tableau 3. Paramètres de l'analyse des blocs opérationnels traités en 2015 et des aires admissibles.	4
Tableau 4. Revenus économiques du sapin baumier et de l'épinette par unité de volume marchand (m ³) et unité d'aménagement	7
Tableau 5. Caractéristiques forestières, mortalité et rentabilité économique à l'hectare par scénario analysé et région administrative pour les aires admissibles.	9
Tableau 6. Ajustement des modèles de prédiction de la rentabilité économique par hectare des scénarios de 10 et 15 ans d'arrosage	10
Tableau 7. Caractéristiques forestières, mortalité et rentabilité économique à l'hectare par scénario analysé et région administrative pour les blocs opérationnels traités en 2015.	13
Tableau 8. Bénéfices économiques des baisses de possibilités résultant de l'épidémie de TBE	18

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Aires admissibles à l'arrosage et défoliation annuelle TBE 2016	2
Figure 2. Prédications du modèle de mortalité en fonction de la défoliation cumulative pour différentes proportions de sapin baumier.	5
Figure 3. Prédications de la valeur actuelle nette par hectare des modèles de 10 ans et de 15 ans d'arrosage selon le volume à l'hectare de sapin baumier et d'épinette blanche et de l'hypothèse de défoliation considérée	11
Figure 4. Prédications de valeur actuelle nette par hectare des modèles de 10 ans et de 15 ans d'arrosage en fonction de la valeur économique des bois et des hypothèses de défoliation	11
Figure 5. Prédications de valeur actuelle nette par hectare des modèles de 10 ans et de 15 ans d'arrosage en fonction de la valeur économique des bois et des hypothèses de défoliation.	11

INTRODUCTION

La tordeuse des bourgeons de l'épinette (TBE) est un insecte indigène dont la présence est normale dans les forêts québécoises et dont les populations évoluent de façon cyclique à un intervalle d'une trentaine d'années. Les essences de prédilection de cet insecte sont le sapin baumier et l'épinette blanche. L'épidémie actuelle sévit dans plusieurs régions du Québec. En 2016, les superficies défoliées totalisent 7 018 287 hectares comparativement à 6 315 262 hectares en 2015 et à 4 275 065 hectares en 2014. Les régions les plus touchées sont la Côte-Nord, le Saguenay–Lac-Saint-Jean, le Bas-Saint-Laurent, l'Abitibi-Témiscamingue et la Gaspésie–Îles-de-la-Madeleine. Les infestations relevées dans la région de la Mauricie et celle des Laurentides sont minimales. Ailleurs au Québec, les premiers dommages observés en 2015, par le survol aérien ont augmenté dans la région de la Capitale-Nationale de manière importante en 2016.

En 2016, un plan d'intervention contre la TBE s'est poursuivi dans les régions de la Côte-Nord, du Saguenay–Lac-Saint-Jean, du Bas-Saint-Laurent et de la Gaspésie–Îles-de-la-Madeleine. L'objectif est de limiter la défoliation, par l'insecte, dans des peuplements forestiers ciblés afin de maintenir les arbres en vie. La Société de protection des forêts contre les insectes et maladies (SOPFIM) est l'organisme délégué par le ministre pour la mise en application de ce plan. Des pulvérisations aériennes avec un insecticide biologique, le *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki* (Btk), ont été effectuées dans les secteurs de Baie-Comeau, de Port-Cartier, de Forestville, au nord du lac Saint-Jean, des Méchins, de Sainte-Anne-des-Monts et dans la vallée de la Matapédia. L'intervention s'est déroulée sur une superficie totale de 211 660 hectares comparativement à 177 610 hectares en 2015 (voir tableau 1). Le nombre d'applications (une ou deux) variait selon le niveau des populations enregistrées de larves de TBE.

Les connaissances acquises au courant de la dernière épidémie et les données actuelles concernant la vulnérabilité des peuplements montrent bien que des impacts importants sont à appréhender dans d'autres territoires : secteurs des monts Valin (Saguenay–Lac-Saint-Jean) et dans la Réserve faunique des Laurentides (Capitale-Nationale) (Carte 1). Malgré une évolution régionale différente de l'épidémie au Québec, les besoins de protection continueront d'augmenter dans les prochaines années.

Tableau 1. Superficies traitées 2009-2016 et régions visées

Année	Superficies traitées (ha)	Région
2009	38 472	Côte-Nord
2010	55 730	
2011	62 553	Côte-Nord
2012	98 044	Saguenay–Lac-Saint-Jean
2013	120 310	
2014	148 006	Côte-Nord Saguenay–Lac-Saint-Jean Bas-Saint-Laurent
2015	177 610	Côte-Nord Saguenay–Lac-Saint-Jean Bas-Saint-Laurent Gaspésie–Îles-de-la-Madeleine
2016	211 660	Côte-Nord Saguenay–Lac-Saint-Jean Bas-Saint-Laurent Gaspésie–Îles-de-la-Madeleine

OBJECTIFS DE L'ANALYSE

À l'automne 2015, le plan d'action TBE 2015-2020 a été approuvé par les autorités du ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs (MFFP). Parmi les différentes actions, certaines visaient directement la planification des arrosages aériens. Dans le but de répondre à l'action 1.1.1 et aux attentes liées à ce plan d'action, une collaboration a été établie entre la Direction de la protection (DPF) et le Bureau de mise en marché des bois (BMMB) afin d'évaluer la rentabilité économique des opérations d'arrosage aérien, en se basant sur des données de 2009 à 2015.

L'analyse réalisée touche deux volets soit :

1. La rentabilité économique des arrosages
2. Les impacts économiques des arrosages

Dans le cadre de la première analyse, la rentabilité économique mesure les bénéfices de l'arrosage pour l'ensemble de la société (État, travailleurs, entreprises). Elle est évaluée pour deux territoires distincts, soit les blocs opérationnels traités en 2015 et les aires admissibles à la protection. L'analyse des aires admissibles permet d'évaluer le potentiel de rentabilité économique des arrosages aériens pour l'ensemble des superficies admissibles des quatre régions étudiées de la province. Celle des blocs opérationnels traités en 2015 trace un bilan de la rentabilité des superficies qui sont actuellement arrosées.

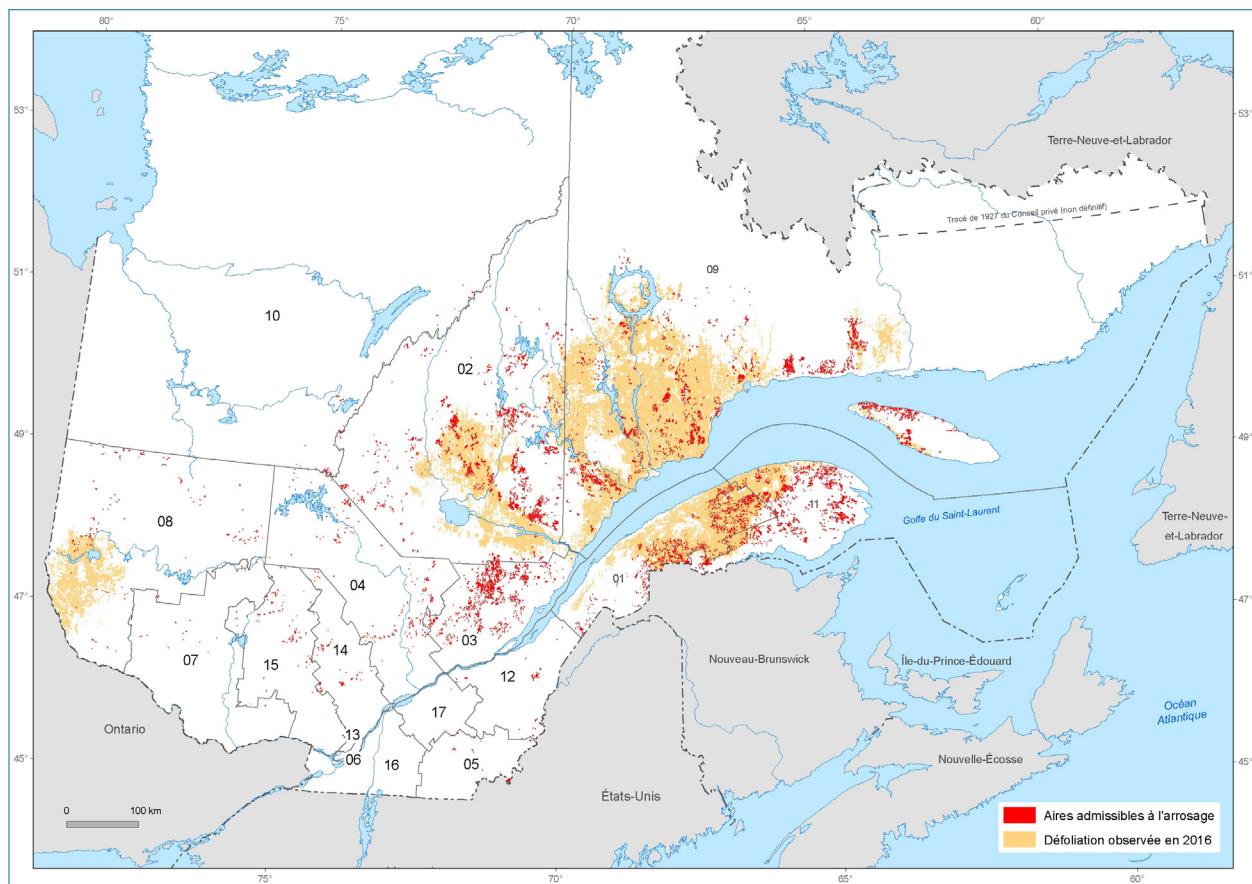


Figure 1. Aires admissibles à l'arrosage et défoliation annuelle TBE 2016

La deuxième analyse vise à déterminer les impacts économiques de l'arrosage à l'échelle de l'ensemble du secteur forestier et de l'économie. En effet, les pulvérisations aériennes, destinées à maintenir les peuplements en vie, permettraient également de soutenir les volumes de possibilités forestières et l'approvisionnement qui, autrement, diminueraient. Cette diminution entraînerait des répercussions directes sur le secteur forestier et l'économie des régions touchées par l'épidémie de la TBE.

