

REBOISEMENT DES TERRES ENCLAVÉES À PIKE RIVER ET SAINT-ARMAND

Projet de compensation phase II, Activités en 2021
R850.2

Par Laurie Auclair, Natacha Jetha et Dominique Tardif
Agentes de recherche pour le laboratoire du Pr Kneeshaw

Daniel Kneeshaw, chercheur principal
Centre d'étude de la forêt
Département des sciences biologiques
Faculté des sciences
Université du Québec à Montréal
Téléphone : 514-987-3000, poste 4480
Courriel : kneeshaw.daniel@uqam.ca

Réalisé pour le compte du ministère des Transports

Janvier 2022

La présente étude a été réalisée à la demande du ministère des Transports et a été financée par celui-ci.

Les opinions exprimées dans le présent rapport n'engagent que la responsabilité de leurs auteurs et ne reflètent pas nécessairement les positions du ministère des Transports.

Collaborateurs

- Pierre Drapeau, professeur au Département des sciences biologiques de la Faculté des sciences de l'Université du Québec à Montréal (UQAM)
Téléphone : 514 987-3000, poste 1950.
- Yves Prairie, professeur au Département des sciences biologiques de la Faculté des sciences de l'UQAM
Téléphone : 514 987-3000, poste 4870
Courriel : prairie.yves@uqam.ca
- Nicolas Bélanger, professeur au Département science et technologie de la Faculté des sciences de l'Université TÉLUQ
Téléphone : 514 843-2015, poste 2007
Courriel : nicolas.belanger@teluq.ca
- Tanya Handa, professeure au Département des sciences biologiques de la Faculté des sciences de l'UQAM
Téléphone : 514 987-3000, poste 1644
Courriel : handa.ira_tanya@uqam.ca
- Marc Mazerolle, professeur au Département des sciences du bois et de la forêt de la Faculté de foresterie, de géographie et de géomatique de l'Université Laval
Téléphone : 418 656-2131, poste 407120
Courriel : marc.mazerolle@sbf.ulaval.ca
- François Fabianek, Ph. D., cofondateur de la compagnie Solutions WavX inc. et directeur du Groupe Chiroptères du Québec
Téléphone : 418 271-3468
Courriel : francois.fabianek@wavx.ca
- Myriam Fontaine, candidate à la maîtrise en sciences de l'environnement à l'UQAM
- Jean-Michel Brunet, étudiant au baccalauréat en sciences biologiques à l'Université de Montréal (UdeM)
- César Gabillot, M. Sc.
- Sara Mercier-Blais, M. Sc., agente de recherche pour le laboratoire Yves Prairie à l'UQAM

REMERCIEMENTS ET NOTES SUR LES AUTEURS

Nous tenons à remercier Daniel Kneeshaw, notre patron, de nous donner l'opportunité de travailler sur des projets créatifs comme celui-ci et de nous laisser une autonomie notable quant à la gestion et à la réalisation du projet. Il nous accorde une grande confiance et valorise notre travail au quotidien, ce qui est grandement apprécié. Sa volonté à mieux comprendre la dynamique des écosystèmes et à protéger les milieux naturels résonne en nous et nous inspire à donner le meilleur de nous-mêmes dans notre travail.

Nous remercions le ministère des Transports du Québec (MTQ) pour son ouverture et sa volonté à acquérir des connaissances pertinentes pour construire une société durable où les actions de l'humain sont en harmonie avec l'environnement. Plus particulièrement, nous tenons à remercier Julien-Michel Blondin-Provost, biologiste chargé de projet au Ministère, sans qui ce projet de recherche n'aurait jamais vu le jour.

Nous remercions aussi tous les chercheurs collaborateurs avec qui nous travaillons pour mener à bien ce projet de recherche, sans qui ce dernier ne pourrait pas être aussi complet. Plus précisément, nous remercions Pierre Drapeau (volet mammifères et avifaune), Nicolas Bélanger (volet carbone terrestre), Yves Prairie (volet carbone aquatique), Tanya Handa (volet pédofaune), Marc Mazerolle (volet herpétofaune), François Fabianek (volet chiroptères), le ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs (MFFP), le ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC), Conservation de la Nature Canada (CNC), ainsi que tous leurs professionnels de recherche, assistants et étudiants qui collaborent et participent à la mise en œuvre des suivis déployés.

Finalement, nous remercions tous les employés permanents et saisonniers du laboratoire Kneeshaw qui ont participé à la mise en œuvre et à la réalisation des activités réalisées jusqu'ici et sans qui rien de tout cela ne serait possible. De même, nous tenons à remercier chaleureusement tous les bénévoles étant venus s'impliquer, apprendre et contribuer à l'avancement du projet.

Laurie Auclair, Natacha Jetha et Dominique Tardif, agentes de recherche au laboratoire Kneeshaw, Université du Québec à Montréal (UQAM).

SOMMAIRE

Le projet de compensation relatif au prolongement de l'autoroute 35 se situe à Pike River et à Saint-Armand en Estrie. Il vise la restauration forestière de terres anciennement cultivées ou laissées à l'abandon. Ce projet a débuté en 2020 et s'étendra jusqu'en 2033.

Les objectifs principaux de ce projet sont : la création d'un écosystème forestier résilient et diversifié (diversité spécifique et structurale) ; la transplantation d'espèce(s) menacée(s), vulnérable(s) ou susceptible(s) de l'être (EMVS) ou rares, incluant une collecte et une germination des semences pour conserver et augmenter la biodiversité du secteur ; ainsi que l'évaluation d'un bilan de la séquestration du carbone (terrestre et aquatique) avant et pendant le projet.

Les travaux de l'année 2021 comprenaient la prospection de semences d'espèces menacées, vulnérables, ou susceptibles de l'être (EMVS) (*Annexe B*) spécifiques à la région ; le suivi des transplantations effectuées à l'année 2020 (*Annexe C*) ; et la mise en œuvre d'un écosystème forestier résilient et diversifié (incluant le reboisement du côté ouest de la rivière aux Brochets, les différents suivis fauniques et du carbone ainsi que le contrôle des espèces végétales exotiques envahissantes (EVEE) ou nuisibles). Le présent rapport résume ce qui a été effectué durant l'année 2021, incluant la méthodologie et les premiers résultats des différents suivis, ainsi que l'entretien effectué.

Daniel Kneeshaw est le chercheur principal de ce projet de recherche et est aussi appuyé par plusieurs autres chercheurs possédant des expertises en lien avec les différents objectifs du projet, tels que le rétablissement de la faune et le bilan du carbone. Ces chercheurs sont, entre autres, Pierre Drapeau, Tanya Handa, Marc Mazerolle, Nicolas Bélanger, Yves Prairie et François Fabianek. Les patrons de plantations ont été mis en œuvre en tenant compte des différentes recommandations des chercheurs mobilisés dans le projet de recherche. Les protocoles de suivis créés par chacun des chercheurs ont également été exécutés afin de quantifier le succès du projet dans l'espace et dans le temps.

SYNTHÈSE DES CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

Ce projet de recherche, ayant pour but de compenser la perte de milieux boisés occasionnée par le prolongement de l'autoroute 35 effectué par le MTQ, en est à sa seconde année de mise en œuvre. Cette section offre un résumé des principales conclusions et des recommandations tirées à la suite des opérations de terrain ayant été réalisées en 2021 pour le contrat R850.2.

La majorité des activités devant avoir lieu durant la saison 2021 ont été réalisées, à l'exception de la pose de géotextile ainsi que la nouvelle phase de transplantation. Même si la majorité des activités se sont bien déroulées et ont pu être complétées, l'équipe a dû faire face à plusieurs difficultés et imprévus. Notamment, la gestion d'un projet devant se réaliser en concomitance avec un chantier de construction aussi gros que l'est celui de l'autoroute 35 n'a pas été une tâche facile. Il est donc nécessaire que tous les différents intervenants d'un aussi gros projet soient informés les uns et les autres de la présence des autres parties. Il est impératif d'y avoir une bonne communication sur le terrain en cas de travaux qui doivent être réalisés à proximité, durant les mêmes échéanciers, ou encore nécessitant les mêmes accès.

Aussi, même si l'équipe de recherche s'est préparé du mieux possible selon les informations détenues, la réalité sur le terrain est souvent tout autre. Certaines activités telles que le pliage manuel du roseau commun et l'épandage des legs biologiques ont nécessité beaucoup plus d'efforts que prévu, puisque ces activités demandent un nombre d'effectifs et un temps non négligeable. En ce qui a trait à l'épandage de legs biologiques tel que de la terre, l'utilisation de machinerie est fortement recommandée.

En ce qui a trait aux suivis fauniques et du carbone, nous avons fait face durant la saison à du matériel défectueux, et aussi à un vol d'équipement. Il est donc important de prévoir du matériel supplémentaire (micros, enregistreurs, caméras, cartes SD, etc.) en cas de bris attribuables aux animaux, aux intempéries ou à toute autre situation imprévue. Qui plus est, la sûreté du matériel, même sous clé dans notre endroit d'entreposage, ne doit pas être tenue pour acquise, et aucun matériel de valeur ne devrait y être laissé sans raison valable. De plus, il est important de prendre en considération que le déplacement entre toutes les stations de suivi, l'entretien de celles-ci et les visites à récurrence variable demandent des ressources humaines et un temps considérable sur le terrain.

Finalement, plusieurs imprévus sont survenus tout au long des opérations. Par exemple, les périodes de canicule, la présence de guêpes, les propriétés du sol, la sûreté du matériel sur le terrain ainsi que la logistique d'accès aux sites ont tous été des inconvénients qui ont demandé des ajustements et qui ont nui au bon déroulement des travaux.

TABLE DES MATIÈRES

1. INTRODUCTION.....	13
1.1. Mise en place de l'approche écosystémique	14
1.2. Progression des interventions en 2021.....	17
2. REBOISEMENT	19
2.1. Prospection d'EMVS	19
2.2. Suivi floristique	19
2.3. Transplantations.....	22
2.3.1. Méthodologie : suivis	22
2.3.2. Résultats préliminaires à l'an 1	22
2.3.3. Entretien des transplantations	24
2.4. Aménagement du MR8	24
2.4.1. Legs biologiques dans le MR8A	25
2.4.2. Monticules dans le MR8B	26
2.4.3. Création d'un exclos contre l'herbivorie	28
2.4.4. Excavation dans le MR8A pour les grands arbres (> 1,5 m)	30
2.5. Plantations dans le MR8	31
2.5.1. Patrons de plantations dans le MR8A.....	34
2.5.2. Legs biologiques	35
2.5.3. Patrons de plantations dans le MR8B.....	36
2.6. Arrosage des plantations du MR8.....	37
2.7. Prospection et gestion des semences	38
2.7.1. Mise en place du dispositif in situ	40
3. BILAN DU CARBONE	41
3.1. Milieux terrestres.....	41
3.1.1. Méthodologie	42
3.1.2. Hypothèses	43
3.1.3. Résultats	44
3.2. Milieux hydriques	45
3.2.1. Méthodologie	45
3.2.2. Résultats	46
4. SUIVIS FAUNIQUES	49
4.1. Avifaune	49
4.1.1. Méthodologie	49
4.1.2. Résultats	51
4.2. Herpétofaune	53
4.2.1. Méthodologie	54
4.2.2. Hypothèses	58
4.2.3. Résultats	58

4.3.	Mammifères terrestres	59
4.3.1.	Méthodologie	59
4.3.2.	Résultats	60
4.4.	Chiroptères	62
4.4.1.	Méthodologie	63
4.4.2.	Résultats	64
4.5.	Pédofaune.....	64
4.5.1.	Méthodologie	65
4.5.2.	Hypothèses	66
4.5.3.	Résultats	67
5.	GESTION DES EVEC OU NUISIBLES	67
5.1.	Méthodes de gestion contre le roseau commun	68
5.1.1.	Pliage manuel	69
5.1.2.	Pliage mécanique	70
5.1.3.	Coupe	71
5.1.4.	Labour	72
5.1.5.	Pose de membrane de géotextile	72
5.1.6.	Création d'un nouveau couvert forestier.....	74
5.2.	Méthodes de contrôle des EVEC dans les milieux récepteurs.....	74
5.2.1.	Méthodes de contrôle dans le MR5	74
5.2.2.	Méthodes de contrôle près du MR7	75
5.2.3.	Méthodes de contrôle près du MR8 et du chemin du Bois ...	77
5.3.	Méthode de gestion des autres EVEC ou nuisibles	77
5.3.1.	Arrachage manuel.....	77
6.	ÉLÉMENTS À SURVEILLER : IMPRÉVUS DE 2021 ET RECOMMANDATIONS	78
6.1.	Points d'accès	78
6.1.1.	Accès vers le MR8	78
6.1.2.	Déplacements entre les stations d'échantillonnage	79
6.2.	Coordination des travaux MTQ et sous-traitants.....	80
6.3.	Sûreté de l'équipement de terrain	81
6.3.1.	Vol.....	81
6.3.2.	Bris accidentel de matériel par d'autres intervenants	82
6.4.	Périodes de canicule.....	84
6.4.1.	Sol argileux	84
6.4.2.	Déploiement du système d'irrigation.....	85
7.	CONCLUSION	85
7.1.	Retour sur les activités de 2021.....	85
7.2.	Activités à venir en 2022	86
8.	BIBLIOGRAPHIE	88

ANNEXE A	93
ANNEXE A.1.....	94
ANNEXE A.2.....	100
ANNEXE A.3.....	101
ANNEXE A.4.....	105
ANNEXE A.5.....	108
ANNEXE A.6.....	109
 ANNEXE B — PROSPECTION DES ESPÈCES FLORISTIQUES MENACÉES, VULNÉRABLES OU SUSCEPTIBLES DE L'ÊTRE (EMVS).....	 112
 ANNEXE C — SUIVI DES ESPÈCES FLORISTIQUES MENACÉES, VULNÉRABLES OU SUSCEPTIBLES DE L'ÊTRE (EMVS) TRANSPLANTÉES EN 2020.....	 127

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Taux de survie des herbacées et des semis transplantés en 2020 en fonction du milieu récepteur et des densités	23
Tableau 2. Taux de survie des transplantations d'arbres de gros calibre dans le MR8A.....	24
Tableau 3. Dénombrement des différentes espèces plantées en 2021 dans le MR8A et le MR8B	32
Tableau 4. Dénombrement des arbres et arbustes transplantés ou plantés dans le MR8A ou le MR8B en fonction de leur taille (hauteur).....	34
Tableau 5. Récolte et gestion des semences 2021	39
Tableau 6. Moyennes des résultats obtenus à chacune des stations pour les données d'analyses de l'eau	47
Tableau 7. Moyennes des résultats obtenus à chacune des stations pour les données prises avec la sonde YSI	47
Tableau 8. Taux d'occurrence d'une espèce donnée par station, calculé à partir de la fréquence d'observation (auditive ou visuelle)	52
Tableau 9. Taux de la richesse spécifique à chaque station, calculé en fonction de la fréquence d'observation et du nombre total d'espèces observées.....	53
Tableau 10. Décompte des différents individus fauniques observés par milieux	61
Tableau 11. Taux d'humidité (%) moyen mesuré par parcelle d'échantillonnage dans les différentes zones.....	67
Tableau 12. Densité de tiges de roseau commun dénombrées en 2021 dans les terres enclavées près du MR5.....	74
Tableau 13. Densité de tiges de roseau commun dénombrées en 2021 dans les terres enclavées près du MR7	76

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Cartographie des immeubles appartenant au MTQ	16
Figure 2. Calendrier résumant la progression des activités réalisées en 2021	18
Figure 3. Cartographie illustrant les deux sous-sections du MR8 (A et B), ainsi que leurs parcelles de plantation respectives	20
Figure 4. Avant et pendant le débroussaillage du chénopode blanc dans le MR8A	21
Figure 5. Photographie illustrant l'une des structures verticales aménagées dans le MR8A.....	26
Figure 6. Aménagement de monticules dans le MR8B	27
Figure 7. Photographie des monticules dans le MR8B et des légères dépressions accumulant l'eau des pluies d'automne (novembre 2021).....	28
Figure 8. Mise en place de l'exclos autour du MR8.....	29
Figure 9. Aménagement de grillage hexagonal galvanisé dans le bas de l'exclos du MR8	30
Figure 10. Excavation de trous pour les arbres (> 1,5 m) dans le MR8A..	31
Figure 11. Cartographie de la position des arbres et arbustes dans le MR8A et MR8B; le géoréférencement inclut les individus transplantés à l'automne 2020	33
Figure 12. Représentation des différentes densités de plantations et de l'aménagement des legs biologiques dans le MR8A.....	35
Figure 13. Division des parcelles en fonction de leur densité de plantation dans le MR8B.....	36
Figure 14. Déplacement des boyaux pour l'irrigation des arbres dans le MR8A	37
Figure 15. Création de cuvettes autour des arbres pour optimiser la rétention d'eau lors de l'étape d'irrigation.....	38
Figure 16. Mise en terre des pots pour les semences entre les parcelles du MR8A	40

Figure 17. Pot avec semences de caryer (avant l'ensemencement) et mise en place d'une protection contre les herbivores	41
Figure 18. Collet pour mesurer les flux du carbone dans le sol en milieu forestier	42
Figure 19. Localisation des collets dans les terres du MTQ	43
Figure 20. Variation du pH dans les 15 premiers centimètres de sol des 8 milieux récepteurs et de la forêt (milieu de conservation)	44
Figure 21. Cartographie des stations d'échantillonnage pour les données du carbone aquatique.....	46
Figure 22. Localisation des stations d'échantillonnage où se situent les enregistreurs acoustiques (SM4) utilisés pour l'écoute des chants d'oiseaux et d'anoures.....	50
Figure 23. Cartographie représentant la localisation des différents refuges artificiels pour les reptiles et les amphibiens	54
Figure 24. Disposition des 10 refuges artificiels de salamandres dans une grille (A) et des groupes de trois refuges artificiels de couleuvre (B)	55
Figure 25. Exemple d'un refuge pour salamandre posé en milieu forestier	56
Figure 26. Exemple d'un refuge pour couleuvres posé dans les friches ...	57
Figure 27. Localisation des caméras de chasse installées sur les terres du MTQ	60
Figure 28. Exemples de station d'observation avec les caméras de chasse disposées dans les différents milieux	60
Figure 29. Capture photographique d'un cerf de Virginie à la station CC12	62
Figure 30. Cartographie de la disposition des stations d'écoute pour les chiroptères.....	63
Figure 31. Répartition des points d'échantillonnage de sols pour l'identification de la pédofaune	65
Figure 32. Échantillonnage de la pédofaune dans le MR6A.....	66
Figure 33. Cartographie du roseau commun recensé en 2020 dans les différents immeubles excédentaires du MTQ	69

Figure 34. Pliage manuel du roseau près du MR5	70
Figure 35. Méthode du pliage mécanique utilisée pour les terres enclavées près du MR7	71
Figure 36. Exécution du labour peu profond (30-50 cm) dans la sous-section CDEF du MR7	72
Figure 37. Exemple de travaux de reboisement au Boisé des Terres noires à l'Assomption utilisant la membrane de géotextile comme méthode de lutte contre le phragmite	73
Figure 38. Découpage des différents traitements contre le roseau commun dans les terres enclavées adjacentes au MR7	75
Figure 39. Blocage complet des accès vers le MR8 lors de travaux du MTQ	78
Figure 40. Accès secondaire vers le MR8 par le fossé adjacent lors des travaux de reboisement.....	79
Figure 41. Passerelle temporaire bâtie par le MTQ pour l'UQAM	79
Figure 42. Épandage des résidus de bois dans les zones présentant initialement des EMVS	81
Figure 43. Vue d'ensemble du conteneur dépouillé à la suite du vol et de la boîte de sécurité abimée	82
Figure 44. Bris de l'exclos du MR8 réparé temporairement	83
Figure 45. Inondation des plantations occasionnée par des rejets provenant des bassins de décantation des travaux routiers	84
Figure 46. Localisations potentielles de bassins pour l'irrigation des terres enclavées et zones de plantations en 2022	87

GLOSSAIRE

CH₄ : méthane

CNC : Conservation de la Nature Canada

CO₂ : dioxyde de carbone

COSEPAC : Comité sur la situation des espèces en péril au Canada

EMVS : Espèce(s) menacée(s), vulnérable(s) ou susceptible(s) de l'être

EVEE : Espèce(s) végétale(s) exotique(s) envahissante(s)

LHE : Ligne des hautes eaux

MELCC : Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les
changements climatiques

MFFP : Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs

MR : Milieu(x) récepteur(s)

MTQ : Ministère des Transports du Québec

POQ : Protection des Oiseaux du Québec

UQAM : Université du Québec à Montréal

1. INTRODUCTION

La réalisation du projet de prolongement de l'autoroute 35 dans le secteur de Pike River et de Saint-Armand par le MTQ a été autorisée par le ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques sous le respect de certaines conditions visant à éviter ou à minimiser ses impacts environnementaux et à compenser son empiètement dans les milieux sensibles visés par les travaux (décret 599-2007). Pour ce faire, différentes étapes ont été appliquées afin de mettre en œuvre une approche écosystémique de reboisement pour compenser la perte de milieux boisés. Les différents objectifs de ce projet de recherche sont de :

1. Mettre en œuvre la création d'un écosystème forestier résilient et diversifié et valider son utilisation par la faune ;
2. Débuter les mesures de lutte contre le roseau commun et les autres espèces végétales exotiques envahissantes (EVEE) ou nuisibles ;
3. Assurer le maintien des espèces végétale rares et à statut et augmenter leur abondance ;
4. Réaliser un bilan carbone (terrestre et aquatique).

Ainsi que l'atteinte des sous-objectifs spécifiques suivants :

- Aménager les milieux afin de favoriser le succès des plantations et débiter les plantations (selon les patrons préalablement établis) et la renaturation des zones ayant subi des perturbations ;
- Ajouter des legs biologiques (bois, terre, feuilles) pour recréer les conditions de sols retrouvées en forêts naturelles ;
- Mettre en œuvre le plan de suivi et d'entretien pour la faune incluant la création d'habitats et l'utilisation du site par les différents taxons ;
- Créer des habitats favorables à la colonisation par la faune ;
- Appliquer des méthodes de lutte contre les EVEE ou nuisibles en tenant compte des contraintes des milieux ;
- Poursuivre la recherche d'EMVS ou rares (semences ou semis d'arbres et herbacées) ;
- Effectuer le suivi des plants transplantés en 2020 ;
- Évaluer la séquestration du carbone terrestre et aquatique pendant la mise en place des différents traitements.

De prime abord, pour conserver la biodiversité locale existante en plus de favoriser son maintien et son développement de manière durable, une approche écosystémique a été appliquée en combinaison avec le plan de restauration forestière prévu pour ce projet. Ensemble, ces approches ont comme but de réduire les écarts entre la forêt aménagée et la forêt naturelle (adjacente ou historique) de sorte à favoriser le rétablissement de la relation entre la biodiversité locale et les fonctions d'une forêt et ainsi permettre la création d'une forêt résiliente (Aerts & Honney, 2011 ; MFFP, 2015).

Pour ce faire, différentes actions ont été entreprises durant l'année. D'abord, une prospection d'EMVS a été réalisée au printemps 2021 (Rapport 1 - voir *Annexe B*) dans les immeubles du MTQ se trouvant dans l'emprise de la phase IV du projet de prolongement de l'autoroute. Ensuite, un suivi des EMVS transplantées à l'automne 2020, dans le cadre du contrat R850.1, a été réalisé de manière à évaluer le succès de cette opération (Rapport 2 - voir *Annexe C*). De plus, d'autres activités telles que l'aménagement du site, la mise en place de legs biologiques, la mise en œuvre de l'entretien et des différents suivis (floristiques, fauniques et du carbone) et l'application des méthodes de lutte contre les EVEC ou nuisibles ont été réalisées ou amorcées dans le but d'atteindre les différents objectifs de ce projet. Ultimement, l'ensemble des expériences permettra d'évaluer la réponse de la biodiversité et des fonctions écologiques, en lien avec les différents patrons de plantations et les traitements appliqués, tout en évaluant le succès des activités.

Ce rapport présente une synthèse des activités réalisées en 2021, des méthodologies utilisées lors de leurs réalisations, des principaux résultats et constats recueillis jusqu'à ce jour, des imprévus survenus sur le terrain ainsi que nos recommandations pour l'avenir du projet.

1.1. Mise en place de l'approche écosystémique

L'application d'une approche écosystémique au sein de ce projet de compensation permet ultimement de conserver la biodiversité de manière durable, puisque celle-ci implique un aménagement forestier possédant des aptitudes pour maintenir la diversité biologique et la viabilité de l'écosystème (Aerts & Honney, 2011 ; MFFP, 2015). Pour ce faire, différents processus d'interventions actives doivent être mis en place afin de créer un assemblage varié permettant de réduire les écarts entre la forêt aménagée et naturelle (Dias *et al.*, 2012). Notamment, l'aménagement du site, le reboisement, la mise en place de legs biologiques pour accélérer la succession, la gestion des espèces végétales exotiques et envahissantes (EVEC) de même que l'inclusion de différents suivis (floristiques, fauniques et du carbone) permettront de témoigner du succès à long terme de cette approche. Cette combinaison est non négligeable, surtout si l'on prend en considération les effets des changements climatiques à venir.

Les différentes approches employées servent conjointement à atteindre les divers objectifs du projet ayant été fixés afin de participer :

- Au maintien et à l'augmentation de la diversité végétale du sous-bois;
- Au développement d'habitats pour la faune (mammifères, avifaune, herpétofaune et chiroptères);
- À la production des espèces d'arbres rares et à statut;
- Au contrôle des EVEC;
- À la réalisation d'un bilan carbone (terrestre et hydrique).

L'année 2021 marque la mise en œuvre de l'approche écosystémique par ses activités touchant à tous les différents volets, ainsi que par le déploiement de différentes tactiques permettant ultimement d'accélérer la succession des plantations et de favoriser le bilan carbone dans les immeubles excédentaires du MTQ (Figure 1). Le succès de cette restauration écologique pourra ainsi être mesuré à l'aide d'indicateurs évaluant la structure forestière créée, l'assemblage des communautés floristiques et fauniques ainsi que les processus écologiques (Ruiz-Jaén & Aide, 2005; Bandyopadhyay & Maiti, 2019).

