NAFAA HAMDAD

GESTION DES FRÊNES DANS UNE PERSPECTIVE D'INFESTATION PAR L'AGRILE DU FRÊNE, SUR LE TERRITOIRE DE LA MUNICIPALITÉ DE BERTHIER-SUR-MER, QUÉBEC

Essai présenté
à M. Jérôme Cimon-Morin, superviseur de l'essai,
dans le cadre du programme de maîtrise professionnelle en biogéosciences de l'environnement
pour l'obtention du grade de maître ès sciences (M.Sc.)

DÉPARTEMENT DES SCIENCES DU BOIS ET DE LA FORÊT
FACULTÉ DE FORESTERIE, DE GÉOGRAPHIE ET DE GÉOMATIQUE
UNIVERSITÉ LAVAL
QUÉBEC

2023

© Nafaa Hamdad, 2023

Résumé

Le frêne (*Fraxinus sp)* est une espèce indigène au Canada, il se retrouve autant en milieu forestier que dans les boisés naturels et les milieux urbains. L'agrile du frêne (*Agrilus planipennis Fairmaire)* est un ravageur forestier non indigène, qui s'attaque aux frênes, il a détruit des millions d'arbres aux États-Unis et au Canada, causant des dommages économiques et écologiques considérables. La municipalité de Berthier-Sur-Mer, qui longe le fleuve Saint-Laurent à l'est de la ville de Québec, se caractérise par une forte présence de frênes. Cette Municipalité est aux prises avec la problématique de l'agrile du frêne. Le comité de la Zone d'Intervention Prioritaire (ZIP) du Sud-de-l'Estuaire a approché la municipalité de Berthier-Sur-Mer pour réaliser un inventaire côtier ciblé des frênes en tenure publique et privée, compris dans les secteurs avec un fort potentiel récréotouristique afin d'élaborer un plan de gestion pour une éventuelle infestation par l'agrile du frêne. Ce plan constitue la première réflexion régionale sur le sujet. Les mesures proposées serviront d'assise pour la gestion de la problématique à l'échelle des MRC de Montmagny et de L'Islet. Sur le terrain, le diamètre à hauteur de poitrine (DHP) ainsi que l'emplacement des frênes ont été notés sur une tablette équipée de l'application GSF Nav pour Android. La biomasse des frênes a été calculée en combinant le DHP avec la hauteur issue des données LiDAR. Une base de données a été créée sur support cartographique. Les résultats de l'inventaire ont permis de constater qu'il y a une forte présence de frêne en rive le long du fleuve Saint-Laurent, dans les rues, les parcs et jardins, peu importe la tenure des terres. La majorité des frênes (89%) se retrouvent en territoire privé avec 1806 frênes, alors que les frênes en terrains publics représentent 11 % avec 224 frênes. Plusieurs arbres sont de forte dimension et certains constituent la première ligne de végétation riveraine protégeant les rives du Saint-Laurent. Dans le cadre d'une approche écologique, un plan de gestion des frênes dans une perspective d'infestation par l'agrile du frêne a été élaboré par de la recherche d'informations. Après des consultations avec la municipalité et le Comité ZIP Sud-de-l'Estuaire, le plan a été adapté pour le territoire inventorié à Berthier-sur-Mer et des recommandations sous forme de priorités d'action et de décisions ont été produites.

Remerciements

Je tiens à remercier mon superviseur d'essai, M. Jérôme Cimon-Morin, d'avoir impliquer dans ce projet. Ses conseils et commentaires ont été essentiels au succès de cet essai.

J'aimerais également remercier Mme Danielle Cloutier pour avoir pris le temps de corriger, éditer mes textes et me conseiller le long de mon cheminement. La maîtrise n'aurait pas pu être accomplie sans le support et la présence de Mme Danielle.

Un merci à M. Jérémie Caron du comité ZIP Sud-de-l'Estuaire pour son accompagnement le long de cet essai et durant les journées de terrain. Son implication et ses commentaires ont été essentiels au succès de cet essai.

Un merci tout spécial à mes parents qui ont contribué au succès de mon long cheminement scolaire. Leur support inconditionnel et leurs nombreux encouragements m'ont guidé jusqu'à la toute fin.

Finalement, il n'existe aucun mot suffisamment fort pour exprimer la reconnaissance que j'éprouve envers mon frère Abderrahim, tout simplement, il est la meilleure bénédiction qu'Allah m'a offerte.

Table des matières

Résumé i
Remerciements ii
Table des matières iii
Liste des tableaux v
Liste des figures vi
1.0 Introduction 1
1.1 Objectif principal de l'essai 5
1.2 Objectifs spécifiques de l'essai 5
2.0 Région d'étude 6
2.1 Localisation de la région d'étude 6
2.2 Population 7
2.3 Climat 7
2.4 Occupation du sol 8
2.5 Hydrodynamique 8
3.0 Méthodologie 10
3.1 Inventorier et cartographier les frênes sur le territoire 10
3.2 Élaborer un plan de gestion pour la municipalité de Berthier-sur-Mer 12
4.0 Résultats 13
4.1 L'inventaire des frênes 13
4.2 Le plan de gestion 17
4.3 Les méthodes de lutte contre l'infestation 17
4.3.1. Réglementation 17
4.3.2. Information et sensibilisation des citoyens 17
4.3.3. L'inventaire des frênes 18
4.3.4. Détection et dépistage 18
4.4 Les méthodes de gestion des frênes infestés 21
4.4.1 La lutte biologique 22
4.4.2 Le traitement à l'insecticide TreeAzin 23
4.4.3 L'abattage 24
4.4.4 L'annélation 24
4.4.5 Le reboisement et le remplacement des frênes 25
4.4.6 Gestion des résidus de frêne 26
4.4.7 Gestion des arbres morts sur pied 26
4.4.8 Les coûts de gestion 27
5.0 Discussion 29

5.1 Importance d'implication des citoyens dans la gestion de l'agrile 30
5.2 La détection et la surveillance de l'agrile.....30
5.3 La lutte biologique.....30
5.4 Le traitement à l'insecticide 31
5.5 L'abattage des frênes.....32
5.6 La valorisation de bois du frêne 32
6.0 Personnalisation de plan de gestion et recommandations 34
6.1 Informer et soutenir les citoyens 34
6.2 Respecter la réglementation 34
6.3 Compléter l'inventaire, surveiller et détecter l'agrile 34
6.4 Les priorités de gestion et de plantation selon la caractérisation des frênes inventoriés à Berthier-sur-Mer.....35
6.5 L'abattage des frênes.....37
6.6 Estimations des coûts de gestion.....37
6.7 Les résidus de frêne.....41
6.8 Synthèse des résultats.....41
7.0 Conclusion.....43
Références.....45
ANNEXES.....51
Annexe 1 : La zone réglementée pour l'agrile du frêne au Canada. 51
Annexe 2 : Avant et après les effets de l'agrile du frêne. 52
Annexe 3 : Présence de frênes en association à la rive du fleuve Saint-Laurent, secteur de Cap Saint-Ignace. 53
Annexe 4 : Présence de frênes en association à la rive du fleuve Saint-Laurent, secteur de l'Islet.....54
Annexe 5 : les signes et symptômes d'infestation par l'agrile de frêne. Galeries larvaires d'agrile de frêne, en forme de « S » (A); Trou de sortie d'agrile de frêne, en forme de « D » (B); Apparition de pousses sur le tronc à cause d'une infestation par l'agrile de frêne (C); Frênes clairsemés infestés par l'agrile de frêne (D). 55
Annexe 6: Piège attractif à prisme de l'agrile du frêne. 56
Annexe 7 : Exemple de piège à autocontamination pour l'agrile du frêne. Le piège est équipé d'une chambre spéciale contenant des spores d'un champignon pathogène.....57
Annexe 8 : La liste des espèces d'arbres préconisés. 58
Annexe 9: Les frênes comme arbres à cavités.....61
Annexe 10 : Secteur de la marina, un site d'intérêt et de démonstration suggéré pour les citoyens.....62
Annexe 11: Risques des frênes aux citoyens. À noter la proximité des frênes aux maisons et aux fils électriques.....65
Annexe 12 : Exemple de diffusion de l'information au sujet de l'agrile du frêne sur un réseau social.....66

Liste des tableaux

Tableau 1: Les signes et symptômes d'infestation d'un frêne par l'agrile de frêne. 19
Tableau 2: Prix de vente des pièges pour l'agrile de frênes. 27
Tableau 3: Classification des zones de priorité de gestion selon la caractérisation des frênes inventoriés à Berthier-sur-Mer ainsi que les coûts estimés pour chaque stratégie de gestion et les biens et services écologiques ciblés des plantations. 35
Tableau 4: Coûts estimés pour l'installation des pièges en zone rouge (haute priorité).. 38
Tableau 5: Coûts estimés pour l'installation des pièges en zone orange (moyenne priorité).. 38
Tableau 6: Coûts estimés pour l'installation des pièges en zone jaune (faible priorité).. 39
Tableau 7 : Coûts estimés pour le traitement à l'insecticide. (Tiré de Bergeron, 2014). 39
Tableau 8: Liste des essences d'arbres préconisés et leurs conditions de plantation.. 58

Liste des figures

Figure 1: Cycle de vie de l'agrile de frêne. Agrile de frêne adulte à corps bleu vert métallique (A); Larves d'agrile de frêne de stades divers (B); Cycle vital de l'agrile du frêne (C). 3
Figure 2: Localisation de la région d'étude. 7
Figure 3: Localisation des frênes inventoriés à Berthier-sur-Mer. 14
Figure 4: Nombre total de frêne de la partie inventoriée à Berthier-sur-Mer. Diamètres des frênes inventoriés (cm) (A); Hauteur des frênes inventoriés (m) (B). 15
Figure 5: La biomasse des frênes de la partie inventoriée à Berthier-sur-Mer en tenure privée et publique (kg). 16
Figure 6: Coûts estimés des stratégies de gestion de l'agrile du frêne de la partie inventoriée à Berthier-sur-Mer. 40
Figure 7: Les stratégies de gestion préconisées par classes de priorités des frênes inventoriés à Berthier-sur-Mer. 42

1.0 Introduction

Au Canada, cinq espèces de frênes indigènes (frêne rouge/vert; *Fraxinus pennsylvanica*, frêne blanc/d'Amérique; *Fraxinus americana*, frêne noir; *Fraxinus nigra*, frêne anguleux; *Fraxinus quadrangulata* et frêne pubescent; *Fraxinus profunda*), ainsi que de nombreuses espèces de frêne exotiques utilisées en horticulture ornementale peuvent être retrouvées en milieu forestier, dans les boisés naturels et en milieu urbain. Ces frênes s'étendent d'est en ouest de la Saskatchewan à Terre-Neuve-et-Labrador. Tout d'abord, le frêne rouge ainsi que le frêne blanc se répartissent de la Saskatchewan à la Nouvelle-Écosse et de manière générale au Québec jusqu'au nord du Lac-Saint-Jean. Puis, le frêne noir, qui est l'espèce de frêne la plus nordique, se rencontre depuis le sud-est du Manitoba et au centre-nord du Dakota du Nord jusqu'au l'ouest de Terre-Neuve-et-Labrador. Enfin, le frêne bleu et le frêne pubescent se retrouvent dans le sud-ouest de l'Ontario. Le frêne rouge, le frêne blanc ainsi que le frêne noir sont également omniprésents sur le territoire méridional québécois. Premièrement, le frêne rouge occupe les domaines bioclimatiques de l'érablière à caryer, de l'érablière à tilleul et le sous-domaine de l'érablière à bouleau jaune de l'Ouest. Deuxièmement, le frêne blanc occupe les domaines bioclimatiques des érablières et, en moins grande abondance, celui de la sapinière à bouleau jaune. Finalement, le frêne noir occupe les domaines bioclimatiques des érablières et celui de la sapinière à bouleau jaune. (RNC, 2015a ; Lyons et al., 2007 ; Farrar, 1995).

Le frêne est une essence typique des milieux humides, semi-humides et riverains. Il s'adapte bien à une grande variété de milieux forestiers; dans un contexte de forêt mixte, il accompagne de nombreux autres arbres tels que les hêtres, les saules, les érables, les épinettes, les pins et les mélèzes. Il sert également comme spécimen d'ombrage et arbre de rue, de parc et jardin, il est apprécié pour sa croissance rapide, sa rusticité, sa belle forme symétrique et son beau feuillage pendant toute la saison de végétation. En outre, il est exploité pour son bois de qualité afin de fabriquer des outils, des meubles, des planchers et de l'équipement sportif. Par ailleurs, il est utilisé comme bois de chauffage et en vannerie, activité culturelle et économique importante de certaines communautés des Premières Nations (Hope et al., 2021; Costanza et al., 2017; Streit et al., 2012; Lyons et al., 2007; Farrar, 1995). Cependant, depuis deux décennies, la survie des frênes est menacée par l'agrile du

frêne, un insecte qui a tué plus d'un million d'individus et qui en a infesté plus de 100 millions dans le sud de l'Ontario, au Michigan et dans les États voisins (Streit *et al.*, 2012). Sans ennemis naturels au Canada, l'agrile du frêne présente une menace économique et environnementale pour la foresterie urbaine notamment (RNC, 2012 ; Aukema et al., 2011).

L'agrile du frêne (*Agrilus planipennis Fairmaire*) est un coléoptère extrêmement destructeur qui attaque et tue toutes les espèces de frênes. Il s'agit d'une espèce exotique envahissante originaire d'Asie détectée au Canada pour la première fois en 2002, en Ontario, près de Windsor. Il aurait été introduit accidentellement sur le continent nord-américain par l'intermédiaire de matériaux en bois importés (ACIA, 2015 ; RNC, 2015b). Depuis, l'Agence canadienne d'inspection des aliments (ACIA), qui est l'organisme fédéral responsable de la surveillance de l'agrile du frêne et du frein de sa propagation, a établi une zone réglementée (Annexe 1). Il est notamment interdit de déplacer les frênes, les produits du frêne et le bois de chauffage en dehors de la zone réglementée. Malgré cela, l'agrile du frêne continue de se propager, il est maintenant présent dans cinq provinces canadiennes : au Manitoba, en Ontario, au Québec, au Nouveau-Brunswick et en Nouvelle-Écosse (ACIA, 2022).

Sous sa forme larvaire, l'insecte endommage et tue les frênes. À partir de la fin juin, les femelles déposent leurs œufs sous l'écorce du tronc et des branches des frênes. Environ 10 jours après la ponte, une petite larve émerge et pénètre dans l'écorce. De juin à octobre, les larves creusent des galeries sinueuses sous l'écorce en forme de « S » et ingèrent la partie interne de l'écorce (le phloème) et la partie externe du bois (l'aubier), elles étouffent alors l'arbre, freinant la circulation de la sève et provoquant ainsi sa mort. Les larves passent l'hiver entre l'aubier et l'écorce. Au printemps, elles passent au stade de nymphes, dernière étape avant de devenir des adultes deux semaines plus tard. Les adultes émergent par un trou en forme de « D » (ACIA, 2019) (figure 1).

(A)

(B)

(C)

Figure 1: Cycle de vie de l'agrile de frêne. Agrile de frêne adulte à corps bleu vert métallique (A); Larves d'agrile de frêne de stades divers (B); Cycle vital de l'agrile du frêne (C). En juillet 2019, l'Agence canadienne d'inspection des aliments a confirmé la présence de l'insecte ravageur à Saint-Jean-Port-Joli, une municipalité située dans la région de Chaudière-Appalaches (ACIA, 2022). À l'été 2019, cet insecte a été identifié un peu plus au sud-ouest, sur le territoire de Berthier-sur-Mer (Perron, 2020). Finalement, en juillet 2022, l'Agence canadienne d'inspection des aliments (ACIA) a confirmé la présence de l'agrile du frêne sur une propriété privée dans la Municipalité régionale de comté (MRC) d'Avignon de la région Gaspésie-Îles-de-la-Madeleine. Il s'agit d'une nouvelle détection du ravageur en dehors de la

zone réglementée au Québec pour le transport du bois provenant des frênes, laquelle s'étend de la MRC de Pontiac en Outaouais jusqu'à la MRC de Kamouraska au Bas-Saint-Laurent (ACIA, 2022).

Trois espèces de frêne sont indigènes au Québec, soient; le frêne rouge, le frêne blanc et le frêne noir. Ces frênes sont très populaires dans la municipalité de Berthier-sur-Mer, tout comme dans beaucoup de municipalités canadiennes. On les retrouve dans les rues, les parcs et jardins et plusieurs d'entre eux constituent la première ligne de la végétation riveraine qui protège les berges du fleuve Saint-Laurent. Sans aucune intervention, les arbres infestés sont condamnés à un dépérissement progressif sur une période de deux à cinq ans. La perte massive et rapide des frênes à la suite de l'invasion du ravageur présente de nombreux enjeux environnementaux, mais également des enjeux socio-économiques pour les municipalités et les citoyens. Des exemples de dégâts du ravageur sont présentés en annexe (Annexe 2). Tout d'abord, si les frênes disparaissent, une portion importante des berges du Saint-Laurent, les rues, les parcs, les jardins et les zones boisées seront dépourvus de ces arbres. Puis, la perte d'ombrage sur les rives du fleuve de Saint-Laurent, dans les rues, les parcs et les jardins aura un impact négatif sur la stabilité des berges, la consommation d'énergie hivernale et estivale, la qualité et l'utilisation de l'eau, la valeur monétaire des propriétés, l'esthétique, le moral et la santé cardiovasculaire et respiratoire de la communauté berthelaise. Finalement, la gestion de l'agrile du frêne représente une dépense importante selon le nombre et la taille des frênes, notamment ; les coûts liés au traitement ou l'abattage et les coûts de remplacement des arbres (Hope et al., 2021; Engelken et al., 2020 ; Donovan et al., 2013). Cette problématique affectera tous les berthelais d'une manière ou d'une autre et nécessitera des efforts collectifs importants pour planifier l'arrivée éventuelle de l'agrile du frêne et minimiser les impacts engendrés.