CHAPITRE 1. ANALYSE DE LA RENTABILITÉ DES PULVÉRISATIONS AÉRIENNES

1.1 – MÉTHODOLOGIE

La base d'analyse utilisée pour la réalisation de l'étude correspond aux peuplements écoforestiers contenus dans chacune des aires (blocs opérationnels traités en 2015 et aires admissibles). Six scénarios ont été analysés. Ceux-ci résultent de la combinaison entre deux durées d'arrosage (10 ans et 15 ans) et trois niveaux moyens de défoliation causée par la TBE (optimiste, réaliste, pessimiste). La rentabilité de chacun des scénarios a été calculée en soustrayant de ces bénéfices (valeur économique des pertes évitées de volumes marchands) les coûts de réalisation des arrosages. Les résultats obtenus pour chacun des peuplements ont été consignés dans une base de données géographiques. Cette échelle de travail permet de conserver un maximum de latitude et de flexibilité pour l'interrogation des résultats (ex. sommation pour produire des résultats à une échelle plus agglomérée), leur analyse ainsi que pour toute exploitation subséquente. Les sections suivantes présentent des informations plus détaillées sur la méthodologie utilisée.

1.1.1 – Superficies et caractéristiques dendrométriques des peuplements dans les aires analysées

Les livrables cartographiques des calculs de possibilité forestière (CPF) 2013-2018 ont été utilisés pour établir les caractéristiques forestières de chacune des aires analysées. Ces livrables, disponibles sur le site Web du Bureau du forestier en chef (BFEC) pour chacune des unités d'aménagement (UA) de la province, consistent en une base de données géographiques des différents intrants, hypothèses et résultats du CPF. Ces informations sont liées aux centroïdes des polygones de la cartographie de référence utilisés pour réaliser les CPF (CFETBFEC).

Un traitement géomatique de superposition a permis d'obtenir les caractéristiques suivantes pour chacun des peuplements écoforestiers contenus dans les aires analysées :

- Appellation cartographique
- Superficie
- Volumes marchands par essence en 2013
- Âge en 2013
- Âge d'exploitabilité

Le livrable cartographique étant constitué d'une couche de points et non de polygones, certaines aires analysées, en raison de leur trop faible dimension, n'ont pas trouvé de correspondance lors de la superposition. Cette situation est particulièrement fréquente pour les blocs opérationnels traités en 2015 pour lesquels la géométrie est très fractionnée. Pour ce qui est des aires admissibles, cette problématique est pratiquement inexistante. Il n'y a pas lieu de croire que cette situation induise des biais dans l'analyse. En effet, rien n'indique que les polygones concernés ont des caractéristiques significativement différentes de ceux qui ne le sont pas.

1.1.2 – Défoliation cumulative

Depuis 1967, un relevé aérien permettant d'évaluer l'étendue et la gravité des dommages causés par les principaux ravageurs forestiers, est effectué annuellement par la DPF du MFFP. Dans ces relevés, la défoliation annuelle causée par la TBE est évaluée selon trois classes¹ :

- légère : perte de feuillage dans le tiers supérieur du houppier de quelques arbres;
- modérée : perte de feuillage dans la moitié supérieure du houppier de la majorité des arbres;
- grave : perte de feuillage sur toute la longueur du houppier de la majorité des arbres.

La défoliation cumulative est une valeur, calculée à partir des résultats annuels des relevés aériens, qui permet de traduire l'impact de la TBE sur un peuplement en termes d'intensité et de durée. Plus la valeur est élevée, plus le peuplement est affecté et des pertes de volumes marchands en raison de la mortalité sont à appréhender. Son calcul consiste en une addition des classes annuelles de défoliation converties en valeur numérique (légère=1, modérée=2, grave=3). À titre d'exemple, un peuplement défolié durant 3 ans avec, chaque année, une classe de défoliation légère aura une défoliation cumulative de 3 (3 ans x 1). Avec trois années de défoliation grave, il aurait plutôt une défoliation cumulative de 9 (3 ans x 3). Pour les besoins de l'analyse des blocs opérationnels traités en 2015, une valeur de défoliation cumulative a été calculée pour chacun des peuplements à l'année de début des pulvérisations aériennes.

¹ Les classes de défoliation correspondent à la perte de feuillage annuel dans le houppier des essences vulnérables à la TBE (sapin baumier, épinette blanche et épinette noire).

1.1.3 – Hypothèses de travail

1.1.3.1 – Évolution de l'épidémie

De l'avis même de la DPF, il est très difficile de prévoir comment une épidémie de TBE est susceptible d'évoluer en termes de durée et d'intensité. Pour contourner cette difficulté, une approche par sensibilité, visant à explorer l'ensemble des évolutions jugées probables, a été retenue.

Le premier paramètre sur lequel il existe une incertitude est la durée de l'épidémie. À la suite des échanges avec la DPF, il a été convenu que la durée probable d'une épidémie pour un peuplement donné, et par conséquent du scénario d'arrosage qui sera appliqué, est de l'ordre de 10 à 15 ans. Les effets de scénarios d'arrosage correspondant à ces deux durées ont donc été analysés.

Au-delà de la durée, l'intensité de l'épidémie est également très déterminante par rapport aux niveaux de mortalité susceptibles de survenir. Pour une même durée, plus l'intensité est importante, plus le niveau de mortalité sera élevé. Afin de tester les effets de l'intensité de l'épidémie, trois niveaux moyens de défoliation annuelle ont été retenus : optimiste, réaliste et pessimiste. Le niveau optimiste a une valeur de défoliation de 2, ce qui correspond à une défoliation annuelle de niveau modéré maintenue tout le long de l'épidémie. Le niveau pessimiste (valeur de 3) correspond à une défoliation annuelle de niveau grave. Le niveau réaliste représente le scénario qui est le plus probable dans l'épidémie en cours. L'intensité de l'infestation devrait augmenter graduellement de modéré à grave pour ensuite redescendre jusqu'à la fin de l'épidémie (valeur de la défoliation : 2,5) Le niveau de

défoliation léger (1) a été exclu, car il est jugé improbable que cette intensité se maintienne tout le long de l'épidémie. De plus, ce niveau de défoliation n'est pas retenu comme critère pour entreprendre les arrosages aériens dans un peuplement.

Au final, pour les deux analyses, six scénarios résultant de la combinaison des deux durées des activités d'arrosage (10 ans et 15 ans) et des trois niveaux de défoliation considérés (optimiste, réaliste, pessimiste) ont été simulés. Le tableau 2 présente la liste et la description de ces six scénarios.

1.1.3.2 – Paramètres d'analyse

La réalisation des analyses requiert de définir un certain nombre de paramètres, soit :

- année de début des arrosages
- année de fin des arrosages
- défoliation cumulative initiale
- défoliation cumulative finale

Comme les objectifs de l'analyse des blocs opérationnels traités en 2015 ne sont pas les mêmes que ceux relatifs aux aires admissibles, des décisions différentes ont été prises pour chacun de ces contextes. En effet, l'analyse des blocs opérationnels a pour but de faire état de la rentabilité économique pour des aires qui sont actuellement arrosées. Par conséquent, plusieurs des paramètres sont déjà connus et n'ont pas à être déterminés (ex. année de début des arrosages, défoliation cumulative initiale). En ce qui concerne les aires admissibles, la grande majorité d'entre elles ne sont actuellement pas touchées par l'épidémie. Il est même probable qu'une certaine proportion de celles-ci ne le sera pas. Afin de mettre chacune de ces aires sur un même pied d'égalité et de procéder à leur analyse, il a été convenu que les arrosages ont débuté en 2015 pour chacune d'entre elles et que leur défoliation cumulative initiale est de 5, ce qui correspond à peu près à ce que devrait avoir accumulé une aire admissible au moment où la décision de commencer les arrosages est prise. Cette uniformité des paramètres initiaux permet l'obtention de résultats qui permettront d'identifier les aires admissibles les plus intéressantes à arroser si jamais plusieurs sont simultanément touchées par

Tableau 2. Description des scénarios utilisés pour la réalisation de l'analyse des blocs opérationnels traités en 2015 et des aires admissibles

Scénario	Durée des arrosages	Niveau moyen de défoliation annuelle
1	10 ans	Optimiste
2		Réaliste
3		Pessimiste
4	15 ans	Optimiste
5		Réaliste
6		Pessimiste

Tableau 3. Paramètres de l'analyse des blocs opérationnels traités en 2015 et des aires admissibles

Aires analysées	Début des arrosages	Défoliation cumulative initiale	Fin des arrosages	Défoliation cumulative finale
Aires admissibles à la protection	2015	5	Année de début des arrosages + nombre d'années du scénario analysé	Défoliation initiale + (nombre d'années du scénario x intensité du scénario)
Blocs opérationnels traités en 2015	Variable	Variable		

l'épidémie. Ces informations sont particulièrement intéressantes dans un contexte où le nombre d'aires admissibles pouvant être arrosées excède ce que permettent les budgets alloués. Le tableau 3 présente les paramètres retenus pour les deux analyses.