REBOISEMENT DES TERRES ENCLAVÉES À PIKE RIVER ET SAINT-ARMAND
R850.2

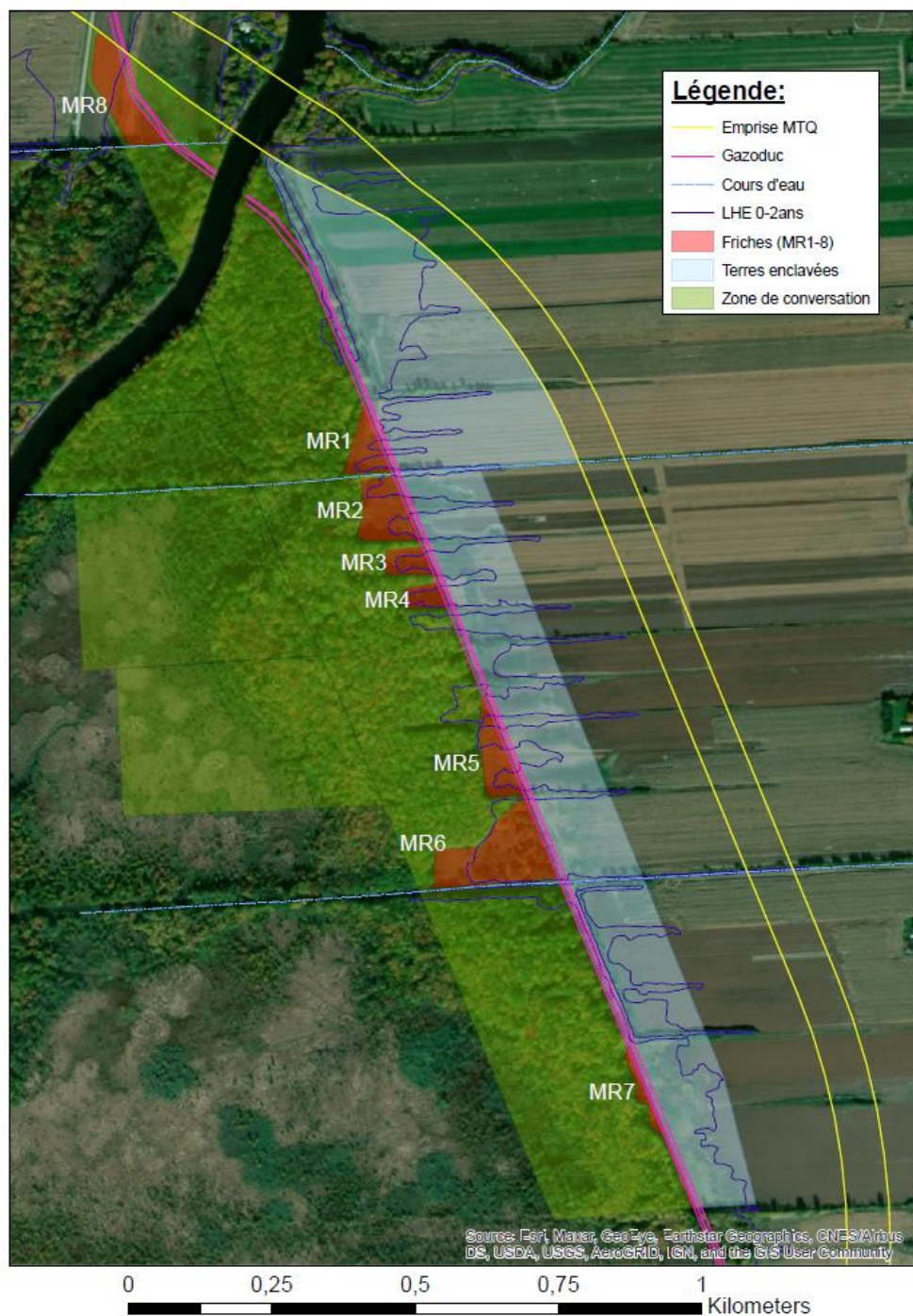


Figure 1. Cartographie des immeubles appartenant au MTQ

1.2. Progression des interventions en 2021

En 2021, les activités d'interventions ont débuté dès le mois d'avril et se sont échelonnées jusqu'au mois de décembre. Celles-ci sont présentées sous forme de calendrier de progression des interventions à la Figure 2.

Sur le terrain, les activités ont commencé au printemps avec la récolte des legs biologiques précédant les aménagements dans le MR8. Puis, la prospection d'EMVS a été faite en Estrie, et les suivis des transplantations faites en 2020 ont suivi. Durant l'été, l'accent a été mis sur la préparation des différents suivis faisant partie du projet (faunique et carbone), leur mise en place et la prise de données, de même que sur la gestion des EVEE et nuisibles présentes sur le projet. Une prospection de semences d'EMVS a aussi été effectuée dans des villes en périphérie du secteur (section 2.1). À l'arrivée de l'automne, les préparatifs en lien avec les plantations dans le MR8 ont eu lieu, incluant la mise en place d'un exclos, l'excavation de trous (MR8A) pour les arbres supérieurs à 1,5 m et la finalisation des patrons de plantations. À l'automne, les plantations ont été réalisées et géoréférencées, puis les dispositifs de la plupart des suivis ont été retirés. Finalement, après ces opérations, la gestion des semences et leur ensemencement ont eu lieu *in situ* dans le MR8. Comme les terres agricoles au sud-est de la rivière aux-Brochets ont été cultivées en 2021 (dernière année de culture), aucune activité n'a donc eu lieu sur ces terres.

Tout au long de ces saisons, des activités de conception et de rédaction en lien avec le projet se sont poursuivies, tout comme le volet éducatif.

REBOISEMENT DES TERRES ENCLAVÉES À PIKE RIVER ET SAINT-ARMAND R850.2

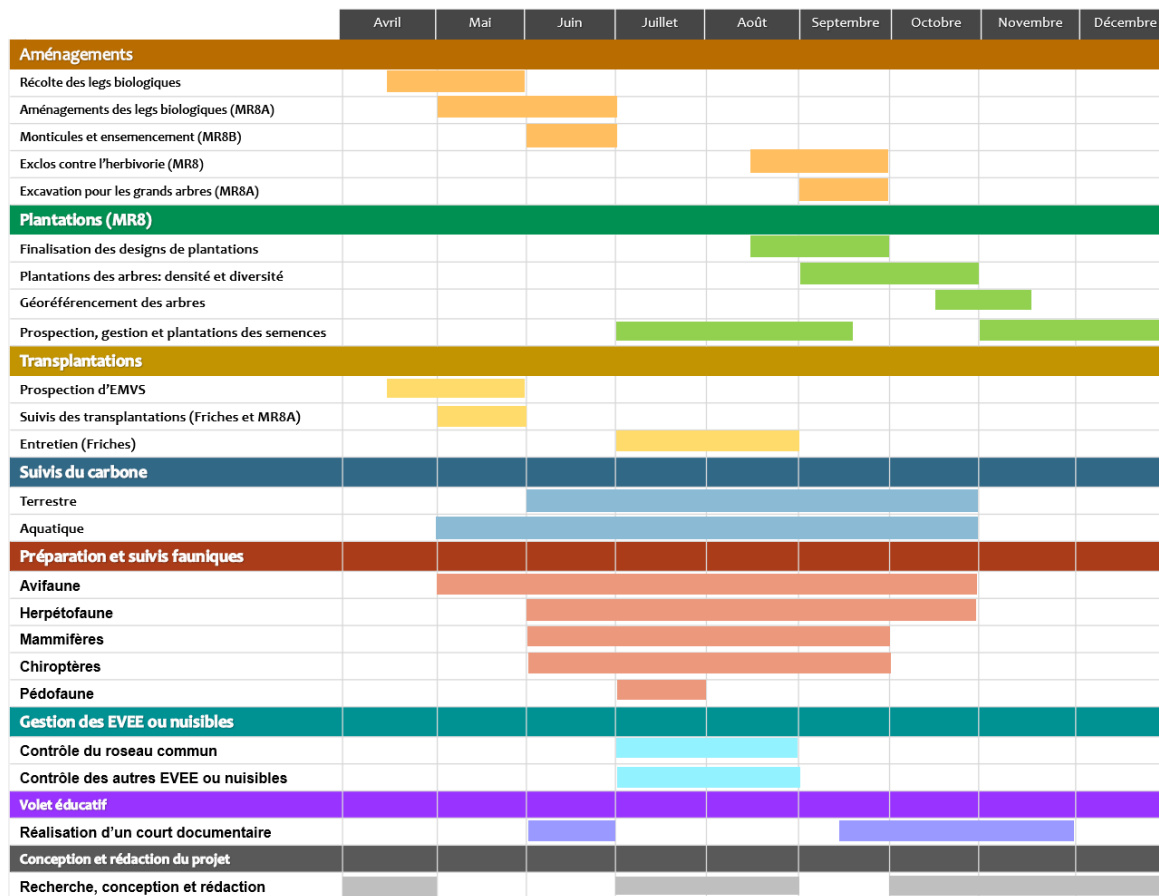


Figure 2. Calendrier résumant la progression des activités réalisées en 2021

2. REBOISEMENT

Jusqu'à présent, ce volet inclut : la prospection d'EMVS; le suivi floristique (espèces plantées et flore de première succession) dans le MR8; le suivi des transplantations d'EMVS effectuées en 2020; l'aménagement du MR8 et les plantations d'arbres réalisées en 2021; ainsi que la prospection et la gestion de semences.

Le développement de ces structures végétales complexes (patrons de plantation) réalisées lors de la reconstitution de la forêt, en plus de l'apport de legs biologiques dans différentes parcelles, permettra de faciliter la colonisation des lieux par les autres organismes et la faune afin de participer au maintien et à l'augmentation de la biodiversité du secteur (Parrotta, 1992; Jones *et al.*, 2004; Ruiz-Jaén & Aide, 2005).

2.1. Prospection d'EMVS

Étant donné le manque ou l'absence de certaines des EMVS qui étaient visées lors des transplantations en 2020, une campagne de prospection a eu lieu au printemps 2021. Les EMVS concernées incluaient notamment l'ail des bois (*Allium tricoccum*), la dentaire à deux feuilles (*Cardamine diphylla*) et le trille blanc (*Trillium grandiflorum*). Cette prospection est d'ailleurs le sujet principal du rapport d'étape 1 se trouvant à l'Annexe B.

En résumé, la prospection a d'abord commencé à l'intérieur des immeubles excédentaires du MTQ visés par la phase IV de la construction routière. Cependant, à la suite du déboisement, aucune espèce n'a été retrouvée à ces endroits. L'épandage du bois déchiqueté qui venait tout juste d'avoir lieu, a enseveli toutes espèces herbacées présentes au sol à ce moment. Par la suite, nos démarches nous ont permis de trouver des colonies abondantes d'ail des bois ainsi que quelques-unes de dentaire à deux feuilles et un nombre limité de trille blanc. Cependant, nous avons préféré ne pas prélever d'EMVS sur cette propriété privée, afin d'éviter de perturber l'environnement (voir *Annexe B* et section 7.1). Les démarches de prospection devront donc se poursuivre ultérieurement afin de trouver de nouvelles colonies dont quelques individus pourront être récoltés et transplantés dans notre projet de compensation, le tout sans risquer de nuire aux colonies déjà établies ailleurs.

2.2. Suivi floristique

Au mois de juillet, un relevé floristique de première étape de succession a été fait dans le MR8 (voir *ANNEXE A.1*). Un suivi distinct a été fait pour chacun des deux sous-milieus composant le MR8 en raison de leurs

différences notables en termes de caractérisation. À titre de rappel, le MR8A est une ancienne terre agricole, tandis que le MR8B est plutôt une friche située sous la ligne des hautes eaux (LHE) (Figure 3). Le MR8B a subi un aménagement de monticules avant les plantations de 2021 (section 2.4.2).

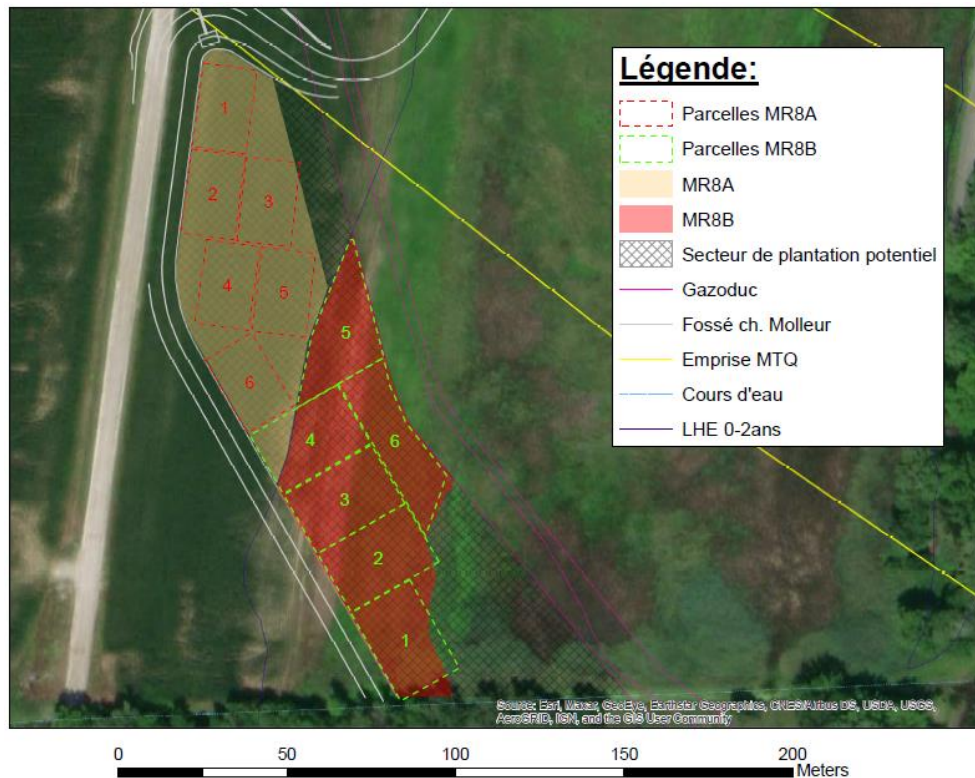


Figure 3. Cartographie illustrant les deux sous-sections du MR8 (A et B), ainsi que leurs parcelles de plantation respectives

Pour le MR8A, ce genre d'exercice permet de suivre l'évolution de la succession floristique à travers le temps durant la transition d'un milieu agricole vers un milieu forestier. De même, cela permettra de mesurer la réponse variable de l'implantation d'espèces à la suite de l'application de différents traitements de legs biologiques (section 2.5.2) ainsi que de la transplantation d'arbres de gros calibre, car celle-ci a aussi entraîné le déplacement des espèces végétales qui se trouvaient au pied des arbres. En ce qui concerne le MR8B, cela permet d'avoir un relevé global de la flore en milieu humide précédant la plantation des arbres et de suivre l'évolution de celle-ci dans le temps, tout en espérant observer la transition d'une friche humide vers un milieu forestier marécageux.

Pour tous les traitements confondus dans le MR8A, ces relevés ont mis en évidence la présence de plusieurs espèces pionnières et propres aux milieux agricoles. Entre autres, on retrouve le chénopode blanc (*Chenopodium album*), l'abutilon à pétales jaunes (*Abutilon theophrasti*), la petite herbe à poux (*Ambrosia artemisiifolia*) et la rorippe des marais (*Rorippa palustris*) qui

sont des espèces souvent présentes dans les champs et qui sont considérées comme nuisibles (Doucet, 2013). Ces espèces croissent dans des sols mal drainés, compactés et argileux et prospèrent dans les endroits ensoleillés. D'ailleurs, la dominance du chénopode blanc est non négligeable sur toute la surface du MR8A. En raison de sa hauteur et sa densité importante, cette espèce a dû faire l'objet d'un débroussaillage (Figure 4) avant le début de certains aménagements (section 2.4) ainsi que des plantations.



Figure 4. Avant et pendant le débroussaillage du chénopode blanc dans le MR8A

À la suite des plantations et de l'installation de legs biologiques provenant de la forêt adjacente (sections 2.4 et 2.5), on pourrait s'attendre à relever davantage de plantes de milieu forestier au fil des ans. Qui plus est, cette reforestation pourrait permettre d'augmenter le lien de connectivité avec les ilots de forêts existants et d'augmenter la dissémination des gènes et la grosseur des populations locales (Cunningham *et al.*, 2015).

Les espèces herbacées relevées dans le MR8B sont différentes de celles retrouvées dans le MR8A. On retrouve entre autres dans le MR8B le panic d'automne (*Panicum dichotomiflorum*), le panic capillaire (*Panicum capillare*) et la renouée persicaire (*Persicaria maculosa*), qui sont toutes des espèces propres aux milieux perturbés et aux champs.

Avec le temps, la création d'une canopée pourra faciliter l'établissement d'herbacées typiques à la forêt adjacente dans le MR8 et permettre graduellement le passage d'un milieu agricole vers un milieu forestier, tout en diminuant la susceptibilité d'envahissement par les espèces nuisibles et exotiques (Cunningham *et al.*, 2015).

2.3. Transplantations

Les transplantations effectuées en 2020 ont fait l'objet d'un suivi et d'un entretien. Les données sont présentées dans le rapport d'étape 2 (voir *Annexe C*). Ces transplantations incluaient des EMVS d'herbacées, de semis et d'arbres de gros calibre.

2.3.1. Méthodologie : suivis

Un suivi extensif a d'abord été fait pour les herbacées et les semis d'EMVS ayant été transplantés à l'automne 2020 dans les *[Information sensible]*. Durant ce suivi, l'état des individus (vivants, dépériss ou morts), leur densité de plantation (1, 2, 5 ou 10 individus/m²) et leur milieu récepteur ont été pris en considération. Les défauts affectant l'intégralité du plant (p. ex., broutage) ont également été notés.

Dans un deuxième temps, le suivi des arbres de gros calibre a été réalisé en appliquant la même méthode de suivi extensif. Les patrons de plantations (isolé ou regroupé) ont été pris en considération.

2.3.2. Résultats préliminaires à l'an 1

Les analyses de suivis portant sur les transplantations sont présentées de manière exhaustive dans le rapport d'étape 2 (voir *Annexe C*). Le Tableau 1 suivant résume les principaux constats que ces analyses ont mis en lumière.

**REBOISEMENT DES TERRES ENCLAVÉES À PIKE RIVER ET SAINT-ARMAND
R850.2**

Tableau 1. Taux de survie des herbacées et des semis transplantés en 2020 en fonction du milieu récepteur et des densités

Par espèce								
	A. canadense	C. ovata	C. typhina	I. virginica	M. struthiopteris	S. canadense	Q. bicolor	T. grandiflorum
[Information sensible]	20 %	20 %	100 %	97 %	S/O	65 %	93 %	S/O
[Information sensible]	50 %	S/O	50 %	S/O	90 %	50 %	S/O	S/O
[Information sensible]	65 %	S/O	S/O	S/O	80 %	45 %	S/O	S/O
[Information sensible]	77 %	S/O	100 %	99 %	84 %	73 %	S/O	32 %
Taux de survie ajusté moyen	56 %	20 %	90 %	98 %	84 %	61 %	93 %	32 %
Taux de broutage moyen	34 %	0 %	16 %	0 %	16 %	19 %	20 %	18 %
Par densité								
	1 individu/m²		2 individus/m²		5 individus/m²		10 individus/m²	
Taux de survie ajusté	69 %		63 %		66 %		88 %	
Taux de broutage	14 %		23 %		14 %		18 %	
Par milieu récepteur								
	[Information sensible]		[Information sensible]		[Information sensible]		[Information sensible]	
Taux de survie ajusté	70 %		60 %		62 %		83 %	
Taux de broutage	18 %		20 %		15 %		19 %	

Légende : Le taux de survie ajusté correspond au taux de survie des espèces en fonction de la quantité de plants initialement transplantés à l'intérieur de chacun des quadrats. Ainsi, même si le nombre total d'individus observés en 2021 est supérieur au nombre transplanté en 2020, il est possible que le taux de succès de survie soit inférieur à 100 % dû à la mortalité de certains individus dans les quadrats.

En résumé, les espèces d'herbacées ayant montré le meilleur succès de survie en général sont l'iris de Virginie et le carex massette, alors qu'à l'inverse, celle ayant eu le succès le plus faible est le trille blanc. Le taux de

succès de survie varie d'un milieu à un autre, mais est généralement plus élevé à l'intérieur de quadrats de plus forte densité (10 individus/m²). Finalement, certains facteurs, incluant l'herbivorie et la compétition par d'autres plantes exotiques et indigènes comme la lysimaque nummulaire (*Lysimachia nummularia*) et le haricot de terre (*Amphicarpaea bracteata*), peuvent influencer le succès de survie observé pour certaines espèces.

Le Tableau 2 ci-dessous porte sur l'analyse de survie des arbres de gros calibre ayant été transplantés dans le MR8A. Le succès de survie observé entre les deux patrons (isolé et regroupé) est très similaire. Les variations de survie observées entre les parcelles pourraient être attribuables à leur composition variable en essences et en gabarits.

Tableau 2. Taux de survie des transplantations d'arbres de gros calibre dans le MR8A

Parcelle	P1	P2	P3	P4	P5	P6
Taux de survie	100 %	100 %	100 %	71 %	88 %	88 %
Patron isolé	90 %					
Patron regroupé	91,5 %					

Les résultats préliminaires suggèrent que les arbres de gros calibre s'acclimatent plus aisément que les arbres de moindre calibre (voir *Annexe C*).

2.3.3. Entretien des transplantations

Afin d'assurer les meilleures conditions de croissance pour les herbacées transplantées, deux séances de désherbage ont eu lieu pendant l'été : la première en juillet, et la seconde, en août. Des efforts ont surtout été déployés pour arracher le surplus de lysimaque nummulaire et de haricot de terre qui avait poussé sur les plants (section 5.3).

En ce qui concerne l'entretien des arbres de gros calibre, ceux-ci ont été arrosés une première fois lors d'une période de canicule en août, puis une deuxième fois, en même temps que les plantations de 2021 dans le MR8. Le système d'irrigation mis en place est décrit à la section 2.6. Ce dernier a permis d'offrir un apport en eau dans des conditions sèches qui se sont étirées jusqu'à l'automne à Pike River (section 6.4).

2.4. Aménagement du MR8

L'aménagement du MR8 a été divisé en fonction du MR8A et du MR8B qui présentent des caractéristiques de milieux différentes. Notamment, le MR8A est un ancien champ de maïs qui était cultivé jusqu'à la fin octobre 2020, alors que le MR8B est un milieu en friche se trouvant sous la LHE.

Le MR8A a été préalablement aménagé à l'automne 2020 lors de la phase I des travaux : les pieds de maïs restants avaient alors été retirés avant les transplantations. Par la suite, une récolte de différents types de legs biologiques a été effectuée au printemps 2021 dans le but de les distribuer dans le MR8A en fonction de différents patrons d'aménagement.

En ce qui concerne le MR8B, des monticules ont été aménagés au printemps 2021 afin d'y effectuer les plantations à l'automne et ainsi garder les racines des semis hors de l'eau durant les inondations printanières (section 2.4.2).

2.4.1. Legs biologiques dans le MR8A

Les legs biologiques comportent des éléments en provenance de la forêt adjacente et incluent de la terre, du bois et des feuilles mortes. Ces legs proviennent d'un milieu boisé se trouvant dans la trajectoire du nouveau tronçon routier et dans lequel des arbres de gros calibre avaient été récoltés pour être transplantés dans le MR8A à l'automne 2020. Les legs ont été étalés sur le sol des parcelles en respectant les différents patrons préétablis (sections 2.5.1 et 2.5.2).

Lors de cette répartition, quelques branches et troncs d'arbres ont été plantés à la verticale afin de créer des structures propices pour l'avifaune, et des morceaux de bois plus petits ont été empilés afin de servir d'habitats pour la macrofaune (Figure 5).



Figure 5. Photographie illustrant l'une des structures verticales aménagées dans le MR8A

2.4.2. Monticules dans le MR8B

Puisque le MR8B se trouve sous la LHE et est un milieu susceptible d'être inondé, des monticules y ont été aménagés pour surélever les arbres plantés afin que leur système racinaire demeure hors d'une accumulation d'eau potentielle (Figure 6).

Ces monticules ont été créés à l'aide d'une excavatrice dans chaque parcelle du MR8B. La quantité de monticules dans chaque parcelle a été déterminée en fonction de la densité visée. Dans les parcelles à densité élevée, 65 monticules ont été créés, alors que dans celles à densité faible, 35 monticules ont été faits. Il est à noter que l'équipe a voulu augmenter légèrement les densités de plantation en ajoutant quelques individus supplémentaires d'arbres d'EMVS ou rares dans chacune des parcelles du MR8B, et donc, que certains monticules comportent deux arbres plutôt qu'un (section 2.5.3).

Tel qu'illustré sur la Figure 6, cet aménagement a permis de réaliser de légères dépressions en bordure des monticules, permettant de recueillir

l'eau et de réduire l'effet des inondations sur les plantations, en plus de préserver l'eau de pluie pour alimenter l'arbre.



Figure 6. Aménagement de monticules dans le MR8B

À la suite de la création des monticules, un ensemencement de mélange B – composé à 55 % de fléole des prés (*Phleum pratense*), à 30 % de trèfle rouge (*Trifolium pratense*) et à 14 % de trèfle alsike (hybride) (*Trifolium hybridum*) – a été épandu manuellement sur chacun des monticules. Cet ensemencement avait principalement pour but de solidifier les monticules grâce aux nouvelles racines, ce qui permet d'éviter l'érosion de surface et la sédimentation, en plus de favoriser leur maintien (Figure 6). De plus, cet ensemencement pourrait empêcher l'établissement de plantes plus envahissantes et ainsi limiter une compétition potentielle avec les nouveaux arbres.

D'ailleurs, dès l'automne 2021, l'efficacité de cette approche a pu être observée sur les plantations réalisées sur ces monticules aménagés (Figure 7).



Figure 7. Photographie des monticules dans le MR8B et des légères dépressions accumulant l'eau des pluies d'automne (novembre 2021)

2.4.3. Création d'un exclos contre l'herbivorie

En raison de la forte présence d'herbivores dans le secteur, notamment de cervidés et de rongeurs, la mise en place d'un exclos entourant en totalité les plantations du MR8 était essentielle afin d'assurer la pérennité des essences plantées (Figure 8). L'exclos offre une double protection : la première sert à empêcher les cerfs, et la deuxième, les herbivores de plus petite taille (marmottes, lapins, castors, etc.).

Dans un premier temps, des poteaux d'acier en T de 4 m ont été disposés tout autour du MR8 avec un espacement de 3 m entre chacun. Ceux-ci ont par la suite été enfoncés de 1,5 m dans le sol, ce qui a permis de conserver une hauteur de 2,5 m hors terre. Il s'agit d'un important critère à prendre en considération : une hauteur de 2,5 m empêchera les cerfs de Virginie, très nombreux dans le secteur, de sauter par-dessus l'exclos pour accéder aux plantations (section 4.3). La superficie totale de l'exclos est d'environ 7 211 m². La mise en place de l'exclos s'est terminée avec l'installation d'une clôture grillagée de 2,5 m de hauteur, fixée avec du fil d'acier et des broches à boucles (Figure 9).



Figure 8. Mise en place de l'exclos autour du MR8

Dans un deuxième temps, un grillage hexagonal galvanisé a été installé au bas de l'exclos pour empêcher l'accès aux petits herbivores; celle-ci atteint une hauteur de 1 m à partir du sol. Ce dernier a été maintenu au niveau du sol avec des fils d'acier enfoncés dans la terre pour sécuriser au maximum la zone de plantation (Figure 9).



Figure 9. Aménagement de grillage hexagonal galvanisé dans le bas de l'exclos du MR8

2.4.4. Excavation dans le MR8A pour les grands arbres (> 1,5 m)

Puisque des arbres d'une hauteur de 1,5 m et plus étaient inclus dans les patrons de plantations en 2021, l'excavation préalable d'un certain nombre de trous a été réalisée à l'intérieur du MR8A afin de faciliter le travail de plantation. L'excavation de trous d'une dimension d'environ 1 m³ a été effectuée à l'aide d'une petite excavatrice (Figure 10). En tout, 81 trous ont été excavés pour y accueillir des arbres entre 1,5 et 7 m de hauteur.



Figure 10. Excavation de trous pour les arbres (> 1,5 m) dans le MR8A

Cette étape avait principalement pour but de diminuer l'effort physique devant être déployé par l'équipe de terrain pour creuser ces trous manuellement. En effet, lorsque les opérations doivent être effectuées dans un sol de type argileux, principalement sec et dur comme celui du MR8A (section 6.4.1), il s'avère important de trouver des solutions permettant de limiter les efforts physiques et le risque de blessures.

2.5. Plantations dans le MR8

À l'automne 2021, une plantation de 600 arbres (Tableau 3) a été réalisée dans le MR8. Dans la portion du MR8A, il s'agit d'une plantation en sous-étage des arbres de gros calibre ayant été transplantés en 2020. Pour le MR8B, il s'agit d'une nouvelle plantation effectuée sur les monticules aménagés à l'été 2021 (section 2.4.2). Différents patrons de plantations et de densités ont été testés dans ces deux milieux et seront abordés dans les différentes sections de ce chapitre.