Compte tenu de la problématique soulevée, des conséquences environnementales et économiques engendrées par l'agrile du frêne, la municipalité de Berthier-sur-Mer souhaite établir un état des lieux et orienter ses actions futures en élaborant un plan de gestion visant à mettre en place des mesures d'atténuation en cas d'infestation des frênes confirmée par la ACIA sur son territoire. C'est pourquoi en 2021, le Comité ZIP (Zone d'Intervention Prioritaire) du Sud-de-l'Estuaire, qui est un organisme à but non-lucratif de concertation et

d'action œuvrant pour la protection et la mise en valeur de l'estuaire du Saint-Laurent, a décidé de développer un projet en ce sens. Les MRC de Montmagny et de L'Islet ont été ciblées, considérant la présence généralisée de frêne en rive le long du fleuve Saint-Laurent. Un projet pilote visant une première réflexion sur la problématique a été initié en collaboration avec la municipalité de Berthier-sur-Mer. Cette dernière comporte plusieurs infrastructures et sites avec un fort potentiel attractif et récréotouristique, la disparition des frênes pouvant avoir une incidence négative sur le développement et la mise en valeur de ces sites d'intérêt. De plus, la municipalité de Berthier-sur-Mer a été dans les plus proactive dans les MRC de Montmagny et de L'Islet, en informant sa population des enjeux de l'agrile et en communiquant régulièrement des mises à jour des derniers développements. Cet essai s'inscrit dans le cadre de ce projet.

1.1 Objectif principal de l'essai

La municipalité de Berthier-sur-Mer comprend presque 100% de frênes sur son territoire, ces frênes sont présents naturellement sur le territoire et ont été laissés sur place et favorisés lors de la construction des infrastructures anthropiques. Le Comité ZIP Sud-de-l'Estuaire souhaitait donc réaliser un inventaire détaillé des frênes dans un secteur de la municipalité ayant un fort potentiel récréotouristique et d'élaborer un plan de gestion pour maintenir les frênes en rive ainsi que les biens et les services écologiques qu'ils procurent.

1.2 Objectifs spécifiques de l'essai

Les objectifs spécifiques de l'essai sont les suivants :

- Réaliser un inventaire visant à caractériser et cartographier les frênes en bordure du fleuve Saint-Laurent, sur une portion de territoire de la municipalité de Berthier-sur-Mer, plus spécifiquement un secteur avec un fort potentiel de développement récréotouristique compris entre la marina et la plage;

- Élaborer un plan de gestion des frênes dans une perspective d'infestation par l'agrile du frêne, sur le territoire de la municipalité de Berthier-sur-Mer, sous forme de priorités d'action et de décisions.

2.0 Région d’étude

2.1 Localisation de la région d’étude

Le secteur à l’étude est la municipalité de Berthier-sur-Mer, que l’on retrouve en zone côtière en bordure de l’estuaire du Saint-Laurent et au sein de la région physiographique des Basse-Terre du Saint-Laurent. Elle fait partie de la zone de gestion intégrée de l’eau de l'Organisme des Bassins versants de la Côte-du-Sud (OBVCdS). Le territoire de cet organisme de bassin versant totalise une superficie d’environ 2 800 km^2 et s’étend de Lévis à Saint-Roch-des-Aulnaies. Trois MRC « principales » composent le territoire : Bellechasse, Montmagny et L’Islet. La municipalité de Berthier-sur-Mer se trouve dans la MRC de Montmagny. Elle est située à moins de 60 km à l’est de la ville de Québec, sur la rive sud du Saint-Laurent, dans la région administrative de Chaudière-Appalaches. Elle a une superficie de 85 km^2, son territoire s'étend sur 6 km de longueur par 2,5 km de profondeur (Figure 2) (Breton et Gendron, 2018 ; OBV Côte-du-Sud, 2019). Afin de valider la présence de frêne en rive, deux autres secteurs plus à l’est ont été inventoriés, soit dans les municipalités de Cap-Saint-Ignace et de L’Islet. Les cartes présentées en annexe (Annexe 3 et 4) montrent l’emplacement des frênes inventoriés dans ces deux secteurs.

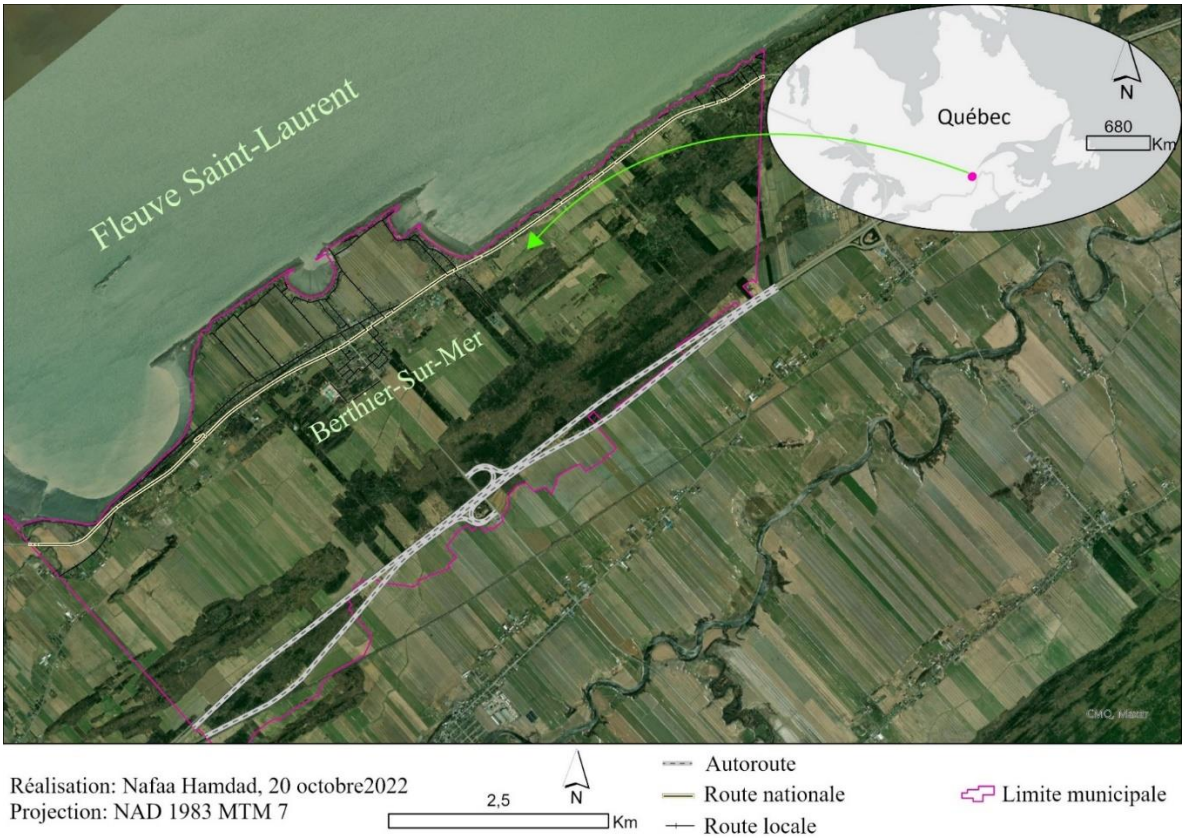


Figure 2: Localisation de la région d'étude.

2.2 Population

Entre 1996 et 2016, la MRC de Montmagny a connu une baisse globale de sa population de -4,8% (soit d'environ 1096 personnes)(Breton et Gendron, 2018). Seule Berthier-sur-Mer affiche une hausse marquée de sa population avec 1630 habitants, auxquels en période estivale s'ajoutent près de 1000 résidents. La croissance de la population est soutenue, avec un accroissement de 17 % en dix ans (BSM, 2022). Entre 2016 et 2030 on prévoit une augmentation de 23,1 % de la population (Breton et Gendron, 2018). La perte massive d'arbres à cause de l'agrile du frêne pourrait contribuer à une baisse de qualité de vie des citoyens et à une perte d'attractivité et d'esthétisme générale (Donovan et al., 2013).

2.3 Climat

Le climat est caractérisé comme tempéré froid avec une saison de croissance de la végétation entre 183 et 190 jours. La température moyenne annuelle est de 4,4°C avec des précipitations totales annuelles atteignant près de 1200 mm. Étant située à proximité d'une grande masse d'eau, la température de l'estuaire du Saint-Laurent, à la hauteur de Montmagny, varie

grandement au cours de l'année, passant d'une température moyenne de 0°C en février à une température moyenne de 17°C au mois d'août. Les vents dominants suivent l'axe du fleuve Saint-Laurent et ils sont particulièrement forts durant la saison hivernale. Le couvert de glace étant de moins en moins présent en hiver à cause des changements climatiques, la mort des frênes pourrait exacerber le phénomène d'érosion côtière et rendre la rive plus vulnérable (Breton et Gendron, 2018).

2.4 Occupation du sol

On retrouve deux domaines bioclimatiques dans la MRC de Montmagny, soit celui de l'érablière à tilleul et celui de l'érablière à bouleau jaune. Le domaine de l'érablière à bouleau jaune s'étend sur les collines et les coteaux du plateau appalachien. La flore regroupe de nombreuses espèces boréales, largement répandues au Québec, telles que le bouleau jaune et l'érable à sucre. Le domaine de l'érablière à tilleul, quant à lui, recouvre la plaine des basses terres du Saint-Laurent, dans le nord de la MRC dont fait partie Berthier-sur-Mer. Les feuillus y sont dominants et la flore très diversifiée avec des précipitations abondantes. La saison de croissance y est relativement longue. Le tilleul d'Amérique, le frêne d'Amérique, l'ostryer de Virginie, de même que l'érable à sucre sont des espèces généralement retrouvées dans ce domaine forestier (Breton et Gendron, 2018).

L'occupation du sol dans le territoire de l'OBVCdS est dominée par la présence de cultures (68 %) dont les principales sont le foin, le soya, le maïs et l'orge, suivie par des milieux forestiers (24 %), des milieux humides (4%), le milieu bâti (3 %) et finalement des milieux hydriques (> 1 %) (OBV Côte-du-Sud, 2011b).

2.5 Hydrodynamique

Le territoire de Berthier-sur-Mer est situé à la limite aval de l'estuaire fluvial et au début de l'estuaire moyen du Saint-Laurent. Cette région hydrographique est caractérisée par la présence d'eau douce et d'eau légèrement saumâtre, de marées parfois fortes et par un corridor fluvial peu sinueux. La marée est de type mixte semi-diurne et deux oscillations complètes ont lieu chaque jour avec une inégalité en hauteur et en durée entre les deux oscillations. Le marnage pendant les grandes marées est de 6,1 m et pour les marées moyennes de 4,6 m. La marée génère des fluctuations importantes du niveau de l'eau (fluctuation verticale) et des courants (fluctuation horizontale). À partir de l'estuaire moyen,

son influence est telle qu'il se produit un inversement du sens du courant lors de la marée montante. Les contraintes qu'elle impose influencent inévitablement la faune, la flore et les habitats tant marins que côtiers (Conseil du Saint-Laurent, 2017).

3.0 Méthodologie

3.1 Inventorier et cartographier les frênes sur le territoire

La première étape de l'essai comprend un inventaire des frênes (emplacement et nombre) existants aussi bien sur le domaine public que sur le domaine privé. Pour se faire, les frênes sont recensés lors des relevés terrain. Le territoire de Berthier-sur-Mer est grand et demande beaucoup d'investissement pour inventorier tous les frênes qui se trouvent en forte présence. En consultation avec la municipalité et afin de se concentrer sur les frênes à haute valeur de conservation, des secteurs récréotouristiques d'intérêt soient; le corridor visuel du Parc fluvial (secteur de la marina) jusqu'à la plage ont été ciblés, ces secteurs ont été inventoriés à l'automne 2022. Deux autres secteurs positionnés à Cap-Saint-Ignace et à L'Islet, ont été inventoriés à l'hiver et l'été 2022.

Les inventaires consistent à recenser tous les frênes positionnés dans les secteurs ciblés. Il s'agit des inventaires systématiques de tous les spécimens de frêne. Sur le terrain et en parcourant le milieu dans toutes les directions, tous les arbres marchands et les gaules de plus de 1.30 m de hauteur ainsi que tous les bouquets de régénérations rencontrés, ont été recensés, l'identification des espèces a reposé sur les clés de détermination établies par Rainville (2013) et à l'aide de Jérémie Caron, biologiste et vulgarisateur scientifique du Comité ZIP Sud-de-l'Estuaire. Lors des relevés terrain à l'hiver 2022 dans les secteurs Cap-Saint-Ignace et à L'Islet, il est probable que quelques petits frênes, qui sont cachés sous la neige, ont été manqués.

Pour tous les frênes inventoriés, le diamètre à hauteur de poitrine (DHP) (1,3 m du sol) et l'emplacement par coordonnées GPS ont été collectés. Les informations sont notées sur une tablette, en utilisant l'application GSF Nav pour Android, développée par la compagnie Groupe Système Forêt (GSF). Les données de hauteur ont été obtenues à partir d'un modèle de hauteur de canopée (MHC) issu des données LiDAR du ministère des Ressources naturelles et des Forêts (MRNF). A cet effet, un fichier matriciel, qui fournit des valeurs numériques représentant la hauteur de canopée forestière (résolution 1m, année 2022), a été téléchargé de la plateforme cartographique foretouverte, les données ont été extraites et analysées avec le logiciel ArcGIS pro. Les mesures de la hauteur pour les petits frênes qui se trouvent en sous étage et dans les endroits très peuplés en arbres, peuvent avoir certaines

limites de précision. Pour chaque tige d'arbre comptée, une classification a été faite comme suit; (Régénération): tige de moins de 1 cm de diamètre et de moins de 1,30 m de hauteur; (Gaule): tige de moins de 10 cm de diamètre et de 1,30 m à 3 m de hauteur; (Frêne mature, arbre marchand): tige de plus de 10 cm de diamètre et de plus de 1,30 m de hauteur. Cette classification a été tirée du Glossaire forestier du Canada (MRNF, 2020). Quelques tiges ont moins de 10 cm de diamètre mais plus de 3 m de hauteur, ces tiges ont été classées parmi les frênes matures (arbre marchand).

Une enquête visuelle a été faite pour tous les frênes inventoriés, le but est d'observer l'état et la santé des arbres afin d'y relever des signes et symptômes d'infestation par l'agrile. La démarche consiste principalement à inspecter visuellement l'écorce (tronc et branches) et le feuillage de la cime des frênes à la recherche de tout signe et symptôme décrit dans la section 4.3.4.1.

L'inventaire forestier national (IFN) du Canada propose un calculateur de biomasse de l'arbre, cet outil est gratuit et disponible sur internet (IFN, 2016). Ce calculateur a été utilisé afin d'obtenir la biomasse forestière, en combinant le DHP (D) avec la hauteur de la canopée (H). Le calculateur estime la masse sèche de toute la portion aérienne de l'arbre ou de ses quatre composantes (bois de la tige, feuillage, branches, écorce). L'équation utilisée est la suivante (Lambert *et al.*, 2005 ; Ung *et al.*, 2008):

$$Biomass_kg = a * D_cm^b * H_m^c$$

"a", "b" et "c" présentent les paramètres allométriques de l'équation. Ils sont générés automatiquement par le calculateur selon :

- L'espèce ; *Fraxinus sp*
- L'écozone ; Des plaines à forêts mixte
- Province ; Québec

L'équation utilisée dans le présent travail a été développée à partir de bases de données nationales du Canada et les arbres ont été échantillonnés dans des milieux forestiers, il se peut que l'équation connaisse certaines limites de précision pour les arbres de milieux ouverts ou urbains.

3.2 Élaborer un plan de gestion pour la municipalité de Berthier-sur-Mer

En fonction des résultats obtenus, un plan de gestion sera proposé à la ville de Berthier-sur-Mer. Ce plan de gestion portera notamment sur les méthodes de lutte contre l'infestation, les méthodes de gestion des arbres infestés, ainsi que leur remplacement, une évaluation des impacts de la perte de ces arbres sur le territoire, etc. Ce plan de gestion sera élaboré par de la recherche d'informations et lors de consultations avec la municipalité, il a comme objectifs principaux;

- Ralentir la mortalité des frênes sur la municipalité;
- Étaler et minimiser les frais engendrés par la perte rapide d'un grand nombre de frênes;
- Assurer la sécurité des citoyens par une gestion adéquate des frênes dangereux;
- Prévenir l'érosion de la rive du fleuve Saint-Laurent et assurer l'adaptation de celle-ci si les frênes meurent;
- Maintenir et diversifier la forêt urbaine et riveraine tout en privilégiant une lutte antiparasitaire.

4.0 Résultats

4.1 L'inventaire des frênes

L'inventaire réalisé a permis de déterminer la présence de 2030 frênes en rive du fleuve de Saint-Laurent, dans les rues, les parcs et les jardins privés. Les frênes en tenure privée représentent 89% avec 1806 frênes, alors que les frênes en tenure publique représentent 11 % avec 224 frênes. Précisant que plus de 90 % du territoire inventorié à Berthier-sur-Mer est de tenure privée. Il se trouve que 71 gaules de frêne qui mesurent moins de 10 cm de diamètre et moins de 1,3 m de hauteur, sont présent généralement en rive de fleuve Saint-Laurent, sur les jardins privés et aux abords des routes. En ce qui concerne la régénération de frêne, elle est en faible présence, deux bouquets de plus de 3 m^2 ont été observés en rive dans le secteur dit trou de Berthier, ainsi qu'un autre de plus de 2 m^2 qui a été observé dans un jardin privé près du secteur de la marina (figure 3).