1.1.3.3 – Mortalité et pertes de croissance

La mortalité présente dans les peuplements en raison de la TBE est estimée à partir d'un modèle qui prédit la proportion du volume de sapin, épinettes, pin gris et mélèze (SEPM) mort en fonction de la défoliation cumulative ainsi que de la proportion du volume marchand total qui est composé de sapin baumier. Seuls les volumes morts de sapin baumier et d'épinette blanche, soit les deux essences les plus vulnérables à la TBE, ont été considérés dans la mortalité calculée pour étalonner le modèle. Celui-ci repose sur les mesures et évaluations effectuées dans 171 parcelles-échantillons mesurées en 2014, dans des peuplements défoliés de la Côte-Nord, par le personnel du MFFP de cette région ainsi que celui de la DPF. Au moment de l'élaboration de ce modèle, étant donné l'état d'avancement de l'épidémie, des données de terrain ont été relevées seulement sur la Côte-Nord. La figure qui suit présente des estimations de ce modèle en fonction de la défoliation cumulative, et ce, pour différents niveaux de proportions de sapin baumier.

Dans les analyses réalisées, la mortalité a été calculée seulement pour les volumes de sapin baumier et d'épinette blanche.

De plus, même si cette hypothèse n'est pas conforme aux connaissances sur le sujet, il est considéré que les niveaux de vulnérabilité du sapin baumier et de l'épinette blanche sont identiques. Par conséquent, dans les simulations réalisées, la mortalité s'accumule au même rythme pour chacune de ces deux essences. Cette décision a été prise, car le modèle de mortalité utilisé n'établit pas de distinction entre la mortalité de ces deux essences. Au fur et à mesure que l'épidémie évoluera dans d'autres régions, dont le Bas-Saint-Laurent et la Gaspésie-Îles-de-la-Madeleine, des données supplémentaires seront collectées et pourront servir à bonifier ce modèle de mortalité.

En plus de causer des pertes dues à la mortalité, la TBE occasionne aussi des pertes de croissance sur les tiges qu'elle défolie avec une intensité insuffisante pour les faire mourir. Il a été tenté d'inclure et de comptabiliser ces pertes de croissance. Toutefois, faute de connaissances satisfaisantes sur le sujet et sur l'incidence de l'objectif de protection du Ministère (maintenir les peuplements résineux en vie) sur celui-ci, il a été décidé de ne pas les inclure dans les analyses. Par conséquent, les niveaux de rentabilité peuvent être sous-évalués.

Finalement, la mortalité du sapin baumier et de l'épinette blanche causée par la TBE est susceptible de créer des éclaircies favorables à la croissance d'essences compagnes non vulnérables. Ces gains potentiels de croissance n'ont pas été évalués et ils ne sont pas comptabilisés dans l'analyse.

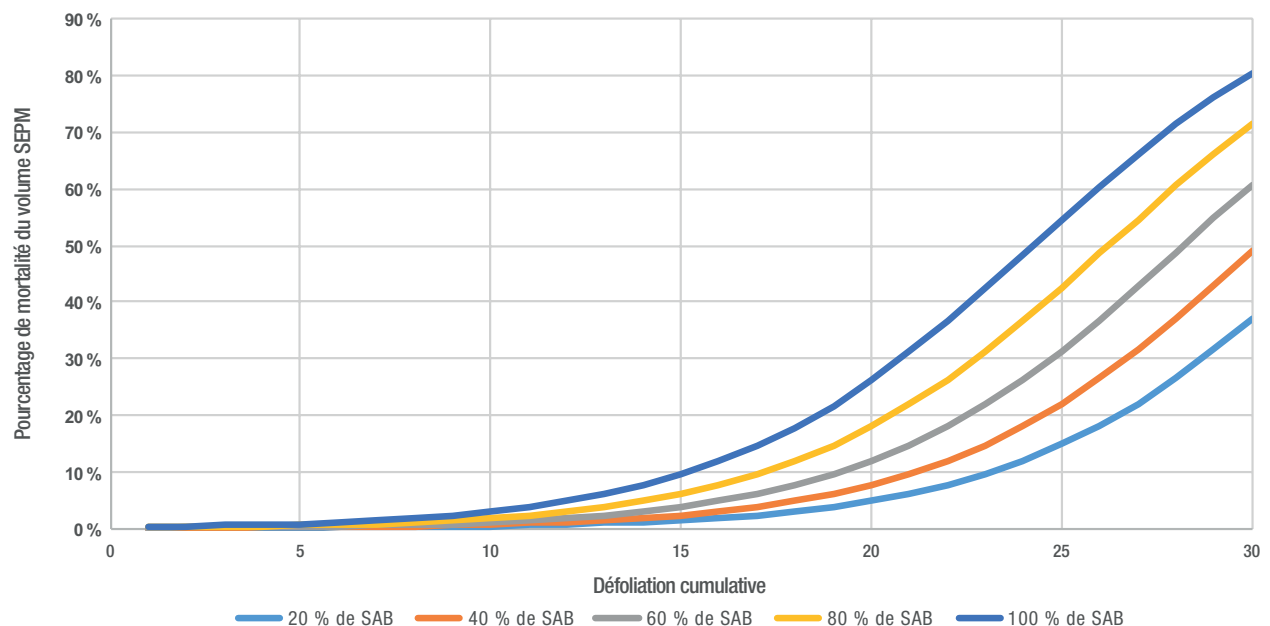


Figure 2. Prédiction du modèle de mortalité en fonction de la défoliation cumulative pour différentes proportions de sapin baumier

1.1.3.4 – Concept de perte évitée et de récolte

Les bénéfices considérés dans l'analyse correspondent à la valeur économique des pertes évitées de volumes marchands grâce aux activités de pulvérisations aériennes. Afin d'établir la quantité de pertes évitées, deux simulations ont été produites pour chacun des scénarios analysés soit un avec arrosage et un autre sans arrosage. Les pertes évitées d'un scénario sont comptabilisées en calculant le différentiel de volume marchand vivant entre les deux simulations au terme de la réalisation du scénario d'arrosage.

Pour les simulations avec arrosage, le volume marchand final correspond au volume marchand initial. Il est donc considéré que les arrosages sont efficaces, empêchent la mortalité des arbres, mais ne soutiennent pas leur croissance.

Pour les simulations sans arrosage, la mortalité est calculée à la fin de la période d'arrosage. Pour alimenter le modèle d'estimation de la mortalité, la proportion initiale de sapin baumier, présent dans le peuplement au début du scénario, est utilisée. La défoliation cumulative finale utilisée est calculée selon les hypothèses utilisées de durée et d'intensité de l'épidémie.

Les pertes évitées, soit le différentiel de volume marchand des deux simulations décrites ci-dessus, sont considérées comme récoltées dès la fin du scénario. Un délai d'attente, correspondant à l'écart entre l'âge du peuplement et son âge d'exploitabilité, a été rajouté afin de tenir compte de la situation des volumes contenus dans des peuplements trop jeunes pour être récoltables.

1.1.4 – Analyse de la rentabilité

1.1.4.1 – Coûts des arrosages

Le coût considéré pour les arrosages aériens, qui inclut l'ensemble des frais afférents (soutien forestier, aviation, achat de l'insecticide biologique *Btk*, main-d'œuvre, inventaires, suivis, etc.), est de 75 \$ par hectare par an. Ce coût tient également compte du nombre moyen d'applications par année (entre 1 et 2 applications).

1.1.4.2 – Revenus économiques

Les revenus économiques associés aux volumes marchands préservés par les activités d'arrosage sont issus des activités de récolte et de transformation de la matière ligneuse. Ils sont composés de la valeur marchande des bois sur pied (VMSBP), du bénéfice net des entreprises et de la rente salariale des travailleurs pour la récolte et la transformation du bois.

La VMSBP est le revenu perçu par le propriétaire de la ressource, en l'occurrence la société dont l'État est le gestionnaire aux fins de la vente de cette ressource. Elle mesure la valeur de la ressource.

Le bénéfice net des entreprises de récolte et de transformation du bois correspond aux revenus, moins les coûts de production des entreprises. Il représente la valeur économique générée pour les entreprises à la suite de la récolte et de la transformation de la matière ligneuse.

La rente salariale mesure l'écart de richesse, ou de bien-être pour le travailleur qui est actif dans le secteur de la récolte et de la transformation du bois plutôt que dans un autre secteur d'activité économique. Plus précisément, la rente salariale correspond au salaire net du travailleur, soit le salaire total moins son coût d'opportunité, c'est-à-dire le salaire d'opportunité obtenu ailleurs dans l'économie. En d'autres termes, il s'agit d'une quantification de la valeur économique associée aux emplois dans le secteur forestier.

Des détails supplémentaires concernant les éléments présentés dans cette section se trouvent dans le *Guide d'analyse économique*, à l'adresse suivante :

<https://bmmb.gouv.qc.ca/analyses-economiques/principes-d-analyse/>

Au final, les revenus économiques utilisés dans la présente analyse sont établis considérant les caractéristiques moyennes historiques (DHP, dm³/tiges, qualité) des volumes marchands par essence et UA. Le tableau 4 en présente le détail des revenus utilisés.

1.1.4.3 – Analyse de la rentabilité économique

Un des principes fondamentaux de l'analyse de la rentabilité est l'importance accordée aux moments où les coûts sont engagés et les revenus obtenus. Cette considération provient de la préférence naturelle des agents économiques à consommer dans le présent plutôt que dans l'avenir et de leur niveau d'aversion au risque. Dans l'évaluation de la rentabilité, ces deux éléments se traduisent par le taux d'actualisation. Celui-ci tend à réduire la valeur des coûts et des revenus futurs au profit des plus rapprochés. Néanmoins, lorsque l'investissement a des répercussions à long terme affectant plusieurs générations, la notion d'actualisation doit être ajustée pour tenir compte de la notion d'équité intergénérationnelle. L'équité intergénérationnelle traduit la volonté de la génération actuelle de ne pas reporter les conséquences négatives ou positives de décisions présentes. Il s'agit d'une juste répartition des coûts et des bénéfices des activités humaines entre les générations. Cet élément se traduit par un taux d'actualisation dégressif après les trente premières années. Dans le cadre de la présente analyse, le taux réel d'actualisation utilisée est de 4 %. Il demeure fixe, car les horizons des différents scénarios analysés pour évaluer la rentabilité économique sont nettement inférieurs à 30 ans.