Tableau 3. Dénombrement des différentes espèces plantées en 2021 dans le MR8A et le MR8B

Espèces	MR8A	MR8B	Total
<i>Acer rubra</i>	0	21	21
<i>Acer saccharinum</i>	77	59	136
<i>Alnus rugosa</i>	4	14	18
<i>Amelanchier sp.</i>	1	0	1
<i>Carpinus carolina</i>	0	26	26
<i>Carya cordiformis</i>	8	2	10
<i>Carya ovata</i>	8	22	30
<i>Celtis occidentalis</i>	0	26	26
<i>Cornus stolonifera</i>	1	0	1
<i>Fraxinus americana</i>	9	0	9
<i>Fraxinus nigra</i>	1	10	11
<i>Fraxinus pennsylvanica</i>	6	0	6
<i>Fraxinus sp.</i>	5	0	5
<i>Juglans cinerea</i>	43	16	59
<i>Populus deltoides</i>	0	16	16
<i>Prunus serotina</i>	3	1	4
<i>Quercus alba</i>	24	15	39
<i>Quercus bicolor</i>	13	37	50
<i>Quercus macrocarpa</i>	12	1	13
<i>Salix discolor</i>	0	17	17
<i>Salix nigra</i>	2	0	2
<i>Sambucus canadensis</i>	6	0	6
<i>Thuja occidentalis</i>	0	25	25
<i>Ulmus americana</i>	30	35	65
<i>Ulmus rubra</i>	3	1	4
Total	256	344	600

Les plantations de 2021 ont été réparties dans le MR8A et le MR8B en fonction des différentes essences sélectionnées (Figure 11). Ces travaux ont eu lieu à l'automne afin d'éviter de perturber le système racinaire pendant la période de croissance des plants de même que les épisodes de chaleur plus intense.

Au moment de la plantation, des précautions ont dû être prises à l'égard de certaines espèces d'arbres nécessitant une attention particulière quant à leur emplacement. Plus particulièrement, diverses espèces, comme l'érable argenté (*Acer saccharinum*) et l'aulne rugueux (*Alnus rugosa*), sont sensibles à la juglone, une toxine produite par les juglandacées (Rietveld, 1983). Ainsi, afin de ne pas nuire aux essences pouvant être affectées par la juglone, les espèces sensibles ont été plantées à l'écart des noyers cendrés. Pour les patrons de densités plus élevés, cette attention s'est avérée d'autant plus importante à respecter, plus particulièrement dans le MR8B : en effet, l'accumulation d'eau possible et un drainage imparfait ont le potentiel d'augmenter l'effet de la juglone (MAAARO, 2021).

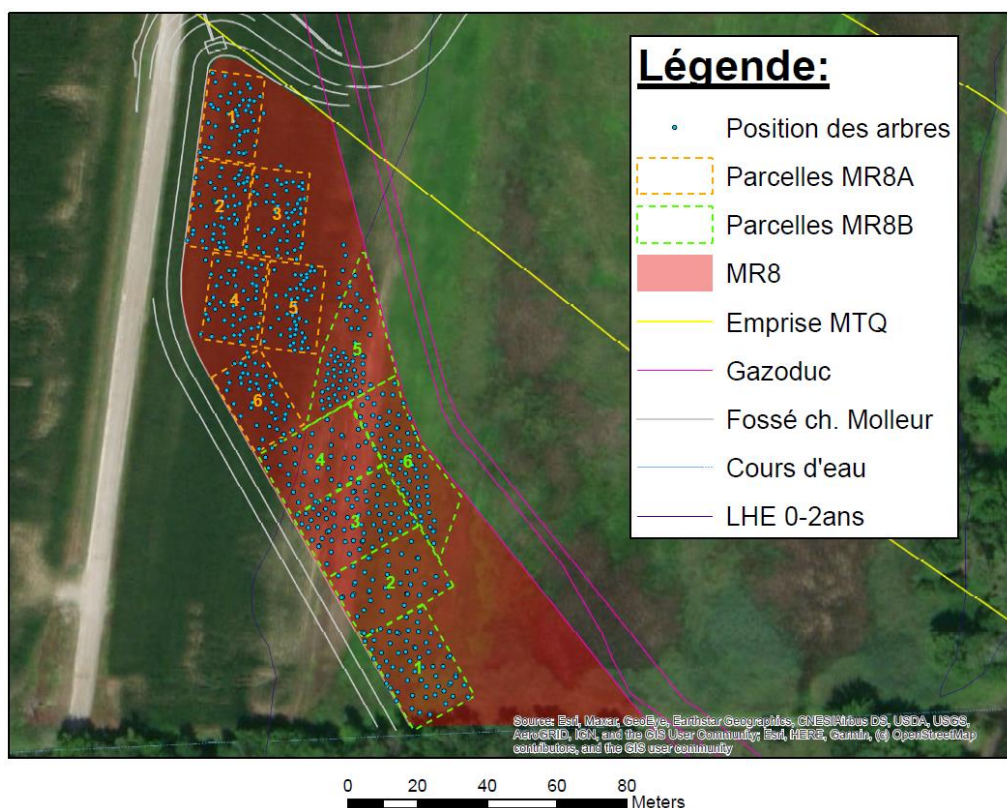


Figure 11. Cartographie de la position des arbres et arbustes dans le MR8A et MR8B ; le géoréférencement inclut les individus transplantés à l'automne 2020

Un des objectifs à travers le reboisement du MR8 est, entre autres, de tester s'il est possible de recréer une structure forestière verticale plus rapidement (MR8A) qu'avec un reboisement plus conventionnel (MR8B). La transplantation d'arbres de gros calibre en 2020 a permis de créer rapidement une structure verticale appréciable. Pour la plantation en 2021, la sélection du gabarit des arbres a été faite dans cette même optique. Des gabarits de tous types ont ainsi été sélectionnés, l'accent ayant été mis sur un choix de spécimens plus âgés. Le Tableau 4 présente le dénombrement des arbres selon leur hauteur. Celui-ci inclut les arbres ayant été transplantés à l'automne 2020, dont certains spécimens mesuraient plus de 20 m de haut.

Tableau 4. Dénombrement des arbres et arbustes transplantés ou plantés dans le MR8A ou le MR8B en fonction de leur taille (hauteur)

Gabarit (cm)	MR8A	MR8B	Total
30-61	85	159	244
61-91	39	45	84
91-122	32	24	56
122-152	18	32	50
152-183	25	31	56
183-213	29	23	52
213-244	13	17	30
244-274	6	2	8
274-305	2	4	6
305 et +	45	7	52
Total	294	344	638

À la suite des travaux de plantations, tous les arbres ayant été plantés ou transplantés dans le MR8 ont été géoréférencés à l'aide d'un GPS haute précision et identifiés à l'aide d'étiquettes de marquage numérotées (voir ANNEXE A.2).

Il est envisageable que la première année de plantation soit particulièrement ardue pour certains individus et qu'elle présente un taux de mortalité plus élevé qui diminuera avec le temps. De fait, cet effet est attribuable à l'acclimatation des individus qui ont vécu une croissance dans un environnement relativement stable et qui sont ensuite transplantés dans un nouveau milieu représentant des conditions fluctuantes (Close *et al.*, 2005). De plus, le sol agricole pauvre en matière organique pourrait rendre l'établissement des arbres plus difficile. C'est pourquoi un premier suivi de ces plantations sera effectué en 2022 et permettra d'établir le nombre de plants qui devront être remplacés. Ce suivi sera fait jusqu'en 2033 et permettra, à plus long terme, d'évaluer avec justesse le taux réel de mortalité des différents individus.

2.5.1. Patrons de plantations dans le MR8A

Des arbres de gros calibre se trouvaient déjà à l'intérieur des patrons de plantations du MR8A, car ceux-ci avaient été transplantés à l'automne 2020 avec les considérations suivantes : les parcelles P2, P5 et P6 en patrons regroupés et les parcelles P1, P3 et P4 en patrons isolés. Toutes les parcelles ont une superficie de 400 m² (16 m X 25 m).

Les patrons de plantations de 2021 dans ce milieu ont été répartis en fonction des différents traitements d'épandage de legs biologiques ainsi que dans l'optique de respecter différentes densités (faible ou élevée). De plus, les essences ont été réparties en fonction de leur gabarit afin de créer une structure verticale diversifiée.

Afin d'avoir un aperçu de la densité d'arbres associée au meilleur taux de survie, les parcelles du MR8A ont été divisées en deux afin d'accueillir un nombre différent d'arbres (Figure 12). En général, environ 15 arbres ont été plantés du côté de densité faible de la parcelle, et environ 30 arbres ont été plantés du côté de densité élevée. Ceci équivaut à des densités approximatives de 1 500 tiges/ha pour la densité faible et de 3 000 tiges/ha pour la densité élevée. Cette approche permet de réaliser des patrons de plantations inspirés de la structure forestière adjacente et de créer des habitats propices pour la faune, tout en étudiant les patrons les plus efficaces pour le reboisement.

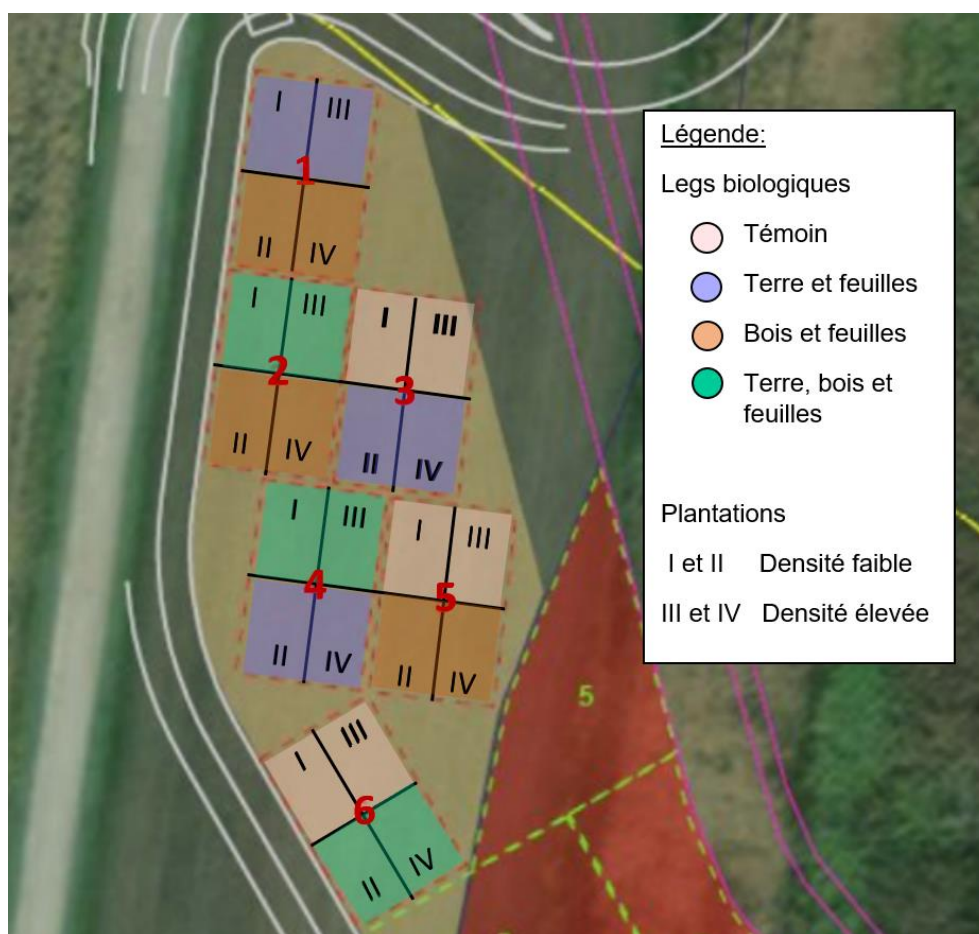


Figure 12. Représentation des différentes densités de plantations et de l'aménagement des legs biologiques dans le MR8A

2.5.2. Legs biologiques

La répartition des legs au sein du MR8A représenté à la Figure 12 a été faite selon quatre traitements distincts, soit :

- un traitement avec un épandage de terre et de feuilles;
- un traitement avec une disposition de bois de différents calibres (copeaux, branches, billots) et de feuilles;

- un traitement incluant tous les types de legs (terre, bois et feuilles);
et
- un témoin sans aucun legs ajouté.

2.5.3. *Patrons de plantations dans le MR8B*

Les plantations du MR8B ont été réalisées sur les monticules préalablement aménagés et ensemencés (section 2.4.2). Une densité élevée (70 individus) a été appliquée dans les parcelles P1, P3 et P6, et une densité faible (40 individus), dans les parcelles P2, P4 et P5 (Figure 13). Chacune des parcelles a une superficie de 600 m², les parcelles de formes rectangulaires ayant des dimensions de 20 m X 30m.

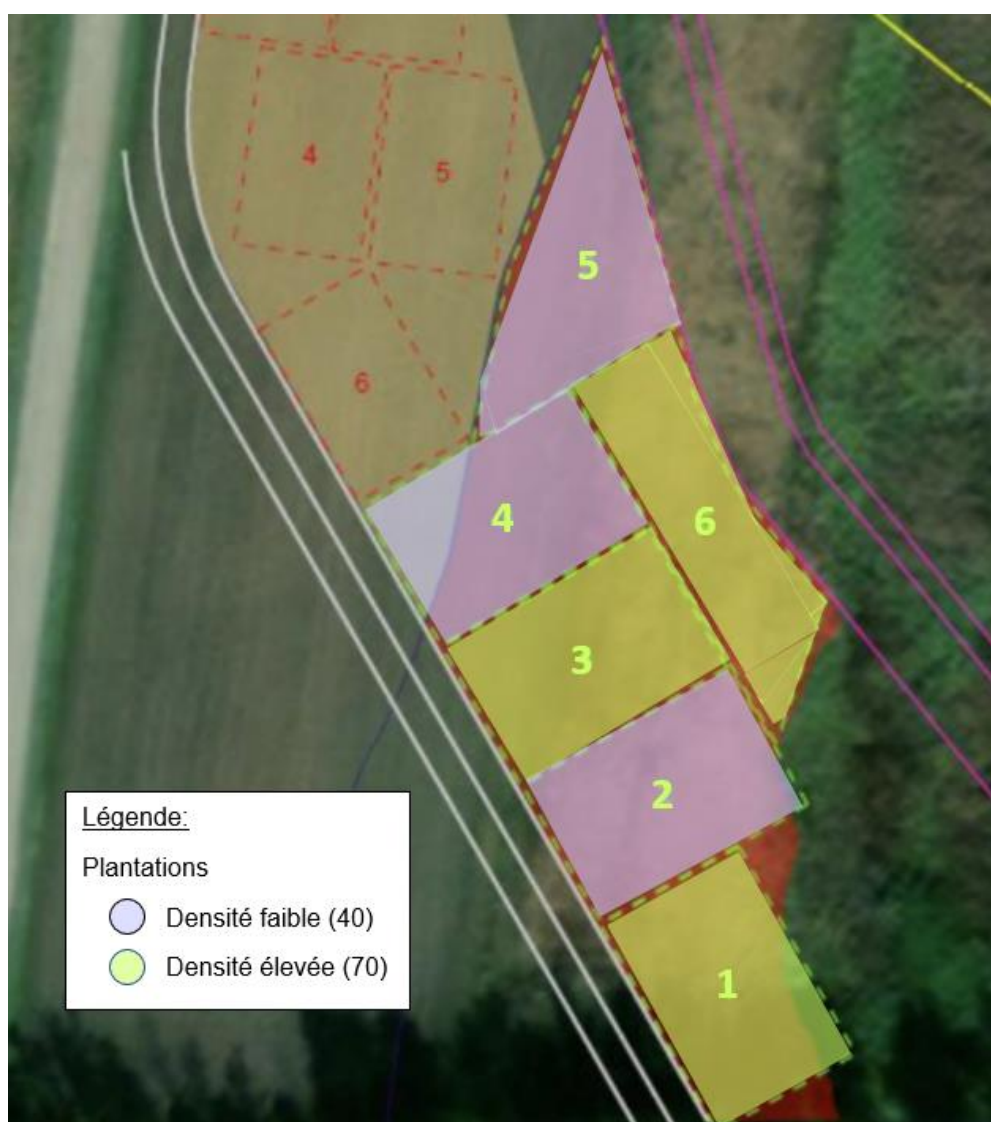


Figure 13. Division des parcelles en fonction de leur densité de plantation dans le MR8B

2.6. Arrosage des plantations du MR8

Pour assurer la survie des transplantations réalisées à l'automne 2020 aux périodes de canicule, de même que celle des plantations de 2021, un système d'arrosage a été mis en place dans le MR8A. Des camions-citernes (22 000 L et 40 000 L) ont été loués de manière ponctuelle, selon nos besoins, soit lors des périodes de canicule et durant les plantations à l'automne 2021.

Ce système a été réalisé à l'aide de boyaux et de gicleurs raccordés à un camion-citerne et à une pompe à eau. Le système d'irrigation pouvait ainsi demeurer en place pendant une durée de trois heures avant d'être déplacé entre les parcelles afin de pouvoir couvrir tous les arbres et leur offrir un apport en eau adéquat (jusqu'à la saturation au niveau du sol).

Cependant, la mise en place du système d'irrigation a fait l'objet d'imprévus lors des travaux, notamment en raison de sa lourdeur et de son déploiement laborieux (Figure 14). Les endroits non accessibles avec les boyaux, comme le MR8B, ont donc fait l'objet d'un arrosage manuel avec des chaudières d'eau. Les principales contraintes occasionnées par le système d'irrigation seront abordées à la sous-section 6.4.2 du chapitre portant sur les imprévus vécus lors de la saison et nos recommandations à leur égard.



Figure 14. Déplacement des boyaux pour l'irrigation des arbres dans le MR8A

Enfin, des cuvettes ont été façonnées autour de ceux-ci afin de permettre une meilleure rétention de l'eau et ainsi maximiser la quantité d'eau se rendant au système racinaire des arbres (Figure 15).



Figure 15. Création de cuvettes autour des arbres pour optimiser la rétention d'eau lors de l'étape d'irrigation

2.7. Prospection et gestion des semences

La prospection des semences s'inscrit dans l'atteinte de l'objectif portant sur la production d'espèces rares et à statut qui sera réalisée sur le site du projet de même que hors du site, dans une pépinière spécialisée. Une collecte de semences d'érable noir (*Acer nigrum*), de caryer ovale (*Carya ovata*), de caryer cordiforme (*Carya cordiformis*), de noyer cendré (*Juglans cinerea*) et de chêne bicolore (*Quercus bicolor*) a été réalisée durant l'été entre les mois de juillet et de septembre. Ces semences ont été soumises à différentes méthodes de préservation avant leur ensemencement, telles que :

- séchées à température ambiante;
- réfrigérées;
- ou congelées.

Le Tableau 5 ci-dessous présente les différents lieux et le moment de la récolte de semences, et les méthodes de préservation employées.

Tableau 5. Récolte et gestion des semences 2021

Espèce	Lieu	Moment de récolte	Méthode(s) de préservation
<i>Acer nigrum</i>	Huntingdon	Début juillet	Réfrigérateur
<i>Acer nigrum</i>	Montréal (Cartierville)	Début juillet	Congélateur, puis réfrigérateur
<i>Acer nigrum</i>	Montréal (Cartierville)	Début juillet	T° ambiante
<i>Acer nigrum</i>	Godmanchester	Mi-août	Congélateur
<i>Acer nigrum</i>	Montréal (Senneville)	Mi-août	Congélateur
<i>Acer nigrum</i>	Montréal (Cartierville)	Mi-août	Réfrigérateur
<i>Acer nigrum</i>	Montréal (Cartierville)	Mi-août	Congélateur
<i>Acer nigrum</i>	Montréal (Bois de Liesse)	Mi-août	Congélateur
<i>Acer nigrum</i>	Montréal (Jardin botanique)	Fin août	Réfrigérateur
<i>Acer nigrum</i>	Montréal (Jardin botanique)	Fin août	T° ambiante
<i>Acer nigrum</i>	St-André d'Argenteuil	Fin août	Réfrigérateur
<i>Carya cordiformis</i>	Huntingdon	Début juillet	Réfrigérateur
<i>Carya cordiformis</i> ou <i>ovata</i>	Boucherville	Fin août	T° ambiante, puis réfrigérateur
<i>Carya ovata</i>	Montréal (Jardin botanique)	Fin août	T° ambiante, puis réfrigérateur
<i>Carya ovata</i>	Longueuil	Fin août	T° ambiante, puis réfrigérateur
<i>Carya ovata</i>	Boucherville	Fin août	T° ambiante, puis réfrigérateur
<i>Juglans cinerea</i>	Montréal (Cartierville)	Début juillet	Réfrigérateur
<i>Juglans cinerea</i>	Montréal (Jardin botanique)	Fin août	T° ambiante, puis réfrigérateur
<i>Quercus bicolor</i>	Longueuil	Fin août	Réfrigérateur

Ces semences ont été récoltées dans l'optique d'en planter une partie *in situ*, et le reste, *ex situ* dans une pépinière spécialisée. Pour le moment, seules les plantations *in situ* ont eu lieu, car nous sommes toujours dans l'attente de trouver une pépinière pouvant prendre en charge les semences et qui sera un partenariat dans le cadre du projet.

Par ailleurs, la maturité des semences, le nombre de semences avortées et la possibilité d'hybridation de l'espèce sont tous des facteurs à prendre en considération pour ce volet, car ils peuvent influencer la quantité de semences qui pourront germer par rapport au nombre de semences initialement récoltées.

2.7.1. Mise en place du dispositif in situ

D'une part, les samares d'érable noir ont été conservées dans trois conditions différentes, soit au congélateur, au réfrigérateur et à température ambiante. D'autre part, les noix de caryer ont d'abord été séchées à température ambiante pendant environ un mois et demi, puis mises au réfrigérateur pour débiter le processus de stratification. Les noix de noyer, quant à elles, ont été conservées de deux façons différentes, soit au réfrigérateur ou séchées à température ambiante d'abord, puis réfrigérées. Finalement, les noix de chêne ont été conservées au réfrigérateur exclusivement.

Afin d'assurer des conditions favorables à la germination des graines, des trous ont été faits dans une partie inoccupée du MR8A (entre les parcelles P3 et P5), puis des pots y ont été enfouis pour les isoler et ainsi prévenir le gel de la terre (Figure 16). Les pots ont été remplis avec un mélange de 50 % de terre d'origine et de 50 % de compost forestier.



Figure 16. Mise en terre des pots pour les semences entre les parcelles du MR8A

Au total, 173 semences d'érable noir, 166 semences de caryer ovale et 30 semences de noyer cendré ont été plantées, toutes provenances confondues (voir ANNEXE A.3).

Enfin, une protection contre l'herbivorie a été aménagée autour des pots afin d'éviter que les rongeurs pénètrent à l'intérieur et s'emparent des semences d'EMVS (Figure 17). Le grillage de protection comporte une première couche de treillis grillagé métallique en fil d'acier, puis une deuxième couche de grillage hexagonal galvanisé (broche à volaille), les deux légèrement enfoncés dans le sol. Le tout a été sécurisé en enfonçant des fils d'acier en forme de « U » dans le sol pour maintenir les grillages en place.



Figure 17. Pot avec semences de caryer (avant l'ensemencement) et mise en place d'une protection contre les herbivores

3. BILAN DU CARBONE

La réalisation d'un bilan de la séquestration du carbone fait partie des objectifs ministériels associés au volet reboisement. Ce bilan permettra d'établir une base de données pertinentes portant sur les stratégies pertinentes à reproduire lorsqu'un objectif de carboneutralité doit être appliqué dans ce genre de projet.

À cette fin, les indicateurs de suivi à surveiller pour ce volet incluent une quantification de carbone stocké dans les différents milieux (terrestres et aquatiques) (voir ANNEXE A.4). Cela permettra de suivre l'évolution du bilan du carbone aux divers points d'échantillonnage déterminés, en tonnes de carbone par an. À cet effet, les changements attendus pourront être évalués par un ratio (tonnes de carbone/an) de carbone émis comparativement au carbone séquestré, où une diminution du ratio dans le temps est visée.

3.1. Milieux terrestres

L'objectif du laboratoire Bélanger est de quantifier les réserves de carbone, les formes de carbone et les flux annuels de CO₂ selon les divers scénarios

de boisement des sols pour mieux prédire les quantités de carbone pouvant être stabilisées/stockées à plus long terme dans les sols; et d'évaluer l'effet du boisement sur la qualité des sols en examinant la disponibilité des nutriments et le pH aux sites de plantation. Pour ce faire, les différents suivis composant le volet du carbone terrestre comprennent un échantillonnage des sols, un suivi à l'aide de lysimètres et des mesures de respiration du sol.

Des échantillons de sol ont déjà été prélevés en 2020, et d'autres récoltes sont prévues dans 5 et 10 ans. Pour ce qui est des lysimètres, aucune mesure n'a été prise jusqu'à présent, car ceux-ci seront installés en 2022. Finalement, pour la respiration des sols, des premières mesures ont été prises lors de la saison 2021 à l'aide d'une chambre de respiration. L'information concernant cet échantillonnage est détaillée dans la présente section.

3.1.1. Méthodologie

Afin de pouvoir mesurer les flux du carbone [dioxyde de carbone (CO_2) et méthane (CH_4)] dans le sol, des collets en polychlorure de vinyle (PVC) ont été installés dans les terres du MTQ. À chaque année de suivi, les membres de l'équipe se rendront plusieurs fois à l'emplacement de chaque collet afin de mesurer les échanges gazeux à l'aide d'une chambre de respiration. Ces collets ont un diamètre d'environ 15 cm et une hauteur de 12 cm. Ceux-ci ont été installés à une profondeur de 6 cm dans le sol (Figure 18).



Figure 18. Collet pour mesurer les flux du carbone dans le sol en milieu forestier

Étant donné que les agriculteurs avaient une année de plus pour cultiver leurs terres, seulement un collet a pu être installé pour le moment en milieu agricole (MR8A). Pour cette raison, les collets ont été posés cette année presque exclusivement dans la forêt et les friches (Figure 19).

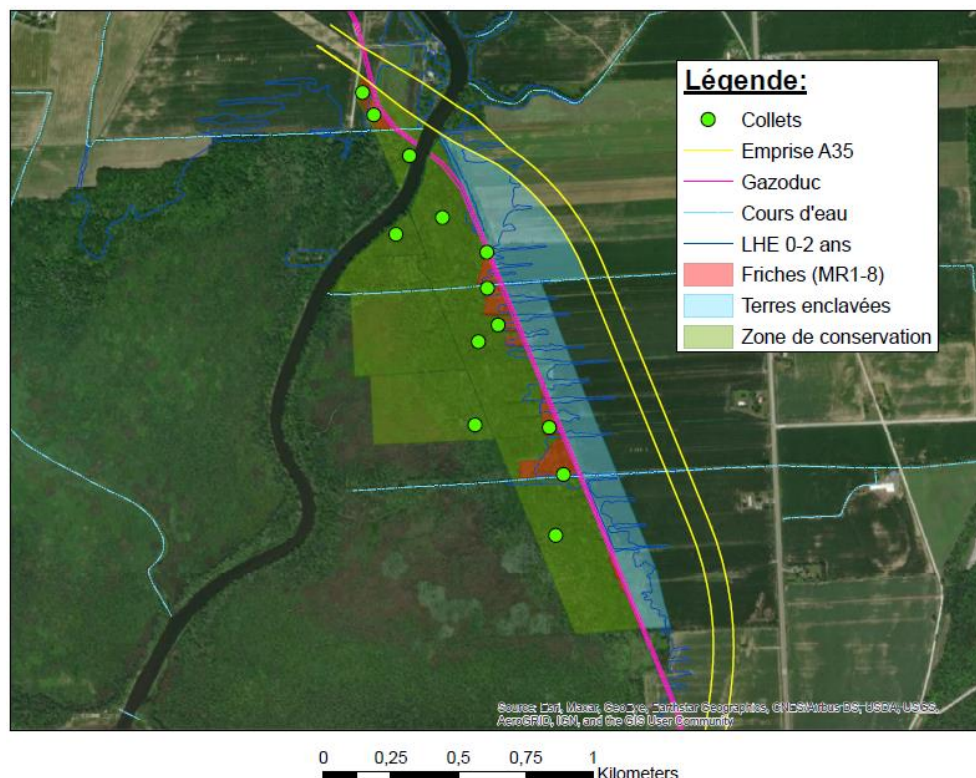


Figure 19. Localisation des collets dans les terres du MTQ

3.1.2. Hypothèses

Selon Nicolas Bélanger, on peut sous-tendre l'hypothèse générale que les sols supporteront une croissance végétale vigoureuse, et que l'apport accru et soutenu en litière aérienne et souterraine (racines) par le reboisement stabilisera les sols et augmentera leur qualité générale à long terme (p. ex., réserves en carbone et nutriments, capacité de rétention de l'eau, microfaune et flore microbienne abondantes et diversifiées pour le recyclage des nutriments), ce qui favorisera une croissance accrue des arbres plantés et facilitera le recouvrement de l'écosystème forestier. Plus précisément, trois hypothèses distinctes sont émises pour ce volet :

- La première hypothèse est que, par rapport aux conditions initiales, le reboisement de la plupart des milieux récepteurs augmentera les réserves en carbone du sol et améliorera sa qualité chimique à moyen terme seulement (10 ans).
- La seconde est que, par rapport aux conditions initiales, le reboisement de la plupart des milieux récepteurs augmentera rapidement les réserves aériennes (biomasse) en carbone (5 ans); cela devrait s'accroître largement à moyen terme (10 ans).
- Finalement, la troisième hypothèse, également par rapport aux conditions initiales, est que le reboisement de la plupart des milieux récepteurs favorisera rapidement l'accumulation de carbone, et que

ce gain s'accroîtra avec le temps jusqu'à l'atteinte d'un état d'équilibre sur une période qui ne sera pas couverte par le projet (> 50 ans) et qui devra donc faire l'objet d'une simulation.