Les frênes de Berthier-sur-Mer se situent dans des jardins privés, aux abords des routes, dans les parcs et plusieurs d'entre eux constituent la première ligne de végétation riveraine protégeant la rive du fleuve Saint-Laurent. 416 frênes matures sont considérés comme riverains, ils se retrouvent à l'intérieure de la limite de la bande riveraine à une distance inférieur à 15 m du fleuve Saint-Laurent, la distance de la limite de la bande riveraine a été tiré du MDDEP (2007). Sur des terrains privés notamment, 156 frênes matures se trouvent à proximité des infrastructures anthropiques en tenure privée (maisons, chalets, fils électriques), à une distance inférieure à la distance sécuritaire de plantation recommandée par Hydro-Québec (2022) qui est de 3,5 m.

Selon les inspections visuelles effectuées sur les frênes inventoriés, la majorité de la population de frênes ne montre aucun signe et symptôme d'infestation. Trois arbres montrent des pousses adventives, quelques autres présentent de petits trous, mais il n'était pas possible de conclure hors de tout doute qu'il s'agissait de l'agrile.

Figure 3: Localisation des frênes inventoriés à Berthier-sur-Mer.

La figure 4 résume les diamètres et les hauteurs observés, ils sont classés automatiquement par le logiciel ArcGIS pro en 5 classes selon la seuil naturel (Jenks). La majorité des frênes semblent être des arbres matures et sont de forte dimension. La taille moyenne et la hauteur moyenne des arbres sont de 25 cm et 12 m respectivement. Les petits arbres ont 6 cm de diamètre et 1,3 m de hauteur alors que les plus gros arbres mesurent jusqu'au 119 cm de diamètre et dépassent 24 m de hauteur.

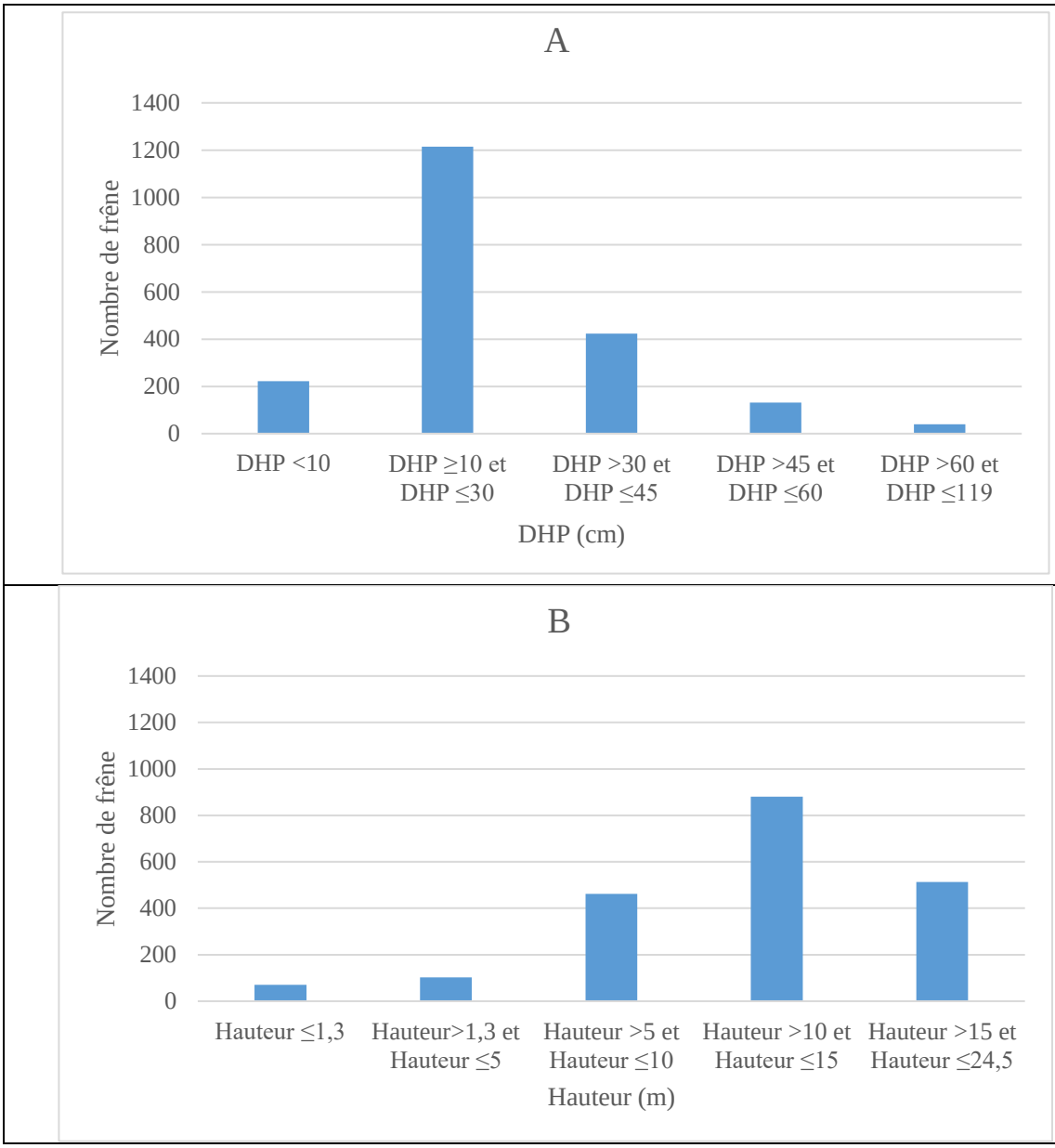


Figure 4: Nombre total de frêne de la partie inventoriée à Berthier-sur-Mer. Diamètres des frênes inventoriés (cm) (A); Hauteur des frênes inventoriés (m) (B).

La combinaison de diamètre et la hauteur a permis d'estimer la biomasse de la population de frênes, la figure 5 montre la biomasse des frênes inventoriés à Berthier-sur-Mer ainsi que leurs répartitions en tenure privée et publique. La biomasse moyenne mesure 286 kg et la biomasse totale mesure 582 036 kg.

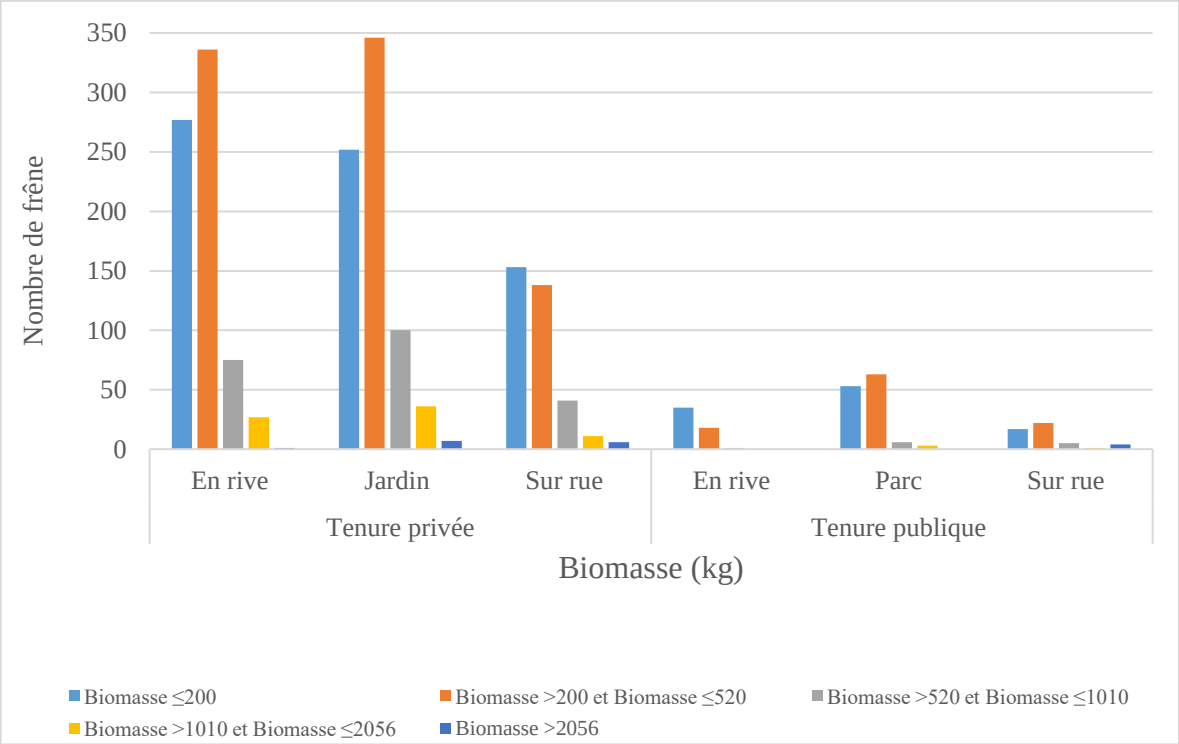


Figure 5: La biomasse des frênes de la partie inventoriée à Berthier-sur-Mer en tenure privée et publique (kg).

4.2 Le plan de gestion

À ce jour, aucune solution permanente à la problématique de l'agrile du frêne n'a été découverte (Hope *et al.*, 2021). Les outils de gestion utilisés actuellement consistent à contrôler et à ralentir la progression de l'insecte et la mort des frênes au maximum pour donner le temps aux chercheurs et aux gestionnaires de trouver une solution.

4.3 Les méthodes de lutte contre l'infestation

4.3.1. Réglementation

Naturellement, l'agrile du frêne a la capacité de voler sur de courtes distances, des recherches ont démontré que l'agrile adulte peut se déplacer sur une distance de 10 km au cours de sa vie. Le facteur critique est le déplacement dû aux activités humaines. Comme les larves vivent sous l'écorce et peuvent survivre et poursuivre leur transformation en adulte dans un arbre coupé ou une bûche, les activités humaines associées au transport du bois de chauffage, de branches ou de billes de bois de frêne infestés par l'insecte expliquent sa dispersion rapide sur de longues distances (ACIA, 2015) .

La municipalité de Berthier-sur-Mer fait partie de la zone règlementée établie par la ACIA au sujet de l'agrile du frêne (Annexe 1). Il est interdit de déplacer tout produit du frêne ainsi que le bois de chauffage en provenance de la zone réglementée vers l'extérieur (directive D-03-08) (ACIA, 2021). Les arrêtés ministériels publiés par cet organisme doivent être respectés en tout temps. Pour sortir d'une zone réglementée du matériel réglementé, celui-ci doit être approuvé par l'ACIA et un certificat de circulation doit être émis.

4.3.2. Information et sensibilisation des citoyens

D'une part, comme le facteur critique de propagation de l'agrile du frêne est le déplacement des produits infestés, il est important de sensibiliser les citoyens notamment aux dangers de déplacer le bois de chauffage, l'impacts de cet insecte ravageur et de les informer de leurs obligations au regard du règlement. D'autre part, il est important d'informer les citoyens sur les stratégies de lutte adoptées contre le ravageur et de les outiller afin que ceux-ci puissent se préparer à intervenir sur leur propriété.

4.3.3. L'inventaire des frênes

La première étape de la lutte contre l'agrile du frêne consiste à réaliser un inventaire global des frênes et de connaître, de façon exhaustive, l'emplacement et la quantité de frênes existant aussi bien sur le domaine public que sur le domaine privé. La connaissance d'un territoire constitue un excellent moyen pour faire face à tout évènement qui pourrait le menacer. Dans le cadre du présent essai, les secteurs récréotouristiques d'intérêt soient; du Parc fluvial jusqu'à la plage, sont déjà inventoriés.

4.3.4. Détection et dépistage

La détection précoce du ravageur est très importante, parce qu'il sera plus facile à confiner l'insecte à l'intérieur de la zone d'intervention et à protéger les frênes situés à l'extérieur. Par conséquent, il faut arriver à détecter l'agrile au plus tard quatre ans après le début de l'infestation, soit au moment où les symptômes et signes de l'infestation commencent à apparaître sur le frêne (Katovich, 2009). Un éventail d'outils et de techniques servent à détecter et à surveiller l'agrile du frêne, notamment les évaluations visuelles, l'échantillonnage des branches et les pièges attractifs.

4.3.4.1. Les évaluations visuelles

La première méthode de dépistage de l'agrile du frêne consiste simplement à observer l'état des frênes afin d'y relever des signes et symptômes d'infestation. Il est essentiel que le personnel réalisant l'inspection visuelle soit en mesure de reconnaître les essences de frênes présentes dans la zone d'étude et d'identifier aisément les signes et les symptômes d'un frêne affecté par l'agrile du frêne. Des exemples sont présentés en annexe (Annexe 5). Toutefois, lors d'une inspection sur le terrain, il faut être très attentif aux détails, car il est très difficile de détecter la présence de l'agrile dans les arbres nouvellement infestés. En effet, lorsque ce ravageur s'attaque à un frêne, les signes et symptômes sont rares et peu visibles au cours des premières années de l'infestation (Lyons *et al.*, 2007). Ils deviennent apparents seulement lorsque l'arbre est gravement infesté, soit 2 à 3 années ou plus après le début de l'infestation (Ryall et al., 2011; Lyons et al., 2007). Le tableau 1 présente les signes et symptômes qu'un frêne infesté par l'agrile peut présenter.

Tableau 1: Les signes et symptômes d'infestation d'un frêne par l'agrile de frêne (Tiré de ACIA, 2019; Ouellet, 2014 ; Ryall et al., 2011; Lyons et al., 2007).

Signes et symptômes	**Début d'infestation : Années 1 à 5**	**Accroissement rapide des populations d'agrile: Années 6 à 11**	**Déclin de la population : Années 10 à 13**
Couleur de la canopée	Jaunissement d'une portion de la canopée (<25 %)	Jaunissement dans certaines portions de la canopée (>50%; pas toujours généralisé dans la canopée)	Ce qui reste du feuillage est souvent jauni dans toute la canopée
Dépérissement de la canopée	Léger sur certains arbres (<25 %)	Fréquent (>25 %)	Fréquent (>50 %)
Trous de sortie en forme de « D »	Rares	Pas fréquents	Fréquents
Pousses adventives	Peu fréquentes sur la tige principale – parfois dans les branches de la canopée	Très fréquentes dans la canopée, occasionnelles à fréquentes sur la tige principale	Très fréquentes sur la tige principale
Dommages causés par les pics-bois	Peu fréquents	Très fréquents dans la canopée	Très fréquents dans toute la canopée et sur la tige principale
Galeries en forme de « S »	Rares	Pas fréquentes	Fréquentes
Mortalité des frênes non traités	Peu fréquente (<10 %)	Fréquente (de 10 % à 80 %)	Très fréquente (de 80 % à 100 %)

Il faut toutefois être vigilant lors de l'inspection visuelle, car tous ces signes et symptômes ne sont pas exclusivement causés par l'agrile du frêne. D'autres maladies, insectes ou atteintes peuvent également causer des dommages similaires à l'arbre et par conséquent se manifester selon des signes et symptômes similaires (Lyons *et al.*, 2007).

4.3.4.2. Les pièges attractifs

Les pièges attractifs représentent un outil important de dépistage des infestations et de surveillance des populations, ils peuvent être utilisés pour attraper l'agrile. Le fonctionnement de ces pièges est simple, il s'agit d'accrocher un prisme en plastique muni d'un olfactif et de surfaces collantes dans un frêne et de vérifier par la suite si des spécimens du ravageur y ont été piégés. Le prisme en question est constitué d'une feuille de plastique, d'une pochette de (Z)-3-hexanol et d'un septum en caoutchouc de (3Z) -lactone, ces deux attractifs attirent spécifiquement l'agrile du frêne. Le principe est que l'agrile est attiré par les attractifs et plus il s'en approche, plus il a de chance de se coller aux surfaces collantes situées à l'intérieur du prisme (voir l'annexe 6). Puis, lors d'inspections subséquentes des

pièges, les spécimens prisonniers des surfaces collantes sont récoltés pour être identifiés par un spécialiste (Ouellet, 2014)

Les pièges doivent être installés à la cime de frênes ayant au moins 20 cm de DHP en début de la saison estivale, soit avant le 1er juin. Puisqu'il est connu que les frênes de grande taille attirent plus d'agriles adultes. En plus de relever les coordonnées GPS de l'arbre accueillant le piège, il est conseillé de coller une affiche décrivant le but de l'enquête afin d'informer la population et de sensibiliser celle-ci. Puis, une inspection des pièges doit être faite avant le 15 juillet afin de collecter les spécimens prisonniers du piège et de nettoyer ceux-ci pour leur utilisation ultérieure, soit pour le reste de la saison estivale. Il est important de bien débarrasser les pièges de tout débris et d'appliquer une nouvelle couche de colle sur les parois internes du prisme. Enfin, la collecte finale des pièges doit être réalisée avant le 31 août. À ce moment, une enquête visuelle doit être faite sur au moins 20 frênes situés dans un rayon de 100 mètres autour de l'emplacement du piège (Ouellet, 2014). Bien que les enquêtes visuelles puissent être réalisées tout au long de l'année, la fin de l'été et l'automne représente le meilleur moment pour observer tous les signes et symptômes. Les résultats obtenus avec les pièges et les enquêtes visuelles guideront les choix d'emplacements des pièges pour l'année suivante.

En ce qui a trait à la hauteur des pièges, il a été prouvé que plus le piège est placé haut dans la canopée de l'arbre, plus celui-ci capturera de spécimens. Selon le « Protocole d'enquête sur l'agrile du frêne - 2013 » de l'ACIA, il est conseillé d'accrocher les pièges à une hauteur supérieure à cinq mètres et préférablement le plus haut possible (ACIA, 2015). En effet, une étude de Francese et collaborateurs a démontré qu'un plus grand succès est observé avec des pièges placés à une hauteur de 13 mètres par rapport à un piège placé à une hauteur de six mètres (Francese *et al.*, 2008).