Tableau 4. Revenus économiques du sapin baumier et de l'épinette par unité de volume marchand (m³) et unité d'aménagement

Unité d'aménagement	Épinette				Sapin baumier			
	Rente salariale	Bénéfice des entreprises	VMBSP	Total	Rente salariale	Bénéfice des entreprises	VMBSP	Total
011-51	9,27 \$	11,06 \$	16,40 \$	36,74 \$	8,99 \$	10,74 \$	15,92 \$	35,65 \$
011-52	9,27 \$	11,06 \$	17,59 \$	37,92 \$	8,99 \$	10,73 \$	17,07 \$	36,79 \$
012-51	9,26 \$	11,05 \$	19,77 \$	40,08 \$	8,99 \$	10,73 \$	19,18 \$	38,89 \$
012-52	9,30 \$	11,10 \$	21,31 \$	41,70 \$	9,02 \$	10,77 \$	20,67 \$	40,46 \$
012-53	9,30 \$	11,10 \$	21,73 \$	42,14 \$	9,03 \$	10,78 \$	21,09 \$	40,89 \$
012-54	9,29 \$	11,09 \$	18,75 \$	39,13 \$	9,02 \$	10,76 \$	18,20 \$	37,97 \$
022-51	7,70 \$	10,96 \$	25,57 \$	44,23 \$	7,47 \$	10,64 \$	24,81 \$	42,92 \$
023-51	7,70 \$	10,96 \$	20,55 \$	39,21 \$	7,47 \$	10,64 \$	19,94 \$	38,05 \$
023-52	7,71 \$	10,98 \$	18,94 \$	37,63 \$	7,48 \$	10,66 \$	18,38 \$	36,51 \$
024-51	7,69 \$	10,95 \$	16,82 \$	35,46 \$	7,46 \$	10,63 \$	16,32 \$	34,41 \$
024-52	7,68 \$	10,94 \$	14,06 \$	32,68 \$	7,45 \$	10,62 \$	13,64 \$	31,71 \$
025-51	7,67 \$	10,92 \$	20,26 \$	38,85 \$	7,44 \$	10,60 \$	19,66 \$	37,70 \$
027-51	7,70 \$	10,97 \$	17,77 \$	36,44 \$	7,47 \$	10,65 \$	17,24 \$	35,36 \$
033-51	6,42 \$	11,00 \$	16,85 \$	34,28 \$	6,23 \$	10,68 \$	16,35 \$	33,26 \$
042-51	6,44 \$	11,03 \$	20,80 \$	38,27 \$	6,25 \$	10,70 \$	20,19 \$	37,14 \$
043-51	6,38 \$	10,93 \$	18,83 \$	36,14 \$	6,19 \$	10,61 \$	18,27 \$	35,07 \$
093-51	7,68 \$	10,95 \$	16,60 \$	35,23 \$	7,46 \$	10,62 \$	16,11 \$	34,19 \$
093-52	7,66 \$	10,92 \$	5,26 \$	23,85 \$	7,44 \$	10,59 \$	5,11 \$	23,14 \$
094-51	7,70 \$	10,97 \$	6,80 \$	25,47 \$	7,47 \$	10,65 \$	6,60 \$	24,72 \$
094-52	7,66 \$	10,92 \$	6,26 \$	24,85 \$	7,44 \$	10,59 \$	6,08 \$	24,11 \$
095-51	7,66 \$	10,92 \$	4,65 \$	23,24 \$	7,44 \$	10,59 \$	4,52 \$	22,55 \$
097-51	7,69 \$	10,96 \$	17,32 \$	35,97 \$	7,46 \$	10,63 \$	16,81 \$	34,90 \$
111-61	9,25 \$	11,04 \$	18,01 \$	38,29 \$	8,97 \$	10,71 \$	17,48 \$	37,16 \$
112-62	9,23 \$	11,01 \$	19,69 \$	39,94 \$	8,95 \$	10,69 \$	19,11 \$	38,75 \$
112-63	9,27 \$	11,06 \$	17,55 \$	37,89 \$	8,99 \$	10,73 \$	17,03 \$	36,76 \$

Le calcul de la rentabilité pour chacun des peuplements analysés est celui de la valeur actuelle nette (VAN). Il correspond à la différence nette, en dollars d'aujourd'hui, entre la somme des coûts actualisés et des revenus actualisés (formule 1).

Formule 1 :

$$VAN = \sum \frac{Revenus}{(1+i)^t} - \sum \frac{Coûts}{(1+i)^t}$$

Où :

i = taux d'actualisation

t = Moment de réalisation (année)

Dans les analyses effectuées, les flux monétaires surviennent toujours de la même façon. Les coûts se réalisent annuellement tout au long de l'horizon du scénario. Les revenus surviennent quant à eux à plus long terme, à la fin du scénario d'arrosage, au moment où la forêt qui a été protégée parvient à l'âge d'exploitabilité et est récoltée.

1.1.5 – Détermination des facteurs contribuant à la rentabilité

Afin de déterminer et de quantifier l'effet des facteurs qui contribuent à expliquer les différences de rentabilité entre les aires arrosées, un exercice de modélisation de la rentabilité économique à l'hectare a été effectué. Une régression linéaire multiple, réalisée avec le logiciel STATA, a été utilisée. Une attention a été apportée afin d'éviter d'inclure dans le modèle des variables corrélées entre elles. La normalité des résidus a aussi été vérifiée.

Deux modèles ont été étalonnés pour chacune des analyses. Un pour les scénarios de 10 ans d'arrosage et un autre pour ceux de 15 ans. Les variables explicatives potentielles considérées dans l'analyse sont les suivantes :

- hypothèse de défoliation
- défoliation cumulative initiale

- volume marchand à l'hectare toutes essences
- volume marchand à l'hectare de SAB et d'EPB
- proportion de SAB et d'EPB à l'hectare
- valeur économique des bois (\$/m³)
- délai de récolte (nombre d'années avant la maturité)
- région administrative
- unité d'aménagement forestier

Les analyses des blocs opérationnels traités en 2015 et des aires admissibles se distinguent uniquement par les superficies couvertes. À l'exception de la défoliation initiale, les autres paramètres et hypothèses des analyses (ex. coûts, mortalité, durée, etc.) sont identiques. En ce sens, les facteurs contribuant à la rentabilité ne peuvent qu'être les mêmes. Ainsi, afin d'éviter une redondance de résultats équivalents, le travail de détermination des facteurs contribuant à la rentabilité a été effectué uniquement pour les aires admissibles.

1.2 – RÉSULTATS

1.2.1 – Aires admissibles

Le tableau 5 présente, pour les aires admissibles, les caractéristiques forestières, la mortalité et la rentabilité économique à l'hectare pour chaque scénario analysé, région administrative et unité d'aménagement. Ces résultats sont présentés spécifiquement pour les régions de la Côte-Nord, du Saguenay–Lac-Saint-Jean, du Bas-Saint-Laurent et de la Gaspésie–Îles-de-la-Madeleine. Actuellement, les régions de l'Abitibi-Témiscamingue, de la Capitale-Nationale, de la Mauricie et des Laurentides sont également touchées par la TBE. Parmi ces 4 dernières régions, seule celle de la Capitale-Nationale risque d'avoir des arrosages aériens dans les prochaines années étant donné les volumes d'essences vulnérables présentes sur ce territoire et les risques de mortalités appréhendés. Par contre, cette région n'a pas été incluse dans la présente analyse étant donné qu'une mise à jour cartographique des aires admissibles est en cours présentement.

Globalement, 5 des 6 scénarios analysés sont rentables économiquement. En effet, seul le scénario de 10 ans de sévérité optimiste n'est pas rentable. Le scénario jugé le plus probable (10 ans d'arrosage avec une épidémie d'intensité réaliste) est le deuxième plus rentable parmi ceux analysés.

Le niveau de rentabilité varie entre les scénarios et augmente avec la sévérité de l'épidémie. En effet, pour les scénarios d'arrosage de 10 ans, la rentabilité à l'hectare passe de -56 \$/ha, pour le scénario optimiste, à 788 \$/ha pour le

pessimiste. Une augmentation est aussi observée pour les scénarios de 15 ans qui passent, pour ces mêmes catégories de sévérité, de 329 \$/ha à 408 \$/ha. Celle-ci est toutefois beaucoup moins importante que pour les scénarios de 10 ans. Ces résultats sont conséquents avec le pourcentage de mortalité calculé pour chacun des scénarios. Il y a en effet, pour les scénarios de 10 ans d'arrosage, une augmentation notable de la mortalité de 39 % à 94 % entre les différents niveaux de sévérité de l'épidémie. Pour les scénarios de 15 ans, on constate aussi cette augmentation mais elle est beaucoup moins importante (de 94 % à 100 %). Avec 100 % de mortalité chacun, les scénarios réaliste et pessimiste sont identiques.

La rentabilité varie entre les régions administratives et les unités d'aménagement. Elle est positive pour la plupart des scénarios analysés du Bas-Saint-Laurent et de la Gaspésie–Îles-de-la-Madeleine. En contrepartie, elle est négative pour une bonne partie des scénarios des autres régions. Les faibles volumes à l'hectare de sapin baumier et d'épinette blanche qu'on y trouve semblent expliquer ces résultats. En effet, en analysant les données du tableau, on constate qu'il semble y avoir une corrélation importante entre l'espérance de rentabilité d'un scénario d'arrosage et le volume marchand à l'hectare de sapin baumier et d'épinette blanche. Ils sont nettement plus élevés dans les aires du Bas-Saint-Laurent (104 m³/ha) et de la Gaspésie–Îles-de-la-Madeleine (99 m³/ha) que dans celles de la Côte-Nord (44 m³/ha) et du Saguenay–Lac-Saint-Jean (41 m³/ha). Au total, plus de la moitié du volume marchand (58 %) est composé de sapin baumier et d'épinette blanche. Cette proportion est aussi beaucoup plus élevée dans le Bas-Saint-Laurent (65 %) et en Gaspésie–Îles-de-la-Madeleine (71 %) que dans les autres régions (environ 45 %). L'analyse de la détermination des facteurs de rentabilité permettra de valider et, le cas échéant, de quantifier l'importance de cette relation entre le niveau de rentabilité et la quantité de volume marchand de ces deux essences.