3.1.3. Résultats

Pour l'instant, les résultats du carbone terrestre pour l'année 2020 sont en cours d'analyse. Cependant, les analyses demeurent pour le moment incomplètes en raison d'un bris d'équipement dans le laboratoire (l'analyseur LIBS est en attente de réparation). Une fois l'équipement réparé, des analyses statistiques pourront être réalisées afin d'évaluer la stabilité des résultats entre les différentes années de suivi.

Néanmoins, l'analyse d'échantillons de sols récoltés en 2020 permet déjà de constater une différence marquée du pH des sols entre les différents milieux récepteurs (Figure 20).

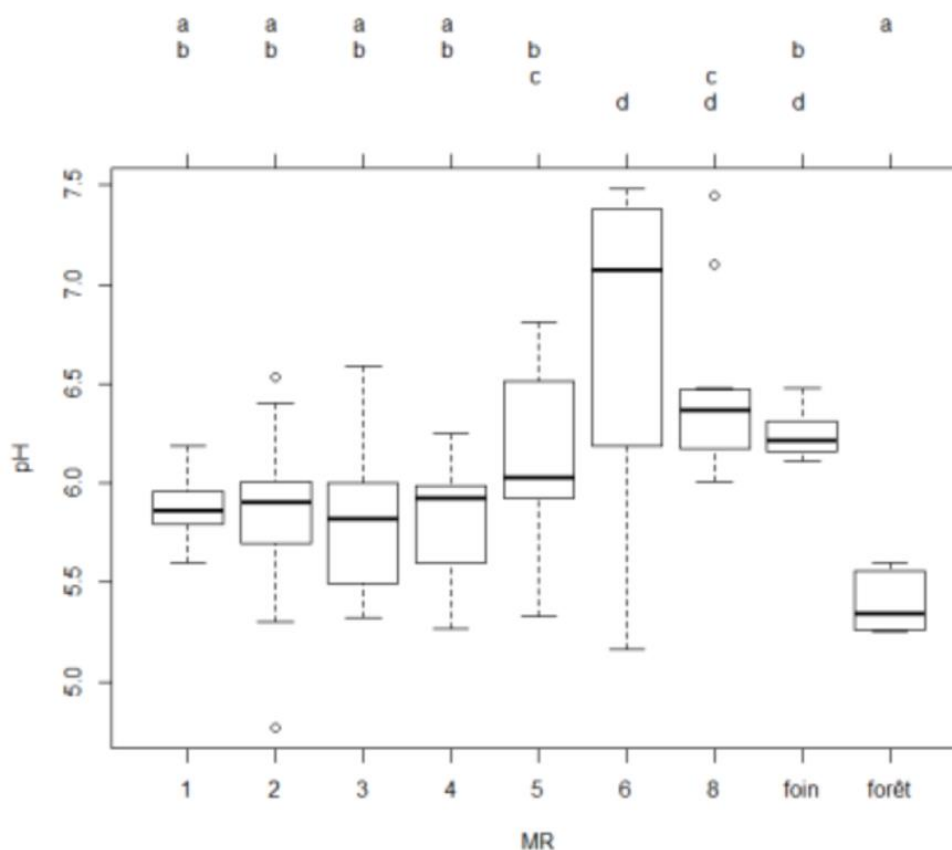


Figure 20. Variation du pH dans les 15 premiers centimètres de sol des 8 milieux récepteurs et de la forêt (milieu de conservation)

Légende : MR = Milieux récepteurs

Le pH exerce une influence directe sur les processus biochimiques du sol. Cette variable influe donc sur les propriétés physiques venant influencer la croissance des plants et la séquestration du carbone (Neina, 2019). Ces

résultats portant sur le pH montrent que le sol forestier (milieu de conservation) est typiquement plus acide que les autres. On note passablement d'homogénéité entre le MR1 jusqu'au MR5 (pH d'environ 6,0), alors que le MR6 se démarque par un pH plus élevé (7,0) que tous les autres milieux. Cette tendance ne s'observe pas aussi facilement en ce qui a trait à la composition chimique élémentaire mesurée par fluorescence aux rayons X.

3.2. Milieux hydriques

Puisque les milieux hydriques sont très dynamiques et changeants (Prairie, 2008), des échantillons des cours d'eau présents sur le site seront récoltés par l'équipe du P^r Prairie afin de suivre l'évolution du carbone hydrique dans le temps. L'analyse des divers tributaires présents permettra de mettre en évidence les changements de ces milieux hydriques avant les travaux de reboisement, après ceux-ci et jusqu'en 2033.

3.2.1. Méthodologie

Le suivi du carbone dans les milieux hydriques a eu lieu aux points d'échantillonnage identifiés à la Figure 21. Le protocole consiste à prendre des échantillons d'eau de surface dans les tributaires (ruisseaux Bellefroid-Archambault, Edwin et Louis-Rochelleau et rivière aux Brochets) se trouvant à l'intérieur des immeubles du MTQ. Les échantillons sont récoltés en amont et en aval de la zone de compensation (terres enclavées et friches) afin d'évaluer si les aménagements et le reboisement qui seront effectués auront un impact sur le bilan carbone des milieux hydriques à travers le temps. Les données se rapportent aux échantillonnages du mois de novembre 2020 ainsi qu'à ceux de juin à septembre 2021.

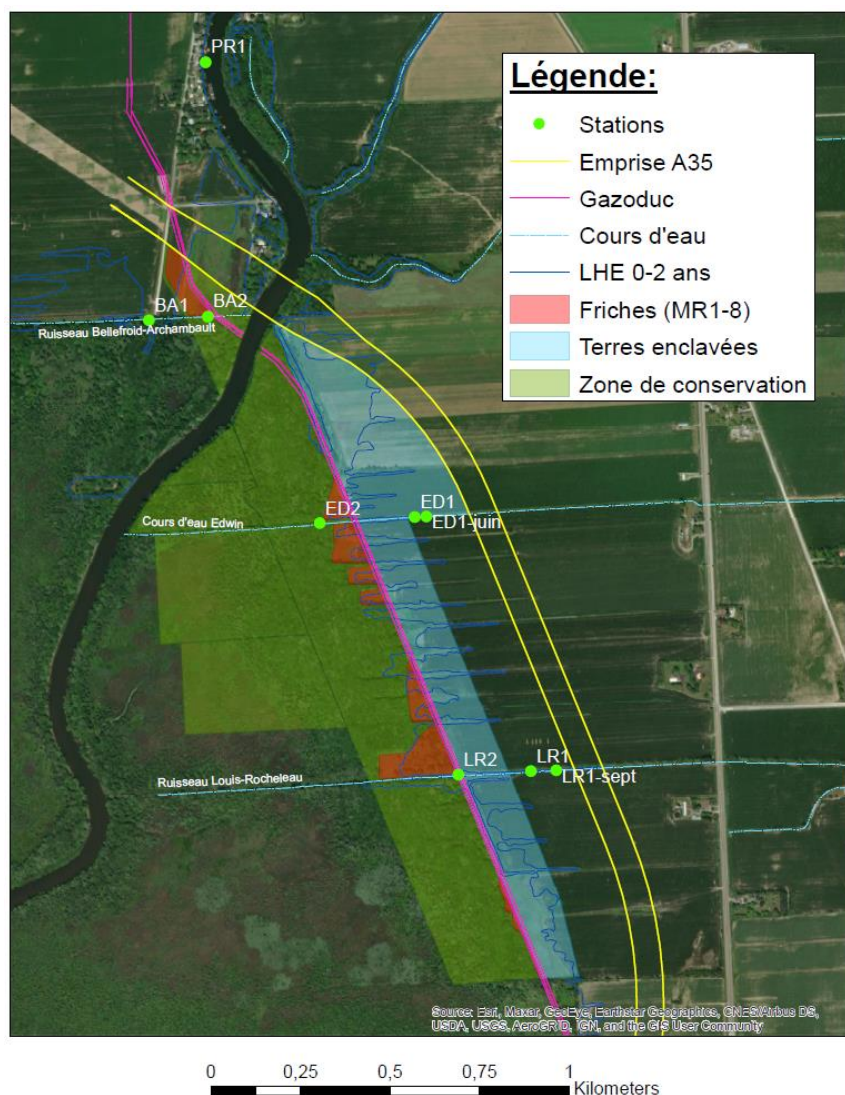


Figure 21. Cartographie des stations d'échantillonnage pour les données du carbone aquatique

Légende : BA = Bellefroid-Archambault, ED = Edwin, LR = Louis-Rochelleau, PR = rivière aux Brochets, 1 = amont, 2 = aval

3.2.2. Résultats

Les échantillons récoltés permettent d'obtenir des données sur les quantités totales de phosphore, d'azote, de carbone organique et inorganique total et dissous et, finalement, les concentrations en gaz dissous (CO_2 et le CH_4), ainsi que leurs valeurs isotopiques (Tableau 6).

Tableau 6. Moyennes des résultats obtenus à chacune des stations pour les données d'analyses de l'eau

Station	Phosphore total (µg P/L)	Azote total (mg N/L)	Carbone organique total (mg/L)	Carbone inorganique total (mg/L)	Carbone organique dissous (mg/L)	Carbone inorganique dissous (mg/L)	Concentration CO ₂ dissous (µmol/L)	Concentration CH ₄ dissous (µmol/L)
BA1	304,9	1,3	7,0	47,2	7,9	46,6	350,4	13,5
BA2	157,1	0,7	6,1	36,9	6,1	37,0	211,5	5,5
ED1	50,5	2,0	4,1	62,7	5,3	64,9	529,5	1,5
ED2	73,4	2,0	4,1	58,3	4,6	56,6	280,9	2,3
LR1	61,1	2,6	4,2	45,1	4,2	41,0	126,8	2,8
LR2	45,1	2,1	4,7	45,1	5,0	38,5	156,0	1,5
PR1	48,5	1,2	7,3	27,1	7,5	26,1	38,9	2,9

Légende : BA = Bellefroid-Archambault, ED = Edwin, LR = Louis-Rocheleau, PR = rivière aux Brochets, 1 = amont, 2 = aval

D'autre part, plusieurs paramètres de base ont aussi été mesurés, tels que la température (°C), la conductivité (µS/cm), le pH, la concentration en oxygène (mg/L) et la saturation en oxygène (%) afin d'établir des conditions environnementales de base lors de la prise d'échantillonnage (Tableau 7). Ces données sont prises à partir d'une multisonde de type YSI.

Tableau 7. Moyennes des résultats obtenus à chacune des stations pour les données prises avec la sonde YSI

Station	Température (°C)	Conductivité (µS/cm)	Conductivité (µS/cm)	pH	Oxygène dissous (%)	Oxygène dissous (mg/L)	Profondeur maximum (cm)
BA1	17,11	741,80	606,40	7,28	79,76	7,88	27,50
BA2	19,91	1687,00	1528,25	7,37	81,88	7,43	28,25
ED1	12,84	887,50	666,00	7,25	64,95	6,98	5
ED2	12,42	835,00	620,00	7,45	88,55	9,43	5
LR1	18,11	995,00	844,40	7,52	91,00	8,81	20,00
LR2	18,15	969,00	787,75	7,21	103,93	9,78	11,67
PR1	20,19	490,20	432,00	8,04	121,66	10,92	-

Légende : BA = Bellefroid-Archambault, ED = Edwin, LR = Louis-Rocheleau, PR = rivière aux Brochets, 1 = amont, 2 = aval

Il importe de noter certaines limites en lien avec l'obtention des données ayant servi à produire ces résultats. D'abord, pour le ruisseau Edwin, le seul moment où il a été possible de récolter des échantillons en 2021 est le mois de juin, puisque tout le reste de la saison, le ruisseau était asséché ou présentait un niveau d'eau trop faible pour procéder à la prise de données. Le point d'échantillonnage en amont (ED1) a aussi dû être légèrement déplacé du point initial afin de pouvoir échantillonner là où il y avait suffisamment d'eau (ED1-juin). Aussi, au mois de septembre, les travaux de l'autoroute ont fait en sorte que l'agente de recherche du laboratoire de Yves

Prairie n'a pas pu procéder à la prise d'échantillons à la station LR2, ce qui explique l'absence de données pour cette station. Les échantillons de la station LR1 (LR1-sept) ont été pris en amont du chantier de l'autoroute. La station BA2, quant à elle, a dû être échantillonnée davantage en amont comparativement aux autres mois : en effet, en raison de déversements en lien avec les travaux au niveau de l'emplacement habituel de BA2 (Figure 21).

Il a été remarqué, lors des visites, que le ruisseau Bellefroid-Archambault comportait beaucoup de lentilles d'eau en août et en septembre. À la station de prise de données en amont de la rivière aux Brochets, quelques *blooms* de cyanobactéries ont pu être observés au mois de septembre 2021. Ce genre d'observations met en évidence la surcharge en nutriments (phosphore, azote) qui est présente dans ces deux milieux hydriques (Conley *et al.*, 2009). À cet effet, les valeurs de phosphore présentées au Tableau 6 permettent de qualifier tous les milieux échantillonnés comme étant eutrophisés (30-100 µg P/L) à l'exception du ruisseau Bellefroid-Archambault, qui lui, est plutôt hypereutrophe (> 100 µg P/L) (Wetzel, 2001).

Les analyses ont aussi mis en évidence que certains ruisseaux, comme Bellefroid-Archambault, avaient des valeurs de conductivité considérablement plus élevées, ce qui pourrait être dû à la présence de grandes quantités de sels minéraux, de CH₄ et/ou de contaminants (Wetzel, 2001 ; Mewafy *et al.*, 2013). De plus, certains échantillons ont dû être dilués au moment des analyses (échantillons d'azote, de carbone inorganique dissous, de phosphore et de gaz dissous).

Finalement, en ce qui concerne les concentrations de gaz dissous, les mesures de CO₂ (127-530 µmol/L) nous permettent de constater que les trois ruisseaux sont des sources de GES pour l'atmosphère ; les valeurs sont beaucoup plus élevées en comparaison avec les conditions naturelles observées dans d'autres régions du Québec (Campeau *et al.*, 2014 ; Rasilo *et al.*, 2014) et même qu'avec des ruisseaux plus impactés par l'humain au Wisconsin (Crawford & Stanley, 2016). Dans le cas du CH₄ dissous, les concentrations (1,5-2,9 µmol/L) retrouvées dans ED, LR et PR sont en général plus basses que celles du milieu boréal naturel et des ruisseaux du Wisconsin, alors que les concentrations de BA sont équivalentes (5,5-13,5 µmol/L).

Des données additionnelles sur les isotopes du carbone dans le CH₄ et le CO₂ ont également été récoltées au moment de la prise de données. Celles-ci pourront potentiellement servir à analyser l'évolution du carbone aquatique en permettant d'observer tout changement dans les signatures isotopiques, en particulier concernant l'oxydation du méthane dans le milieu aquatique et l'origine du CO₂ (eaux souterraines ou minéralisation de la matière organique).

4. SUIVIS FAUNIQUES

C'est par le volet reboisement permettant l'élaboration de structures attrayantes pour la faune que le volet faunique pourra atteindre ses cibles. Notamment, les changements attendus en lien avec cette diversité structurale (richesse et abondance des arbres et herbacées) devraient se traduire par une augmentation de la faune observée entre l'année 2020 et l'année 2033, observable par une hausse de l'abondance et de la diversité (avifaune, herpétofaune, mammifères, chiroptères et pédofaune) (voir ANNEXE A.4). Ainsi, les mesures quantitatives récoltées lors des suivis portent principalement sur l'observation des espèces fauniques et l'analyse de leur présence dans le secteur en fonction des différents milieux.

4.1. Avifaune

L'avifaune inclut les oiseaux présents dans un même écosystème. Ces derniers participent à divers services écosystémiques d'une grande importance, notamment en pollinisant les plantes et en aidant à la dispersion des graines (Whelan *et al.*, 2015). De plus, par leur grande mobilité, les oiseaux peuvent également servir d'indicateur de ressources et ainsi témoigner du succès de la forêt qui sera créée (Sekercioglu *et al.*, 2016).

4.1.1. Méthodologie

Le suivi de l'avifaune a été fait par écoute et par observation de la présence d'individus à différentes stations d'échantillonnage à raison de cinq jours par semaine, de la mi-mai à la mi-juillet (Figure 22). Le réseau des points d'écoute a été établi de manière à évaluer l'effet des différentes routes et de la proximité des boisés dans la région. Les stations disposées seront suivies durant le projet.

Au fil des années, ces analyses permettront d'observer les changements dans la composition des espèces; par exemple, la présence de jeunes oiseaux pourra servir d'indicateur du succès de reproduction. De plus, puisque les individus composant l'avifaune sont des groupes mobiles, ceux-ci pourront servir d'indicateur de succès quant à nos plantations et au rôle fonctionnel que celles-ci jouent dans la connectivité entre les habitats (voir ANNEXE A.4).

Une méthode d'écoute passive a donc été mise en place. Des enregistreurs acoustiques de type SM4 (marque *Wildlife acoustics*) ont été déployés de façon à couvrir toutes les portions boisées du site, mais aussi des zones témoins comme le montre la Figure 22 ci-dessous.

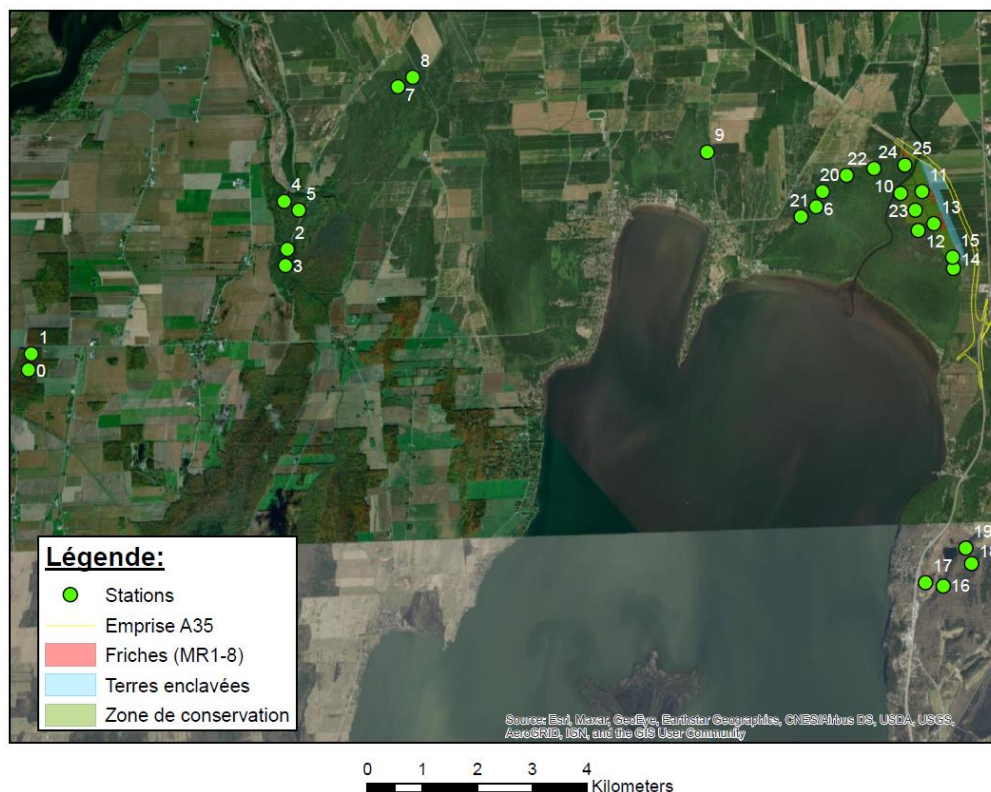


Figure 22. Localisation des stations d'échantillonnage où se situent les enregistreurs acoustiques (SM4) utilisés pour l'écoute des chants d'oiseaux et d'anoures

Légende : l'identification des stations d'échantillonnage et leur chiffre respectif peuvent être trouvés en se référant au Tableau 9.

En plus du déploiement d'enregistreurs acoustiques, deux techniciens ont réalisé des points d'écoute et de l'observation active aux stations d'échantillonnage. L'utilisation de ces deux stratégies permet de reconnaître des chants d'oiseaux en temps réel, mais aussi d'observer le sexe et/ou l'âge des individus ainsi que certains indices de nichage. Les techniciens ont également provoqué des observations auditives et visuelles en faisant jouer des bandes audios de houspillage sur le terrain.

Les stations ont été sélectionnées de façon à couvrir différents types de milieux. D'abord, des transects ont été définis à partir desquels une ou deux stations ont été installées. Des stations installées en bordure de lisières (+/- 100 m de profondeur dans la forêt) ont permis l'écoute des espèces occupant les lisières, mais aussi des espèces qui occupent les champs ou les friches. Ensuite, une deuxième station a été installée plus profondément dans la forêt (400 m et plus de profondeur) afin de capter l'enregistrement des oiseaux forestiers. Indépendamment de la profondeur à laquelle étaient installées les stations, deux types d'écosystèmes ont été prioritaires, soit les milieux forestiers et les milieux mixtes. Les milieux mixtes se définissent par la présence de milieux humides à proximité des stations. Ceci a permis de

capter les espèces aviaires plus propices aux milieux humides, mais aussi d'apparier les stations d'enregistrement de l'avifaune et de l'herpétofaune pour ainsi limiter le nombre d'appareils déployés. La liste des différentes stations déployées peut être consultée à l'Annexe A.5. Au total, 26 stations d'échantillonnage ont été installées.

4.1.2. Résultats

Plusieurs espèces différentes ont pu être observées lors de l'échantillonnage qui a eu lieu durant l'été 2021. D'abord, il faut savoir que les résultats présentés sont ceux obtenus par l'écoute et l'observation actives, et qu'au total, 52 espèces d'oiseaux différentes ont été entendues ou observées.

Les espèces le plus susceptibles d'être observées ou entendues, toutes stations confondues, sont la mésange à tête noire (*Poecile atricapilla*), le pioui de l'Est (*Contopus virens*) et le bruant chanteur (*Melospiza melodia*) avec, respectivement, 81 %, 76 % et 72 % de probabilités d'observation (Tableau 8). Il est à noter que le pioui de l'Est est une espèce classée « préoccupante » selon le Comité sur la situation des espèces en péril au Canada (COSEPAC, 2012). Les espèces qui ont été observées le moins souvent sont le bruant à gorge blanche (*Zonotrichia albicollis*), la grive solitaire (*Catharus guttatus*), le jaseur d'Amérique (*Bombycilla cedrorum*), le moqueur chat (*Dumetella carolinensis*), la petite buse (*Buteo platypterus*) et l'urubu à tête rouge (*Cathartes aura*), toutes associées à un pourcentage d'occurrence de 1 % (Tableau 8).

Tableau 8. Taux d'occurrence d'une espèce donnée par station, calculé à partir de la fréquence d'observation (auditive ou visuelle)

Taux d'occurrence des espèces/station			
Bernache du Canada	3 %	Oriole de Baltimore	58 %
Bruant chanteur	72 %	Paruline couronnée	3 %
Bruant à gorge blanche	1 %	Paruline flamboyante	29 %
Bruant des marais	50 %	Paruline à flancs marron	8 %
Buse à queue rousse	4 %	Paruline jaune	18 %
Carouge à épaulettes	65 %	Paruline masquée	9 %
Cardinal rouge	12 %	Paruline des ruisseaux	59 %
Chardonneret jaune	29 %	Petite buse	1 %
Corneille d'Amérique	33 %	Pic chevelu	12 %
Coulicou à bec noir	5 %	<u>Piranga écarlate</u>	9 %
Geai bleu	23 %	<u>Pioui de l'Est</u>	76 %
<u>Grive des bois</u>	12 %	Pic flamboyant	23 %
<u>Grimpereau brun</u>	32 %	Pic maculé	59 %
Grand corbeau	3 %	Pic mineur	41 %
Grive fauve	46 %	<u>Pic à ventre roux</u>	5 %
Grand pic	6 %	Pluvier kildir	9 %
Grive solitaire	1 %	Quiscale bronzé	4 %
Hirondelle bicolore	6 %	Sitelle à poitrine blanche	36 %
Jaseur d'Amérique	1 %	Tourterelle triste	21 %
Merle d'Amérique	40 %	Troglodyte familial	45 %
Mésange à tête noire	81 %	Tyran huppé	5 %
Moucherolle des aulnes	4 %	Tyran tritri	3 %
Moqueur chat	1 %	Urubu à tête rouge	1 %
Moucherolle des saules	5 %	Vacher à tête brune	8 %
Moucherolle tchébec	14 %	Viréo mélodieux	40 %
Martin-pêcheur d'Amérique	42 %	Viréo aux yeux rouges	56 %

Légende : les espèces soulignées sont des espèces avec un statut de précarité, dont les populations sont en diminution, rares ou peu communes selon leur aire de répartition.

Quant aux stations d'échantillonnage, certaines d'entre elles ont affiché une richesse plus élevée que d'autres (Tableau 9) : c'est le cas des stations L-forêt et L-lisière, où il a été possible d'observer respectivement 30 % et 29 % des 52 espèces recensées. Les deux stations avec la richesse la plus faible sont les stations N-forêt (16 %) et C-forêt (20 %).

Tableau 9. Taux de la richesse spécifique à chaque station, calculé en fonction de la fréquence d'observation et du nombre total d'espèces observées

Taux de la richesse/station					
C-forêt (0)	20 %	H-lisière (9)	27 %	N-forêt (18)	16 %
C-lisière (1)	21 %	J-forêt (10)	24 %	N-lisière (19)	21 %
E-forêt (3)	21 %	J-lisière (11)	22 %	P-lisière (20)	22 %
E-lisière (2)	22 %	K-forêt (12)	24 %	Q-lisière (21)	24 %
F-forêt (4)	21 %	K-lisière (13)	24 %	W-lisière (22)	26 %
F-lisière (5)	25 %	L-forêt (14)	29 %	X-forêt (23)	27 %
Francine-3 (6)	22 %	L-lisière (15)	30 %	Y-lisière (24)	21 %
G-forêt (7)	27 %	M-forêt (16)	22 %	Z-lisière (25)	29 %
G-lisière (8)	24 %	M-lisière (17)	23 %		

Légende : le numéro entre parenthèses après le nom de la station représente le numéro affiché sur la carte à la Figure 22.