Pour ce qui est du choix des frênes dans la zone d'étude qui accueilleront les pièges, l'étude du comportement de l'agrile du frêne a permis de prouver que cet insecte est davantage attiré par les arbres situés en bordure de forêt, dans les zones ouvertes ou dans des peuplements d'arbres ouverts tels que des parcs. C'est l'attirance envers les zones plus chaudes qui amène l'agrile à fréquenter ces arbres. En ce qui concerne l'espacement des pièges, Wittman et

collaborateurs conseillent d'éloigner les pièges d'une distance de 25 à 35 mètres (Wittman *et al.*, 2021).

4.3.4.3. Écorçage des branches

Cette approche consiste à collectées de branches puis à les écorcer afin d'y distinguer la présence de galeries laissées par les larves de l'agrile sous l'écorce. En ce qui concerne le choix des frênes à échantillonner et le choix des branches à prélever, les mêmes principes que pour le positionnement des pièges attractifs s'appliquent. C'est-à-dire que les arbres de grande taille et positionnés en milieu ouvert sont à prioriser. L'échantillonnage de branches pour l'écorçage est recommandé entre les mois de septembre et de mai, mais surtout au mois d'octobre où les larves ont atteint le maximum de croissance. Il doit être réalisé sur des branches de grande taille (5 à 12 cm de diamètre) situées dans le tiers supérieur de l'arbre, préférablement situées au soleil et dont l'écorce est rugueuse. Cette méthode permet de détecter la présence de l'agrile alors que l'infestation en est encore à ses débuts. En effet, une étude dans laquelle un échantillonnage intensif de branches de différents frênes ne présentant aucun signe et symptôme d'infestation a démontré qu'environ 75 % des spécimens échantillonnés étaient en fait infestés (Ryall *et al.*, 2011).

4.4 Les méthodes de gestion des frênes infestés

Une fois qu'un inventaire des frênes présents sur le territoire a été réalisé et que les efforts de dépistage et de détection ont été réalisés, il importe de s'attarder à l'approche de gestion du ravageur à adopter.

Après avoir confirmé la présence de l'agrile, la zone d'infestation sera établie, soit la zone sur laquelle les différents outils de gestion de l'insecte seront appliqués. Le rayon de la zone d'intervention est délimité en fonction de l'ampleur de l'infestation et de la densité de frênes recouvrée autour du frêne infesté (Katovich, 2009). Plus le degré de l'infestation est élevé et la densité de frênes autour du foyer d'infestation est faible, plus la zone d'intervention sera grande (Mercader *et al.*, 2011).

Une fois que le périmètre autour du foyer d'infestation est bien délimité, une combinaison d'outils de gestion peut être appliquée afin de ralentir la progression de l'agrile du frêne. Les sections suivantes présentent les principaux outils de gestion.

4.4.1 La lutte biologique

La lutte biologique est une des options prometteuses contre l'agrile du frêne; à l'aide d'ennemis naturels. Elle s'insère dans une stratégie à long terme pour contrôler les populations d'agriles. Un champignon indigène du genre *Beauveria* et des guêpes parasitoïdes introduites sont utilisés contre ce ravageur (Srei *et al.*, 2019).

Entre 2018 et 2019, douze municipalités du territoire de la Communauté Métropolitaine de Montréal (CMM) ont participé aux expérimentations du produit FraxiProtec, qui contient la souche CFL-A de *Beauveria bassiana*. Les résultats montrent un déclin des populations d'agriles des zones traitées comparativement aux celles des zones témoins (CMM, 2020). (Johny et collaborateurs (2012) ont démontré que l'isolat de la souche CFL-A de *Beauveria bassiana* était le plus prometteur en termes de virulence contre l'agrile du frêne. En mars 2022, GDG Environnement, une filiale du groupe Kersia, a annoncé l'homologation de son produit FraxiProtec par l'Agence de réglementation de la lutte antiparasitaire (ARLA) (ARLA, 2022 ; GDG, 2022). L'utilisation efficace du champignon nécessite un système de dissémination pour le propager parmi les hôtes sensibles de la population de ravageurs. Lyons et al (2012) ont développé un système de piège à autocontamination pour l'agrile du frêne dans lequel les adultes sont contaminés par *B. bassiana*. Le principe est d'équiper un piège à entonnoirs multiples de type Lindgren d'une chambre spéciale contenant des spores d'un champignon pathogène pour l'agrile (voir l'annexe 7). L'insecte adulte est alors attiré par un leurre olfactif, entre dans le piège, glisse le long des parois, puis atterrit sur le coussin contenant des millions de spores blanches du champignon. Lyons et al (2012) ont trouvé des preuves que ce système facilitait la transmission horizontale entre les adultes. Une fois contaminé par les spores du champignon, l'insecte ressort du piège, mais ses jours sont désormais comptés. Une pierre deux coups : l'insecte qui s'est contaminé lors de son passage dans le piège et disséminera ensuite les spores du champignon chez ses semblables lors des accouplements. Dans des conditions de laboratoire, 80% des insectes meurent durant les quatre premiers jours suivant la contamination (Lavallée, 2014). Plusieurs municipalités ont démontré de l'intérêt pour tester le FraxiProtec sur leurs frênes publics. Les premiers essais ont débuté en 2016 sur un site, mais le déploiement à plus grande échelle a débuté en 2017 dans 13 municipalités au Québec. En 2018, le FraxiProtec a été installé dans 17 municipalités au Québec, mais également à Toronto et dans 3 états américains. Pour chaque frêne ayant un

FraxiProtec, un piège prisme collant de recapture est installé dans le frêne pour mesurer la proportion d'agriles infectés dans l'arbre, permettant ainsi d'avoir une mesure d'efficacité du champignon. Pour l'ensemble des sites en 2017, en moyenne 31,6 % des agriles capturés étaient infectés, alors qu'en 2018, c'était 30,4 % (Gaétane et al., 2019).

Pour ce qui est des guêpes parasitoïdes, elles pondent dans les larves et les œufs de l'agrile, provoquant leur mort. L'approche avec les guêpes intervient à plus long terme et à plus grande échelle. L'Agence canadienne d'inspection des aliments (ACIA) a approuvé quatre espèces de guêpes introduites comme agents de lutte biologique utilisés au Canada, qui sont *Tetrastichus planipennisi*, *Spathius agrili*, *Spathius galinae*, *Oobius agrili* et un membre de la famille *Encyrtidae*. De 2013 à 2017, les spécimens de guêpes libérés au Canada ont été fournis par le laboratoire de reproduction de l'Animal and Plant Health Inspection Service du United States Department of Agriculture (USDA-APHIS) situé à Brighton, au Michigan. En revanche, en 2018, une colonie canadienne de *T. planipennisi* a été créée, produisant environ 3 500 spécimens aux fins de dissémination (ACIA, 2018 ; Kyei-Poku, 2012).

4.4.2 Le traitement à l'insecticide TreeAzin

Avant même que l'agrile soit détecté sur le territoire, il est possible de commencer à protéger certains frênes. Il existe un traitement à base d'un insecticide systémique non persistant : le TreeAzin. Cet insecticide est élaboré par des scientifiques du Centre de foresterie des Grands Lacs en collaboration avec la BioForest Technologies Inc., c'est le seul produit actuellement disponible pour lutter contre l'agrile du frêne au Canada.

Le TreeAzin, qui est notamment efficace en traitement préventif ou chez les arbres légèrement infestés, interrompt la mue et affecte le développement, l'alimentation et la croissance des larves. Il diminue aussi la viabilité des œufs issus d'adultes se nourrissant de feuilles traitées. En revanche, l'efficacité du traitement diminue si l'arbre est fortement infesté. De préférence, il doit être traité avant l'apparition des premiers symptômes. Le TreeAzin contient de l'azadirachtine, une substance d'origine naturelle provenant d'un arbre indien appelé margousier. Il a été démontré que cet insecticide végétal, qui est injecté dans le tronc d'arbres individuels, est efficace, sans danger et peut être utilisé sans risque en milieu urbain. Le TreeAzin permet de repousser les attaques de l'insecte pendant jusqu'à deux ans, après cette période le traitement doit être renouvelé (Thompson, 2013).

4.4.3 L’abattage

Un frêne dont 30 % des branches sont atteintes de dépérissement est considéré comme trop attaqué pour être préservé par des traitements. De plus, le frêne est une essence qui, même en bonne santé, perd de nombreuses branches sèches. Une fois mort, l’arbre fragilisé et sec engendre un problème de sécurité publique et constitue une menace pour les réseaux électriques et de télécommunication (BVGM, 2016).

Dans ce cas, l’abattage de l’arbre constitue la meilleure option pour réduire les foyers de dispersion de l’agrile et maintenir la sécurité publique. La stratégie consiste à étaler dans le temps les coûts associés aux abattages, à minimiser la perte de la canopée et le développement d’ilots de chaleur. Pour ce faire, il existe deux types d’abattage : réactif et préventif. L’abattage réactif consiste à couper les frênes infestés au fur et à mesure. Cette technique est souvent onéreuse. L’abattage préventif consiste à couper les arbres dépérissants ou de petit calibre avant même qu’ils ne dévoilent des signes d’infestation (SMDNR, 2008). De cette façon, on évite d’avoir une coupe massive des frênes sur une courte durée et d’avoir à couvrir les coûts élevés qui sont reliés à l’abattage d’arbres dangereux. Afin de limiter le risque de dispersion de l’agrile, l’abattage doit être achevé pendant la période inactive de l’insecte adulte, soit entre le 1er octobre et le 15 mars, durant cette période, seulement les larves de l’insecte peuvent être présentes dans le bois de frêne (BVGM, 2016).

4.4.4 L’annélation

Les frênes qui ne satisfont pas aux critères de traitement établis (endommagés ou trop jeunes) peuvent être annelés avant de les abattre. L’annélation est une technique qui consiste à blesser intentionnellement un arbre afin d’attirer le ravageur à sélectionner celui-ci pour se reproduire et abattre celui-ci l’année subséquente (Ouellet, 2014), ce qui contribue à réduire la prochaine génération de ravageur émergeant l’année suivante. L'annélation stresse l'arbre, l'amenant à libérer des composés volatils dans l'air ambiant qui le rendent attrayant pour l'agrile du frêne dans la région. S'il est présent, l'agrile du frêne est plus susceptible d'être attiré par cet arbre plutôt que par un frêne au hasard (Marshall et al., 2011).

À défaut d’abattre de façon préventive, il est pertinent de prendre avantage de la perte de frênes en les annelant. De ce fait, l’annélation de ces arbres prévus à l’abattage pourrait contribuer à détecter la présence de l’agrile et à réduire la progression radiale de celui-ci

(Mercader *et al.*, 2011). L'utilisation de cette technique permet d'abattre un minimum de frênes par année tout en ralentissant la propagation du l'insecte.

4.4.5 Le reboisement et le remplacement des frênes

Un remplacement rapide des frênes à la suite de leur abattage est nécessaire afin de maintenir la couverture arborée de la municipalité et les services écologiques que les arbres urbains procurent. Plus tôt la plantation de nouveaux arbres débutera, plus importante sera la croissance et la dimension de ces nouveaux arbres lorsque viendra le temps de l'abattage des frênes morts ou dépérissants.

La présente crise, l'agrile du frêne, est une occasion pour se doter d'un plan de remplacement d'arbres et de reboisement urbain à long terme, dans le but d'atteindre des objectifs fixés de biodiversité, de rendement en services écologiques et de résilience pour faire face à d'éventuelles autres épidémies et catastrophes. Un tel plan permettra de limiter les dégâts que pourraient causer d'autres ravageurs ou maladies menaçant l'intégrité des arbres de la municipalité (Deshaies, 2021 ; Ville de Québec, 2019).

Pour établir les bases de tel plan de reboisement et de remplacement d'arbre ainsi que les essences à prioriser, il est important d'avoir en main un inventaire des ressources arborescentes de la municipalité de Berthier-sur-Mer. Les caractéristiques des essences choisies doivent leur permettre de s'adapter aux contraintes du milieu. Au niveau territorial, il est essentiel de tenir en compte les différentes proportions des espèces, des genres et des familles d'arbres choisis. Dans l'optique de favoriser la biodiversité; une règle du pouce a été proposée en réponse aux ravages de la maladie hollandaise de l'orme, soit la règle dite du 10-20-30. Cette règle stipule qu'il ne faudrait jamais planter plus de 10% de la même espèce, 20% du même genre, et 30% d'une même famille dans un secteur donné (Santamour, 1999). Par ailleurs, les espèces choisies doivent avoir une diversité des traits fonctionnels, soit leurs caractéristiques morphologiques et physiologiques spécifiques. En choisissant des espèces de différents regroupements fonctionnels, on garantit une variété de réponses face aux perturbations, et donc une plus grande résilience de la forêt urbaine et riveraine (Deshaies, 2021 ; Paquette, 2016). Cependant, il faut éviter de planter une seule espèce d'arbres le long d'une rue ou encore de retrouver le même genre d'arbres ou bien des arbres qui ont les mêmes traits fonctionnels dans un secteur de la municipalité. Dans la majorité des villes actuelles,

les arbres utilisés abondamment sont généralement semblables du point de vue fonctionnel, même s'ils appartiennent à des familles éloignées. Des forêts urbaines dominées par des espèces comme les frênes, l'érable de Norvège, et l'érable argenté, qui ont généralement les mêmes traits fonctionnels, révèlent une sensibilité plus grande (et une résilience plus faible) avec des espèces toutes sensibles aux mêmes stress (Paquette, 2016).

L'annexe 8 présente les essences d'arbres de remplacement préconisées pour la municipalité de Berthier-sur-Mer.

4.4.6 Gestion des résidus de frêne

Il est important que les résidus de frêne soient neutralisés et gérés avec soin, car ces résidus sont les meilleurs vecteurs anthropiques de déplacement de l'agrile, non seulement les larves survivent-elles après l'abattage d'un arbre ou l'élagage d'une branche, mais elles sont capables de compléter leur cycle et d'émerger.

Les résidus de frêne tels que les branches ou les bûches, dont le diamètre n'excède pas 20 cm, doivent être déchiquetés sur place lors de travaux d'abattage ou d'élagage. Un déchiquetage approprié ne propagera pas l'insecte, la taille des copeaux résultants ne doit pas dépasser 2,5 cm. Les résidus de 20 cm et plus de diamètre doivent être conservés dans des site autorisés à cette fin pour être transportés ensuite un site de traitement lors de la période inactif de l'insecte soit entre le mois d'octobre et mars. Les méthodes de traitement des résidus de frênes, reconnues scientifiquement et qui permettraient de détruire complètement l'agrile du frêne ou les parties du bois qui peuvent abriter cet insecte sont : la torréfaction; la fumigation au bromure de méthyle; le retrait et déchiquetage de la partie du bois de frêne pouvant contenir l'agrile. Après traitement, les résidus résultants peuvent être compostés, transformés en paillis ou bien brulés dans les grandes chaudières à biomasse (CMM, 2014).

4.4.7 Gestion des arbres morts sur pied

Une fois que les frênes meurent, ils pourrissent et se cassent. Un reboisement rapide est nécessaire afin de maintenir l'intégrité des services écologiques que procurent les arbres. Les arbres fragilisés devront être enlevés, car ils présentent des problèmes de sécurité publique et d'esthétique. Cependant, les frênes matures morts et qui sont encore solides, dont les racines sont encore ancrées au sol, peuvent être laissés sur place lorsqu'ils ne représentent

pas une menace pour la sécurité publique. Toutefois, les arbres morts, qu'ils soient debout (chicots) ou au sol (débris ligneux) jouent un rôle clé dans les écosystèmes, ils réduisent l'érosion en maintenant un treillis racinaire qui en retour fixe le sol, stockent les nutriments et l'eau, affectent le développement des sols et fournissent une source majeure d'énergie et de nutriments (Vázquez et al., 2011 ; Burdette, 2007 ; Hartanto et al., 2003 ; Raymond-Léonard et al., 2020). En outre, les frênes sont de bons arbres à cavité (voir des photos de cavités sur les frênes inventoriés en annexe 9), leur morphologie est propice à la formation de cavités résultant du bris de grosses branches. (Côté *et al.*, 2009). En effet, les arbres morts à cavité sont utilisés par la faune pour la nidification, l'alimentation ou le repos. (Lang et al., 2015; Côté et al., 2009). La longévité des chicots est entre 6 à 10 ans, plus le DHP augmente plus la longévité est forte (Garber *et al.*, 2005). Une étude de Russell *et al* (2006) a démontré que certains chicots de frênes peuvent tomber en l'espace dans 3 ans, mais que les chicots de plus de 23 cm de DHP ont plus de chance pour perdurer longtemps.

4.4.8 Les coûts de gestion

La gestion de l'agrile du frêne engendrera des coûts économiques importants soit par l'application d'insecticide systémique, l'abattage et le remplacement de frênes dépérissants ou bien par l'installation des pièges. Le coût de traitement à l'insecticide varie selon le diamètre de l'arbre (environ 5 $ par cm). Le prix d'abattage et le remplacement d'un arbre, quant à lui, peut varier de quelques centaines de dollars à plus de 2 000 $ selon le diamètre de l'arbre, sa localisation, la présence de fils électriques, la proximité d'infrastructure anthropique (maison, immeuble, autres bâtiments), etc. À titre d'exemple, pour un frêne de 30-35 cm DHP, chaque injection de l'insecticide TreeAzin coûte environ 150 $, alors que l'abattage et le remplacement de celui-ci coûtent environ 1 500 $ en milieu urbain (Bergeron, 2014). Quant à l'installation des pièges, le tableau suivant résume les prix de vente des produits en question au Canada (Bergevin, 2017).