1.2.1.1 – Détermination des facteurs de rentabilité

Les caractéristiques des modèles retenus pour les scénarios de 10 ans et de 15 ans d'arrosage sont présentées au tableau 6. Le coefficient de détermination est de 0,87 pour le modèle de 10 ans d'arrosage et de 0,96 pour celui de 15 ans.

Les variables explicatives de la rentabilité sont identiques pour les deux modèles. Il s'agit du volume à l'hectare du sapin baumier et de l'épinette blanche, de l'hypothèse de défoliation considérée, de la valeur économique par mètre cube et du délai de maturité.

Le volume marchand à l'hectare du sapin baumier et de l'épinette blanche est la variable la plus importante. En effet, lorsqu'elle est utilisée seule comme variable explicative, elle

Tableau 5. Caractéristiques forestières, mortalité et rentabilité économique à l'hectare par scénario analysé et région administrative pour les aires admissibles

Région	Superficie (ha)	Volume par hectare	Proportion de SAB et EPB	Bilan général - Aires admissibles											
				Pourcentage de mortalité selon la durée de l'arrosage et l'intensité de l'épidémie						Rentabilité selon la durée de l'arrosage et l'intensité de l'épidémie					
				Arrosage 10 ans						Arrosage 15 ans					
				Optimiste	Réaliste	Pessimiste	Optimiste	Réaliste	Pessimiste	Optimiste	Réaliste	Pessimiste	Optimiste	Réaliste	Pessimiste
Bas-Saint-Laurent	167 460	159	104	65 %											
01151	9 595	145	74	51 %	35 %	66 %	90 %	89 %	100 %	286	1 125	1 758	1 132	1 351	1 358
01152	9 807	161	84	52 %	31 %	64 %	89 %	89 %	100 %	-119	429	861	408	566	569
01251	18 750	163	89	54 %	30 %	64 %	89 %	89 %	100 %	-27	643	1 152	635	814	818
01252	28 504	162	98	61 %	30 %	62 %	87 %	87 %	100 %	29	739	1 308	765	1 004	1 017
01253	46 452	157	100	63 %	34 %	65 %	89 %	89 %	100 %	232	1 031	1 662	1 056	1 279	1 291
01254	54 353	161	124	77 %	36 %	68 %	92 %	92 %	100 %	319	1 172	1 831	1 187	1 357	1 361
Côte-Nord	312 684	94	44	47 %	36 %	67 %	89 %	89 %	100 %	501	1 476	2 170	1 468	1 739	1 745
09351	76 336	90	41	46 %	47 %	90 %	99 %	99 %	100 %	-268	72	150	-213	-210	-210
09352	8 297	108	44	41 %	45 %	88 %	99 %	99 %	100 %	-250	120	219	-150	-145	-145
09451	99 334	103	54	52 %	48 %	97 %	100 %	100 %	100 %	-299	35	58	-299	-299	-299
09452	16 529	109	43	39 %	48 %	90 %	99 %	99 %	100 %	-222	147	226	-158	-153	-153
09551	33 257	91	47	52 %	52 %	97 %	100 %	100 %	100 %	-277	38	57	-298	-298	-298
09751	78 930	84	34	41 %	49 %	92 %	100 %	100 %	100 %	-281	26	81	-280	-279	-279
Gaspésie- Îles-de-la- Madeleine	237 329	139	99	71 %	44 %	87 %	99 %	99 %	100 %	-332	-36	46	-288	-285	-285
11161	95 372	140	103	73 %	37 %	69 %	93 %	93 %	100 %	228	995	1 544	987	1 132	1 134
11262	59 128	133	86	64 %	38 %	71 %	93 %	93 %	100 %	304	1 104	1 645	1 054	1 204	1 208
11263	82 830	141	103	73 %	36 %	70 %	95 %	95 %	100 %	90	779	1 294	827	926	926
Saguenay- Lac-Saint-Jean	276 516	91	41	45 %	36 %	68 %	92 %	92 %	100 %	238	1 023	1 605	1 024	1 196	1 198
02251	4 499	120	31	26 %	40 %	79 %	98 %	98 %	100 %	-268	87	273	-107	-93	-93
02351	173	109	19	17 %	40 %	76 %	95 %	95 %	100 %	-267	58	238	-149	-115	-115
02352	98 566	98	56	58 %	60 %	92 %	99 %	99 %	100 %	-365	-214	-178	-482	-479	-479
02451	54 194	92	36	39 %	38 %	73 %	98 %	98 %	100 %	-132	333	663	216	240	240
02452	46 401	78	32	41 %	39 %	79 %	97 %	97 %	100 %	-316	17	159	-207	-187	-187
02551	26 996	86	24	28 %	43 %	85 %	99 %	99 %	100 %	-380	-121	-40	-361	-355	-355
02751	45 687	89	32	36 %	50 %	96 %	100 %	100 %	100 %	-356	-103	-78	-389	-389	-389
Total	993 989	115	66	58 %	39 %	74 %	94 %	94 %	100 %	-56	474	788	329	406	408

permet l'obtention d'un coefficient de détermination supérieur à 0,80 pour chacun des deux modèles (résultats non présentés). Sa corrélation avec la rentabilité est beaucoup plus importante que la proportion de volume marchand, composée par ces deux mêmes essences. Pour cette raison, et aussi à cause de la forte colinéarité qui existe entre ces deux variables, la proportion de volume marchand composé de sapin baumier et d'épinette blanche n'a pas été retenue dans le modèle.

Aucune variable explicative correspondant à des limites géographiques (régions administratives et unités d'aménagement forestier) n'a un effet significatif sur la rentabilité. Par conséquent, elles sont exclues du modèle. En fait, les différences régionales de rentabilité constatées au tableau 5 résultent des différences observées en termes de volume de sapin baumier et d'épinette blanche par hectare, de maturité et de valeur économique des bois. En d'autres termes, si les caractéristiques des aires étaient identiques, il n'y aurait pas de différences régionales.

La figure 3 permet de visualiser les effets sur la rentabilité du volume marchand à l'hectare de sapin baumier et d'épinette blanche ainsi que de l'hypothèse de défoliation pour les scénarios de 10 ans et de 15 ans d'arrosage. On y constate que le niveau de rentabilité est directement proportionnel au volume marchand de sapin baumier et d'épinette blanche à l'hectare. Par ailleurs, plus l'hypothèse de défoliation est grave, plus le niveau de rentabilité est important. L'écart de rentabilité entre les différentes hypothèses de défoliation est toutefois beaucoup moins important pour les scénarios de 15 ans. Ce résultat est conséquent avec les écarts de niveaux de mortalité estimés pour les différentes hypothèses de défoliation. Ils sont importants pour les scénarios de 10 ans d'arrosage et plutôt faible pour ceux de 15 ans (tableau 5).

Ces figures permettent de mettre en évidence une notion de volume minimal à protéger, variable selon les hypothèses de défoliation et de durée de l'épidémie. Ainsi, pour le scénario jugé le plus probable (10 ans – Réaliste), la figure indique qu'il faudrait au moins 40 m³ par hectare de sapin baumier et d'épinette blanche pour espérer que le scénario d'arrosage fasse ses frais. En effet, en deçà de ce volume, il est déficitaire alors qu'au-delà, la rentabilité est positive.

La figure 4 présente l'effet de la valeur économique des bois. On y constate que plus la valeur économique des bois est élevée, plus le niveau de rentabilité est important. En effet, une forte valeur économique des bois permet d'obtenir un bénéfice plus important pour chacun des mètres cubes de pertes évitées, ce qui favorise la rentabilité. L'écart de rentabilité entre les différentes hypothèses de défoliation est beaucoup moins important pour les scénarios de 15 ans. Encore une fois, ce résultat est conséquent avec les écarts de niveaux de mortalité estimés pour les différentes hypothèses de défoliation (tableau 5).

La figure 5 présente l'effet du délai de maturité. On y constate que plus le délai est important, plus le niveau de rentabilité diminue. Ce résultat est une conséquence directe de l'actualisation des flux monétaires. En retardant la récolte des bois protégés, on repousse dans le temps l'appropriation de la valeur économique des arrosages. Cette situation fait en sorte que la valeur des pertes doit être actualisée sur un nombre d'années plus important, ce qui se traduit par une valeur actuelle plus faible de celle-ci. L'écart de rentabilité entre les différentes hypothèses de défoliation est beaucoup moins important pour les scénarios de 15 ans. Encore une fois, ce résultat est conséquent avec les écarts de niveaux de mortalité estimés pour les différentes hypothèses de défoliation (tableau 5).