Cette première année de suivi a donc permis de déterminer les espèces présentes dans le secteur et la richesse spécifique à chacune des stations échantillonnées. Pour les années à venir, ces points d'écoute, de même que les nouveaux points qui seront installés à proximité des lieux restaurés, permettront de témoigner des changements de composition et de l'évolution des populations aviaires dans le temps. Ainsi, il sera intéressant d'observer la réponse des oiseaux en termes de colonisation des lieux : cela permettra de déterminer si le site restauré comporte les caractéristiques structurales recherchées qui se trouvent dans la forêt adjacente (Ruiz-Jaén & Aide, 2005).

4.2. Herpétofaune

L'herpétofaune comprend les amphibiens (anoures et salamandres) et les reptiles (couleuvres et tortues). Ces individus sont une composante importante au sein d'un écosystème, car ils agissent à titre de bio-indicateurs de l'environnement (Lindenmayer *et al.*, 2000 ; USGS, 2004). En effet, dû à leur sensibilité à plusieurs stress environnants, tels que les contaminants, la pollution sonore et les espèces exotiques envahissantes, leur présence permet de refléter l'état de santé d'un écosystème (USGS, 2004; Sun & Narins, 2005; Nunes *et al.*, 2019). De plus, il s'agit d'un des premiers groupes fauniques à recoloniser un milieu nouvellement renaturalisé (Palis, 2007), ce qui nous offre un indice important quant au succès du milieu qui sera restauré. Précisément, les anoures, les salamandres et les couleuvres seront les principaux taxons qui seront suivis pour ce volet afin d'analyser tout changement dans la composition de ces populations dans le temps (voir ANNEXE A.4).

4.2.1. Méthodologie

Deux types d'observations ont servi aux analyses portant sur la présence de l'herpétofaune dans le secteur, soit visuellement à l'aide de refuges artificiels et par points d'écoute avec des enregistreurs acoustiques. Ces suivis permettront de réaliser une analyse des changements dans la composition des populations au fil du temps (voir ANNEXE A.4).

D'abord, la présence des différentes espèces d'amphibiens et de reptiles (essentiellement des salamandres et des couleuvres) a été évaluée à l'aide de refuges artificiels disposés dans les friches, dans la forêt et dans les terres agricoles (Figure 23), ce qui permettra une comparaison entre l'herpétofaune présente dans le milieu forestier de référence et celle présente dans le milieu à restaurer. Ces refuges offrent une méthode d'échantillonnage passive, c'est-à-dire qu'ils permettent de recréer un habitat naturel pour ces espèces.

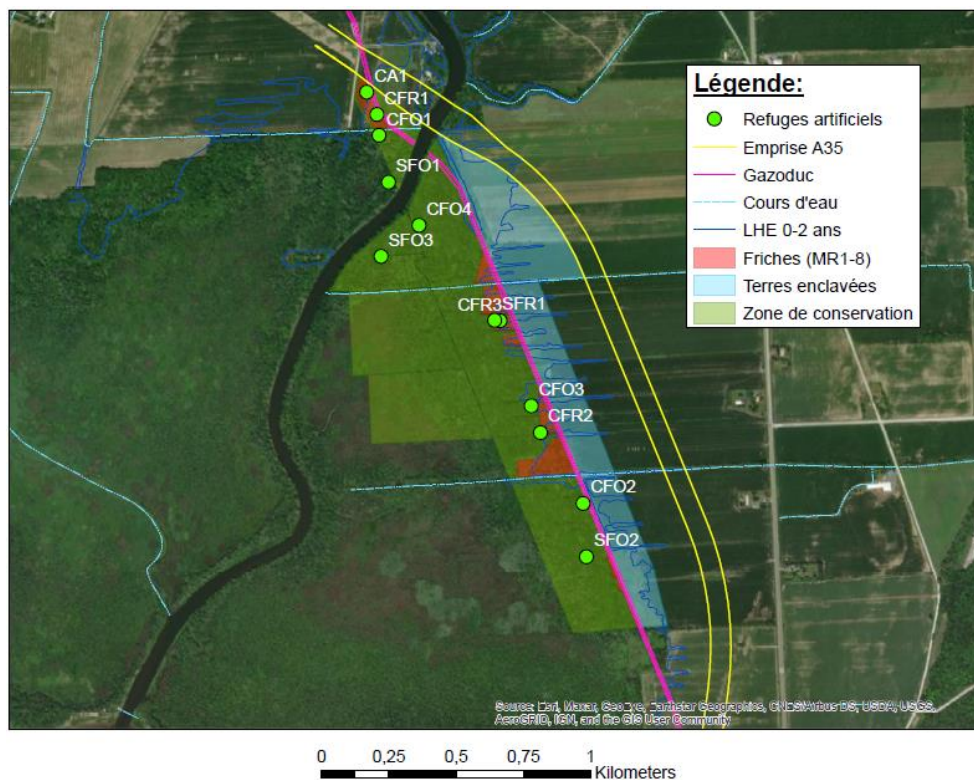


Figure 23. Cartographie représentant la localisation des différents refuges artificiels pour les reptiles et les amphibiens

Légende : CA = couleuvres, agricole; CFR = couleuvres, friche; CFO = couleuvres, forêt; SFO = salamandres, forêt; SFR = salamandres, friche

La majorité des refuges artificiels ont été installés entre le 7 et le 10 juin 2021. Comme illustré à la Figure 23, trois grilles de refuges de salamandres ont été déployées dans le milieu forestier de référence, et une autre a été installée dans le milieu de friche à restaurer. Trois groupes de

refuges de couleuvres ont été installés dans les friches qui seront restaurées, quatre groupes ont été installés dans le milieu forestier de référence, et un groupe de refuges a été installé dans le milieu agricole à restaurer. Toutefois, deux groupes de refuges de couleuvres et trois grilles de refuges de salamandres n'ont pas pu être installés dans le milieu agricole à restaurer, puisque celui-ci était toujours cultivé en 2021. Ces refuges pourront être installés au printemps 2022 lorsque les activités agricoles auront cessé. Les visites d'observation de ces refuges ont été faites à trois périodes, soit le 12 juillet 2021, le 11 août 2021 et les 6 et 8 octobre 2021. Les observations ont été faites en soulevant les refuges pour déceler la trace d'individus d'herpétofaune présents.

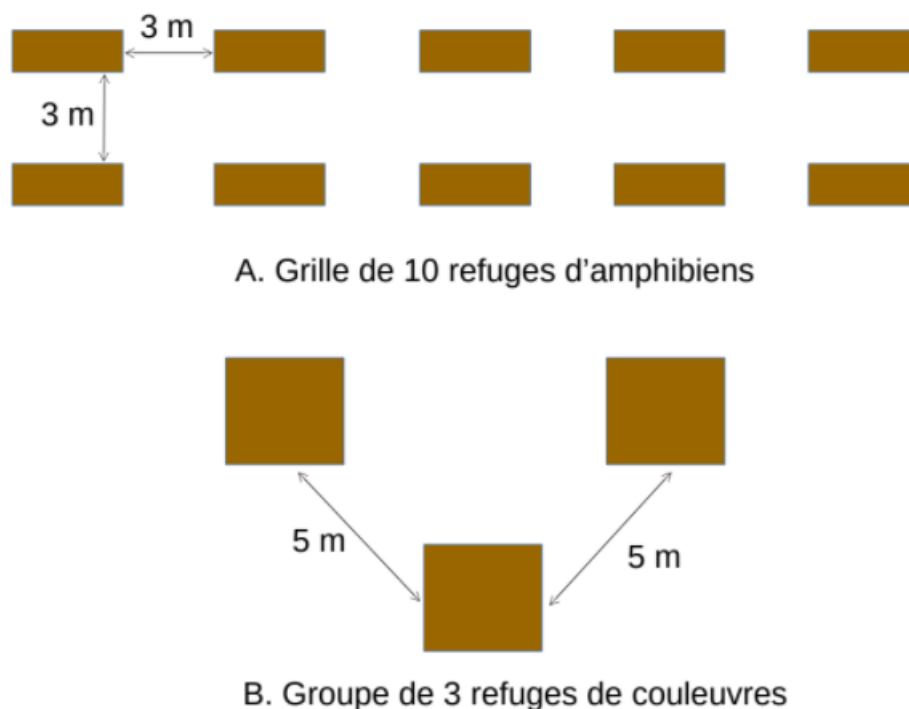


Figure 24. Disposition des 10 refuges artificiels de salamandres dans une grille (A) et des groupes de trois refuges artificiels de couleuvre (B)

À noter que le schéma n'est pas à l'échelle

La Figure 24 ci-dessus montre la disposition et la configuration des refuges artificiels en tenant compte du taxon étudié. Pour les amphibiens, ce sont les salamandres qui étaient principalement visées. Les refuges étaient constitués de planches d'épinette non traitées de 5 cm x 25 cm x 25 cm. Ces refuges ont été organisés en grilles rectangulaires de 10 planches (2 x 5) en maintenant une distance de 3 m entre les refuges adjacents d'une même grille. Les grilles ont été disposées à au moins 100 m les unes des autres et installées dans des endroits semblant relativement humides, ombragés et comportant des mousses (Figure 25). Pour finir, lorsque possible, des feuilles mortes ou autres débris organiques ont été posés sur ces abris pour favoriser l'humidité du bois.



Figure 25. Exemple d'un refuge pour salamandre posé en milieu forestier

Pour les reptiles, ce sont les couleuvres qui étaient principalement visées; les refuges ont donc été placés en plein soleil lorsque possible (Figure 26). Ces refuges artificiels étaient faits de contreplaqués d'épinette non traités de 1 cm d'épaisseur x 122 cm x 122 cm. Les refuges de couleuvres ont été disposés en groupe de trois en maintenant une distance de 5 m entre les refuges d'un même groupe (Figure 24). Les refuges ont été installés dans des trouées dans le milieu forestier de référence et dans le milieu à restaurer; cinq groupes de trois refuges de couleuvres ont été déployés dans chaque milieu. Les groupes de refuges étaient séparés par au moins 200 m.



Figure 26. Exemple d'un refuge pour couleuvres posé dans les friches

Dans un deuxième temps, une écoute des anoures présentes dans les différents milieux a été effectuée en utilisant les mêmes enregistrements que ceux de l'avifaune (section 4.1) dans le but de pouvoir arrimer les résultats. Cette étape permettra de noter la présence des différentes espèces d'anoures dans le secteur. La localisation des enregistreurs sur le territoire est visible à la Figure 22. Un total de 26 enregistreurs acoustiques SM4 ont été déployés entre le 25 mai 2021 et le 4 juin 2021 dans des milieux forestiers et dans des lisières de forêt du site de Pike River ainsi que des milieux environnants similaires, mais en dehors des immeubles du MTQ. Un gradient de distance des routes existantes permettra avec le suivi temporel d'évaluer l'effet des routes (bruit) sur les anoures. Les enregistreurs acoustiques ont été programmés pour enregistrer chaque jour pendant des plages horaires appropriées pour détecter les anoures (rainettes, crapauds et grenouilles) à raison de 3 minutes d'enregistrement à 14 h 00, 15 h 00, 20 h 00, 21 h 00, 22 h 00, 23 h 00, 00 h 00 et 01 h 00 jusqu'à la mi-juillet. Les fichiers d'enregistrements ont été stockés sur des disques durs avec plusieurs copies de sauvegarde et ont été envoyés à l'équipe Mazerolle à la fin novembre 2021. Ces fichiers seront analysés à l'hiver 2022.

Pour les tortues, ce sont les caméras de chasse disposées dans les différents milieux humides qui serviront à vérifier leur présence (section 4.3.1). Ces suivis seront faits de la fin du mois d'avril jusqu'à la fin du mois de septembre. Selon les informations récoltées, il sera possible d'établir la présence de différentes espèces de tortues dans le secteur. Ces données seront complémentaires aux données récoltées par DDM.

4.2.2. Hypothèses

Deux hypothèses sont présentement envisagées par le chercheur Marc Mazerolle pour le volet herpétofaune :

- La première hypothèse suppose que la restauration du milieu forestier favorisera l'établissement d'espèces d'amphibiens et de reptiles retrouvées en milieu forestier. À cet égard, ses prédictions sont que les sites restaurés seront colonisés par des espèces utilisatrices de débris ligneux au sol.
- La seconde hypothèse tient pour compte que la construction de l'autoroute 35 engendrera des changements dans les communautés d'amphibiens, particulièrement dans les premières années suivant la construction et l'ouverture de l'autoroute à la circulation de véhicules. En ce sens, ses prédictions sont que les impacts de l'autoroute se manifesteront davantage dans les premières années, et que la différence avec les sites de référence s'amenuisera dans les années subséquentes.

4.2.3. Résultats

En 2021, aucune espèce de salamandre ou de couleuvre n'a été observée en soulevant les refuges artificiels. Il est cependant possible qu'un temps d'acclimatation soit nécessaire pour que les abris deviennent davantage attrayants et semblent naturels pour cette faune. Durant les prochaines années de suivi de ces refuges, des mesures des conditions environnementales, comme l'humidité, la température et l'heure de l'échantillonnage, pourront être prises afin d'appuyer les observations qui seront faites (Eekhout, 2010).

En ce qui concerne l'écoute de l'herpétofaune, le déploiement des enregistreurs en 2021 a été fait tardivement par rapport à la période de reproduction de plusieurs espèces d'amphibiens, telles que la rainette crucifère (*Pseudacris crucifer*), la rainette faux-grillon (*Pseudacris triseriata*), la grenouille des bois (*Lithobates sylvaticus*) et le crapaud d'Amérique (*Anaxyrus americanus*), qui se reproduisent peu de temps après la fonte des neiges. Ces espèces seront donc sous-représentées dans les enregistrements de 2021. En 2022, il sera important de déployer les enregistreurs dès la fonte des neiges pour permettre de détecter ces différentes espèces, en plus des espèces qui se reproduisent plus tard dans la saison comme la grenouille verte (*Pelophylax lessonae*), la grenouille léopard (*Lithobates pipiens*) et le ouaouaron (*Lithobates catesbeianus*). Puisque les analyses des points d'écoute sont toujours en cours, aucun résultat n'est disponible pour le moment. Ceux-ci seront disponibles à la fin juin 2022.

4.3. Mammifères terrestres

Le sud du Québec abrite la plus grande diversité faunique de la province et subit aussi les plus grandes pressions de modification d'habitats, notamment par l'industrialisation et la construction (Maisonnette & Rioux, 2001). Les mammifères font donc partie intégrante de la richesse de la biodiversité pouvant être observée dans ce secteur, incluant des espèces à statut. Puisque l'un des objectifs du projet est la création d'habitats bénéfiques pour la faune, incluant celle à statut, le suivi des mammifères dans les milieux forestiers et de compensation permettra d'offrir des données quant au rétablissement de celle-ci et au succès de reboisement.

4.3.1. Méthodologie

Des caméras de chasse (modèle *Spypoint Solar Dark*) ont été déployées de part et d'autre du site afin de permettre l'observation des mammifères présents dans les différents milieux. Cette disposition a été faite de sorte à couvrir tous les types de milieux présents, soit : trois caméras dans la forêt; quatre dans les friches (MR6, MR7, MR8A); une aux abords d'un champ agricole; deux au bord des ruisseaux (Edwin, Bellefroid-Archambault); deux au bord de la rivière aux Brochets; une à proximité de la plus grande étendue de roseau commun; et deux près de marais de quenouilles (Figure 27). Ce suivi permettra d'obtenir des mesures quantitatives grâce aux observations de mammifères faites à l'aide de capture photos et d'analyser les changements dans la composition des communautés entre l'année 2020 et l'année 2033 (voir ANNEXE A.4)

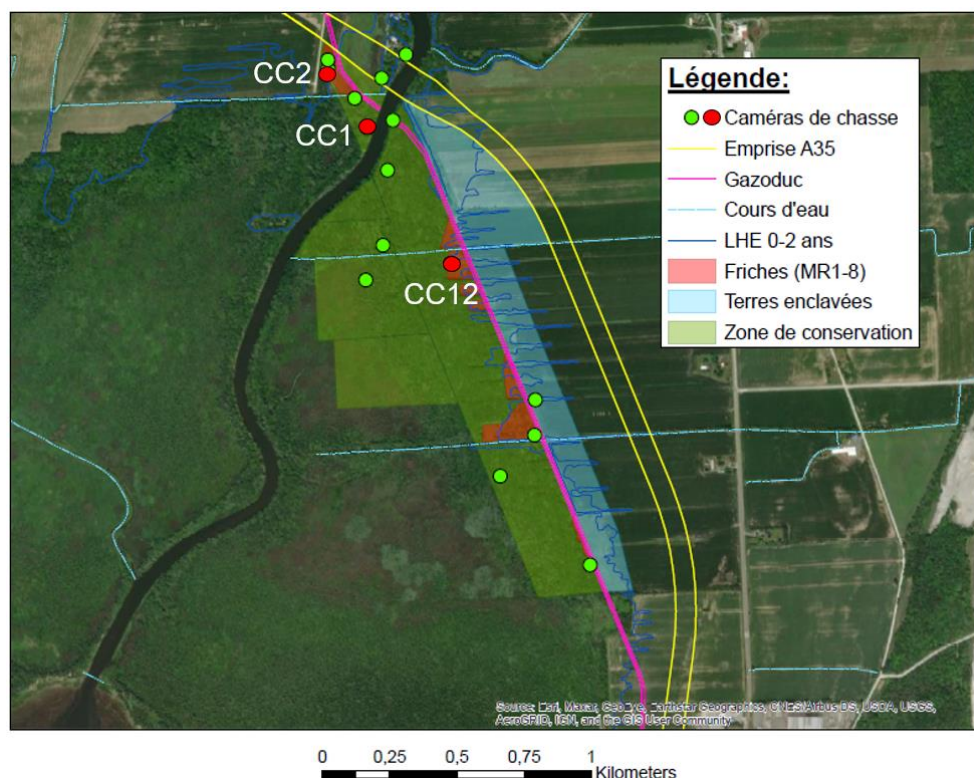


Figure 27. Localisation des caméras de chasse installées sur les terres du MTQ

Légende : les caméras de chasse identifiées en rouge correspondent aux points d'observation ayant servi à faire l'analyse préliminaire en 2021.

4.3.2. Résultats

Des analyses préliminaires ont été effectuées en 2021 avec les captures photos recueillies par trois différentes caméras de chasse disposées dans les trois milieux d'intérêt principal pour le reboisement : forestier (CC1), agricole (CC2) et friche (CC12) (Figure 28).



Figure 28. Exemples de station d'observation avec les caméras de chasse disposées dans les différents milieux

Légende : a) en milieu forestier (CC1); b) en milieu agricole (CC2); c) en friche (CC12)

Une séquence de détection correspond à une image ou une série d'images présentant le ou les mêmes individus dans une séquence particulière, tandis que le décompte correspond au nombre total d'observations de chaque

espèce. Ce nombre ne correspond donc pas à la quantité totale d'individus qui peuvent être présents dans le secteur. Ainsi, cette analyse offre plutôt un aperçu de l'abondance et de la richesse présentes. Les résultats des observations sont présentés en fonction des différents milieux dans le Tableau 10 ci-dessous.

Tableau 10. Décompte des différents individus fauniques observés par milieu

Milieu	Nombre de séquences de détection	Décompte d'individus/espèce					Total d'observations par milieu
		Cerf de Virginie	Raton laveur	Renard roux	Chat domestique	Inconnus	
Forestier (CC1)	4	3	0	0	0	1	4
Agricole (CC2)	78	73	3	3	1	5	85
Friche (CC12)	84	113	3	0	0	6	122
Observations totales	166	189	6	3	1	12	211
Taux d'observation des espèces/milieu							
Forestier (CC1)		75 %	0 %	0 %	0 %	25 %	1,9 %
Agricole (CC2)		85,9 %	3,5 %	3,5 %	1,2 %	5,9 %	40,3 %
Friche (CC12)		92,6 %	2,5 %	0 %	0 %	4,9 %	57,8 %

Pour tous les milieux confondus, quatre espèces de mammifères ont été repérées avec certitude, soit le cerf de Virginie (*Odocoileus virginianus*), le raton laveur (*Procyon lotor*), le renard roux (*Vulpes vulpes*) et le chat domestique (*Felis silvestris catus*). Un total de 12 autres individus fauniques ont également été observés, sans toutefois pouvoir être identifiés, soit en raison de la présence d'obstacles, de leur mouvement, de leur position ou encore du manque de luminosité. Ces derniers ont donc été catégorisés comme étant « inconnus ».

Le milieu forestier est l'endroit ayant eu le taux d'observation le plus faible, avec seulement 1,9%. L'analyse de la station CC1 a permis d'observer trois cerfs de Virginie et un animal inconnu, pour un total de quatre observations. Le milieu agricole et la friche présentent les milieux les plus fréquentés avec des taux d'observations de 40,3 % et 57,8 % respectivement. En milieu agricole, la station CC2 a permis de détecter 73 observations de cerfs de Virginie, 3 de rats laveurs, 3 de renards roux, ainsi que 5 d'animaux inconnus. Finalement, la station CC12 en friche nous a permis d'observer 113 fois le cerf de Virginie (Figure 29), 6 fois le raton laveur et 6 fois des animaux non identifiables.



Figure 29. Capture photographique d'un cerf de Virginie à la station CC12

Somme toute, ces analyses préliminaires ont mis en évidence la forte présence du cerf de Virginie dans le secteur. En effet, cette espèce constitue le plus haut taux d'observation dans tous les milieux confondus. En ce qui concerne le raton laveur, malgré un nombre relativement limité d'observations, celles-ci ont été partagées également entre les milieux agricoles et en friche. Le renard roux et le chat domestique n'ont quant à eux été observés qu'en milieu agricole.

Des analyses ultérieures des caméras de chasses posées aux autres stations permettront ultimement d'identifier de nouvelles espèces fauniques présentes dans le secteur et de mieux caractériser l'utilisation par la faune des différents milieux.

4.4. Chiroptères

Les chiroptères sont un ordre de mammifères qui regroupe toutes les chauvesouris. Ces animaux sont d'une grande importance au sein des écosystèmes, car ils jouent un rôle influent dans la chaîne trophique et aident au contrôle d'insectes nuisibles en plus d'être des espèces parapluies¹ (Jones et al., 2009; U.S. Fish and Wildlife Service, 2020). Par ailleurs, les

¹ Espèces dont la niche écologique permet la protection de plusieurs autres espèces animales ou végétales.

chiroptères répondent rapidement aux modifications de l'environnement, ce qui fait d'elles des bio-indicateurs pertinents (Jones *et al.*, 2009; Park, 2015) à étudier dans le cadre de ce projet.

4.4.1. Méthodologie

L'échantillonnage des chiroptères a été fait avec des moniteurs acoustiques de type Anabats munis de micros unidirectionnels et d'enregistreurs SM4. Les stations d'écoute ont été réparties en fonction du futur tracé de l'autoroute 35 afin, entre autres, d'évaluer l'impact du bruit sur ce groupe faunique et de suivre les changements dans la composition des communautés de chauvesouris entre l'année 2020 et l'année 2033 (voir ANNEXE A.4). À l'intérieur des immeubles du MTQ, cinq stations d'écoute ont été installées (Figure 30).

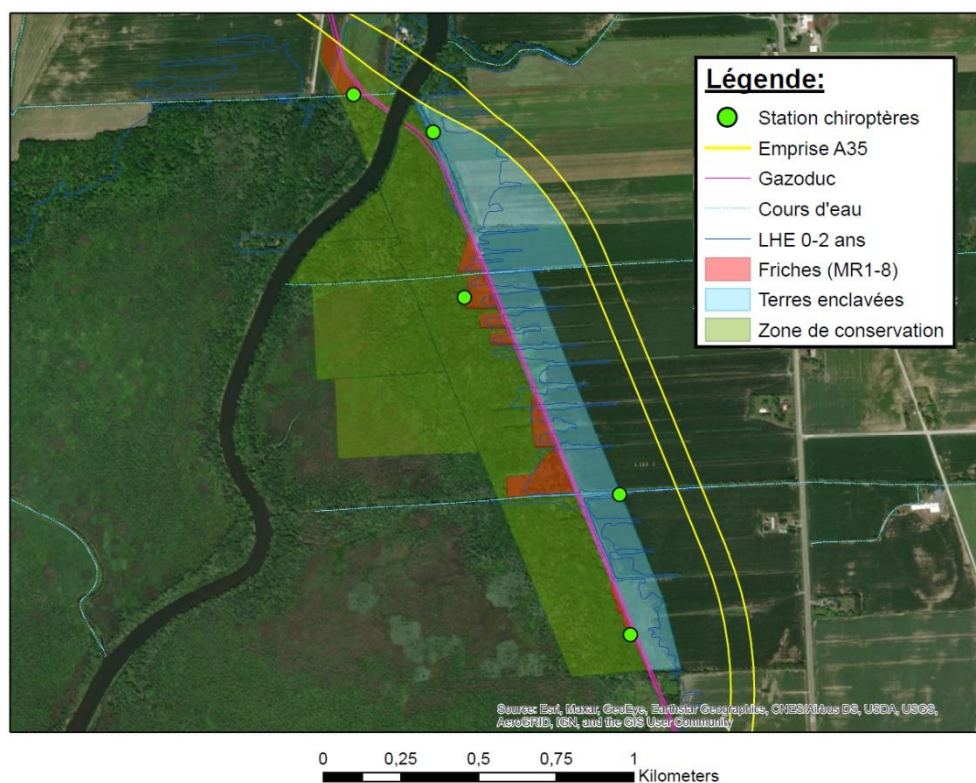


Figure 30. Cartographie de la disposition des stations d'écoute pour les chiroptères

Des résultats préliminaires ont été obtenus à l'aide d'identifications automatiques portant sur l'activité nocturne des différents groupes d'espèces de chauvesouris. Les données utilisées ont été recueillies en fonction de l'effort d'enregistrement des Anabats disposés sur le site du MTQ (Pike River et Saint-Armand), ainsi que sur des sites à proximité du projet (Venise-en-Québec et Philipsburg). Ces enregistrements correspondent donc au nombre de nuits pour lesquelles il y a eu au minimum une détection de chauvesouris dans les différents sites (voir ANNEXE A.6).

4.4.2. Résultats

À la suite d'une analyse, ces résultats ont mis en évidence la présence de six des huit espèces de chauvesouris présentes au Québec, soit :

- Le groupe d'espèces communes : la grande chauvesouris brune (*Eptesicus fuscus*) et le complexe grande brune/argentée;
- Le groupe des chauvesouris migratrices : chauvesouris rousse (*Lasiurus borealis*), chauvesouris cendrée (*Lasiurus cinereus*) et chauvesouris argentée (*Lasionycteris noctivagans*); et
- Le groupe des chauvesouris du genre *Myotis* : contient potentiellement la chauvesouris nordique (*Myotis septentrionalis*), la chauvesouris pygmée (*Myotis leibii*) et la petite chauvesouris brune (*Myotis lucifugus*).

Parmi ces espèces, la petite chauvesouris brune semble être à l'origine de la majorité des détections. Cependant, puisqu'il s'agit d'identification exclusivement automatique (via un logiciel d'intelligence artificielle), ces résultats demeurent préliminaires et devront être validés manuellement (en écoutant les enregistrements). Également, une analyse du calcul de l'effort devra être faite ultérieurement en utilisant aussi les nuits pour lesquelles aucune détection n'a eu lieu.

En ce qui a trait aux données récoltées par station avec les SM4, l'activité nocturne du bruit détectée sur le site du MTQ semble moins importante que celle observée sur les sites des villes adjacentes de Venise-en-Québec (champs agricoles) et de Philipsburg (route 133), ce qui laisse croire que celle-ci devrait augmenter avec la mise en fonction du nouveau tronçon routier.