Tableau 2: Prix de vente des pièges pour l'agrile de frênes. (Tiré de Bergevin, 2017).

Items	Prix arrondi $
Piège Lindgren + pot récolte	65,50
Piège prisme + croche	17,90
Phéromone (Lactone)	18,50
Kéromone (Hexanol 8 g)	7,90

Afin d’estimer les coûts annuels et cumulatifs d’une stratégie de gestion de l’agrile du frêne sur une période déterminée, Sadof et collaborateurs (2017) proposent un calculateur de coûts. Cependant, pour utiliser cet outil, les informations suivantes sont requises :

- Un inventaire du nombre et de la taille des frênes;
- Une estimation des coûts d'enlèvement et de traitement des arbres en fonction de la taille de chaque arbre;
- Une estimation des coûts de remplacement de chaque frêne enlevé.

5.0 Discussion

Les résultats de l'inventaire de la partie inventoriée de Berthier-sur-Mer ont permis de révéler qu'il y a une forte présence de frêne en rive le long du fleuve Saint, dans les rues, les parcs et jardins, peu importe la tenure des terres. La majorité des frênes (89%) se retrouvent en territoire privé, ce dernier représente plus de 90 % de l'ensemble de territoire inventorié dans la municipalité, alors que les frênes en terrains publics représentent 11 %. Plusieurs arbres sont de forte dimension et certains constituent la première ligne de végétation riveraine qui protègent les rives du Saint-Laurent. La mort des frênes risque d'ouvrir la canopée, de fragiliser et de favoriser l'érosion côtière et l'exposition de la côte aux aléas climatiques, aux tempêtes extrêmes le long du Saint-Laurent. La population locale et riveraine, en l'absence de mesure de gestion efficace et harmonisée, demandaient aux municipalités d'intervenir ou exigeaient des permis d'abattage pour éliminer les arbres par prévention. Certains propriétaires riverains ont recours aux pesticides pour protéger les arbres sur leur propriété, ce qui pourrait affecter l'écosystème et la biodiversité du fleuve Saint-Laurent. Dans ce contexte, il est important de développer une approche écologique durable dans le cadre d'une lutte antiparasitaire intégrée, qui prévoit l'usage d'une quantité minimale d'insecticides.

La lutte contre l'agrile du frêne est particulièrement difficile, car l'espèce accomplit ses stades larvaires destructeurs sous l'écorce des arbres, et lorsque les dommages deviennent visibles il est souvent trop tard pour intervenir et sauver l'arbre. Il n'existe actuellement aucun moyen efficace pouvant être employé seul et à grande échelle contre le ravageur. C'est pourquoi les scientifiques étudient l'espèce sous divers angles afin d'arriver à gérer à long terme les populations établies. Le programme de lutte qui sera éventuellement adopté devra comporter diverses tactiques incluant des méthodes efficaces de détection et de piégeage.

Au Canada, les moyens employés à ce jour contre l'agrile du frêne comprennent des mesures de quarantaine visant les matériaux issus du frêne, des restrictions sur leur transport, l'enlèvement des frênes infestés et l'injection de TreeAzinTM, un insecticide végétal (c.-à-d. l'azadirachtine).

5.1 Importance d'implication des citoyens dans la gestion de l'agrile

Étant donné que la majorité des frênes se situe sur des terrains privés (1806 frênes; 89%) et ces terrains représentent plus de 90 % de l'ensemble du territoire inventorié, le citoyen est un intervenant de première ligne à ne pas négliger. La réussite de la Stratégie de lutte contre l'agrile du frêne dépend davantage de l'effort de la population. Dans ce cas, il est important d'informer la population de la problématique et de lui donner les outils nécessaires afin d'y faire face. Le secteur de la marina, indiqué dans la figure 2, est très intéressant, car il s'agit d'un terrain public, qui est très prisé et fréquenté par la population locale, régionale et les adeptes du récréotourisme, qu'il y a présence de frêne et parce qu'il y a de l'érosion côtière visible le long du Saint-Laurent (voir des photos de ce secteur à l'annexe 10). Ce secteur semble un site idéal de démonstration au sujet de l'agrile du frêne pour les citoyens à l'échelle du territoire de la municipalité de Berthier-sur-Mer.

5.2 La détection et la surveillance de l'agrile

La réussite d'un plan de gestion repose sur la détection précoce du ravageur. Les efforts de dépistage de l'agrile par le biais de l'inspection visuelle réalisée dans l'inventaire, connaissent cependant certaines limitations. Tout d'abord, cette approche ne permet pas de détecter de façon précoce la présence de l'agrile, souvent l'insecte s'établit depuis plusieurs années lorsque des indices peuvent finalement être détectés visuellement (Ryall *et al.*, 2011). Puis, ce mode de dépistage permet d'avoir une image de la situation aux moments de l'enquête. Ainsi, cette approche ne permet pas de dépister de façon continue la présence de l'envahisseur. C'est pourquoi il est également nécessaire de faire appel à d'autres outils de dépistage discutés précédemment, tels que l'installation des pièges attractifs et l'écorçage des branches, dans les meilleurs délais. Ces opérations de dépistage servent à détecter plus rapidement la présence de l'insecte, à orienter la nature des interventions subséquentes visant à ralentir la propagation de l'agrile du frêne (abattage, traitement à l'insecticide, remplacement de l'arbre), mais aussi à évaluer dans le temps si la stratégie fonctionne.

5.3 La lutte biologique

La lutte biologique contre l'agrile du frêne à l'aide du champignon indigène du genre *Beauveria* et les guêpes parasitoïdes introduites est considérée comme l'une des stratégies les plus intéressantes pour la lutte à long terme contre le ravageur, car elle permet de réduire

la densité des populations, la dispersion de l'espèce et la durée des infestations. Les résultats de l'utilisation du champignon sont très encourageants, avec un taux de mortalité autour de 30 % chez les agriles, alors que la mortalité de cause naturelle (prédation, maladie) n'est que de 5 % (Jennings et al., 2014). Cependant, Gould et collaborateurs (2022) ont démontré que l'efficacité de cette démarche avait été limitée par l'épaisseur de l'écorce du frêne, plus les arbres sont matures plus l'efficacité des parasitoïdes est faible, les parasitoïdes protègent davantage les petits frênes.

5.4 Le traitement à l'insecticide

L'injection d'insecticide dans les arbres est une méthode de gestion qui minimise le risque d'exposition des aires et des organismes non ciblés. Comparées aux modes traditionnels d'administration où l'insecticide est appliqué au pulvérisateur sur la partie extérieure de l'arbre, les injections dans le tronc permettent d'administrer l'insecticide directement dans l'arbre choisi. Dans un contexte forestier canadien, des études ont montré que l'azadirachtine n'était pas persistante dans l'environnement (eau, sols, feuillage des arbres) et ne présentait pas de risque significatif pour la plupart des invertébrés non ciblés aux concentrations environnementales prévues (Thompson et Kreutzweiser, 2006), par conséquent, il a été considéré comme un bon candidat pour le contrôle de l'agrile du frêne. En effet, dans une étude ultérieure, Kreutzweiser et collaborateurs (2011) ont évalués les effets non ciblés de l'azadirachtine sur les vers de terre vivant dans la litière, les insectes aquatiques déchiqueteurs de feuilles et les communautés microbiennes dans les microcosmes terrestres et aquatiques. Aucune réduction significative n'a été détectée parmi la survie des vers de terre, la survie des insectes aquatiques, le taux de consommation des feuilles et parmi la décomposition microbienne terrestre et aquatique du matériel foliaire, par rapport aux témoins. Cette étude a démontré qu'il est peu probable que l'utilisation de l'azadirachtine comme insecticide systémique contre l'agrile du frêne pose un risque important de dommages aux invertébrés décomposeurs aquatiques ou terrestres lorsque les feuilles tombent des arbres traités (Kreutzweiser et al., 2011). Malgré ces résultats encourageants, les effets de cet insecticide restent insuffisamment documentés notamment sur les organismes non ciblés à long terme, Kreutzweiser (2011) a bon espoir qu'un plan de lutte antiparasitaire intégrée, un plan qui prévoit l'usage d'une quantité minimale d'insecticide, ce qui crée donc peu d'impact sur l'environnement, qui est adapté aux zones écosensibles comme les bandes riveraines du

fleuve Saint-Laurent pourrait nous permettre de contrôler l'infestation de l'agrile du frêne. Dans cette dynamique, les insecticides devraient donc être utilisés, notamment lorsqu'ils sont essentiels à la santé de l'arbre, dans la situation où les frênes sont de plus grandes valeurs ou bien leurs dépérissements représente un risque pour les citoyens et les infrastructures anthropiques (voir des photos d'arbres inventoriés qui sont proches des maisons et fils électriques en annexe 11).

5.5 L'abattage des frênes

Abattre les frênes et les remplacer par d'autres essences résout le problème localement, mais ne restreint pas la dispersion radiale du ravageur: il se déplacera simplement ailleurs pour trouver des frênes. Une étude de McCullough et Mercader (2011) a montré qu'un traitement annuel de 20 % de tous les frênes urbains a protégé 99 % de ceux-ci après 10 ans. De plus, cette même étude a montré qu'en appliquant cette méthode de traitement, les frais du traitement étaient considérablement inférieurs en comparaison à une approche visant à éliminer les frênes morts ou gravement dépérissants (McCullough et Mercader, 2011). Cependant, si 30 % des branches d'un frêne sont atteintes de dépérissement, le frêne sera considéré comme trop attaqué pour être préservé par traitement, dans ce cas, l'abattage de l'arbre constitue la meilleure option.

5.6 La valorisation de bois du frêne

La valorisation du bois de frêne abattu lui donne une deuxième vie. Dur, compact et très résistant, ce bois se prête très bien à des projets d'ébénisterie comme le mobilier des parcs. En valorisant le bois de frêne autrement qu'en le transformant en copeaux, permet de piéger le carbone emmagasiné dans le bois, ce qui réduit les gaz à effet de serre.

Les frênes de gros calibre peuvent être coupés en planches, après avoir retiré la partie infestée par les larves d'agrile. La municipalité de Berthier-sur-Mer peut se servir de ce bois d'œuvre pour rénover des bâtiments (planches et moulures), construire des meubles ou du mobilier urbain extérieur, comme des bancs. Les frênes de petit diamètre peuvent être broyés sur place pour éliminer toute trace de l'agrile. Les copeaux servent à amender les sols.

Le bois de frêne peut être utilisé comme bois de chauffage, c'est en effet un bois dense et dur, mais aussi élastique. Il nécessite un bon temps de séchage en raison de sa forte densité,

comme c’est le cas des autres bois durs. Sa combustion est lente comme pour le charme, l’orme ou encore le robinier, et il permet un feu lent et une bonne chaleur.

La municipalité pourrait vendre le bois de chauffage ou le bois d'œuvre sur son territoire immédiat pour éviter la dispersion du ravageur et diminuer les pertes associées au retrait des arbres morts. Sur le marché, le bois est vendu au volume communément appelé « corde de bois » et non au poids, les bois mous sont plus légers (+/-340kg/ corde) que les bois durs (+/-420kg/ corde). La quantité de chaleur créée est mesurée en BTU. Une corde de frêne blanc possède un pouvoir calorifique égale à : 25 millions de BTU/corde (Sylvain Dulac, 2015). Sur le périmètre d’échantillonnage dans le cadre de cet essai, la biomasse de frênes est de 582 036 kg.

En appliquant la transformation suivante;

582036 kg/420 kg= 1386 cordes

Les frênes de la partie inventoriée de Berthier-sur-Mer ont un pouvoir calorifique équivalent à :

1386 *25millions de BTU/corde = 34650 millions de BTU/corde

6.0 Personnalisation de plan de gestion et recommandations

6.1 Informer et soutenir les citoyens

Il est important d'informer et de soutenir les citoyens de Berthier-sur-Mer pour faire face à la problématique de l'agrile du frêne. Le développement d'un service-conseil est essentiel en vue d'accompagner les résidents de Berthier-sur-Mer dans la détection du ravageur, dans l'application des mesures préventives et dans les interventions concrètes pour retirer les frênes affectés et en vue de compenser les arbres perdus. La municipalité pourrait développer un incitatif financier qui encouragerait les propriétaires à replanter des arbres sur leurs propriétés. Un panneau d'interprétation avec un code QR pourrait être installé sur le secteur de la marina (des photos de ce secteur sont présentées en annexe (Annexe 10). Le code QR permettrait d'avoir accès à une capsule vidéo pour expliquer la problématique de l'agrile, comment identifier le ravageur, comment reconnaître les signes et symptômes d'un frêne affecté par l'agrile, le besoin de planter une végétation de remplacement et faire le lien vers les ressources pour assister les citoyens dans l'adaptation de leurs terrains. Sans s'y limiter, les réseaux sociaux et la page Facebook de la municipalité, semble aussi être une autre bonne option pour diffuser et partager l'information, tel qu'observé lors de la phase d'échantillonnage, où la ville de Berthier-sur-Mer a fait une publication pour informer ses citoyens et que les gens ont spontanément divulgué leur adresse, pour qu'ils puissent participer (Berthier-sur-Mer, 2022). La publication Facebook et les commentaires des citoyens sont présentés en annexe (Annexe 12).

6.2 Respecter la réglementation

Les arrêtés ministériels publiés par l'ACIA doivent être respectés en tout temps. Les intervenants du milieu forestier doivent tout mettre en œuvre pour éviter que la coupe et le transport du bois contribuent par négligence à la propagation de l'insecte, notamment par le transport du bois de chauffage.

6.3 Compléter l'inventaire, surveiller et détecter l'agrile

L'inventaire réalisé dans le cadre de cet essai ne couvre pas tout le territoire de Berthier-sur-Mer (-10 %), il est essentiel de compléter l'inventaire pour le reste du territoire (+90%). De plus, il est essentiel de procéder à l'écorçage des branches pour conclure hors de tout doute

la présence de l'agrile et d'installer les pièges discutés précédemment dès le soupçon de la présence du ravageur sur le territoire.

6.4 Les priorités de gestion et de plantation selon la caractérisation des frênes inventoriés à Berthier-sur-Mer

Le tableau 3 résume les stratégies de gestion ainsi que les biens et services écologiques ciblés des plantations en trois priorités selon le risque aux citoyens, l'emplacement et l'importance des frênes inventoriés à Berthier-sur-Mer :

Tableau 3: Classification des zones de priorité de gestion selon la caractérisation des frênes inventoriés à Berthier-sur-Mer ainsi que les coûts estimés pour chaque stratégie de gestion et les biens et services écologiques ciblés des plantations.

Classe de priorité		**Haute priorité (zone rouge)**			**Moyenne priorité (zone orange)**	**Faible priorité (zone jaune)**
Nature de risque, emplacement et importance des frênes		La proximité aux infrastructures anthropiques et fils électriques	La proximité a la rive	Frênes de haute valeur (De 50 cm ou plus de DHP)	Frênes de 20-50 cm DHP	Frênes moins de 20 cm DHP
Nombre de Frênes	Privés	156	401	65	447	737
	Publics	0	15	6	98	105
Stratèges de gestion préconisée		Traitement à l'insecticide	Lutte biologique	Traitement à l'insecticide	Lutte biologique	Lutte biologique
Coûts estimés de la gestion	Tenure privée	25155 $	9009 $	20345 $	3412,5 $	2457$
	Tenure publique	0 $	1638 $	2270 $	955,5$	0 $
Biens et services écologiques ciblés des plantations		Faible coefficient de dangerosité, effet d'ombrage	Effet d'ombrage, brise-vent, contrôle de l'érosion	Augmenter la biodiversité et la résilience face à d'éventuelles épidémies et catastrophes		

En fonction des caractéristiques des frênes inventoriés de Berthier-sur-Mer et leurs emplacements, il est important d'établir des zones de priorité en lien avec les différentes stratégies de gestion et les nouvelles plantations d'essences, soient des zones : rouge (haute priorité), orange (moyenne priorité) et jaune (faible priorité). Premièrement, la zone rouge se situe où les frênes sont à proximité des infrastructures anthropiques et fils électriques, ou bien ils sont de haute valeur (plus de 50 cm de DHP). Ces frênes matures représentent 11 % de la population de frênes inventoriés à Berthier-sur-Mer, ils doivent être traités à l'insecticide, l'utilisation de ce dernier est recommandée seulement pour ces frênes. Lors de nouvelles plantations il est important de choisir des essences à faible coefficient de dangerosité, avec un système racinaire non profond et de tenir en considération la distance sécuritaire de plantation de 3,5 m, recommandée par Hydro-Québec. Le cèdre blanc, le sorbier et l'érable sont de bons candidats. Ces essences pourront donner de l'ombre, de l'intimité et figurent parmi les arbres à faible risque aux immeubles. La liste complète des essences à enracinement de surface est présentée en annexe (Annexe 8).

Les frênes riverains (à moins 15 m du fleuve) sont inclus aussi dans la zone rouge, la stratégie de gestion recommandée pour eux est l'utilisation du champignon *Beauveria* et les guêpes parasitoïdes. Les nouvelles plantations en rive doivent maintenir les biens et les services écologiques que procurent les frênes riverains, notamment en ce qui concerne l'effet d'ombrage, le brise-vent, le contrôle de l'érosion et la stabilisation de la rive. Des essences qui s'adaptent au milieu côtier comme le caryer cordiforme, le chêne rouge, le pin gris sont suggérés. La liste complète des essences est à l'annexe 8.