Tableau 6. Ajustement des modèles de prédiction de la rentabilité économique par hectare des scénarios de 10 et 15 ans d'arrosage

Coefficients d'ajustement		10 ans d'arrosage			15 ans d'arrosage		
Observations		5 691			5 691		
R²		0,87			0,96		
Valeur de F		<0,0001			<0,0001		
Écart-type		247,39			85,234		
Paramètres du modèle							
Paramètre	Estimation	Valeur de t	P>t	Estimation	Valeur de t	P>t	
Constante	-3074,439	-102,1	0,000	-2001,594	-192,72	0,000	
Volume/ha de SAB et d'EPB	15,49937	141,94	0,000	19,88545	528,63	0,000	
Hypothèse de défoliation	789,7202	98,31	0,000	74,57231	26,95	0,000	
Valeur économique des bois	14,33816	20,30	0,000	25,77985	105,97	0,000	
Délai de maturité	-7,924546	-12,62	0,000	-5,420718	-25,06	0,000	

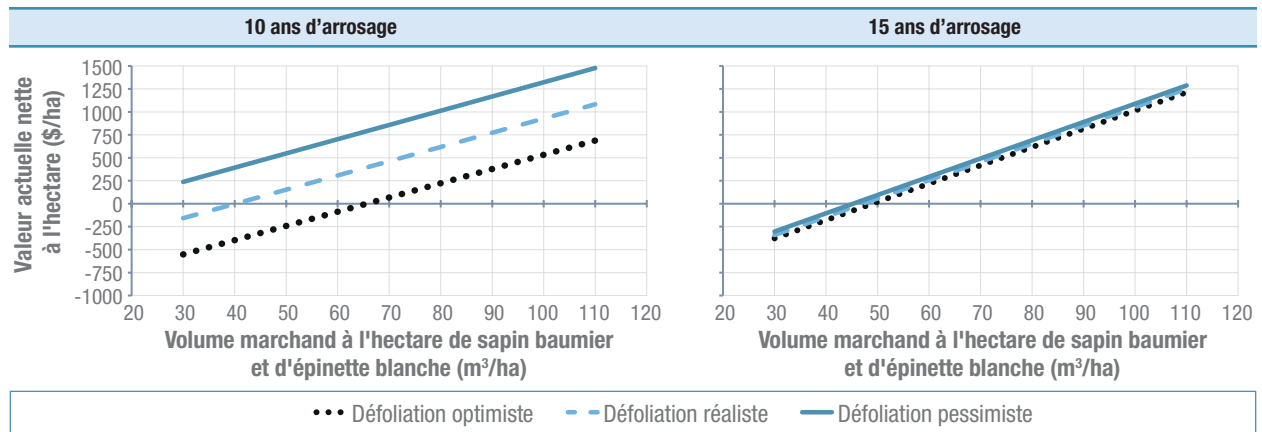


Figure 3. Prédications de la valeur actuelle nette par hectare des modèles de 10 ans et de 15 ans d'arrosage selon le volume à l'hectare de sapin baumier et d'épinette blanche et de l'hypothèse de défoliation considérée

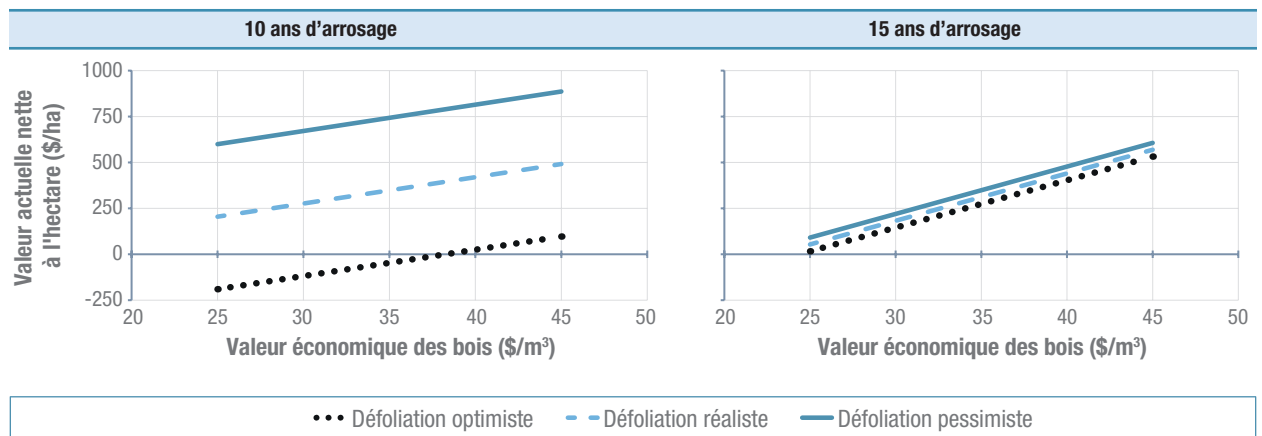


Figure 4. Prédications de valeur actuelle nette par hectare des modèles de 10 ans et de 15 ans d'arrosage en fonction de la valeur économique des bois et des hypothèses de défoliation

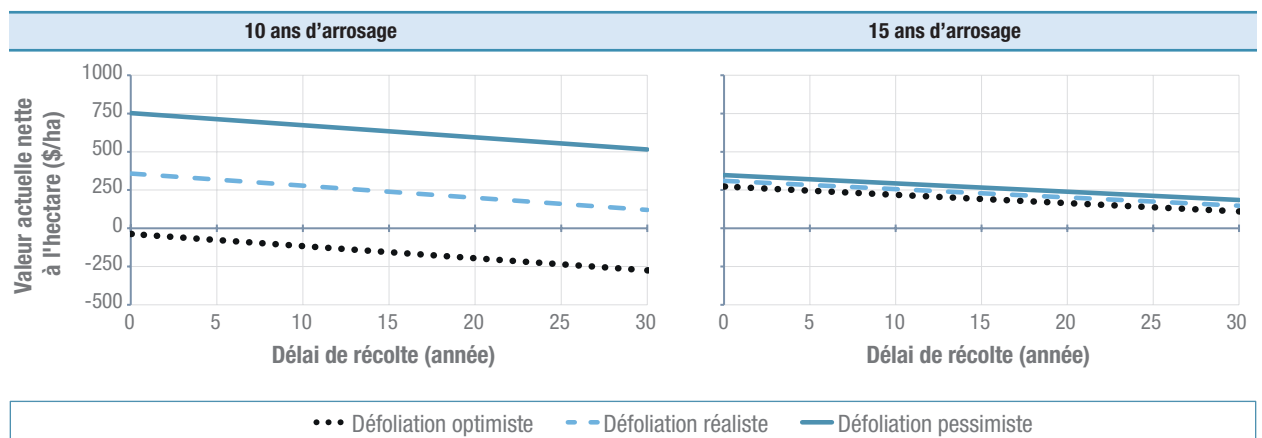


Figure 5. Prédications de valeur actuelle nette par hectare des modèles de 10 ans et de 15 ans d'arrosage en fonction du délai de récolte et des hypothèses de défoliation.

1.2.2 – Blocs opérationnels traités en 2015

Pour les blocs opérationnels traités en 2015, le tableau 7 présente les caractéristiques forestières, la mortalité et la rentabilité économique à l'hectare par scénario analysé, région administrative et unité d'aménagement.

Globalement, 4 des 6 scénarios analysés sont rentables économiquement. Le scénario jugé le plus probable (10 ans d'arrosage avec une épidémie d'intensité réaliste) est le deuxième plus rentable parmi ceux qui ont été analysés. Les deux scénarios non rentables sont ceux avec des hypothèses de défoliation optimiste.

Tout comme pour les aires admissibles, le niveau de rentabilité varie toutefois selon les scénarios et augmente avec la sévérité de l'épidémie. En effet, pour les scénarios d'arrosage de 10 ans, la rentabilité à l'hectare passe de -287 \$/ha, pour le scénario réaliste, à 452 \$/ha pour le pessimiste. Une augmentation similaire est aussi observée pour les scénarios de 15 ans qui passent de -8 \$/ha à 93 \$/ha pour ces mêmes catégories de sévérité. Celle-ci est toutefois beaucoup moins importante que pour les scénarios de 10 ans. Ces résultats sont conséquents avec le pourcentage de mortalité calculé pour chacun des scénarios. En effet, pour les scénarios de 10 ans d'arrosage, on observe une augmentation notable de la mortalité entre les différents niveaux de sévérité de l'épidémie (de 33 % à 91 %). Pour les scénarios de 15 ans, on constate aussi cette augmentation mais elle est beaucoup moins importante (de 91 % à 100 %). Avec 100 % de mortalité chacun, les scénarios réaliste et pessimiste sont identiques.

La rentabilité varie entre les régions administratives et les unités d'aménagement. Elle est positive pour l'ensemble des scénarios analysés du Bas-Saint-Laurent et de la Gaspésie–Îles-de-la-Madeleine. En contrepartie, elle est négative pour une bonne partie des scénarios des deux autres régions. Les faibles volumes à l'hectare de sapin baumier et d'épinette blanche expliquent en grande partie ces résultats. En effet, en analysant les données du tableau, on constate qu'il semble y avoir une corrélation importante entre l'espérance de rentabilité d'un scénario d'arrosage et le volume marchand à l'hectare de sapin baumier et d'épinette blanche. Ils sont nettement plus élevés dans les aires du Bas-Saint-Laurent (112 m³/ha) et de la Gaspésie–Îles-de-la-Madeleine (108 m³/ha) que dans celles de la Côte-Nord (40 m³/ha) et du Saguenay–Lac-Saint-Jean (35 m³/ha). Dans l'ensemble, plus de la moitié du volume marchand total (54 %) est composé de sapin baumier et d'épinette blanche. Cette proportion est aussi beaucoup plus élevée dans le Bas-Saint-Laurent (67 %) et en Gaspésie–Îles-de-la-Madeleine (70 %) que dans les autres régions (de 35 % à 40 %).

La rentabilité la plus faible obtenue dans l'analyse des blocs opérationnels traités en 2015 résulte des volumes moyens à l'hectare de sapin baumier et d'épinette blanche moins élevés que dans les aires admissibles. En effet, en comparant les tableaux 5 et 7, on constate, qu'en moyenne, elle est nettement supérieure dans les aires admissibles que dans les blocs opérationnels traités en 2015 (66 m³/ha comparativement à 35 m³/ha). Il en est de même pour les régions de la Côte-Nord (44 m³/ha comparativement à 23 m³/ha) et du Saguenay–Lac-Saint-Jean (41 m³/ha comparativement à 27 m³/ha).