4.5. Pédofaune

Afin de nous assurer que le projet de restauration du MTQ ne mène pas à une réduction de la biodiversité, nous avons prévu suivre non seulement des indicateurs de la biodiversité plus traditionnels (p. ex., les vertébrés), mais également des groupes tels que les invertébrés et les microbes du sol qui constituent une diversité impressionnante d'organismes souvent oubliés (Bardgett & van der Putten, 2014; Orgiazzi *et al.*, 2016; Cameron *et al.*, 2018). Ces organismes fournissent une panoplie de fonctions écologiques, dont plusieurs en lien avec le cycle de carbone (Handa *et al.*, 2014; Maron *et al.*, 2018; Wagg *et al.*, 2019). À cet effet, une étude récente a montré que dans des communautés de sol plus diversifiées, il est possible d'observer une augmentation significative dans le recyclage des nutriments, la dégradation de la matière morte et la production primaire des végétaux de même qu'une réduction de pathogènes (Delgado-Baquerizo *et al.*, 2020). Ces résultats suggèrent que la perte de la biodiversité dans nos sols peut représenter une menace pour la résilience de nos forêts.

En étudiant la multidiversité et la multifonctionnalité de nos sols à travers le temps (2021-2033), nous aurons un indicateur complémentaire et souvent négligé de la biodiversité. Ainsi, l'échantillonnage et l'analyse de la pédofaune dans le cadre du projet de compensation sont donc indispensables pour témoigner de l'efficacité de la restauration des écosystèmes et de leurs processus.

4.5.1. Méthodologie

En juillet 2021, dans l'anticipation d'un suivi quinquennal qui se déroulera pendant la prochaine décennie, nous avons échantillonné le temps zéro dans 10 sites répartis dans trois types de milieux différents : les milieux agricoles, les friches et les forêts humides (Figure 31). À chacun des sites, nous avons échantillonné les sols en prélevant des carottes de 10 cm de profondeur et de 5,08 cm de diamètre afin d'extraire la mésofaune du sol (collemboles et acariens) (Figure 32). Tous les individus échantillonnés seront dénombrés pour estimer l'abondance par sous-classe (*Collembola* et *Acari*). De plus, les collemboles, qui représentent un bio-indicateur des sols ayant été utilisé dans plusieurs suivis nationaux ou européens (Joimel *et al.*, 2016; George *et al.*, 2017; Joimel *et al.*, 2021), seront identifiés à l'espèce pour les 30 sites en 2021, 2024, 2027 et 2033.

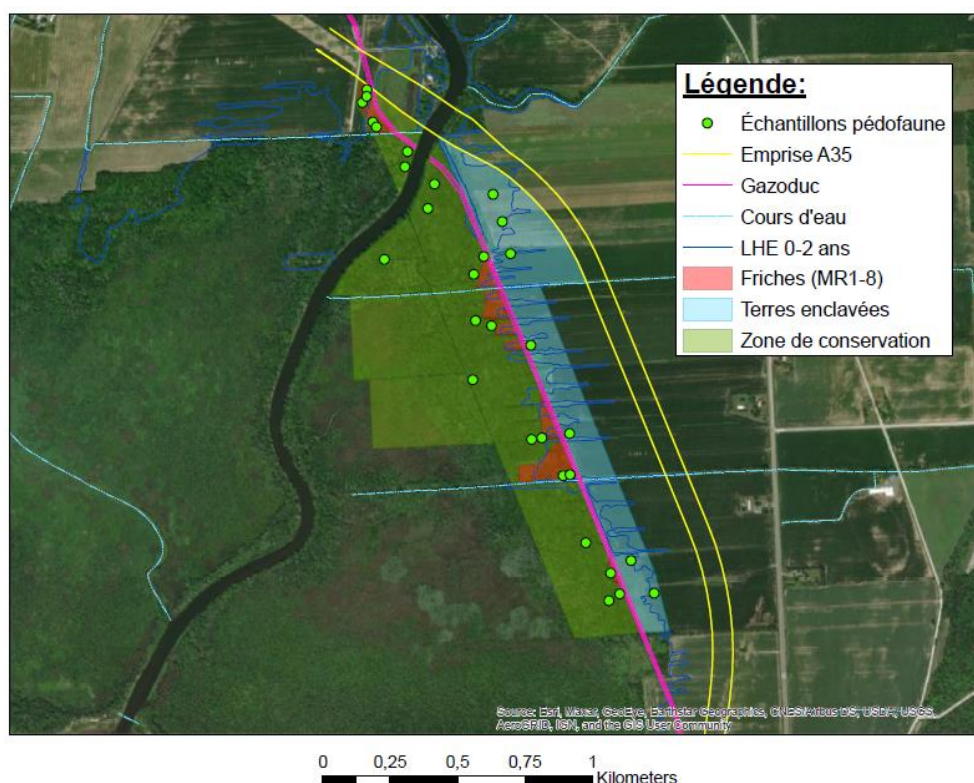


Figure 31. Répartition des points d'échantillonnage de sols pour l'identification de la pédofaune



Figure 32. Échantillonnage de la pédofaune dans le MR6A

Nous avons également échantillonné et congelé des sols en 2021 en anticipant la possibilité d'utiliser des outils génomiques comme le séquençage amplicon à haut débit (Illumina MiSeq) pour calculer une multidiversité des sols. Nous pourrions ainsi déterminer la diversité des procaryotes (taxons cibles : bactéries et archées) et des eucaryotes (taxons cibles : champignons, protistes, nématodes, collemboles, acariens, coléoptères et araignées) qui y vivent. De même, cette méthode génomique nous permettrait de mesurer plusieurs fonctions reliées au recyclage des nutriments, à la décomposition de la matière organique et à la présence de pathogènes dans le sol (Delgado-Baquerizo *et al.*, 2020).

4.5.2. Hypothèses

Selon des études européennes sur différents types d'utilisation du sol, la diversité taxonomique et fonctionnelle des communautés de collemboles est souvent plus importante dans des forêts que sur des terres agricoles (Joimel *et al.*, 2016; Joimel *et al.*, 2021). En ce sens, nous émettons les deux hypothèses suivantes :

- La diversité des collemboles sera maximale dans les forêts, intermédiaire dans les friches et minimale dans les terres agricoles en 2021.
- Avec la transformation des habitats agricoles et des friches en forêt au cours de la prochaine décennie grâce les efforts de restauration, la diversité sera équivalente dans les trois types de milieux en 2033.

Accessoirement, si le travail génomique et fonctionnel est accompli dans les prochaines années, cela nous permettra de tester une troisième hypothèse qui découle des travaux de Delgado-Baquerizo *et al.*, (2020), soit :

- La multidiversité du sol aura une relation positive avec la multifonctionnalité des sols.

4.5.3. Résultats

Pour le moment, aucun résultat d'analyse n'est encore disponible. Cependant, pour les analyses des résultats à venir, il faudra prendre en considération que les échantillons de sol de 2021 ont été récoltés après une période de canicule, ce qui pourrait venir influencer notamment la diversité de la pédofaune qui sera observée en général (Coyle *et al.*, 2017). C'est pourquoi les mesures du taux d'humidité du sol prises pour chaque parcelle et présentées au Tableau 11 permettront de mieux interpréter les données récoltées étant donné que, pour la pédofaune, l'eau est un facteur primordial influençant sa diversité, sa richesse, son abondance et son uniformité (Coyle *et al.*, 2017; Fialho *et al.*, 2021).

Tableau 11. Taux d'humidité (%) moyen mesuré par parcelle d'échantillonnage dans les différentes zones

Zone	Agricole									
Parcelle	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10
Taux (%) d'humidité	32,9	13,5	13,8	15,9	19,3	11,9	19,7	18,5	28,6	31,1
Zone	Friche									
Parcelle	FR1	FR2	FR3	FR4	FR5	FR6	FR7	FR8	FR9	FR10
Taux (%) d'humidité	18,9	21,7	14,8	25,8	22,4	36,7	32,4	24,7	22,5	34,8
Zone	Forestière									
Parcelle	FO1	FO2	FO3	FO4	FO5	FO6	FO7	FO8	FO9	FO10
Taux (%) d'humidité	15,3	17,5	30,7	18	19	20,5	18,5	20,8	28,6	25,3

5. GESTION DES EVEC OU NUISIBLES

Le contrôle des EVEC ou nuisibles vise à éliminer ces dernières du territoire, lorsque cela est possible, afin que leur présence représente ultimement moins de 2 % de la superficie de la zone d'étude. En ce sens, les mesures quantitatives permettant d'évaluer le succès associé aux efforts de contrôle incluent entre autres : le suivi des superficies recouvertes par les EVEC et leur densité à l'échelle du territoire du projet; et l'évaluation de leur abondance par m² dans les secteurs où elles sont présentes (voir ANNEXE A.4).

Lors des opérations de contrôle des EVEC ou nuisibles en 2021, seules celles représentant une menace à la survie et à la croissance des transplantations ont été prises en charge, soit : le roseau commun et les autres espèces nuisibles exotiques ou indigènes présentes dans les quadrats, comme la lysimaque nummulaire et le haricot de terre.

5.1. Méthodes de gestion contre le roseau commun

Parmi les EVEE présentes dans les terres enclavées, le roseau commun (*Phragmites australis* sp. *australis*), appelé communément « phragmite », est reconnu depuis longtemps comme une espèce nécessitant que des mesures soient prises pour lutter contre sa propagation (Hazelton *et al.*, 2014). Les méthodes employées jusqu'à présent contre le phragmite au sein du projet comportent : un pliage manuel, un pliage mécanique, une coupe par débroussaillage ainsi qu'un labour du sol à deux profondeurs. Il s'agit de méthodes de contrôle ayant déjà été expérimentées dans un autre projet de restauration du P^r Kneeshaw au Boisé des Terres noires à l'Assomption, où leur efficacité est observable depuis maintenant cinq ans. Il s'agit néanmoins de la première fois que la méthode de labour est expérimentée à deux profondeurs de labourage. D'autres méthodes seront éventuellement employées au sein du projet pour contrôler cette EVEE, comme la pose de géotextile et la plantation d'un nouveau couvert forestier. Celles-ci sont toutes décrites dans le présent chapitre.

Les principaux endroits visés par ces interventions en 2021 incluaient les terres enclavées (dans le MR5, près du MR7 et la forêt adjacente) ainsi que les colonies de roseau commun en bordure du MR8 et du chemin du Bois (Figure 33). Un court descriptif de chacun de ces différents milieux a été réalisé à la section 5.2 du présent chapitre. Cette section comprend les données initiales portant sur la densité des colonies de phragmite présentes (lorsque disponibles) et les méthodes de contrôle utilisées en fonction de la caractérisation initiale de ces colonies.

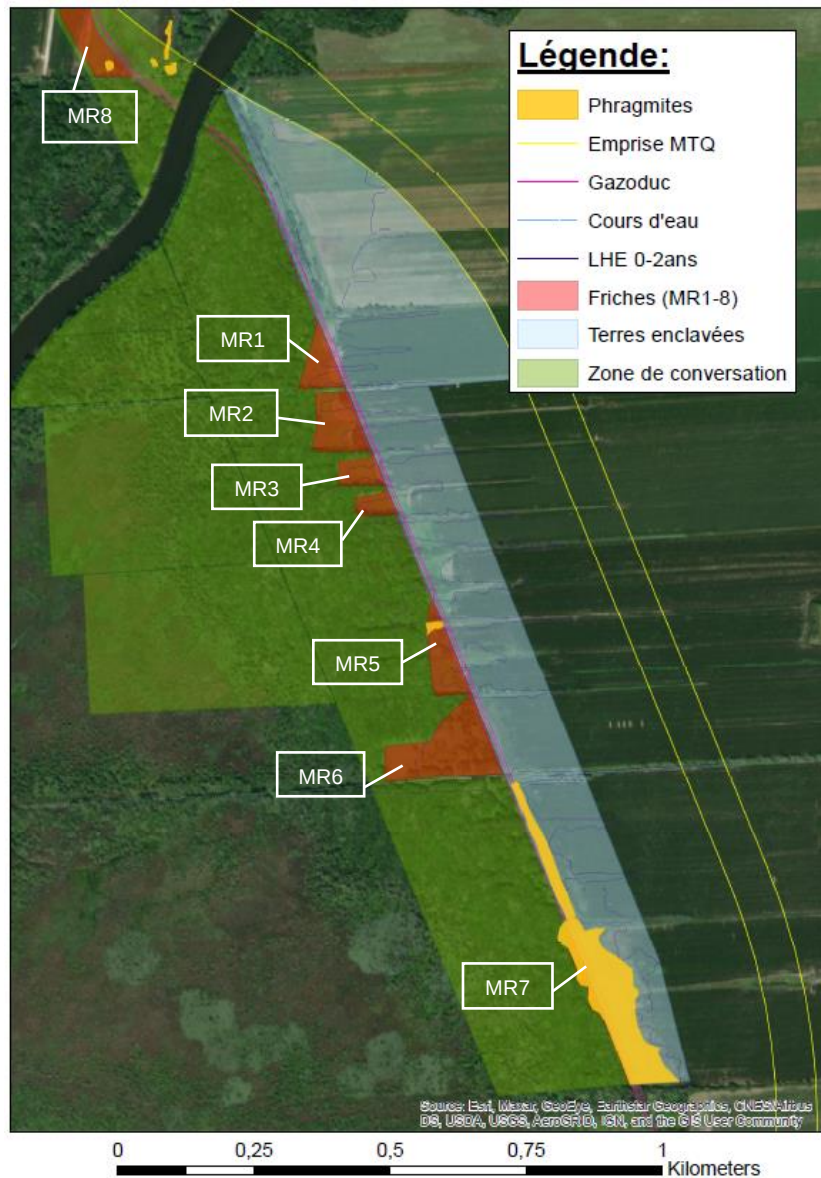


Figure 33. Cartographie du roseau commun recensé en 2020 dans les différents immeubles excédentaires du MTQ

5.1.1. Pliage manuel

Cette méthode permet de priver le roseau commun des ressources nécessaires à sa croissance et à sa reproduction. En effet, après le pliage, l'espèce doit relocaliser ses ressources vers la biomasse aérienne pour se redresser, ce qui mène éventuellement à une diminution de sa condition physique (Stowe *et al.*, 2000). Pour maximiser l'efficacité de cette méthode, il peut être nécessaire de répéter le pliage manuel de deux à trois fois durant l'été, selon la quantité de tiges qui repoussent à la suite d'un pliage. Un des avantages de cette méthode est qu'elle offre de la précision et permet ainsi de préserver l'intégralité des plantes indigènes.

Pour appliquer cette méthode, les tiges sont prises en bouquet dans une main, incluant les tiges vivantes (vertes) et mortes (dorées), et une pression est appliquée à leur base pour les plier. L'utilisation de raquettes de neige enfilées aux pieds peut également servir à optimiser cette méthode en augmentant la superficie de contact avec la base des tiges.

Lors des activités de 2021, le pliage manuel a été préconisé pour le MR5 étant donné sa superficie restreinte (section 5.2.1) et afin de ne pas porter atteinte à l'intégrité physique des arbres présents à cet endroit (Figure 34).



Figure 34. Pliage manuel du roseau près du MR5

Légende : A) colonie de roseau commun avant le traitement ; B) pendant le traitement à l'aide de raquettes ; C) après le traitement

5.1.2. Pliage mécanique

Le pliage mécanique est réalisé avec de la machinerie agricole qui vient écraser une grande superficie de tiges de roseau commun lors d'un passage. Cette méthode a été employée pour les terres enclavées à proximité du MR7, où la colonie de phragmite était imposante (section 5.2.2). Pour ce faire, nous avons eu recours à l'aide d'un agriculteur possédant un tracteur muni de rouleaux compresseurs (Figure 35). Cette approche a permis d'augmenter non seulement la superficie de tiges pliées, mais surtout la rapidité du pliage en comparaison avec un pliage manuel. Il s'agit donc d'une méthode à préconiser sur les grandes superficies envahies par le phragmite. Cependant, contrairement au pliage manuel, elle ne permet pas d'être sélective et de protéger les espèces indigènes.



Figure 35. Méthode du pliage mécanique utilisée pour les terres enclavées près du MR7

Application de la méthode avec un tracteur agricole muni de rouleaux compresseurs.

Au même titre que le pliage manuel, le pliage mécanique permet de priver le roseau commun des ressources nécessaires à sa croissance et à sa reproduction (Stowe *et al.*, 2000). De même, un deuxième ou un troisième passage peut s'avérer nécessaire en fonction de la quantité de tiges qui repoussent ou qui se redressent. Cela dit, l'entretien peut aussi être réalisé avec un pliage manuel selon la quantité de tiges redressées.

5.1.3. Coupe

Le traitement de coupe correspond à l'ablation des tiges de roseau commun à proximité de la surface du sol. Lorsque le sol est sec, cette méthode peut être réalisée à l'aide d'une débroussailleuse à lames, tandis que lorsque le sol est inondé, la coupe peut être effectuée à l'aide de sécateur à long manche en dessous du niveau de l'eau, près du bourgeon basal des tiges.

Bien que le débroussaillage soit une méthode relativement rapide à réaliser, il faut être conscient qu'elle n'engendre qu'un effet minimal à long terme lorsqu'elle est utilisée dans un environnement non inondé. En effet, utilisée seule, cette méthode n'affecte que la biomasse aérienne et peut même au contraire stimuler la croissance de nouvelles tiges sur le rhizome (Hudon *et al.*, 2005). Pour cette raison, elle nécessite des passages répétés durant plusieurs années. Par contre, la coupe s'avère particulièrement efficace lorsqu'elle est employée sur des tiges immergées, car la submersion augmente les probabilités de putréfaction du plant en empêchant l'apport en oxygène aux racines et aux rhizomes (Rolletschek *et al.*, 2000; Russell & Kraaij, 2008). Pour ce faire, l'inondation doit être d'une durée minimale de quatre semaines, ou idéalement tout au long de la saison de croissance, car

plus la période d'inondation est longue, plus la reprise de croissance du phragmite est freinée (Hudon *et al.*, 2005). Qui plus est, il peut être judicieux d'utiliser la méthode de coupe en premier traitement sur les colonies très denses afin de réduire la biomasse sèche, puis de compléter avec un pliage lorsque les tiges repoussent.

Dans le cadre du projet, la méthode de coupe a été envisagée en bordure du MR7 et à proximité du MR8 (sections 5.2.2 et 5.2.3).

5.1.4. Labour

La méthode de contrôle par labour du sol consiste, à l'aide d'une pelle mécanique, à briser les rhizomes du roseau commun présents dans le sol et à ensuite retourner la terre (Figure 36). Cela permet notamment de déchiqeter la biomasse souterraine de la plante en plus de perturber ses processus biochimiques afin de limiter sa croissance et ses chances de survie (Granéli *et al.*, 1992; Stowe *et al.*, 2000).

Cette méthode a été appliquée dans les terres enclavées près du MR7 à deux profondeurs différentes (peu profond : 30 à 50 cm; et profond : 50 à 100 cm) afin de tester laquelle était la plus efficace (section 5.2.2).



Figure 36. Exécution du labour peu profond (30-50 cm) dans la sous-section CDEF du MR7

5.1.5. Pose de membrane de géotextile

Une membrane de géotextile est fabriquée à base de polypropylène et ressemble à une toile en feutre noir. Celle-ci doit être suffisamment solide pour empêcher les tiges de phragmite de la transpercer lorsqu'elles

repoussent. Préalablement à son application, le roseau commun doit être coupé ou labouré. Une partie de la membrane de géotextile est ensuite posée par-dessus les colonies, et l'autre, autour d'elles de façon à délimiter un périmètre de sureté pour prévenir toute propagation (minimum 8 m de largeur en fonction du type de sol). La portion extérieure de la membrane, soit celle qui protège une zone non envahie par le phragmite, est enfoncée à une profondeur de 30 cm dans le sol, de façon à créer une barrière contre les rhizomes de la plante. La membrane est ensuite fixée solidement au sol en y étant ancrée à l'aide de crampes à de multiples endroits. Dans ce cas-ci, le but est de créer une ceinture en géotextile au pourtour de la colonie de phragmite afin de limiter sa propagation. De cette façon il est possible de limiter les couts économiques et écologiques associés à l'usage de membrane de géotextile.

La pose de membrane de géotextile a principalement pour but d'empêcher toute pénétration de lumière et ainsi en priver les colonies. De plus, un ilot de chaleur peut se créer sous la membrane en été en raison de sa couleur noire : cette augmentation de chaleur peut ultimement mener à une température létale pour les organismes et les graines qui se trouvent sous la zone traitée (Katan *et al.*, 1976; Marengo & Lustosa, 2000; Tu *et al.*, 2001). Une plantation d'arbres peut par la suite avoir lieu sur la membrane de géotextile, à condition de procéder minutieusement à la création de trous dans la toile pour y planter les individus et de prendre soin de solidifier le pourtour du trou pour éviter que la lumière ne parvienne au roseau commun (Figure 37).



Figure 37. Exemple de travaux de reboisement au Boisé des Terres noires à l'Assomption utilisant la membrane de géotextile comme méthode de lutte contre le phragmite

5.1.6. Création d'un nouveau couvert forestier

Les efforts décrits précédemment pour lutter contre les EVEE ou nuisibles seraient vains sans la plantation d'un nouveau couvert forestier. En effet, en l'absence de plantations, le roseau commun exotique tend à recoloniser rapidement un site par ses graines et rhizomes (Hazelton *et al.*, 2014). Cette recolonisation rapide s'explique notamment par l'absence de compétition. Une plantation est donc de mise pour accélérer la succession et la fermeture de la canopée afin de réduire les probabilités que les EVEE s'installent et accaparent ensuite les ressources au détriment de la biodiversité.

Plus précisément, le nouveau couvert forestier pourra faire de l'ombrage au phragmite et ainsi l'empêcher de se rétablir à long terme (Hazelton *et al.*, 2014).

5.2. Méthodes de contrôle des EVEE dans les milieux récepteurs

Étant donné que chaque MR présentait des colonies de roseau commun avec des densités et des superficies différentes, diverses méthodes de lutte ont été mises en place dans ceux-ci. Les différences entre les types de milieux colonisés par le phragmite ont orienté la sélection de la (ou des) méthode(s) les plus appropriée(s) pour exercer un contrôle sur cette EVEE. Par exemple, comme mentionné à la section 5.1.3, une méthode de coupe sous le bourgeon d'une tige de phragmite est davantage efficace lorsqu'elle est réalisée sous l'eau et que les rhizomes sont submergés.

5.2.1. Méthodes de contrôle dans le MR5

La superficie totale recouverte par la colonie de roseau commun dans le MR5 est approximativement de 384 m². Cette colonie présentait une densité moyenne de 82 tiges vivantes/m² (Tableau 12).

Tableau 12. Densité de tiges de roseau commun dénombrées en 2021 dans les terres enclavées près du MR5

Quadrats	Densité (tiges vivantes/m ²)
# 1	126
# 2	70
# 3	49
Moyenne	81,67

Le traitement préconisé pour limiter la propagation du phragmite à cet endroit et servir de méthode de contrôle a été le pliage manuel (section 5.1.1). À titre indicatif, pour effectuer le traitement à cet endroit, cinq personnes ont plié environ 31 251 tiges de phragmite vivantes en 2 h 25.

5.2.2. Méthodes de contrôle près du MR7

La présence d'une imposante colonie de roseau commun dans les terres enclavées adjacentes au MR7 a fait l'objet de l'utilisation de différentes méthodes de contrôle.

Pour ce faire, la zone a été découpée en quatre sous-sections de façon à obtenir des polygones de superficie similaire ($\pm 5\,000\text{ m}^2$) afin de pouvoir comparer les traitements. Les différents traitements ont été répartis de la manière suivante dans les sous-sections présentées à la Figure 38 :

- Polygone ABCD : Pliage mécanique avec un tracteur (répété une seule fois);
- Polygone CDEF : Labour peu profond (30-50 cm de profondeur);
- Polygone EFGH : Pliage mécanique avec un tracteur (répété jusqu'à trois fois); et
- Polygone GH-- : Labour profond (50-100 cm de profondeur).

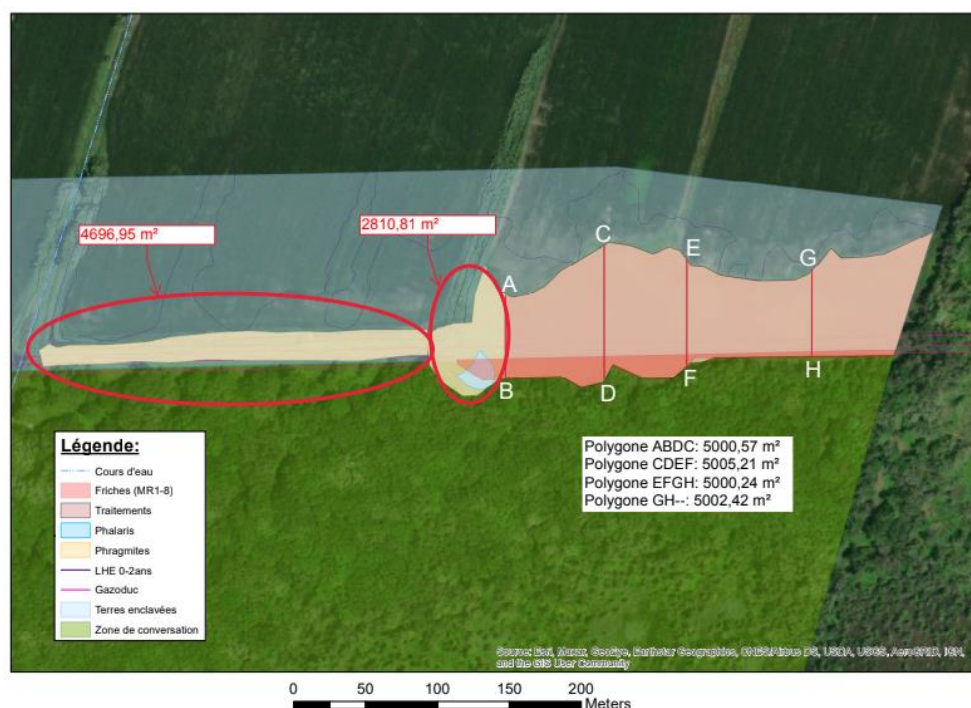


Figure 38. Découpage des différents traitements contre le roseau commun dans les terres enclavées adjacentes au MR7

En moyenne, 36 tiges vivantes/m² ont été dénombrées à cet endroit (Tableau 13).

**Tableau 13. Densité de tiges de roseau commun
dénombrées en 2021 dans les terres enclavées près du MR7**

Sous-section	Densité (tiges vivantes/m²)
ABDC	13
CDEF	49
EFGH	60
GH--	22
Moyenne	36

Les sous-sections présentées à la Figure 38 ont ensuite été tracées sur le terrain à l'aide de ruban fluorescent attaché à l'apex des tiges de roseau commun afin de délimiter les transects et de les rendre bien visibles pour les opérateurs de machinerie lourde. Les méthodes de labour et de pliage ont été abordées plus en détail à la section 5.1 précédente.

Pour le pliage mécanique, le premier passage a eu lieu à la fin juillet dans les sous-sections ABDC et EFGH. Pour la sous-section ABCD, un seul passage a été réalisé, alors que pour la sous-section EFGH, un second passage a été planifié à la mi-août. Un troisième passage n'a pas été nécessaire puisqu'aucune tige de phragmite ne semblait s'être redressée après le deuxième pliage.

Pour ce qui est du labour dans cette section, deux différentes profondeurs ont été testées, soit : le labour peu profond (30-50 cm de profondeur) et le labour profond (50-100 cm de profondeur) (Figure 36). Le labour à ces deux profondeurs a nécessité des pelles mécaniques de différents gabarits. À titre informatif, la durée d'application du traitement a grandement varié entre les deux profondeurs; il a fallu environ trois heures pour le labour peu profond, et plus de six heures pour le labour profond.