Ensuite, la zone orange est située où les frênes sont de 20 à 50 cm de DHP. La stratégie de gestion recommandée pour ces frênes est l'utilisation du champignon *Beauveria* et les guêpes parasitoïdes. Finalement, la zone jaune est où les frênes sont de moins de 20 cm de DHP. La stratégie de gestion recommandée pour ces frênes est l'utilisation du champignon *Beauveria* et les guêpes parasitoïdes. Pour les plantations dans la zone orange et jaune, toutes les essences en annexe 8 sont recommandées, l'essentiel est d'augmenter la biodiversité et la résilience de la forêt berthelaise face à d'éventuelles épidémies et catastrophes comme discuter dans la section 4.4.5.

Pour les trois zones de priorités, la hauteur ciblée des essences à maturité est de 10-25 m. Il est possible de commencer à planter les nouvelles essences en prévision de la mortalité éventuelle des frênes, et ce, avant même l'abattage des arbres attaqués par l'agrile. Cela donnerait le temps aux arbres nouvellement implantés de croître dans une certaine mesure et de constituer leur système racinaire avant la mort des frênes. Il est important de tenir en compte la taille des arbres de plantation, car les plus gros arbres coûtent beaucoup plus cher, mais la compensation pour les biens et services écologiques perdus par la mort des frênes sera plus rapide, notamment pour les secteurs avec un besoin spécifique, comme le long de la plage et dans le secteur de la marina pour l'effet d'ombrage et les haies brise-vent.

Les coûts présentés dans le tableau 3 incluent les frais relatifs à l'installation des pièges à prisme, l'installation des pièges Lindgren et l'injection de l'insecticide, les calculs sont expliqués dans la section 6.6.

6.5 L'abattage des frênes

Les frênes inventoriés à Berthier-sur-Mer sont en bonne santé. S'ils présentent un dépérissement de la cime de 30 % ou plus, ils doivent être enlevés par priorité dans une politique à ne pas propager l'infestation, à minimiser les risques aux citoyens et à conserver la canopée et les services des arbres aussi longtemps que possible. Les arbres dangereux et à haut risque, qui se trouvent à proximité des infrastructures anthropiques et fils électriques, seront éliminés en premier, suivis de ceux qui ne sont plus des atouts pour la communauté (stressés, morts, mourants ou malades). Les frênes riverains dépérissants, quant à eux, ne présentent pas de risques aux citoyens, il est recommandé de les laisser sur place pour favoriser la stabilité des rives et que la faune bénéficie de ces arbres.

6.6 Estimations des coûts de gestion

L'installation des pièges se fait par priorité. En éloignant les pièges entre eux de 30 mètres, le territoire privé et public échantillonné peut contenir 128 pièges à prisme lors de l'étape de la surveillance et la détection de l'agrile et même nombre (128) de pièges Lindgren lors de l'étape de lutte biologique avec le champignon, répartis comme suit; 78 pièges à prisme (et 78 pièges Lindgren) en zone rouge, 32 pièges à prisme (et 32 pièges Lindgren) en zone orange et 18 pièges à prisme (et 18 pièges Lindgren) en zone jaune. Les tableaux 4, 5 et 6 résument les calculs et les coûts associés à chaque zone;

Tableau 4: Coûts estimés pour l'installation des pièges en zone rouge (haute priorité). (Tiré de Bergevin, 2017).

78 pièges	**Surveillance et détection de l'agrile**	**Lutte biologique avec le champignon**	**Somme**
	Piège à prisme; prix d'unité (17,90 $ + 18,50 $ + 7,90) = 44,5 $.	Piège Lindgren; prix d'unité (65,50 $ + 18,50 $ + 7,90 $) = 92 $	
Secteur privé (66 pièges)	**44,5 $* 66 = 2937 $.**	**92 $ * 66 = 6072 $**	**9009 $**
Secteur public (12 pièges)	**44,5 $* 12 = 534 $.**	**92 $ * 12 = 1104 $**	**1638 $**

Installer les pièges le long de la rive échantillonnée est hautement recommandé mais si les citoyens et la municipalité estiment que ces coûts sont trop dispendieux et qu'ils préfèrent cibler seulement la plage et la marina, la plage peut contenir 10 pièges à prisme à prisme lors de l'étape de la surveillance et la détection de l'agrile ainsi que 10 pièges Lindgren lors de l'étape de lutte biologique avec le champignon, alors que la marina peut contenir 12 pièges à prisme lors de l'étape de la surveillance et la détection de l'agrile ainsi que 12 pièges Lindgren lors de l'étape de lutte biologique avec le champignon :

44,5 $ * 10= 445 $
92 $ * 10= 920 $
445 $ + 920 $ = 1365 $

Le coût d'installation des pièges dans le secteur de la plage est estimé à 1365 $, précisant que tous les frênes dans ce secteur sont privés.

44,5 $ * 12= 534 $
92 $ * 12= 1104 $
534 $ + 1104$= 1638 $

Le coût d'installation des pièges dans le secteur de la marina est estimé à 1638 $, précisant que tous les frênes dans ce secteur sont publics.

Tableau 5: Coûts estimés pour l'installation des pièges en zone orange (moyenne priorité). (Tiré de Bergevin, 2017).

32 pièges	**Surveillance et détection de l'agrile**	**Lutte biologique avec le champignon**	**Somme**
	Piège à prisme; prix d'unité (17,90 $ + 18,50 $ + 7,90) = 44,5 $.	Piège Lindgren; prix d'unité (65,50 $ + 18,50 $ + 7,90 $) = 92 $	
Secteur privé (25 pièges)	44,5 $* 25 = 1112,5 $.	92 $ * 25 = 2300 $	3412,5 $
Secteur public (7 pièges)	44,5 $* 7= 311,5 $.	92 $ * 7 = 644 $	955,5 $

Tableau 6: Coûts estimés pour l'installation des pièges en zone jaune (faible priorité). (Tiré de Bergevin, 2017).

18 pièges	**Surveillance et détection de l'agrile**	**Lutte biologique avec le champignon**	**Somme**
	Piège à prisme; prix d'unité (17,90 $ + 18,50 $ + 7,90) = 44,5 $.	Piège Lindgren; prix d'unité (65,50 $ + 18,50 $ + 7,90 $) = 92 $	
Secteur privé (18 pièges)	**44,5 $* 18 = 801 $.**	**92 $ * 18 = 1656 $**	**2457 $**
Secteur public (0 pièges)	**0 $**	**0 $**	**0 $**

En ce qui concerne les coûts relatifs au traitement à l'insecticides, ils sont obtenus en multipliant le diamètre (cm) de chaque arbre par 5$, après les prix sont ajoutés pour estimer la somme totale.

Tableau 7 : Coûts estimés pour le traitement à l'insecticide. (Tiré de Bergeron, 2014).

	La proximité aux infrastructures anthropiques et fils électriques	**Les frênes de haute valeur (DHP≥50)**
Tenure privée	25155 $ (5$ par cm de diamètre pour 156 frênes)	20345 $ (5$ par cm de diamètre pour 65 frênes)
Tenure publique	0 $ (0 frênes)	2270 $ (5$ par cm de diamètre pour 6 frênes)

La figure 6 résume les coûts estimés de chaque stratégie de gestion selon la caractérisation des frênes de la partie inventoriée à Berthier-sur-Mer, précisant que d'autres frais peuvent s'ajouter dans le processus de gestion, comme l'achat d'une déchiqueteuse/broyeuse, l'abattage des frênes, les frais des transports de bois, la main-d'œuvre des opérations, la location des nacelles, la communication, la planification des visites et des traitements, le remplacement et le suivi des pièges, etc.

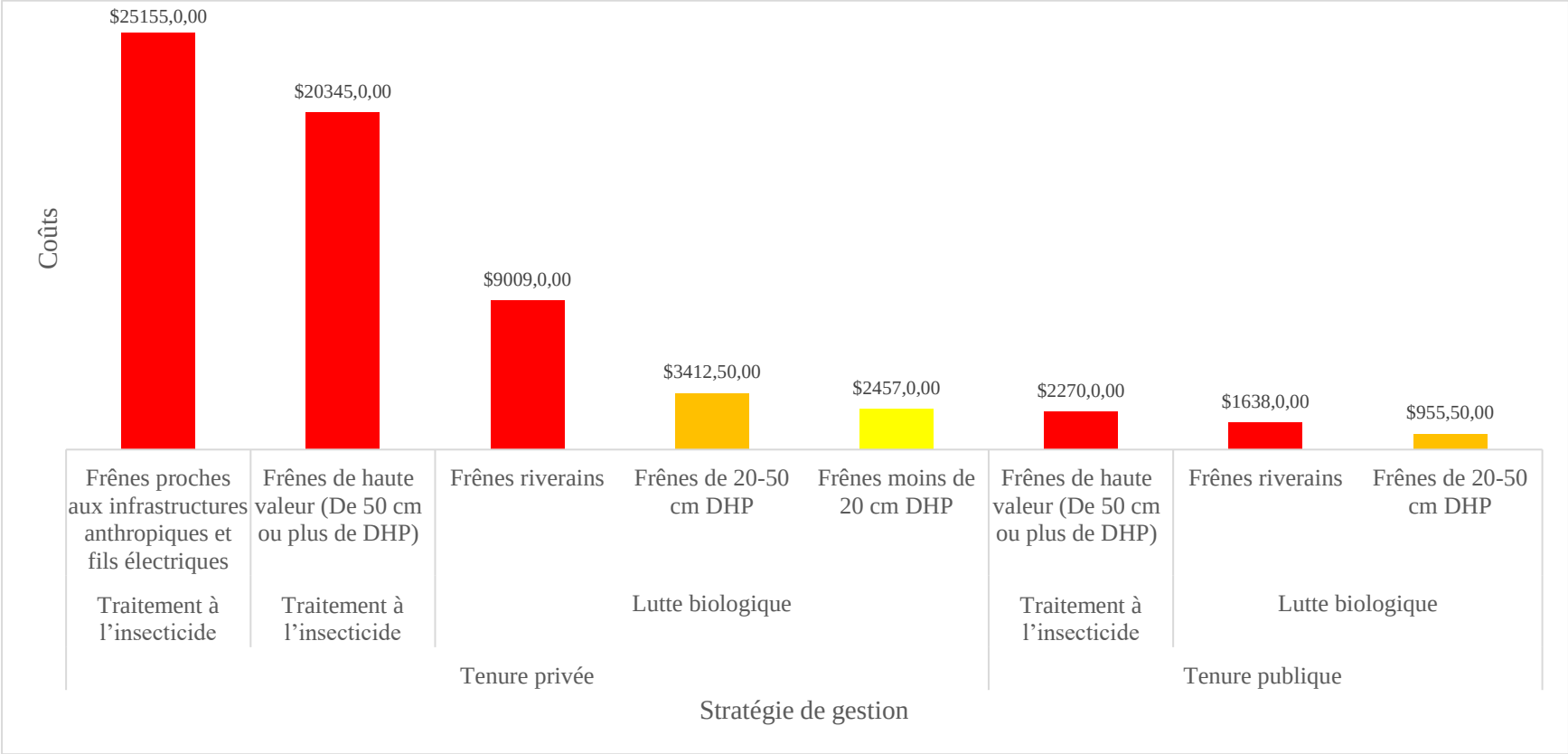


Figure 6: Coûts estimés des stratégies de gestion de l'agrile du frêne de la partie inventoriée à Berthier-sur-Mer.

6.7 Les résidus de frêne

Les résidus de frêne dont le diamètre n'excède pas 20 cm, doivent être déchiquetés sur place lors de travaux d'abattage ou d'élagage. La taille des copeaux résultants ne doit pas dépasser 2,5 cm, par la suite, ils peuvent être compostés ou transformés en paillis et mis à la disposition du public.

En ce qui concerne les résidus de 20 cm et plus de diamètre, ils peuvent être traités comme suit en fonction de la période où l'insecte est inactif :

- Du 1er octobre au 15 mars (période où l'insecte est inactif), les résidus seront acheminés à un site de traitement autorisé à cette fin par la municipalité dans les 15 jours suivant les travaux d'abattage ou d'élagage;
- Du 15 mars au 1er octobre (période où l'insecte est actif), les résidus seront conservés dans un lieu déterminé par la municipalité pour ensuite être transportés après le 1er octobre à un site de traitement autorisé à cette fin.

Il se trouve que l'hôpital de Montmagny chauffe à la biomasse depuis environ 2015, sa demande annuelle en bois de chauffage est d'environ 2 700 tonnes. L'hôpital d'Amqui, à son tour, chauffe environ 1000 tonnes de résidus par année (Caron, 2023 ; Vision Biomasse Québec, 2022). Ce qui représente une opportunité pour utiliser les frênes morts d'une part, et réduire le fardeau économique de la gestion des frênes infestés. La biomasse des frênes inventoriés de Berthier-sur-Mer (582 tonnes) pourrait chauffer l'hôpital de Montmagny durant 2 mois et demi et durant la moitié d'une année pour l'hôpital d'Amqui.

6.8 Synthèse des résultats

La figure 7 résume les stratégies de gestion préconisées pour la partie inventoriée à Berthier-sur-Mer par classes de priorités. Soient :

- Haute priorité : le traitement à l'insecticide pour les frênes proches aux infrastructures anthropiques et de haute valeurs (plus de 50 cm de DHP), ainsi que la lutte biologique pour les frênes matures riverains;
- Moyenne priorité : la lutte biologique pour les frênes de 20-50 cm de DHP;
- Faible priorité : la lutte biologique pour les frênes de moins de 20 cm de DHP.

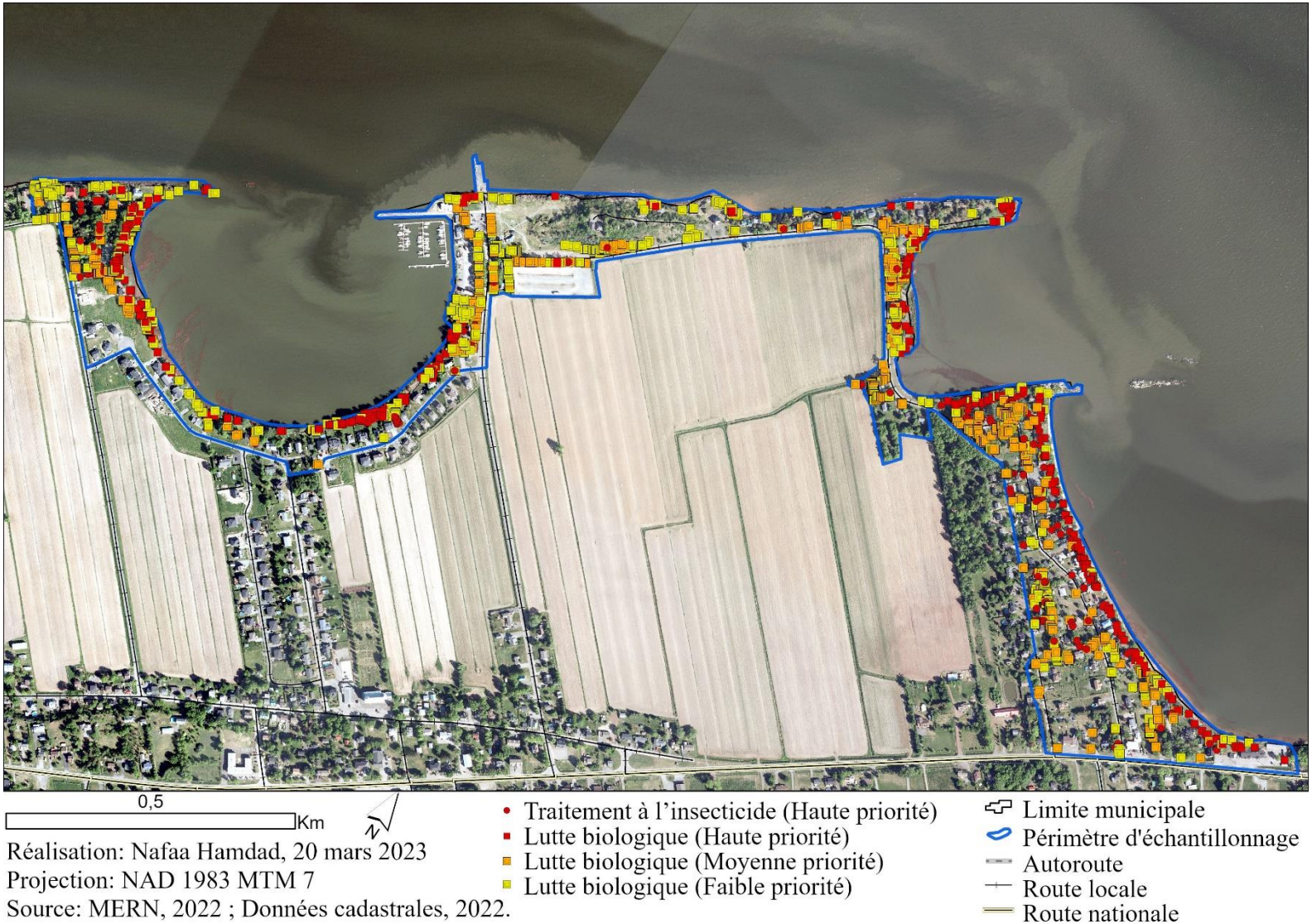


Figure 7: Les stratégies de gestion préconisées par classes de priorités des frênes inventoriés à Berthier-sur-Mer.