Tableau 7. Caractéristiques forestières, mortalité et rentabilité économique à l'hectare par scénario analysé et région administrative pour les blocs opérationnels traités en 2015

Région	Superficie	Volume total		Volume par hectare (m³/ha)		Proportion de SAB et EPB	Pourcentage de mortalité selon la durée de l'arrosage et l'intensité de l'épidémie						Rentabilité à l'hectare selon la durée de l'arrosage et l'intensité de l'épidémie (Van/ha)					
							Arrosage 10 ans			Arrosage 15 ans			Arrosage 10 ans			Arrosage 15 ans		
		Total	SAB et EPB	Total	SAB et EPB		Optimiste	Réaliste	Pessimiste	Optimiste	Réaliste	Pessimiste	Optimiste	Réaliste	Pessimiste	Optimiste	Réaliste	Pessimiste
Bas-Saint-Laurent	23 949	3 967 972	2 676 601	166	112	67 %	28 %	57 %	85 %	85 %	99 %	100 %	177 \$	1 042 \$	1 837 \$	1 172 \$	1 527 \$	1 546 \$
01253	8 040	1 344 570	789 963	167	98	59 %	26 %	56 %	85 %	85 %	100 %	100 %	71 \$	883 \$	1 682 \$	1 038 \$	1 365 \$	1 375 \$
01254	15 909	2 623 402	1 886 638	165	119	72 %	29 %	58 %	84 %	84 %	100 %	100 %	231 \$	1 123 \$	1 916 \$	1 239 \$	1 609 \$	1 633 \$
Côte-Nord	105 281	8 639 265	4 173 768	82	40	48 %	39 %	76 %	96 %	96 %	100 %	100 %	-378 \$	-78 \$	95 \$	-282 \$	-254 \$	-254 \$
08351	47 631	3 543 128	1 729 903	74	36	49 %	38 %	74 %	96 %	96 %	100 %	100 %	-407 \$	-113 \$	77 \$	-301 \$	-268 \$	-268 \$
09451	27 329	2 468 856	1 384 173	90	51	56 %	38 %	75 %	95 %	95 %	100 %	100 %	-353 \$	-42 \$	144 \$	-254 \$	-217 \$	-217 \$
09751	30 321	2 627 281	1 059 692	87	35	40 %	40 %	80 %	98 %	98 %	100 %	100 %	-355 \$	-57 \$	79 \$	-278 \$	-265 \$	-265 \$
Gaspésie-Îles-de-la-Madeleine	9 538	1 473 693	1 034 426	155	108	70 %	29 %	59 %	87 %	87 %	100 %	100 %	142 \$	946 \$	1 670 \$	1 044 \$	1 331 \$	1 340 \$
11263	9 538	1 473 693	1 034 426	155	108	70 %	29 %	59 %	87 %	87 %	100 %	100 %	142 \$	946 \$	1 670 \$	1 044 \$	1 331 \$	1 340 \$
Saguenay-Lac-Saint-Jean	32 117	2 726 647	1 123 707	85	35	41 %	26 %	58 %	90 %	90 %	100 %	100 %	-465 \$	-189 \$	82 \$	-299 \$	-225 \$	-224 \$
02451	15 000	1 342 216	605 622	89	40	45 %	24 %	55 %	87 %	87 %	100 %	100 %	-443 \$	-133 \$	185 \$	-218 \$	-117 \$	-115 \$
02751	2 000	175 716	72 712	88	36	41 %	20 %	48 %	81 %	81 %	100 %	100 %	-518 \$	-289 \$	-29 \$	-377 \$	-257 \$	-251 \$
02551	180	8 795	3 897	49	22	44 %	22 %	57 %	96 %	96 %	100 %	100 %	-625 \$	-487 \$	-331 \$	-620 \$	-598 \$	-598 \$
02751	14 937	1 199 920	441 476	80	30	37 %	28 %	63 %	94 %	94 %	100 %	100 %	-478 \$	-228 \$	-1 \$	-366 \$	-326 \$	-326 \$
Total	170 885	16 807 577	9 008 502	98	53	54 %	33 %	66 %	91 %	91 %	100 %	100 %	-287 \$	115 \$	425 \$	-8 \$	89 \$	93 \$

1.3 – DISCUSSION

Le principal facteur qui influence la rentabilité économique des arrosages aériens est le volume à l'hectare d'essences vulnérables dans les aires arrosées. En effet, le coût à l'hectare des arrosages étant toujours le même, plus la quantité de sapins baumiers et d'épinettes blanches est importante, plus la mortalité évitée en raison des arrosages est élevée et, par conséquent, plus l'intervention est profitable. Considérant ce fait, il serait opportun d'évaluer la possibilité de resserrer les critères forestiers actuellement utilisés pour délimiter les aires admissibles afin de circonscrire des superficies qui contiennent suffisamment de sapins baumiers et d'épinettes blanches pour espérer une rentabilité positive des arrosages aériens. Actuellement, selon des critères élaborés lors de la dernière épidémie, un peuplement doit contenir un minimum de 38 % de son volume total en sapin baumier et en épinette blanche et être, au minimum, dans la classe d'âge de 30 ans. Avec ces critères, une large gamme de peuplements peuvent être inclus dans l'arrosage et, par conséquent, les niveaux de rentabilité ne sont pas les mêmes partout.

Les bénéfices des arrosages, et par conséquent la rentabilité, sont obtenus uniquement si les pertes évitées de volume sont effectivement récoltées au terme de la période d'arrosage. Lors de la planification, il est donc impératif de s'assurer qu'il n'existe aucune contrainte à la récolte des volumes contenus dans les aires traitées au terme du scénario d'arrosage. Dans le même ordre d'idées, il est aussi très important de s'assurer qu'aucune récolte n'y est prévue, à court terme, dans un délai qui serait nettement inférieur à celui de la durée du scénario d'arrosage. Dans ce dernier cas, les montants investis pour réaliser les arrosages seraient des pertes directes, car ils ne généreraient aucun bénéfice. L'acuité du travail de validation des aires admissibles réalisée par la DPF, en collaboration avec les planificateurs régionaux, est donc d'une importance capitale au regard de la rentabilité des arrosages aériens.

L'incidence du délai de récolte des peuplements visés par l'arrosage n'est pas négligeable. Plus la récolte est planifiée à long terme, plus la rentabilité est difficile à atteindre. Il faudrait s'assurer que les critères utilisés pour définir les aires admissibles laissent peu de place aux peuplements qui sont loin de leur âge de maturité. À cet égard, l'opportunité de se doter de critères d'âge variables selon la région et la composition des peuplements devrait être évaluée. À titre d'exemple, les pessières à sapins arrivent généralement à maturité à un âge plus élevé que les sapinières pures. Aussi, les sapinières de la pessière à mousse arrivent à maturité plus tard que celles de la sapinière à bouleau blanc. La prise en compte de ces variations permettrait inévitablement d'accroître les bénéfices des arrosages aériens.

Contrairement au Bas-Saint-Laurent et à la Gaspésie—Îles-de-la-Madeleine, la rentabilité est plus faible dans les scénarios de 15 ans, comparativement à ceux de 10 ans, pour les régions de la Côte-Nord et du Saguenay—Lac-Saint-Jean. Ces résultats sont conséquents avec les volumes à l'hectare plus faibles de sapin baumier et d'épinette blanche dans ces deux dernières régions. En effet, les pertes évitées par les arrosages sont nécessairement plus faibles dans ces régions. Par conséquent, l'investissement maximal qu'il est possible de réaliser grâce aux arrosages est nécessairement moins élevé. Ce résultat semble indiquer que, pour ces régions, les arrosages aériens ne sont pas nécessairement la solution idéale, du point de vue économique, à moyen et à long terme pour réduire les incidences de la TBE. La récolte préventive pourrait être plus avantageuse en termes de rentabilité des investissements.

Dans le même ordre d'idées, lors de la planification des arrosages, les superficies prévues à la récolte dans 1) moins de 5 ans ou, 2) plus de 25 ans ne sont pas prises en considération. Dans le premier cas, la mortalité appréhendée est peu probable, étant donné qu'elle apparaît généralement après un minimum de 4 à 5 années successives de défoliation grave. De plus, la rentabilité des arrosages est négative lorsque le niveau de mortalité est faible, comme c'est le cas pour le scénario 10 ans d'arrosage et de défoliation modérée (moyenne de 39 %). Dans le second cas, l'horizon de récolte est beaucoup plus loin que la fin de l'épidémie², donc les efforts devraient être déployés en priorité sur la modulation de l'aménagement forestier.

Dans cette étude, les aspects suivants n'ont pas été considérés : la mise à jour cartographique complète des aires admissibles qui est en cours dans la région du Bas-Saint-Laurent et la mise en application d'un scénario d'optimisation, élaboré par le BFEC, pour les régions de la Gaspésie—Îles-de-la-Madeleine et du Bas-Saint-Laurent. Également, cette étude ne tient pas compte de la rotation de certaines superficies traitées qui est en cours d'essais depuis quelques années dans la région du Saguenay—Lac-Saint-Jean. Ces essais ont pour but d'évaluer les possibilités d'interrompre pendant 1 ou 2 années les pulvérisations aériennes sans compromettre la réussite des opérations passées. Cette modulation d'arrosage permettrait de réduire les coûts de protection tout en maintenant les bénéfices. Pour la région de la Capitale-Nationale, aucun arrosage n'est encore planifié malgré que les premiers dommages ont été notés en 2015. Par conséquent, il reste à définir les niveaux de rentabilité des arrosages à partir des aires admissibles de cette région. Ces éléments pourraient avoir un effet sur les seuils de rentabilité économique.

² Selon l'historique des épidémies, une épidémie peut durer de 10 à 15 ans dans un même secteur.