À la suite de l'application des différents traitements, que ce soit un pliage mécanique ou un labour du sol, toute machinerie employée a été inspectée et nettoyée afin de s'assurer qu'aucun rhizome ou résidu d'EVEE ne soit transporté hors du site pour limiter les probabilités de propagation.

Enfin, étant donné la présence d'un gazoduc au niveau de la délimitation entre les terres enclavées et la forêt, il importe de mentionner que les traitements nécessitant de la machinerie lourde n'ont pu être réalisés qu'à l'extérieur du périmètre de sécurité. Le pliage manuel a été priorisé pour compléter le contrôle à cet endroit et à l'orée de la forêt adjacente où se trouvaient des tiges de roseau commun. Qui plus est, une méthode de débroussaillage a été appliquée en bordure du MR7 au niveau de la délimitation AB — les deux zones encerclées en rouge d'une superficie de 2810 m² et 4696 m² (Figure 38).

Ultérieurement, d'autres traitements complémentaires seront ajoutés à ceux ayant été réalisés à proximité du MR7. Nommément, un géotextile sera posé

au printemps 2022 afin de venir ceinturer la zone traitée et de prévenir la propagation de cette colonie de roseau commun (section 5.1.5). Selon la littérature et l'observation de traitements en application au Boisé des Terres noires à l'Assomption, une combinaison de différentes tactiques telles que le labour, la coupe et la pose de géotextile devrait être efficace afin de contrôler le roseau commun (Figure 37). De même, une future plantation d'arbres permettra de compléter les méthodes de contrôle déployées (Whisenant, 2005 ; Hazelton *et al.*, 2014).

5.2.3. Méthodes de contrôle près du MR8 et du chemin du Bois

Quatre colonies de roseau commun ont été identifiées à proximité du MR8 : l'une à l'intérieur du MR8B et les trois autres en bordure du chemin du Bois (Figure 33). Pour la portion à l'intérieur du MR8B, une méthode de débroussaillage (coupe) a été préconisée (section 5.1.3), alors que pour les colonies près du chemin du Bois, la méthode de pliage manuel a été retenue (section 5.1.1).

Toutefois, il est à noter que la technique initialement préconisée pour la colonie la plus distancée du chemin du Bois (Figure 33) était plutôt la coupe sous l'eau. En effet, à l'automne 2020, on a observé que plus d'un demi-mètre d'eau s'était accumulé autour de cette colonie, rendant donc les tiges susceptibles d'être immergées. Dans ces conditions, l'équipe avait alors initialement priorisé la coupe à la base des tiges. Toutefois, compte tenu des multiples canicules qui ont sévi durant la période estivale de 2021, le sol à cet endroit s'est retrouvé complètement asséché, et l'équipe a donc plutôt opté pour un pliage manuel des tiges de phragmite (section 5.1.1).

5.3. Méthode de gestion des autres EVEE ou nuisibles

Lors des suivis portant sur les transplantations effectuées à l'automne 2020, il était flagrant que la présence de lysimaque nummulaire et du haricot de terre dans les friches représentait une nuisance pour la survie et la croissance de certaines espèces d'herbacées (voir le rapport d'étape 2 à l'Annexe C). C'est pourquoi une méthode de gestion par arrachage manuel a été mise en place lors des entretiens.

5.3.1. Arrachage manuel

Afin de faciliter l'établissement des nouveaux plants ayant été transplantés, un arrachage manuel des espèces indigènes ou exotiques présentes dans les quadrats a été réalisé. Dans la même optique que pour certains traitements contre le phragmite, cette extirpation a été répétée deux fois durant l'été afin d'optimiser son efficacité et ainsi diminuer le succès de croissance et de reproduction de ces espèces officieusement nuisibles. Dans les années à venir, un arrachage manuel est prévu à deux ou trois reprises pour les entretiens.

6. ÉLÉMENTS À SURVEILLER : IMPRÉVUS DE 2021 ET RECOMMANDATIONS

Différents imprévus sont survenus lors des opérations de 2021. Ces principales contraintes incluaient notamment le déplacement entre les stations d'échantillonnage, les défis associés aux périodes de canicule ainsi que la sécurité de l'équipement de terrain. Ces imprévus sont décrits dans la présente section, et des recommandations sont aussi proposées.

6.1. Points d'accès

Les différents points d'accès préalablement définis pour accéder aux sites des travaux dans le MR8 (Figure 39) de même que ceux pour accéder aux terres enclavées et aux friches ont représenté un véritable casse-tête cet été lors de la mise en œuvre des différents travaux. En effet, avec la mise en place des chantiers de construction, les accès initialement alloués pour les travaux de l'UQAM étaient souvent inaccessibles et/ou demandaient de faire des démarches préalables auprès des autres intervenants (TC Énergie et le MTQ) pour l'obtention d'un accès à un moment précis. En effet, une coordination des différentes équipes et des travaux à réaliser représentait parfois un défi de logistique et de communication. À l'avenir, une meilleure communication sera de mise pour éviter les imprévus, le ralentissement des travaux ou même l'impossibilité de réaliser certaines tâches. En ce sens, l'échange des calendriers des échéanciers respectifs des différents intervenants permettrait de réduire au maximum ces situations.



Figure 39. Blocage complet des accès vers le MR8 lors de travaux du MTQ

6.1.1. Accès vers le MR8

L'accès vers le MR8 était très limité au moment des travaux de reboisement et d'entretien (Figure 39). Ainsi, l'équipe de terrain s'est fréquemment résignée à emprunter un accès plus direct en passant par le fossé pour parvenir à la zone des travaux (Figure 40). Cette solution de rechange était loin d'être idéale, puisque les pentes du fossé étaient glissantes et que le niveau de l'eau pouvait fluctuer de manière importante.



Figure 40. Accès secondaire vers le MR8 par le fossé adjacent lors des travaux de reboisement

Après plusieurs échanges, le MTQ a pallié ce problème en construisant un pont temporaire en novembre 2021 (Figure 41). Cette étape a permis d'offrir un accès plus direct et sécuritaire au terrain pour l'équipe de l'UQAM afin de réaliser les travaux à venir.



Figure 41. Passerelle temporaire bâtie par le MTQ pour l'UQAM

6.1.2. Déplacements entre les stations d'échantillonnage

Les déplacements entre les diverses stations d'échantillonnage déployées pour le projet afin d'en assurer le suivi et l'entretien se sont révélés être un véritable défi logistique. Plus particulièrement, les déplacements dans les

terres enclavées vers la forêt ont commencé à être laborieux à partir du moment où nous n'avons plus eu accès à la chaloupe du MTQ et que les travaux de prolongement du tronçon routier ont débuté du côté est de la rivière. Cette problématique a eu pour impact de rallonger significativement le temps nécessaire pour réaliser les suivis et a nécessité davantage de ressources humaines pour effectuer ces derniers.

Considérant que les travaux de construction n'en sont encore qu'à leur début, l'accès à une chaloupe serait de mise d'ici à ce que de nouveaux accès soient établis afin de faciliter les déplacements et de réduire le temps accordé aux suivis et à l'entretien des différentes stations. Ceci a d'ailleurs fait l'objet d'échanges avec le MTQ, durant lesquels l'obtention d'accès vers les terres enclavées durant les travaux a été discutée. Ces accès seront d'une importance cruciale pour nous permettre de réaliser les travaux à cet endroit en 2022, sans quoi il sera difficile de respecter les délais des livrables. En effet, les travaux prévus l'an prochain et durant les années suivantes comprennent la construction d'exclos, la plantation de plus de 30 000 arbres ainsi que l'aménagement des terres enclavées, qui inclut l'apport en legs biologiques et l'application de diverses méthodes de lutte contre les EVEC. Ainsi, divers intervenants devront avoir accès à l'aire de travail de l'UQAM pour accomplir l'étape de reboisement et permettre un entretien.

6.2. Coordination des travaux MTQ et sous-traitants

Certains travaux devant être réalisés par des sous-traitants du MTQ ont malheureusement nuí aux activités du projet de compensation, soit : le déboisement des aires comportant des EMVS dont l'ail des bois (rapport d'étape 2 à l'Annexe C); et le déchiquetage des débris ligneux qui étaient destinés à l'ajout de legs biologiques dans le MR8.

Au printemps 2021, la prospection d'herbacées d'EMVS ayant été identifiées préalablement dans les immeubles excédentaires du MTQ a révélé que les activités de déboisement ont eu lieu au même moment que la prospection printanière des EMVS manquantes, malheureusement il n'était pas prévu que le sous-traitant déchiquète les résidus de bois sur place. Cette situation a fait en sorte qu'une épaisse couche de copeaux de bois recouvrait le sol, rendant ainsi le sol désert de toute végétation (Figure 42). Ainsi, cette contrainte a entraîné des prolongations quant aux activités de prospection, et aucun individu d'herbacées d'EMVS n'a pu être récolté ou transplanté en 2021 (voir Annexe C).

Cet imprévu représente donc un investissement supplémentaire en temps et en ressources pour les années à venir en lien avec le projet de compensation, notamment en ce qui concerne la conservation et l'augmentation de la biodiversité dans le secteur par la transplantation d'EMVS.



Figure 42. Épandage des résidus de bois dans les zones présentant initialement des EMVS

Aussi, une partie des résidus de coupe du déboisement effectué près du chemin du Bois, au nord-ouest de la rivière aux Brochets, devait nous être laissée afin que l'on puisse réutiliser ceux-ci lors de l'épandage de legs biologiques dans le MR8. Malheureusement, l'entrepreneur a déchiqueté et épandu au sol l'énorme amoncellement de bois qui nous était destiné. Cette situation a fait en sorte qu'une quantité moindre de bois a pu être étendue dans le MR8.

6.3. Sûreté de l'équipement de terrain

Malgré les précautions prises pour éviter le vol et le bris de matériel, des imprévus sont survenus et ont mis en péril la sûreté de l'équipement de terrain.

6.3.1. Vol

En septembre 2021, le conteneur qui entreposait l'équipement nécessaire aux travaux a été cambriolé malgré la pose d'une boîte antivol en acier (Figure 43). Plusieurs objets de valeur ont été volés, dont le VTT, une remorque et la pompe à eau à essence, qui étaient tous nécessaires pour effectuer la plantation des arbres le mois suivant. Il a fallu louer ces équipements pour procéder aux activités prévues à l'automne, ce qui a engendré des coûts et des inconvénients additionnels aux travaux prévus.



Figure 43. Vue d'ensemble du conteneur dépouillé à la suite du vol et de la boîte de sécurité abimée

Une fois les plantations complétées à l'automne 2021, la Sûreté du Québec nous a informés que le VTT, la remorque, la pompe à eau et la débroussailleuse avaient été retrouvés. Cependant, plus d'une vingtaine de caméras de chasse ainsi que d'autres matériels de recherche de valeur n'ont pas pu être retracés et sont toujours déclarés volés.

Ainsi, même si les mesures jugées nécessaires ont été prises pour éviter cette situation (micropuçage du VTT, installation d'une boîte antivol, etc.), le vol n'a pu être évité. Des mesures préventives font présentement l'objet de discussions avec le MTQ et la Sûreté du Québec afin de pallier le manque de sécurité à l'égard du matériel de l'UQAM. Par exemple, le matériel de recherche de valeur ne devra pas être entreposé de manière prolongée dans le conteneur, et des caméras et/ou un système de sécurité pourrait être installé afin d'incriminer les personnes commettant un vol ou une infraction dans l'avenir.

6.3.2. Bris accidentel de matériel par d'autres intervenants

Du matériel de dispositif expérimental a été abimé lors des interventions par d'autres entrepreneurs (Figure 44). Les personnes concernées ont été informées et ont remplacé les matériaux abimés. Ceux-ci ne répondaient toutefois pas aux standards utilisés pour la construction du dispositif (hauteur déficiente). Des suivis à cet effet devront être faits ultérieurement, puisque la situation n'a toujours pas été corrigée.



Figure 44. Bris de l'exclos du MR8 réparé temporairement

Par ailleurs, certaines opérations par d'autres intervenants ont empiété sur les plantations d'arbres ayant été réalisées dans le MR8. Il y a notamment eu un cas de débordement (ou de fissures) des bassins de décantation provenant des travaux de construction routière, ce qui a occasionné une inondation au sein des plantations (Figure 45). Notons que nous n'avons aucune idée de ce que contenaient les eaux turbides issues de ces bassins, mais qu'une substance moussante a pu être observée à l'intérieur des bassins ainsi que dans les eaux relâchées dans le fossé. Encore une fois, après avoir communiqué le problème, des mesures ont été prises pour corriger le tout.



Figure 45. Inondation des plantations occasionnée par des rejets provenant des bassins de décantation des travaux routiers

6.4. Périodes de canicule

Des périodes de canicule ont sévi à plus d'une reprise lors des activités de 2021, ce qui a demandé à l'équipe d'adapter les tâches planifiées. Plus précisément, la sécheresse occasionnée a modifié la dureté du sol et a nécessité la planification d'interventions pour l'entretien des arbres.

6.4.1. Sol argileux

Même si la présence de sol argileux dans le MR8A était bien connue, le prolongement des périodes de sécheresse a fait en sorte que le sol était particulièrement dur et difficile à travailler lors des travaux de reboisement. À titre d'exemple, la mise en place de poteaux pour l'exclos a été très ardue dans ces conditions : ceux-ci se tordaient sous la pression de la machinerie en raison de la dureté du sol. À cet effet, il a fallu que l'entrepreneur procède au façonnement d'une pièce d'acier sur mesure, correspondant aux embouts des poteaux. Cet imprévu a également mené à la perte d'une certaine quantité de matériel, car les poteaux tordus au départ n'ont pas pu être récupérés pour être intégrés à la structure de l'exclos.

De même, la plantation des arbres s'est révélée ardue en raison de l'ampleur des efforts physiques à déployer. À ce propos, un aménagement préalable pour la plantation des arbres de grand calibre (< 1,5 m de hauteur) a permis de diminuer les efforts nécessaires pour creuser des trous de plus grand gabarit (section 2.4.4).

6.4.2. Déploiement du système d'irrigation

De prime abord, les boyaux d'arrosage utilisés pour le système d'irrigation étaient notablement longs et lourds, ce qui rendait leur manipulation difficile (section 2.6). Des problèmes sont également survenus au niveau de l'étanchéité des boyaux. En effet, les sols dans le MR8 comportaient des éléments abrasifs (roches, billots, tiges de chénopodes sèches, etc.) qui ont occasionné des ruptures dans la membrane; celles-ci ont dû être colmatées avant de procéder à l'irrigation. De plus, les boyaux ne devaient comporter aucun pli sur toute leur longueur, sans quoi l'eau était bloquée, ce qui interrompait le fonctionnement de la pompe à essence.

Tous ces aspects ont fait en sorte que le déploiement du système d'irrigation était long et laborieux, car tout était à recommencer lorsque les boyaux devaient être déplacés pour irriguer d'autres lots d'arbres. Notons aussi qu'à la suite du vol ayant été perpétré, l'équipe ne se sentait pas à l'aise de laisser du matériel à la vue de tous (section 6.3.1). Le démantèlement du système d'irrigation était donc requis à la fin de chaque journée de travail à des fins de sécurité.

7. CONCLUSION

La saison de terrain 2021 a été marquée par une multitude d'imprévus. Ces derniers ont toutefois eu bien peu de conséquences sur les résultats finaux et sur la réalisation des activités prévues. Les suivis fauniques ont été menés pour les cinq différents groupes taxonomiques, et les suivis du carbone, pour les deux types de milieux. Il a aussi été possible cette année de mieux nous familiariser avec la présence d'un chantier de construction colossal tel que celui de l'autoroute 35. Par le fait même, cela nous a permis de rencontrer les différents intervenants pour le projet en vue de mieux coordonner nos activités respectives dans les années à venir. Bien que les travaux de reboisement, de suivi des transplantations, d'aménagement de legs biologiques et de contrôle des EVEE se soient bien passés, nous avons réalisé que certaines tâches nécessitaient plus d'efforts que prévu. En effet, l'aménagement de legs biologiques et le pliage manuel du roseau commun sont deux tâches qui nécessitent un temps non négligeable et qui pourraient devenir une contrainte en fonction du temps alloué pour chacune de ces activités dans le futur, ou encore en fonction des effectifs présents. Nous sommes actuellement en réflexion afin d'améliorer l'efficacité de ces activités sans en compromettre la qualité.

7.1. Retour sur les activités de 2021

Les activités qui étaient prévues pour l'année 2021 ont pratiquement toutes été réalisées. À cette étape-ci du contrat, l'objectif de l'année 2021 consistait à établir une base de données pour la majorité des suivis fauniques et du

carbone afin de pouvoir procéder à la mise en œuvre de l'approche écosystémique. Le volet floristique, quant à lui, comportait le suivi des espèces transplantées à l'automne 2020; la prospection d'espèces et de semences rares ou à statut; une nouvelle activité de transplantation durant la saison 2021, soit au printemps ou à l'automne; le reboisement du MR8; ainsi que le contrôle des EVEE ou nuisibles.

Parmi ces activités, la nouvelle phase de transplantations n'a pas pu avoir lieu. La tâche consistait, dans un premier temps, à transplanter les EMVS qui avaient été caractérisées en 2019 par le groupe DDM. Certaines des espèces inventoriées avaient pu être transplantées lors de l'automne 2020, tandis que d'autres, telles que l'ail des bois ou la cardamine carcajou, n'avaient pas pu être retrouvées, puisque les parties aériennes de ces plantes se fanent peu de temps après leur floraison. L'équipe de recherche a donc tenté de retrouver les espèces qui avaient été inventoriées sur les immeubles du ministère au début du mois d'avril 2021, mais malheureusement, le déboisement de ces portions venait tout juste d'être effectué par le MTQ (section 6.2). Nous n'avons donc pas été en mesure de retrouver les talles d'ail des bois et de cardamine carcajou existantes.

Dans un deuxième temps, nous tenions à réaliser une prospection des EMVS qui n'avaient pas été retrouvées en 2020 ou qui avaient été transplantées seulement en petites quantités, comme le trille blanc. Nous avons donc réalisé de nouvelles prospections d'EMVS dans le secteur et avons trouvé des populations d'ail des bois, de dentaire à deux feuilles et de trille blanc sur une propriété de [Information sensible]. Cependant, nous avons demandé des conseils à Andrée Nault (spécialiste des EMVS au Québec), et celle-ci nous a déconseillé d'effectuer des prélèvements dans un tel écosystème, le qualifiant d'un des rares écosystèmes de la région encore intègre. Nous avons donc remis la seconde phase de transplantation à une année ultérieure, lorsque nous pourrions prélever les spécimens d'EMVS se trouvant dans les zones à déboiser de la phase IV du projet de construction de l'autoroute.

Finalement, la dernière activité n'ayant pu être réalisée cette année est la pose de géotextile dans les zones comportant du roseau commun. Malheureusement, le fournisseur nous a avisés qu'il serait dans l'impossibilité d'effectuer la livraison puisque le matériel était en rupture de stock.

7.2. Activités à venir en 2022

Pour 2022, la majorité des nouvelles activités se dérouleront au sud-est de la rivière à Brochets, dans les terres enclavées par l'autoroute. Celles-ci impliquent : la mise en place du dispositif expérimental pour les plantations; la réalisation d'exclos contre l'herbivorie; la plantation d'arbres comprenant le début de la réalisation des patrons temporaires (abordé dans le rapport final

2021); et la mise en place d'un système d'irrigation, notamment par la création de bassins sur le site par le MTQ (Figure 46). Une certaine quantité de plants utilisés pour le reboisement seront offerts par le MFFP.

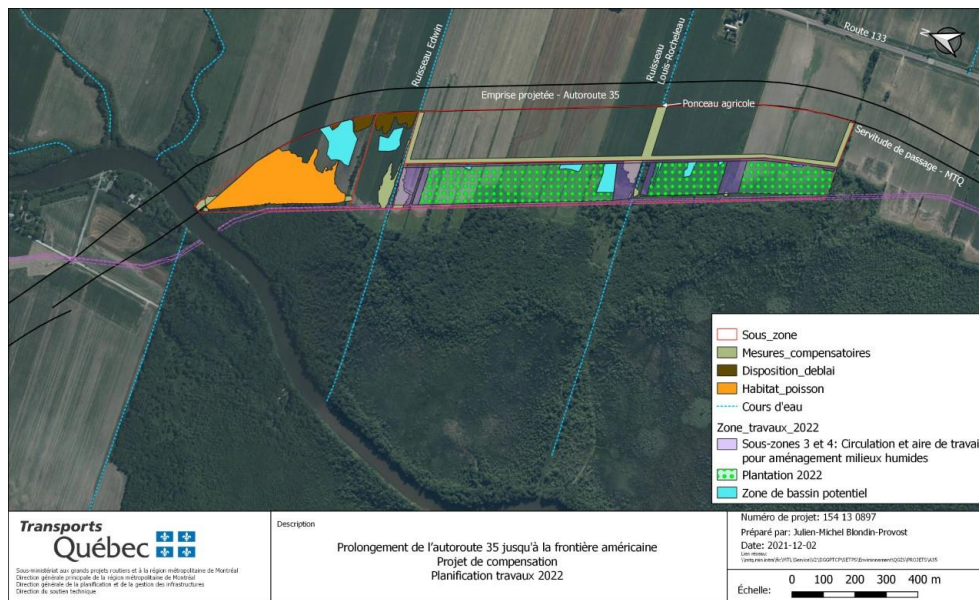


Figure 46. Localisations potentielles de bassins pour l'irrigation des terres enclavées et zones de plantations en 2022

Au printemps, une seconde prospection d'EMVS (ail des bois, dentaire à deux feuilles et trille blanc) est prévue dans la phase IV des travaux du MTQ. Si cette prospection est fructueuse, une récolte de ces espèces pourra être réalisée ou reportée à l'automne.

Outre cela, les activités de terrain suivantes sont prévues en 2022 : entretien du MR8; mise en place des dispositifs de suivis (caméras de chasse, SM4, Anabats); début des suivis (transplantations 2020, avifaune, chiroptères, herpétofaune, mammifères et carbone); installation du géotextile près du MR7; et entretien et application des méthodes au chapitre 5 pour gérer les espèces envahissantes ou nuisibles.

Il est également possible que le MTQ obtienne des parcelles de terre additionnelles adjacentes au chemin du Bois à Pike River. Le cas échéant, il faudra procéder à la caractérisation de ce milieu et discuter des perspectives de reboisement et de compensation possibles à cet endroit, ce qui reste à déterminer. Ces portions d'immeubles pourraient alors faire l'objet de plantations ultérieures.

8. BIBLIOGRAPHIE

Aerts, R. & Honnay, O. (2011). Forest restoration, biodiversity and ecosystem functioning. *BMC ecology*, 11(29).

Bandyopadhyay, S. & Maiti, S. K. (2019). Evaluation of ecological restoration success in mining-degraded lands. *Environmental Quality Management*, 29(1), 89-100.

Bardgett, R. & van der Putten, W. (2014). Belowground biodiversity and ecosystem functioning. *Nature*, 515(7528), 505–511.

Cameron, E. K., Martins, I. S., Lavelle, P., Mathieu, J., Tedersoo, L., Gottschall, F., Guerra, C. A., Hines, J., Patoine, G., Siebert, J., Winter, M., Cesarz, S., Delgado-Baquerizo, M., Ferlian, O., Fierer, N., Kreft, H., Lovejoy, T. E., Montanarella, L., Orgiazzi, A., Pereira, H. M., Phillips, H. R. P., Settele, J., Wall, D. H. & Eisenhauer, N. (2018). Global gaps in soil biodiversity data. *Nature Ecology & Evolution* 2(7), 1042–1043.

Campeau, A., Lapierre, J. F., Vachon, D. & del Giorgio, P. A. (2014). Regional contribution of CO₂ and CH₄ fluxes from the fluvial network in a lowland boreal landscape of Québec. *Global Biogeochemical Cycles*, 28(1), 57-69.

Close, D. C., Beadle, C. L. & Brown, P. H. (2005). The physiological basis of containerised tree seedling ‘transplant shock’: a review. *Australian Forestry*, 68(2), 112-120.

Comité sur la situation des espèces en péril au Canada (COSEPAC). (2012). *Évaluation et Rapport de situation du COSEPAC sur le Pioui de l'Est (Contopus virens) au Canada*. Comité sur la situation des espèces en péril au Canada. <https://species-registry.canada.ca/index-fr.html#/especes/1198-877>

Conley, D. J., Paerl, H. W., Howarth, R. W., Boesch, D. F., Seitzinger, S. P., Havens, K. E. & Likens, G. E. (2009). Controlling eutrophication: nitrogen and phosphorus. *Science*, 323(5917), 1014-1015.

Coyle, D. R., Nagendra, U. J., Taylor, M. K., Campbell, J. H., Cunard, C. E., Joslin, A. H., Mundepi, A., Phillips, C. A. & Callaham Jr, M. A. (2017). Soil fauna responses to natural disturbances, invasive species, and global climate change: Current state of the science and a call to action. *Soil Biology and Biochemistry*, 110, 116-133.

Crawford, J. T. & Stanley, E. H. (2016). Controls on methane concentrations and fluxes in streams draining human-dominated landscapes. *Ecological Applications*, 26(5), 2016, pp. 1581–1591.

Cunningham, S. C., Mac Nally, R., Baker, P. J., Cavagnaro, T. R., Beringer, J., Thomson, J. R. & Thompson, R. M. (2015). Balancing the environmental

benefits of reforestation in agricultural regions. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, 17(4), 301-317.

Delgado-Baquerizo, M., Reich, P. B., Trivedi, C., Eldridge, D. J., Abades, S., Alfaro, F. D., Bastida, F., Berhe, A. A., Cutler, N. A., Gallardo, A., García-Velázquez, L., Hart, S. C., Hayes, P. E., He, J. Z., Hseu, Z. Y., Hu, H. W., Kirchmair, M., Neuhauser, S., Pérez, C. A., Reed, S. C., Santos, F., Sullivan, B. W., Trivedi, P., Wang, J. T., Weber-Grullon, L., Williams, M. A. & Singh, B. K. (2020). Multiple elements of soil biodiversity drive ecosystem functions across biomes. *Nature Ecology & Evolution*, 4(2), 210-220.

Dias, A. T., Bozelli, R. L., Darigo, R. M., Esteves, F. D. A., dos Santos, H. F., Figueiredo-Barros, M. P., Nunes, M. F. Q. S., Roland, F., Zamith, L. R. & Scarano, F. R. (2012). Rehabilitation of a bauxite tailing substrate in Central Amazonia: the effect of litter and seed addition on flood-prone forest restoration. *Restoration Ecology*, 20(4), 483-489.

Doucet, R. (2013). *Les mauvaises herbes agricoles*. Berger.

Eekhout, X. (2010). Sampling amphibians and reptiles. *Manual on field recording techniques and protocols for all taxa biodiversity inventories. Belgium: Belgian National Focal Point to The Global Taxonomy Initiative*, 8, 530-557.

Fialho, J. S., Primo, A. A., de Aguiar, M. I., Magalhaes, R. B., dos Santos Maia, L., Correia, M. E. F., Campanha, M. M. & de Oliveira, T. S. (2021). Pedofauna diversity in traditional and agroforestry systems of the Brazilian semi-arid region. *Journal of Arid Environments*, 184, 104315.

George, P., Keith, A. M., Creer, S., Barrett, G. L., Lebron, I., Emmett, B. A., Robinson, D. & Jones, D. (2017). Evaluation of mesofauna communities as soil quality indicators in a national-level monitoring programme. *Soil Biology & Biochemistry*. 115, 537–546.

Granéli, W., Weisner, S. E. & Sytsma, M. D. (1992). Rhizome dynamics and resource storage in *Phragmites australis*. *Wetlands Ecology and Management*, 1(4), 239-247.

Handa, I. T., Aerts, R., Berendse, F., Berg, M. P., Bruder, A., Butenschoen, O., Chauvet, E., Gessner, M. O., Jabiol, J., Makkonen, M., McKie, B. G., Malmqvist, B., Peeters, E. T., Scheu, S., Schmid, B., van Ruijven, J., Vos, V. C. & Hättenschwiler, S. (2014). Consequences of biodiversity loss for litter decomposition across biomes. *Nature*, 509(7499), 218-221.