7.0 Conclusion

Comme démontré dans ce présent document, l'agrile du frêne peut engendrer d'importants impacts économiques, environnementaux et sociaux. L'objectif principal du présent essai était de dresser un inventaire approfondi des frênes présent dans une section riveraine du fleuve Saint-Laurent dans la municipalité de Berthier-sur-Mer et d'élaborer un plan de gestion des arbres infestés par l'agrile. Malheureusement, il n'a pas été possible d'inventorier tout le territoire de Berthier-sur-Mer à cause de la limite de temps et de la disponibilité de fonds. Lors de consultations avec la municipalité et afin de préserver les frênes à haute valeur de conservation, l'effort a été concentré sur les secteurs récréotouristiques d'intérêt, soient; le Parc fluvial (secteur de la marina) et la plage. Le premier objectif, soit l'inventaire approfondi des frênes, a été atteint, à ce sujet, une base de données a été créée, la position, le diamètre ainsi que la hauteur de chaque frêne sont notés sur support cartographique. En ce qui concerne l'élaboration d'un plan de gestion, cet objectif a été atteint. D'abord, une revue de littérature sur le sujet a été faite en mettant le point sur une description détaillée des différents outils de lutte contre le ravageur, ainsi que les différentes stratégies de gestion des frênes infestés. Puis, des recommandations personnalisées de gestion des frênes dans une perspective de l'infestation par l'agrile de frêne pour le territoire de Berthier-sur-Mer ont été produites. Ce travail constitue la première réflexion régionale sur le sujet de l'agrile du frêne. Les mesures proposées serviront d'assise pour la gestion de la problématique à l'échelle des MRC de Montmagny et de L'Islet.

En conclusion, le fait que l'agrile du frêne soit un des ravageurs les plus destructeurs que l'Amérique du Nord ait connu (Cappaert et al., 2005) sera peut-être le son de cloche nécessaire pour que les municipalités s'impliquent dans la préservation et la gestion des frênes infestés. Inévitablement, la lutte contre la progression de l'agrile du frêne entraine des coûts importants, mais la valeur économique des arbres en fonction des services écologiques rendus à la collectivité va bien au-delà des coûts de traitement, d'abattage et de remplacement. Certains aspects non couverts dans le présent essai pourraient faire l'objet d'études supplémentaires. Notamment, des avenues intéressantes en ce qui a trait à ce qu'il advient des souches d'arbres coupés et le devenir des pesticides dans le sol lorsqu'elles se dégraderont avec le temps, de comportement des frênes dans le sens d'autodéfense, de la

végétation lorsque le couvert forestier s'ouvre après la mort de frênes, ce qui peut constituer un problème à proximité des plans d'eau, dont la température grimpe quand la forêt disparaît.

Finalement, bien que la gestion de l'agrile du frêne en milieu urbain soit primordiale, il est aussi important d'étudier le ravageur et de prévoir une stratégie adaptée de gestion en milieu forestier. Car une fois que l'insecte est bien implanté dans une ville, il s'attaque habituellement après coup aux frênes des milieux forestiers adjacents, ce qui consolide davantage l'épidémie et entraine d'importants effets de cascades écologiques.

Références

ACIA (2012). (Agence canadienne d'inspection des aliments). Alternatives recommandées aux frênes. Consulté 3 janvier 2023, en ligne : https://inspection.canada.ca/plant-health/invasive-species/insects/emerald-ash-borer/recommended-alternatives/eng/1337363806469/1337363875644#wb-cont

ACIA (2015). (Agence canadienne d'inspection des aliments). Avertissement phytosanitaire Agrile du frêne (Agrilus planipennis). Consulté 5 janvier 2023, en ligne : https://inspection.canada.ca/DAM/DAM-plants-vegetaux/STAGING/text-texte/pestrava_agrpla_alert_pdf_1337369655573_fra.pdf

ACIA (2018). (Agence canadienne d'inspection des aliments). Des guêpes comme agents de lutte biologique pour l'agrile du frêne - Agence canadienne d'inspection des aliments. Consulté 12 octobre 2022, en ligne : https://inspection.canada.ca/protection-des-vegetaux/especes-envahissantes/insectes/agrile-du-frene/guepes/fra/1371137262586/1371137530758

ACIA (2019). (Agence canadienne d'inspection des aliments). Agrilus planipennis (Agrile du frêne) - Fiche de renseignements - Agence canadienne d'inspection des aliments. Consulté 12 octobre 2022, en ligne : https://inspection.canada.ca/plant-health/invasive-species/insects/emerald-ash-borer/fact-sheet/eng/1337368130250/1337368224454

ACIA (2021). (Agence canadienne d'inspection des aliments). D-03-08 : Exigences phytosanitaires visant à prévenir l'introduction et la propagation au Canada de l'agrile du frêne, Agrilus planipennis (Fairmaire) - Agence canadienne d'inspection des aliments. Consulté 19 décembre 2022, en ligne : https://inspection.canada.ca/protection-des-vegetaux/especes-envahissantes/directives/produits-forestiers/d-03-08/fra/1323821135864/1323821347324

ACIA (2022). Situation actuelle relative à l'agrile du frêne - Agence canadienne d'inspection des aliments. Consulté 11 octobre 2022, en ligne : https://inspection.canada.ca/protection-des-vegetaux/especes-envahissantes/insectes/agrile-du-frene/situation-actuelle/fra/1337287614593/1337287715022

ARLA (2022). (Agence de réglementation de la lutte antiparasitaire). Projet de décision d'homologation PRD2021-10, Souche CFL-A de Beauveria bassiana et produit Fraxiprotec . Consulté 13 octobre 2022, en ligne : https://www.canada.ca/fr/sante-canada/services/securite-produits-consommation/pesticides-lutte-antiparasitaire/public/consultations/projets-decision-homologation/2021/souche-cfl-a-beauveria-bassiana-produit-fraxiprotec/document.html

Aukema J. E., Leung B., Kovacs K., Chivers C., Britton K. O., Englin J., Frankel S. J., Haight R. G., Holmes T. P., Liebhold A. M., McCullough D. G., & von Holle B. (2011). Economic Impacts of Non-Native Forest Insects in the Continental United States. *PLoS ONE*, **6** (9), e24587.

Bergeron M. (2014). Un intrus menace tous les frênes.

Berthier-sur-Mer. (2022, October 21). Info: Agrile du frêne. Page Facebook_Berthier-sur-Mer. Consulté 11 novembre 2022, en ligne : https://www.facebook.com/berthiersurmer/posts/pfbid02VYPZEboMDo3iPM41KSUDUWpBbVneBFiNycNUV2wkpKyYJfAR8qDgnj2yVTy8xSsbl

Breton J., & Gendron J. (2018). Plan de développement de la zone agricole-MRC de Montmagny : rapport d'étape. Québec.

BSM (2022). À propos - Berthier-sur-Mer. Consulté 11 octobre 2022, en ligne : https://berthiersurmer.ca/municipalite/a-propos/

Burdette C. (2007). Coarse woody debris dynamics in black rock experimental forest of the hudson highlands.

BVGM (2016). (Bureau du vérificateur général de Montréal). Gestion de l'agrile du frêne et de la canopée. Consulté 11 octobre 2022, en ligne : https://www.bvgmtl.ca/wp-content/uploads/2021/02/RA2016_section5-1.pdf

Cappaert, D., McCullough, D. G., Poland, T. M., & Siegert, N. W. (2005). Emerald ash borer in North America: a research and regulatory challenge. American Entomologist. 51(3): 152-165., 51. https://www.fs.usda.gov/research/treesearch/13648

Caron J. (2023). Hôpital de Montmagny-Prévisions de consommation pour la fourniture de biomasse. Direction des services techniques - Entretien et fonctionnement des installations. CISSS de Chaudière-Appalaches.

City of Cedar Rapids (2015). Emerald Ash Borer Plan.

CMM (2014). (Communauté métropolitaine de Montréal) Stratégie métropolitaine de lutte contre l'agrile du frêne 2014-2024. Montréal.

CMM (2020). (Communauté métropolitaine de Montréal). Stratégie métropolitaine de lutte contre l'agrile du frêne 2014-2024-billan des activités 2019. Montréal. Consulté en ligne : https://cmm.qc.ca/wp-content/uploads/2020/08/Strategie_agrile_du_frene_Bilan_2019_VF.pdf

Conseil du Saint-Laurent (2017). La complexité mouvementée de l'estuaire moyen du Saint-Laurent.

Costanza K. K. L., Livingston W. H., Kashian D. M., Slesak R. A., Tardif J. C., Dech J. P., Diamond A. K., Daigle J. J., Ranco D. J., Neptune J. S., Benedict L., Fraver S. R., Reinikainen M., & Siegert N. W. (2017). The Precarious State of a Cultural Keystone Species: Tribal and Biological Assessments of the Role and Future of Black Ash. *Journal of Forestry*, **115** (5), 435-446.

Côté S., Boucher Y., & Thiffault N. (2009). Le bois mort dans la sapinière à bouleau blanc : importance, caractéristiques et considérations pour l'aménagement écosystémique. *Le naturaliste canadien*, **133**, 65-72. Consulté en ligne : https://www.uqar.ca/uqar/recherche/unites_de_recherche/chaire_foret_habitee/publications/cote_et_al_2009.pdf

Deshaies P.-Daniel. R. Noah. L. A. (2021). Guide de plantation d'arbres en milieu urbain.

Donovan G. H., Butry D. T., Michael Y. L., Prestemon J. P., Liebhold A. M., Gatziolis D., & Mao M. Y. (2013). The Relationship Between Trees and Human Health. *American Journal of Preventive Medicine*, **44** (2), 139-145.

Engelken P. J., Benbow M. E., & McCullough D. G. (2020). Legacy effects of emerald ash borer on riparian forest vegetation and structure. *Forest Ecology and Management*, **457**, 117684.

Farrar J. (1995). Les Arbres du Canada (S. canadien des forêts Ressources naturelles Canada, Éd.). Ottawa (Ontario), 502 p.

Francese J. A., Oliver J. B., Fraser I., Lance D. R., Youssef N., Sawyer A. J., & Mastro V. C. (2008). Influence of Trap Placement and Design on Capture of the Emerald Ash Borer (Coleoptera: Buprestidae). *Journal of Economic Entomology*, **101** (6), 1831-1837.

Gaétane Boisseau., Chantal d'Auteuil., Marie-Ève Lajoie., Louis Désilets., Anne L., & Yoseline Leunens. (2019). La lutte biologique contre l'agrile du frêne, un champignon à la rescousse. *Association des biologistes du Québec-la revue de l'association des biologistes du Québec*, **39**. Consulté 11 octobre 2022, en ligne : http://www.abq.qc.ca

Garber S. M., Brown J. P., Wilson D. S., Maguire D. A., & Heath L. S. (2005). Snag longevity under alternative silvicultural regimes in mixed-species forests of central Maine. *Canadian Journal of Forest Research*, **35** (4), 787-796.

GDG (2022). (GDG Environnement). Lutte à l'agrile du frêne : FraxiProtec . Consulté 13 octobre 2022, en ligne : https://www.gdg.ca/article/lutte-agrile-du-frene-fraxiprotec/

Gould J., Fierke M. K., & Hickin M. (2022). Mortality of Emerald Ash Borer Larvae in Small Regenerating Ash in New York Forests. *Journal of Economic Entomology*, **115** (5), 1442-1454.

Hartanto H., Prabhu R., Widayat A. S. E., & Asdak C. (2003). Factors affecting runoff and soil erosion: plot-level soil loss monitoring for assessing sustainability of forest management. *Forest Ecology and Management*, **180** (1-3), 361-374.

Hope E. S., McKenney D. W., Pedlar J. H., Lawrence K., & MacDonald H. (2021). Canadian efforts to slow the spread of Emerald Ash Borer (Agrilus planipennis Fairmaire) are economically efficient. *Ecological Economics*, **188**, 107126.

Hydro-Québec. (2022). Outil pour choisir le bon arbre ou arbuste | Hydro-Québec. https://arbres.hydroquebec.com/recherche-arbres-arbustes

IFN (2016). (Inventaire forestier national du canada). Calculateur de la biomasse de l'arbre. Consulté 17 novembre 2022, en ligne : https://nfi.nfis.org/fr/biomass_calc

Jennings D. E., Duan J. J., Abell K. J., Bauer L. S., Gould J. R., Shrewsbury P. M., & van Driesche R. G. (2014). Life table evaluation of change in emerald ash borer populations due to biological control. *Van Driesche, R.G.; Reardon, R.C., eds. Biology and control of emerald ash borer. FHTET-2014-09. Morgantown, WV: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Health Technology Enterprise Team: 139-151. Chapter 9.*

Johny S., Kyei-Poku G., Gauthier D., Frankenhuyzen K. van, & Krell P. J. (2012). Characterization and virulence of Beauveria spp. recovered from emerald ash borer in southwestern Ontario, Canada. *Journal of Invertebrate Pathology*, **111** (1), 41-49.

Katovich S. (2009). SLAM A Strategy to SL.ow A.sh M.ortality In Emerald Ash Borer Outlier Sites.

Kreutzweiser D., Thompson D., Grimalt S., Chartrand D., Good K., & Scarr T. (2011). Environmental safety to decomposer invertebrates of azadirachtin (neem) as a systemic insecticide in trees to control emerald ash borer. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, **74** (6), 1734-1741.

Kreutzweiser, D. (2011). Comment l'agrile du frêne compromet-il le rôle des forêts dominées par le frêne? Ressources Naturelles Canada, Service Canadien Des Forêts, Administration Centrale, Ottawa. 2 p. https://d1ied5g1xfgpx8.cloudfront.net/pdfs/32377.pdf

Kyei-Poku G. (2012). Lutte biologique contre l'agrile du frêne. Ontario. Consulté 11 octobre 2022, en ligne : http://scf.rncan.gc.ca/publications

Lambert M.-C., Ung C.-H., & Raulier F. (2005). Canadian national tree aboveground biomass equations. *Canadian Journal of Forest Research*, **35** (8), 1996-2018.

Lang Y., Perreault G., & Dion C. (2015). Conservation des chicots et des arbres sénescents pour la faune - Les chicots, plus de vie qu'il n'y paraît. Regroupement QuébecOiseaux, Montréal.

Lavallée R. (2014). La lutte contre l'agrile du frêne : le secret est dans les champignons. *Centre de foresterie des Laurentides, Québec (Québec). L'éclaircie du Service canadien des forêts, Centre de foresterie des Laurentides. N° 93. 2 p.*

Lyons D. B., Caister C., de Groot P., Hamilton B., Marchant K., Scarr T., & Turgeon J. (2007). Guide pour les enquêtes de dépistage de l'agrile du frêne. Ontario.

Lyons D. B., Lavallée R., Kyei-Poku G., van Frankenhuyzen K., Johny S., Guertin C., Francese J. A., Jones G. C., & Blais M. (2012). Towards the Development of an Autocontamination Trap System to Manage Populations of Emerald Ash Borer (Coleoptera: Buprestidae) With the Native Entomopathogenic Fungus, <I>Beauveria bassiana</I> *Journal of Economic Entomology*, **105** (6), 1929-1939.

Marshall, J. M., Storer, A. J., Fraser, I., & Mastro, V. C. (2011). A predictive model for detection of Agrilus planipennis (Col., Buprestidae) larvae in girdled ash (Fraxinus spp.). Journal of Applied Entomology, 135(1–2), 91–97. https://doi.org/10.1111/j.1439-0418.2010.01525.x

McCullough D. G., & Mercader R. J. (2011). Evaluation of potential strategies to SLow Ash Mortality (SLAM) caused by emerald ash borer (Agrilus planipennis): SLAM in an urban forest. *http://dx.doi.org/10.1080/09670874.2011.637138*, **58** (1), 9-23.

Mercader R. J., Siegert N. W., Liebhold A. M., & McCullough D. G. (2011). Simulating the effectiveness of three potential management options to slow the spread of emerald ash

borer (*Agrilus planipennis*) populations in localized outlier sites. *Canadian Journal of Forest Research*, **41** (2), 254-264.

MDDEP. (2007). (Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs). Protocole de caractérisation de la bande riveraine.

MRNF. (2020). (Ministère des Ressources naturelles et des Forêts). Glossaire forestier. Ressources Naturelles Canada. Consulté 12 octobre 2022, en ligne : https://scf.rncan.gc.ca/termes/category/21#wb-auto-4

OBV Côte-du-Sud (2011). aBassins résiduels de Montmagny.

OBV Côte-du-Sud (2011). bBassins versants de la côte de Montmagny. Consulté 11 octobre 2022, en ligne : www.obvcotedusud.org

OBV Côte-du-Sud (2019). Territoires - OBV Côte du Sud. Consulté 12 octobre 2022, en ligne : https://obvcotedusud.org/bassin-versant/territoires/

Ouellet A. (2014). La gestion durable de l'agrile du frêne en milieu urbain (Essai de maîtrise). Université de Sherbrooke, Sherbrooke.

Paquette A. (2016). Augmentation de la canopée et de la résilience de la forêt urbaine de la région métropolitaine de Montréal. Montréal.

Perron M.-A. (2020). Agrile du frêne - Berthier-sur-Mer. Consulté 11 octobre 2022, en ligne : https://berthiersurmer.ca/agrile-du-frene/

Purdue University (2008). Calculateur de coût pour l'agrile du frêne | VAE | Agrile du frêne | Purdue | Entomologie | Calculatrice | Ordinateur d'arbre | Frênes | Forêt | Traitement | Prix estimé. Consulté 13 octobre 2022, en ligne : https://int.entm.purdue.edu/ext/treecomputer/

Raymond-Léonard L. J., Bouchard M., & Handa I. T. (2020). Dead wood provides habitat for springtails across a latitudinal gradient of forests in Quebec, Canada. *Forest Ecology and Management*, **472**, 118237.