Un dernier élément qui n'a pas été pris en considération dans cette étude est l'incidence des pulvérisations aériennes contre la TBE sur les niveaux de possibilité forestière. Le BFEC a publié en 2015 l'avis suivant : *Sensibilité des possibilités forestières à la tordeuse des bourgeons de l'épinette et maximisation des investissements en protection*³. Dans ce document, il est écrit que les pulvérisations aériennes ont un impact important sur le maintien des possibilités forestières dans les régions du Bas-Saint-Laurent et de la Gaspésie–Îles-de-la-Madeleine. Ce constat s'explique par le fait que peu de massifs de remplacement sont disponibles dans un territoire avec une concentration importante de peuplements jeunes. Donc, dans les deux régions mentionnées précédemment, nous pouvons en conclure que, dans un contexte d'épidémie, la récolte et la TBE ont un double effet sur la possibilité forestière et, par conséquent, sur le flux de bois à long terme. La prise en considération des pertes évitées de possibilité forestière en raison des activités de pulvérisation aurait conduit à des niveaux de rentabilité encore plus élevés que ceux actuellement constatés. Ces augmentations auraient été encore plus importantes dans les régions du Bas-Saint-Laurent et de la Gaspésie–Îles-de-la-Madeleine en raison de leur structure d'âge favorable. Compte tenu des constats obtenus dans la présente étude et de l'avis du BFEC, il est clair que les budgets alloués aux pulvérisations aériennes doivent être considérés en priorité dans ces deux dernières régions.

Finalement, cette étude apporte des éléments supplémentaires à prendre en considération dans la planification annuelle des arrosages. Pour assurer une gestion efficiente des budgets alloués aux arrosages aériens, il sera possible d'établir une priorité régionale des arrosages en fonction des niveaux de rentabilité des aires admissibles. Pour les petites propriétés privées, afin de créer des aires admissibles, un seuil minimal de volume de sapin baumier et d'épinette blanche pourra être utilisé : 40 m³ par hectare. Par contre, pour d'autres enjeux, dont la protection des plantations d'épinette blanche et d'épinette de Norvège (avec et sans éclaircie commerciale) ayant le niveau minimum de volume marchand, il serait plus pertinent de considérer l'incidence sur la possibilité forestière que celle de la rentabilité, étant donné l'horizon de récolte visé à long terme.

3 Bureau du forestier en chef. 2015. *Sensibilité des possibilités forestières à la tordeuse des bourgeons de l'épinette et maximisation des investissements en protection*. Avis du Forestier en chef. FEC-AVIS-08-2015, Roberval, Québec, 15 p.

CHAPITRE 2. ANALYSE DES IMPACTS ÉCONOMIQUES

Le programme de pulvérisation contre la TBE a un effet direct sur l'activité économique à court, moyen et long terme. En effet, l'épidémie de TBE entraîne non seulement des pertes directes de volume marchand sur chaque superficie, mais a également des effets sur le volume récoltable annuellement (niveau de la possibilité forestière). Chaque m³ retranché de la possibilité forestière dans ces territoires a des répercussions récurrentes annuellement sur l'économie du Québec du fait qu'ils ne pourront être récoltés et transformés. La présente analyse a donc pour objectif de déterminer l'impact économique d'une diminution des possibilités forestières liées à la TBE.

2.1 – MÉTHODOLOGIE

L'analyse repose sur l'avis du BFEC présenté dans la section 1.3. Dans cet avis, la baisse potentielle en pourcentage de possibilité par unité d'aménagement (UA) est déterminée en simulant la mortalité, soit en réinitialisant l'âge des peuplements affectés. L'impact de la TBE est mesuré par le différentiel de résultat entre le scénario avec et sans mortalité. Pour plus de détails sur l'évaluation d'impact sur les possibilités forestières, nous vous référons à l'avis du BFEC.

L'analyse ne considère toutefois pas que certains peuplements puissent être récupérés, ce qui limiterait l'impact économique de la TBE. Ainsi, l'optimisation d'un point de vue économique de la stratégie de lutte contre la TBE consiste en l'utilisation de plusieurs types d'interventions (arrosages, récupération, non-protection, etc.) sur des peuplements différents.

2.1.1 – Principes d'évaluation des impacts économiques

Dans la majorité des projets, l'analyse d'impact est quantifiée par l'analyse de retombées économiques. Or, l'analyse de retombées économiques ne vise pas à déterminer la pertinence d'un investissement, mais seulement à quantifier l'impact sur le niveau d'activité économique. Avec cette méthode d'évaluation, l'on ne s'interroge pas sur l'efficacité de l'investissement, son utilité ou son caractère désirable. On évalue les effets de l'investissement en l'incluant comme une dépense dans l'économie et en tenant compte du fait que toute dépense constitue un revenu pour quelqu'un sans considérer ce qui pourrait être obtenu autrement, de sorte que cette mécanique transforme nécessairement toute dépense en revenus. L'analyse des retombées a donc pour objectif non pas de mesurer le gain net ou la perte nette réelle dans l'économie d'un projet, mais de décrire son incidence en le considérant isolément.

Le Bureau de mise en marché des bois a établi une méthode d'évaluation économique qui permet de déterminer la perte économique réelle d'une décision ou d'un investissement. L'une des distinctions principales est que les valeurs économiques et l'analyse tiennent compte du coût d'opportunité des capitaux financiers et des facteurs de production (capitaux physiques et main-d'œuvre). Il s'agit de la valeur obtenue par une autre utilisation à laquelle la société renonce par l'utilisation des facteurs de production dans l'investissement ou le projet en question : pensons par exemple au salaire qu'obtiendrait un travailleur sylvicole s'il travaillait ailleurs, en fonction de ses compétences et de sa mobilité. L'analyse repose sur le fait que chaque m³ retranché de la possibilité forestière dans ces territoires engendre des impacts sur l'économie du Québec du fait qu'il ne peut être récolté et donner lieu à des transformations.

2.1.2 – Valeurs économiques

Afin d'effectuer l'analyse d'impact économique, les bénéfices économiques ont été établis. Il s'agit des valeurs indiquées au tableau 4 de l'analyse de rentabilité économique. Ainsi, les bénéfices économiques sont constitués de la valeur marchande des bois sur pied (VMSBP), du bénéfice net des entreprises et de la rente salariale des travailleurs pour la récolte et la transformation du bois.

2.1.3 – Autres paramètres de l'analyse

L'évaluation est effectuée pour une période de 40 ans, soit le cycle moyen observé entre deux épidémies, c'est-à-dire que l'impact économique est évalué pour une période de 40 ans. De plus, puisque conjointement au programme de pulvérisations, il existe un plan de récupération, nous avons posé l'hypothèse que, sur l'horizon de 40 ans, les m³ sont récoltés une fois. Enfin, le taux d'actualisation de 4 % est également considéré.

2.2 – RÉSULTATS ET DISCUSSION

Pour un scénario sans arrosage, la baisse de possibilité de l'ordre de 591 000 m³ annuellement associée à la TBE engendre une perte économique nette de 195 M\$ actualisée sur une période de 40 ans. Ces pertes économiques sont composées de la rente salariale (écart entre le salaire des travailleurs du secteur forestier et leur espérance de salaire à la suite d'une relocalisation – valeur économique de l'emploi), de la valeur marchande des bois sur pied payée à l'État et d'une baisse des bénéfices financiers des entreprises de

récolte et de transformation du bois. Le tableau 8 présente les résultats par UA. Tout comme pour les analyses de rentabilité, l'intensité de l'épidémie, la vulnérabilité, la composition des

peuplements ainsi que les valeurs de bénéfices économiques influencent l'impact économique de l'épidémie de TBE.

Tableau 8. Bénéfices économiques des baisses de possibilités résultant de l'épidémie de TBE

Région administrative	Impact possibilité annuelle (m³/an)*	Bénéfices économiques actualisés 40 ans \$
Gaspésie–Îles-de-la-Madeleine	206 533	74 916 023
11161	91 371	32 695 536
11262	48 832	19 145 375
11263	66 330	23 075 112
Bas-Saint-Laurent	59 329	23 602 076
01151	3 984	1 294 918
01152	3 910	1 363 520
01251	6 281	2 462 439
01252	14 343	6 036 654
01253	17 520	7 516 906
01254	13 291	4 927 639
Saguenay–Lac-Saint-Jean	164 888	59 181 989
02352	62 919	23 791 301
02451	45 486	15 316 631
02452	12 916	3 636 870
02551	18 712	7 611 117
02751	24 855	8 826 069
Côte-Nord	161 124	36 939 069
09351	52 925	17 599 691
09451	64 974	8 828 393
09452	11 940	1 501 679
09551	7 245	677 188
09751	24 040	8 332 117
Total	591 874	194 639 157

* Estimation basée sur les possibilités forestières 2013-2015 du groupe SEPM.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Cette étude a permis de mettre en lumière la rentabilité économique des arrosages aériens, à partir de données réelles, dans les principales régions actuellement touchées par la TBE : la Côte-Nord, le Saguenay–Lac-Saint-Jean, le Bas-Saint-Laurent et la Gaspésie–Îles-de-la-Madeleine. Elle répond également à l'action 1.1.1 du plan d'action TBE 2015-2020 du Ministère. Cette rentabilité varie selon les régions analysées et dépend principalement des facteurs suivants : le volume initial de sapin baumier et d'épinette blanche, le délai de récolte dans les aires admissibles et la valeur économique des bois. Ces résultats serviront à bonifier la planification des arrosages aériens dans les prochaines années et aideront le Ministère à en établir les priorités au moment opportun. Ils ouvrent également la porte à d'autres analyses, p. ex. sur les arrosages aériens en forêt privée et sur les superficies comportant des investissements sylvicoles importants (ex. plantations, etc.).



**Forêts, Faune
et Parcs**

Québec