Réjean Bergevin (2017). L'agrile du frêne - Une espèce exotique qui révolutionne la foresterie urbaine. *GDG Environnement*. Consulté 12 décembre 2022, en ligne : https://www.oifq.com/images/Evenement/formation_continue/2017/EEE2017/Atelier_EEE_2017_GDG2.pdf

RNC (2012). (Ressources naturelles Canada). L'agrile du frêne : combattre pour ne pas abattre. Consulté 12 décembre, en ligne : https://d1ied5g1xfgpx8.cloudfront.net/pdfs/34080.pdf

RNC. (2015a). (Ressources naturelles Canada). Arbres, insectes et maladies des forêts du Canada. Consulté 12 décembre 2022, en ligne : https://aimfc.rncan.gc.ca/fr/arbres/famille/Fraxinus/8

RNC (2015b). (Ressources naturelles Canada). L'agrile du frêne: cela vous dit quelque chose? Consulté 12 décembre 2022, en ligne : www.inspection.gc.ca

Russell R. E., Saab V. A., Dudley J. G., & Rotella J. J. (2006). Snag longevity in relation to wildfire and postfire salvage logging. *Forest Ecology and Management*, **232** (1-3), 179-187.

Ryall K., Turgeon J., & Fidgen J. (2011). Dépistage de l'agrile du frêne en milieu urbain par échantillonnage de branches.

Santamour, F. (1999). Trees for urban planting: Diversity, uniformity, and common sense. https://www.semanticscholar.org/paper/TREES-FOR-URBAN-PLANTING-%3A-DIVERSITY-UNIFORMITY-%2C-Santamour/26a24c5361ce6d6e618a9fa307c4a34a3169e309

SMDNR (2008). (State of michigan department of natural resources). Michigan State Forest Management Plan. Consulté 20 décembre 2022, en ligne : www.michigan.gov/dnr/

Srei N., Lavallée R., & Guertin C. (2019). Horizontal Transmission of the Entomopathogenic Fungal Isolate INRS-242 of Beauveria bassiana (Hypocreales: Cordycipitaceae) in Emerald Ash Borer, Agrilus planipennis (Coleoptera: Buprestidae). *Journal of Economic Entomology*.

Streit M., Scarr T., & Farintosh L. (2012). Préparation à l'arrivée de l'agrile du frêne.

Sylvain Dulac (2015). Ce qu'il est important de savoir sur le chauffage au bois! Sherbrooke.

Thompson D G (2013). TreeAzin ®-Un insecticide systémique naturel pour lutter contre l'agrile du frêne au Canada. Service canadien des forêts – Centre de foresterie des Grands Lacs, Ontario.

Thompson Dean G., & Kreutzweiser D. P. (2006). A Review of the Environmental Fate and Effects of Natural « Reduced-Risk » Pesticides in Canada. p. 245-274.

Ung C.-H., Bernier P., & Guo X.-J. (2008). Canadian national biomass equations: new parameter estimates that include British Columbia data. *Canadian Journal of Forest Research*, **38** (5), 1123-1132.

Vázquez D. P., Alvarez J. A., Debandi G., Aranibar J. N., & Villagra P. E. (2011). Ecological consequences of dead wood extraction in an arid ecosystem. *Basic and Applied Ecology*, **12** (8), 722-732.

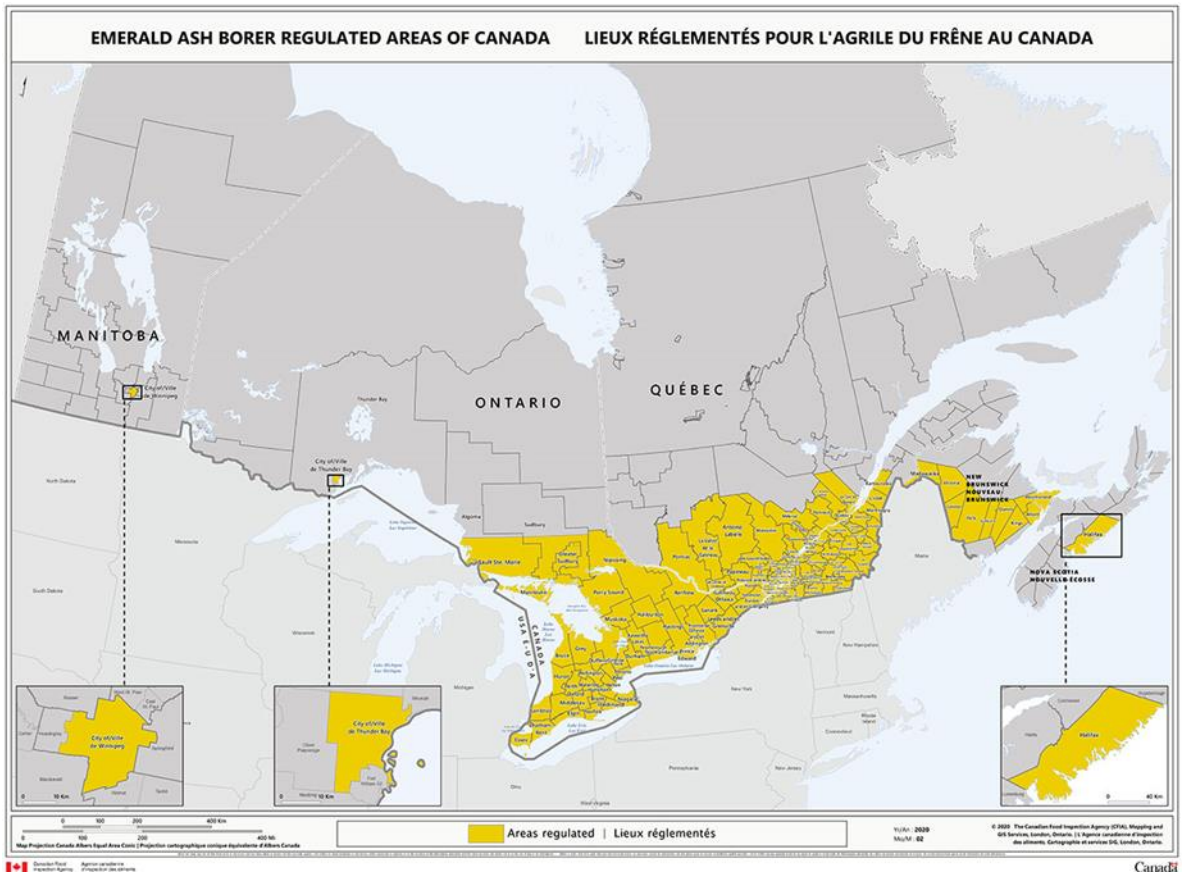
Ville de Québec (2019). Plan d'action 2018-2019. Plan de lutte à la propagation de l'agrile du frêne. Québec. Consulté 20 décembre 2022, en ligne : https://www.ville.quebec.qc.ca/apropos/planification-orientations/environnement/milieuxnaturels/docs/plan_action_agrile.pdf

Vision Biomasse Québec (2022). Hôpital de Montmagny - Vision Biomasse Québec. Consulté 5 janvier 2023, en ligne : https://visionbiomassequebec.org/projets/hopital-montmagny/

Wittman J. T., Silk P., Parker K., & Aukema B. H. (2021). Optimizing early detection strategies: defining the effective attraction radius of attractants for emerald ash borer <scp> *Agrilus planipennis* </scp> Fairmaire. *Agricultural and Forest Entomology*, **23** (4), 527-535.

ANNEXES

Annexe 1 : La zone réglementée pour l'agrile du frêne au Canada.



Annexe 2 : Avant et après les effets de l'agrile du frêne.

Source:(City of Cedar Rapids, 2015).

Annexe 3 : Présence de frênes en association à la rive du fleuve Saint-Laurent, secteur de Cap Saint-Ignace.

Source : Comité ZIP Sud-de-l'Estuaire, 2022.

Annexe 4 : Présence de frênes en association à la rive du fleuve Saint-Laurent, secteur de l'Islet.

Source : Comité ZIP Sud-de-l'Estuaire, 2022.

Annexe 5 : les signes et symptômes d'infestation par l'agrile de frêne. Galeries larvaires d'agrile de frêne, en forme de « S » (A); Trou de sortie d'agrile de frêne, en forme de « D » (B); Apparition de pousses sur le tronc à cause d'une infestation par l'agrile de frêne (C); Frênes clairsemés infestés par l'agrile de frêne (D).

(A)

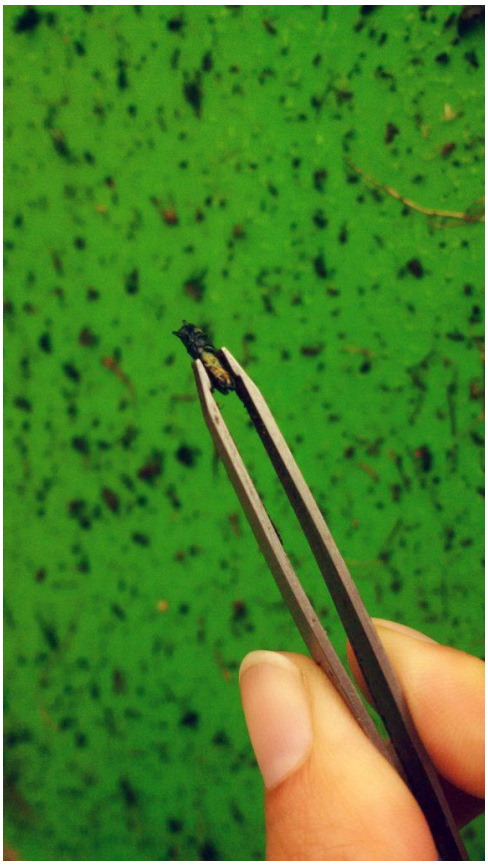
(B)

(C)

(D)

Source : (ACIA, 2019)

Annexe 6: Piège attractif à prisme de l'agrile du frêne.



Source : Bioforest, 2022.

Annexe 7 : Exemple de piège à autocontamination pour l'agrile du frêne. Le piège est équipé d'une chambre spéciale contenant des spores d'un champignon pathogène.

Source : RNCan, 2014.

Annexe 8 : La liste des espèces d'arbres préconisés.

La liste des essences d'arbres préconisés ci-dessous est non exhaustive. Cette liste propose un choix d'essences d'arbres à moyen ou à grand déploiement, elle est basée sur une combinaison de :

- La résistance aux conditions urbaines et les principaux insectes et maladies nuisibles connus à ce jour;
- La zone de rusticité de Berthier-sur-Mer (5a);
- La hauteur des arbres désirée (10-25 m);
- Les fonctionnalités écologiques désirées : apport nutritionnel des feuilles, élimination des polluants, réduction du débit fluviale, contrôle de l'érosion côtière et stabilisation de la rive, réduction de la température de l'air et de l'énergie du bâtiment.

Les essences avec un enracinement de surface sont recommandées plus pour les zones à proximité des infrastructures anthropiques.

Tableau 8: Liste des essences d'arbres préconisés et leurs conditions de plantation. Inspiré de (ACIA, 2012) ; i-Tree Species ; Choisir le bon arbre ou arbuste d'Hydro-Québec (2022). Ces deux derniers outils sont disponibles sur internet gratuitement.

Nom commun	**Nom scientifique**	**Type**	**Texture de sol**	**Ensoleillement**	**Enracinement**
Amélanchier du Canada	*Amelanchier canadensis*	Feuillu	Tous les types	Soleil	De surface
Bouleau jaune	*Betula alleghaniensis*	Feuillu	Tous les types	Soleil	De surface
Caryer cordiforme	*Carya cordiformis*	Feuillu	Loam	Mi-ombre	Profond
Catalpa de l'Ouest	*Catalpa speciosa*	Feuillu	Loam	Soleil	De surface
Cèdre blanc	*Thuja occidentalis*	Conifère	Tous les types	Soleil	De surface
Cerisier tardif	*Prunus serotina*	Feuillu	Loam	Soleil	Profond
Chêne à gros fruits	*Quercus macrocarpa*	Feuillu	Sableux	Soleil	Profond
Chêne des marais	*Quercus palustris*	Feuillu	Argileux	Soleil	De surface
Chêne rouge	*Quercus rubra*	Feuillu	Loam	Soleil	Profond
Chicot du Canada	*Gymnocladus dioicus*	Feuillu	Loam	Soleil	Profond

Épinette blanche	*Picea glauca*	Conifère	Loam	Soleil	De surface
Épinette de Norvège	*Picea abies*	Conifère	Sableux	Soleil	De surface
Épinette de Serbie	*Picea omorika*	Conifère	Loam	Soleil	De surface
Épinette du Colorado	*Picea pungens*	Conifère	Loam	Soleil	De surface
Érable de Freeman	*Acer freemanii*	Feuillu	Tous les types	Soleil	De surface
Érable de l'Amur	*Acer ginnala*	Feuillu	Tous les types	Soleil	De surface
Érable rouge	*Acer rubrum*	Feuillu	Argileux	Soleil	De surface
Faux cyprès pleureur	*Chamaecyparis nootkatensis*	Conifère	Loam argileux	Soleil	Intermédiaire
Févier d'Amérique inerme	*Gleditsia triacanthos*	Feuillu	Sableux	Soleil	Intermédiaire
Ginkgo biloba	*Ginkgo biloba*	Feuillu	Sableux	Soleil	De surface
Hêtre à grandes feuilles	*Fagus grandifolia*	Feuillu	Loam	Indifférent	De surface
Lilas japonais « Ivory Silk »	*Syringa reticulata*	Feuillu	Tous les types	Soleil	De surface
Magnolia acuminé	*Magnolia acuminata*	Feuillu	Tous les types	Soleil	Profond
Marronnier	*Aesculus hippocastanum*	Feuillu	Loam	Soleil	Profond
Mélèze d'Europe	*Larix decidua*	Conifère	Tous les types	Soleil	De surface
Micocoulier occidental	*Celtis occidentalis*	Feuillu	Tous les types	Soleil	Profond
Noisetier de Byzance	*Corylus colurna*	Feuillu	Loam	Soleil	De surface
Noyer cendré	*Juglans cinerea*	Feuillu	Loam	Soleil	Profond
Noyer noir	*Juglans nigra*	Feuillu	Loam	Soleil	Profond
Ostryer de Virginie	*Ostrya virginiana*	Feuillu	Loam	Indifférent	Profond
Pin blanc	*Pinus strobus*	Conifère	Sableux	Soleil	Intermédiaire
Pin gris	*Pinus banksiana*	Conifère	Sableux	Soleil	Profond

Sapin baumier	*Abies balsamea*	Conifère	Sableux	Soleil	De surface
Sorbier de Corée	*Sorbus Alnifolia*	Feuillu	Sableux	Soleil	Intermédiaire
Tilleul à petites feuilles	*Tilia cordata*	Feuillu	Loam	Soleil	Profond
Tilleul d'Amérique	*Tilia americana*	Feuillu	Loam	Soleil	Profond

Annexe 9: Les frênes comme arbres à cavités.

Source : Nafaa Hamdad, 2022.

Annexe 10 : Secteur de la marina, un site d'intérêt et de démonstration suggéré pour les citoyens.

Source : Nafaa Hamdad, 2020

Source : Jérémie Caron,2022.

Source : Jérémie Caron,2022

Annexe 11: Risques des frênes aux citoyens. À noter la proximité des frênes aux maisons et aux fils électriques.

Source : Nafaa Hamdad, 2022.

Annexe 12 : Exemple de diffusion de l'information au sujet de l'agrile du frêne sur un réseau social.

publication de Berthier-sur-Mer

Berthier-sur-Mer
21 oct. 2022 ·

Info : Agrile du frêne

M. Jérémie Caron, Biologiste sera de passage dans le secteur de l'Anse, Peuplier et le Chemin du Fleuve pour réaliser un inventaire des frênes à la municipalité de Berthier-sur-Mer. L'objectif est de proposer un plan de gestion intégré pour la municipalité advenant une infestation par l'agrile. La recherche en question va se produire durant le mois d'octobre et de novembre.

La municipalité de Berthier a été ciblée, car il y a beaucoup de frênes en rive et le fait que la municipalité a un fort potentiel de développement récréotouristique avec la plage et le secteur de la marina. Il s'agit d'un projet de maîtrise dans le cadre du cours en BioGéoscience de l'Environnement de l'Université Laval.

Ce dernier décrira les mesures de gestion et de remplacement des arbres, le coût du retrait des arbres, les espèces sélectionnées pour le remplacement, les secteurs sensibles à l'érosion le long du Saint-Laurent advenant la mort des arbres, les secteurs prioritaires d'interventions, les frênes à haute valeur de conservation, s'il y a des signes de présence du ravageur, etc.

Afin de documenter la présence des frênes en rive, il sera essentiel de prendre des mesures du diamètre des arbres chez certains propriétaires privés afin de déterminer une biomasse totale.

Ne soyez pas surpris de voir M. Jérémie Caron dans votre secteur investiguer les frênes en question.

Pour plus d'information n'hésitez pas à communiquer avec nous : 418 259-7343 poste 203.

Vous et 28 autres personnes

29 6 16

Yves Fréchet
Bravo, très bonne approche! Il y a plus de 150 frênes sur mon terrain dont plusieurs très gros! Je suis enthousiaste de collaborer à la démarche au besoin! Merci!
3 mois J'aime Répondre 2

Pauline Corriveau
Nous sommes au 66 des Peupliers et un de nos frênes est sûrement atteint. Merci pour ce projet
3 mois J'aime Répondre

Mireille Cauchon
Bravo! Belle initiative
3 mois J'aime Répondre

Line Laprise
Nous sommes au 778 principal ouest et il y a des frênes atteints
3 mois J'aime Répondre

Yvan Beaulieu
Je suis au 150 Boul. Blais Est. Mes frênes ont été traités il y a près de 3 ans. Je serais intéressé à ce qu'ils soient inspectés et obtenir une mise à jour...
3 mois J'aime Répondre

Denise Côté
J'ai aussi des frênes chez-moi au 9 chemin du Fleuve.
3 mois J'aime Répondre

Écrivez un commentaire...

Source : (Berthier-sur-Mer, 2022).