Hazelton, E. L., Mozdzer, T. J., Burdick, D. M., Kettenring, K. M. & Whigham, D. F. (2014). *Phragmites australis* management in the United States: 40 years of methods and outcomes. *AoB plants*, 6, 1-19.

Hudon, C., Gagnon, P. & Jean, M. (2005). Hydrological factors controlling the spread of common reed (*Phragmites australis*) in the St. Lawrence River (Québec, Canada). *Ecoscience*, 12(3), 347-357.

Joimel, S., Cortet, J., Jolivet, C., Saby, N., Chenot, E. D., Branchu, P., Consalès, J. N., Lefort, C., Morel, J. L. & Schwartz, C. (2016). Physico-chemical characteristics of topsoil for contrasted forest, agricultural, urban and industrial land uses in France. *Science of the Total Environment*, 544-546, 40–47.

Joimel, S.; Schwartz, C.; Bonfanti, J.; Hedde, M.; Krogh, P.H.; Pérès, G.; Pernin, C.; Rakoto, A.; Salmon, S.; Santorufo, L. & Cortet, J. (2021) Functional and Taxonomic Diversity of Collembola as Complementary Tools to Assess Land Use Effects on Soils Biodiversity. *Frontiers in Ecology & Evolution*, 9(630919).

Jones, E. R., Wishnie, M. H., Deago, J., Sautu, A. & Cerezo, A. (2004). Facilitating natural regeneration in *Saccharum spontaneum* (L.) grasslands within the Panama Canal Watershed: effects of tree species and tree structure on vegetation recruitment patterns. *Forest Ecology and Management*, 191, 171-183.

Jones, G., Jacobs, D. S., Kunz, T. H., Willig, M. R. & Racey, P. A. (2009). Carpe noctem: the importance of bats as bioindicators. *Endangered species research*, 8(1), 93-115.

Katan, J., Greenberger, A., Alon, H. & Grinstein, A. (1976). Solar heating by polyethylene mulching for the control of diseases caused by soil-borne pathogens. *Phytopathology*, 66(5), 683-688.

Lindenmayer, D. B., Margules, C. R. & Botkin, D. B. (2000). Indicators of biodiversity for ecologically sustainable forest management. *Conservation biology*, 14(4), 941-950.

Maisonnette, C. & Rioux, S. (2001). Importance of riparian habitats for small mammal and herpetofaunal communities in agricultural landscapes of southern Québec. *Agriculture, ecosystems & environment*, 83(1-2), 165-175.

Marenco, R. A. & Lustosa, D. C. (2000). Soil solarization for weed control in carrot. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 35(10), 2025-2032.

Maron, P.-A., Sarr, A., Kaisermann, A., Lévêque, J., Mathieu, O., Guigue, J., Karimi, B., Bernard, L., Dequiedt, S., Terrat, S., Chabbi, A. & Ranjard, L. (2018). High microbial diversity promotes soil ecosystem functioning. *Applied and Environmental Microbiology*, 84 (9), e02738-17

Mewafy, F. M., Werkema Jr, D. D., Atekwana, E. A., Slater, L. D., Aal, G. A., Revil, A. & Ntarlagiannis, D. (2013). Evidence that bio-metallic mineral precipitation enhances the complex conductivity response at a hydrocarbon contaminated site. *Journal of Applied Geophysics*, 98, 113-123.

Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Affaires Rurales de l'Ontario (MAAARO). (2021). *La toxicité des noyers*. http://www.omafra.gov.on.ca/french/crops/facts/info_walnut_toxicity.htm

Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs (MFFP). (2015). *L'aménagement écosystémique des forêts plus proche de la nature*. <https://mffp.gouv.qc.ca/fr/ecosystemique>

Neina, D. (2019). The role of soil pH in plant nutrition and soil remediation. *Applied and Environmental Soil Science*, 2019.

Nunes, A. L., Fill, J. M., Davies, S. J., Louw, M., Rebelo, A. D., Thorp, C. J., Vimercati, G. & Measey, J. (2019). A global meta-analysis of the ecological impacts of alien species on native amphibians. *Proceedings of the Royal Society B*, 286(1897), 1-10.

Ogunsusi, K. (2013). *Bitumen Seepage And Its Effects On Biodiversity In Ondo State, Nigeria* [Thèse de doctorat, Université Ilbadan].

Orgiazzi, A., Bardgett, R.D., Barrios, E. Behan-Pelletier, V., Briones, M.J.I., Chotte, G. B., De Deyn, P., Eggleton, N., Fierer, T., Fraser, K., Hedlund, S., Jeffrey, N. C., Johnson, A., Jones, E., Kandeler, N., Kaneko, P., Lavelle, P., Lemanceau, L., Miko, L., Montanarella, F. M., de Souza Moreira, K. S., Ramirez, S., Scheu, B. K., Singh, J., Six, van der Putten, W. H. & Wall, D.H. (2016) *Global Soil Biodiversity Atlas*. European Commission, Publications Office of the European Union, Luxembourg.

Palis, J. G. (2007). If you build it, they will come: herpetofaunal colonization of constructed wetlands and adjacent terrestrial habitat in the Cache River drainage of southern Illinois. *Transactions of the Illinois State Academy of Science*, 100(2), 177-189.

Park, K. J. (2015). Mitigating the impacts of agriculture on biodiversity: bats and their potential role as bioindicators. *Mammalian Biology*, 80(3), 191-204.
Parrotta, J. A. (1992). The role of plantation forests in rehabilitating degraded tropical ecosystems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 41(2), 115-133.

Prairie, Y. T. (2008). Carbocentric limnology: looking back, looking forward. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 65(3), 543-548.

Rasilo, T., Prairie, Y. T. & Del Giorgio, P. A. (2014). Large-scale patterns in summer diffusive CH₄ fluxes across boreal lakes, and contribution to diffusive C emissions. *Global Change Biology*, 21(3), 1124–1139.

Rietveld, W. J. (1983). Allelopathic effects of juglone on germination and growth of several herbaceous and woody species. *Journal of Chemical Ecology*, 9(2), 295-308.

- Rolletschek, H., Rolletschek, A., Hartzendorf, T. & Kohl, J. G. (2000). Physiological consequences of mowing and burning of *Phragmites australis* stands for rhizome ventilation and amino acid metabolism. *Wetlands ecology and management*, 8(6), 425-433.
- Ruiz-Jaén, M. C. & Aide, T. M. (2005). Vegetation structure, species diversity, and ecosystem processes as measures of restoration success. *Forest Ecology and Management*, 218(1-3), 159-173.
- Russell, I. A. & Kraaij, T. (2008). Effects of cutting *Phragmites australis* along an inundation gradient, with implications for managing reed encroachment in a South African estuarine lake system. *Wetlands Ecology and Management*, 16(5), 383-393.
- Sekercioglu, Ç. H., Wenny, D. G., & Whelan, C. J.. (2016). *Why birds matter: avian ecological function and ecosystem services*. University of Chicago Press.
- Stowe, K. A., Marquis, R. J., Hochwender, C. G. & Simms, E. L. (2000). The evolutionary ecology of tolerance to consumer damage. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 31(1), 565-595.
- Tu, M., Hurd, C. & Randall, J.M. (2001). Weed Control Methods Handbook. *The Nature Conservancy*. <http://tncweeds.ucdavis.edu>
- Sun, J. W. & Narins, P. M. (2005). Anthropogenic sounds differentially affect amphibian call rate. *Biological conservation*, 121(3), 419-427.
- U.S. Geological Survey (USGS). (2004). *Use of Amphibians as Indicators of Ecosystem Restoration Success*. <https://pubs.usgs.gov/fs/2004/3106/>
- U.S. Fish and Wildlife Service. (2020). *Bats are one of the most important misunderstood animals*. <https://www.fws.gov/midwest/news/ImportanceOfBats.html>
- Wetzel, R. G. (2001). *Limnology: lake and river ecosystems* (3^e éd.). Academic Press Inc.
- Whelan, C. J., Şekercioglu, Ç. H. & Wenny, D. G. (2015). Why birds matter: from economic ornithology to ecosystem services. *Journal of Ornithology*, 156(1), 227-238.
- Whisenant, S. (2005). Managing and directing natural succession. Dans S. Mansourian, D. Vallauri et N. Dudley (dir.), *Forest Restoration in Landscapes* (p. 257-261). Springer.
- Zhan, X., Wu, W., Zhou, L., Liang, J. & Jiang, T. (2010). Interactive effect of dissolved organic matter and phenanthrene on soil enzymatic activities. *Journal of Environmental Sciences*, 22(4), 607-614.

ANNEXE A
INFORMATIONS SUPPLÉMENTAIRES

ANNEXE A.1

**Tableau de la caractérisation de la flore pionnière à
l'intérieur du MR8A et du MR8B**

Parcelle	Traitement	Espèces observées	Nombre d'individus	Hauteur du plus grand individu (en cm)	Recouvrement (en %)
MR8A P1	Terre et feuilles	Abutilon à pétales jaunes (<i>Abutilon theophrasti</i>)	1	51	8
		Armoise commune (<i>Artemisia vulgaris</i>)	1	25	2
		Camomille fétide (<i>Anthemis cotula</i>)	3	25	6
		Carotte sauvage (<i>Daucus carota</i>)	1	48	5
		Chénopode blanc (<i>Chenopodium album</i>)	34	30	30
		Luzerne lupuline (<i>Medicago lupulina</i>)	7	20	8
		Oxalide sp (<i>Oxalis</i> sp.)	1	14	1
		Petite herbe à poux (<i>Ambrosia artemisiifolia</i>)	1	31	5
		Panic d'automne (<i>Panicum dichotomiflorum</i>) [À base rouge]	Info manquante	54	4
		Potentille de Norvège (<i>Potentilla norvegica</i>)	1	25	4
		Rorippe des marais (<i>Rorippa palustris</i>)	4	52	8
		Silène enflée (<i>Silene vulgaris</i>)	3	38	2
		Vélar fausse-girolée (<i>Erysimum cheiranthoides</i>)	1	71	10
		Verge d'or du Canada (<i>Solidago canadensis</i>)	21	35	25
		Véronique sp. (<i>Veronica</i> sp.)	30	20	7
MR8A P1	Bois et feuilles	Chénopode blanc (<i>Chenopodium album</i>)	42	100	60
		Panic capillaire (<i>Panicum capillare</i>)	2	54	5
		Poacée sp. [À base rouge] (<i>Poaceae</i> sp.)	Info manquante	40	4
		Ricinelle rhomboïde (<i>Acalypha rhomboidea</i>)	1	24	3
		Rorippe des marais (<i>Rorippa palustris</i>)	2	29	5
		Verge d'or du Canada (<i>Solidago canadensis</i>)	1	26	2
		Véronique sp. (<i>Veronica</i> sp.)	30	20	15
MR8A P2	Terre, bois et feuilles	Abutilon à pétales jaunes (<i>Abutilon theophrasti</i>)	5	10	1

**REBOISEMENT DES TERRES ENCLAVÉES À PIKE RIVER ET SAINT-ARMAND
R850.2**

Parcelle	Traitement	Espèces observées	Nombre d'individus	Hauteur du plus grand individu (en cm)	Recouvrement (en %)
MR8A P2	Terre, bois et feuilles	Chénopode blanc (<i>Chenopodium album</i>)	7	8	2
		Petite herbe à poux (<i>Ambrosia artemisiifolia</i>)	1	1	1
		Panic d'automne (<i>Panicum dichotomiflorum</i>) [À base rouge]	19	20	5
		Prêle des champs (<i>Equisetum arvense</i>)	1	2	1
MR8A P2	Bois et feuilles	Bourse-à-pasteur (<i>Capsella bursa-pastoris</i>)	2	44	10
		Céraiste vulgaire (<i>Cerastium fontanum</i>)	3	37	3
		Chénopode blanc (<i>Chenopodium album</i>)	44	105	30
		Onagre bisannuelle (<i>Oenothera biennis</i>)	1	43	15
		Pissenlit officinal (<i>Taraxacum officinale</i>)	2	1	1
		Plantain majeur (<i>Plantago major</i>)	1	2	1
		Panic d'automne (<i>Panicum dichotomiflorum</i>) [À base rouge]	2	23	1
		Rorippe des marais (<i>Rorippa palustris</i>)	3	30	7
		Trèfle sp. (<i>Trifolium</i> sp.)	1	20	3
		Véronique sp. (<i>Veronica</i> sp.)	19	23	10
MR8A P3	Témoin	Arroche étalée (<i>Atriplex patula</i>)	5	90	15
		Centauree jacée (<i>Centaurea jacea</i>)	1	42	7
		Céraiste vulgaire (<i>Cerastium fontanum</i>)	1	24	2
		Chénopode blanc (<i>Chenopodium album</i>)	7	103	25
		Gnafale des vases/marais (<i>Gnaphalium uliginosum</i>)	1	19	3
		Luzerne lupuline (<i>Medicago lupulina</i>)	1	21	3
		Pissenlit officinal (<i>Taraxacum officinale</i>)	1	10	1
		Rorippe des marais (<i>Rorippa palustris</i>)	3	20	4
		Trèfle sp. (<i>Trifolium</i> sp.)	1	4	1
		Véronique sp. (<i>Veronica</i> sp.)	179	20	20
MR8A P3	Terre et feuilles	Abutilon à pétales jaunes (<i>Abutilon theophrasti</i>)	1	3	1

**REBOISEMENT DES TERRES ENCLAVÉES À PIKE RIVER ET SAINT-ARMAND
R850.2**

Parcelle	Traitement	Espèces observées	Nombre d'individus	Hauteur du plus grand individu (en cm)	Recouvrement (en %)
MR8A P3	Terre et feuilles	Bourse-à-pasteur (<i>Capsella bursa-pastoris</i>)	1	20	1
		Chénopode blanc (<i>Chenopodium album</i>)	10	110	50
		Euphorbe vermiculée (<i>Euphorbia vermiculata</i>)	1	2	1
		Pissenlit officinal (<i>Taraxacum officinale</i>)	1	1	1
		Panic d'automne (<i>Panicum dichotomiflorum</i>) [À base rouge]	25	20	4
		Ricinelle rhomboïde (<i>Acalypha rhomboidea</i>)	1	2	1
		Véronique sp. (<i>Veronica sp.</i>)	10	17	5
MR8A P4	Terre, bois et feuilles	Abutilon à pétales jaunes (<i>Abutilon theophrasti</i>)	2	30	4
		Bourse-à-pasteur (<i>Capsella bursa-pastoris</i>)	2	23	1
		Céraiste vulgaire (<i>Cerastium fontanum</i>)	5 mottes	16	2
		Chénopode blanc (<i>Chenopodium album</i>)	80	75	90
		Grand plantain (<i>Plantago major</i>)	1	6	2
		Renouée persicaire (<i>Persicaria maculosa</i>)	1	32	1
		Rorippe des marais (<i>Rorippa palustris</i>)	1	32	2
		Trèfle blanc (<i>Trifolium repens</i>)	Info manquante	6	1
		Verge d'or sp. (<i>Solidago sp.</i>)	1	15	1
		Véronique sp. (<i>Veronica sp.</i>)	10	13	2
MR8A P4	Terre et feuilles	Chénopode blanc (<i>Chenopodium album</i>)	10	108	30
		Laiteron des champs (<i>Sonchus arvensis</i>)	1	22	10
		Pissenlit officinal (<i>Taraxacum officinale</i>)	3	15	25
		Poacée sp. (<i>Poaceae sp.</i>)	8	29	2
		Potentille de Norvège (<i>Potentilla norvegica</i>)	1	10	1
MR8A P5	Témoign	Chénopode blanc (<i>Chenopodium album</i>)	19	73	20
		Gnafale des vases/marais (<i>Gnaphalium uliginosum</i>)	8	15	15
		Pâturin sp. (<i>Poa sp.</i>)	1	8	1

**REBOISEMENT DES TERRES ENCLAVÉES À PIKE RIVER ET SAINT-ARMAND
R850.2**

Parcelle	Traitement	Espèces observées	Nombre d'individus	Hauteur du plus grand individu (en cm)	Recouvrement (en %)
MR8A P5	Témoin	Pissenlit officinal (<i>Taraxacum officinale</i>)	4	5	3
		Poacée sp. (<i>Poaceae</i> sp.)	1	11	1
		Ricinelle rhomboïde (<i>Acalypha rhomboidea</i>)	4	22	5
		Rorippe des marais (<i>Rorippa palustris</i>)	8	24	15
		Véronique sp. (<i>Veronica</i> sp.)	66	20	25
MR8A P5	Bois et feuilles	Abutilon à pétales jaunes (<i>Abutilon theophrasti</i>)	1	30	2
		Bident feuillu (<i>Bidens frondosa</i>)	1	14	1
		Céraiste vulgaire (<i>Cerastium fontanum</i>)	6	21	25
		Chénopode blanc (<i>Chenopodium album</i>)	15	84	35
		Gnafale des vases/marais (<i>Gnaphalium uliginosum</i>)	3	16	3
		Pissenlit officinal (<i>Taraxacum officinale</i>)	1	23	20
		Pissenlit sp. (<i>Taraxacum</i> sp.)	1	6	1
		Poacée sp. (<i>Poaceae</i> sp.)	1	19	1
		Rorippe des marais (<i>Rorippa palustris</i>)	1	11	1
		Trèfle blanc (<i>Trifolium repens</i>)	6 mottes	9	8
		Veronique voyageuse (<i>Veronica peregrina</i>)	4	15	2
MR8A P6	Témoin	Bourse-à-pasteur (<i>Capsella bursa-pastoris</i>)	14	21	15
		Céraiste vulgaire (<i>Cerastium fontanum</i>)	7 mottes	22	50
		Chénopode blanc (<i>Chenopodium album</i>)	15	83	30
		Pissenlit officinal (<i>Taraxacum officinale</i>)	2	24	15
		Pissenlit sp. (<i>Taraxacum</i> sp.)	1	19	15
		Rorippe des marais (<i>Rorippa palustris</i>)	1	33	1
		Trèfle blanc (<i>Trifolium repens</i>)	1	2	1
MR8A P6	Terre, bois et feuilles	Chénopode blanc (<i>Chenopodium album</i>)	2	101	20
		Eleusine d'inde (<i>Eleusine indica</i>)	2	7	4
		Euphorbe vermiculée (<i>Euphorbia vermiculata</i>)	1	5	3

**REBOISEMENT DES TERRES ENCLAVÉES À PIKE RIVER ET SAINT-ARMAND
R850.2**

Parcelle	Traitement	Espèces observées	Nombre d'individus	Hauteur du plus grand individu (en cm)	Recouvrement (en %)
MR8A P6	Terre, bois et feuilles	Lierre terrestre (<i>Glechoma hederacea</i>)	1	6	3
		Pissenlit officinal (<i>Taraxacum officinale</i>)	5	7	10
		Panic d'automne (<i>Panicum dichotomiflorum</i>) [À base rouge]	9	13	5
		Renouée des oiseaux (<i>Polygonum aviculare</i>)	1	7	8
MR8B Quadrat 1	S.O.	Armoise annuelle (<i>Artemisia annua</i>)	29	31	7
		Chénopode blanc (<i>Chenopodium album</i>)	19	91	20
		Gnafale des vases/marais (<i>Gnaphalium uliginosum</i>)	10	3	3
		Menthe du Canada (<i>Mentha canadensis</i>)	64	31	30
		Petite herbe à poux (<i>Ambrosia artemisiifolia</i>)	1	21	1
		Pissenlit officinal (<i>Taraxacum officinale</i>)	5	40	25
		Panic d'automne (<i>Panicum dichotomiflorum</i>) [À base rouge]	1 motte	49	3
		Renouée persicaire (<i>Persicaria maculosa</i>)	3	31	3
		Rorippe des marais (<i>Rorippa palustris</i>)	5	48	25
		Trèfle sp. (<i>Trifolium</i> sp.)	Environ 100	2	7
		Véronique sp. (<i>Veronica</i> sp.)	18	5	5
MR8B Quadrat 2	S.O.	Bident feuillu (<i>Bidens frondosa</i>)	1	42	5
		Érable argenté (<i>Acer saccharinum</i>)	1	15	1
		Euphorbe vermiculée (<i>Euphorbia vermiculata</i>)	1	2	1
		Millepertuis elliptique (<i>Hypericum ellipticum</i>)	41	31	30
		Oxalide sp (<i>Oxalis</i> sp.)	8	20	5
		Panic capillaire (<i>Panicum capillare</i>)	5	33	2
		Pissenlit officinal (<i>Taraxacum officinale</i>)	1	10	4
		Échinochloa pied-de-coq (<i>Echinochloa crus-galli</i>) [À verticilles rouges]	1	30	1
		Panic d'automne (<i>Panicum dichotomiflorum</i>) [À base rouge]	27	50	2

**REBOISEMENT DES TERRES ENCLAVÉES À PIKE RIVER ET SAINT-ARMAND
R850.2**

Parcelle	Traitement	Espèces observées	Nombre d'individus	Hauteur du plus grand individu (en cm)	Recouvrement (en %)
MR8B Quadrat 2	S.O.	Poacée sp. [À feuille rouge] (<i>Poaceae</i> sp.)	2	51	1
		Prêle des champs (<i>Equisetum arvense</i>)	1	12	1
		Renouée persicaire (<i>Persicaria maculosa</i>)	2	25	3
		Ricinelle rhomboïde (<i>Acalypha rhomboidea</i>)	3	10	2
		Salicaire commune (<i>Lythrum salicaria</i>)	12	54	10
		Souchet comestible (<i>Cyperus esculentus</i>)	15	44	5
		Vergerette du Canada (<i>Erigeron canadensis</i>)	1	38	1
		Vesce jargeau (<i>Vicia cracca</i>)	8	23	25
MR8B Quadrat 3	S.O.	Abutilon à pétales jaunes (<i>Abutilon theophrasti</i>)	1	32	2
		Bident feuillu (<i>Bidens frondosa</i>)	2	57	8
		Gnafale des vases/marais (<i>Gnaphalium uliginosum</i>)	2	25	1
		Millepertuis elliptique (<i>Hypericum ellipticum</i>)	5	30	10
		Panic capillaire (<i>Panicum capillare</i>)	30	71	8
		Patience crépue (<i>Rumex crispus</i>)	1	60	4
		Échinochloa pied-de-coq (<i>Echinochloa crus-galli</i>) [À verticilles rouges]	5	102	4
		Panic d'automne (<i>Panicum dichotomiflorum</i>) [À base rouge]	79	58	40
		Renouée persicaire (<i>Persicaria maculosa</i>)	12	45	5
		Ricinelle rhomboïde (<i>Acalypha rhomboidea</i>)	2	30	3
		Salicaire commune (<i>Lythrum salicaria</i>)	1 motte	36	5
		Souchet comestible (<i>Cyperus esculentus</i>)	9	38	5

**REBOISEMENT DES TERRES ENCLAVÉES À PIKE RIVER ET SAINT-ARMAND
R850.2**

ANNEXE A.2

**Tableau du dénombrement de chacune des espèces
plantées dans les parcelles du MR8A et MR8B**

Espèce	MR8A						Total MR8A	MR8B						Total MR8B	Grand total
	P1	P2	P3	P4	P5	P6		P1	P2	P3	P4	P5	P6		
<i>Acer rubra</i>	-	-	-	-	-	-	0	5	3	4	3	3	3	21	21
<i>Acer saccharinum</i>	13	14	16	14	14	14	85	10	4	12	5	16	12	59	144
<i>Alnus rugosa</i>	1	1	1	1	1	-	5	1	1	3	2	3	4	14	19
<i>Amelanchier sp.</i>	-	-	-	1	-	-	1	-	-	-	-	-	-	0	1
<i>Carpinus carolina</i>	-	-	-	-	-	-	0	4	3	6	5	3	5	26	26
<i>Carya cordiformis</i>	1	1	2	2	1	1	8	-	-	-	-	2	-	2	10
<i>Carya ovata</i>	1	2	2	2	-	1	8	4	3	5	1	3	6	22	30
<i>Celtis occidentalis</i>	-	-	-	-	-	-	0	6	3	6	2	4	5	26	26
<i>Cornus stolonifera</i>	1	2	-	-	1	1	5	-	-	-	-	-	-	0	5
<i>Crateagus sp.</i>	-	-	1	-	1	1	3	-	-	-	-	-	-	0	3
<i>Fraxinus americana</i>	2	2	1	2	1	2	10	-	-	-	-	-	-	0	10
<i>Fraxinus nigra</i>	-	1	-	-	-	-	1	2	2	2	2	1	1	10	11
<i>Fraxinus pennsylvanica</i>	-	2	1	2	3	2	10	-	-	-	-	-	-	0	10
<i>Fraxinus sp.</i>	1	2	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	0	3
<i>Juglans cinerea</i>	7	7	8	7	7	7	43	-	5	-	5	6	-	16	59
<i>Populus deltoides</i>	-	-	1	-	-	-	1	4	1	4	2	1	4	16	17
<i>Populus tremuloides</i>	1	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	0	1
<i>Prunus serotina</i>	-	-	-	1	1	1	3	-	-	-	-	1	-	1	4
<i>Quercus alba</i>	4	4	4	4	4	4	24	5	-	5	-	-	5	15	39
<i>Quercus bicolor</i>	4	4	2	4	2	3	19	7	3	8	4	7	8	37	56
<i>Quercus macrocarpa</i>	1	2	1	1	2	5	12	-	-	-	-	1	-	1	13
<i>Salix discolor</i>	-	-	-	-	-	-	0	2	2	2	2	4	5	17	17
<i>Salix nigra</i>	-	-	-	-	1	1	2	-	-	-	-	-	-	0	2
<i>Salix sp.</i>	1	-	1	1	-	-	3	-	-	-	-	-	-	0	3
<i>Salix x fragilis</i>	-	1	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	0	1
<i>Sambucus canadensis</i>	1	1	1		2	1	6	-	-	-	-	-	-	0	6
<i>Thuja occidentalis</i>	-	-	-	-	-	-	0	6	3	5	3	3	5	25	25
<i>Ulmus americana</i>	6	4	6	5	5	4	30	8	6	8	4	4	5	35	65
<i>Ulmus rubra</i>	2	1	1	2	1	1	8	-	1	-	-	-	-	1	9
Total	47	51	49	49	47	49	292	64	40	70	40	62	68	344	636

**REBOISEMENT DES TERRES ENCLAVÉES À PIKE RIVER ET SAINT-ARMAND
R850.2**

ANNEXE A.3

**Tableau des différentes semences plantées pour chacun
des pots, ainsi que leur provenance, leur condition de
conservation et le nombre de semences plantées par pot.**

Numéro de pot	Espèce	Provenance	Condition de conservation	Nb semences plantées
7337	<i>Carya ovata</i>	Pike River	Réfrigérateur	4
7334	<i>Carya ovata</i>	Pike River	Réfrigérateur	4
7332	<i>Carya ovata</i>	Pike River	Réfrigérateur	4
7336	<i>Carya ovata</i>	Pike River	Réfrigérateur	4
7333	<i>Carya ovata</i>	Pike River	Réfrigérateur	4
2296	<i>Juglans cinerea</i>	Montréal (Cartierville)	Réfrigérateur	4
2299	<i>Juglans cinerea</i>	Montréal (Cartierville)	Réfrigérateur	3
2297	<i>Juglans cinerea</i>	Montréal (Cartierville)	Réfrigérateur	3
2213	<i>Juglans cinerea</i>	Montréal (Cartierville)	Réfrigérateur	3
2298	<i>Juglans cinerea</i>	Montréal (Cartierville)	Réfrigérateur	3
2293	<i>Juglans cinerea</i>	Montréal (Cartierville)	Réfrigérateur	3
2295	<i>Juglans cinerea</i>	Montréal (Jardin botanique)	Réfrigérateur	3
2292	<i>Juglans cinerea</i>	Montréal (Jardin botanique)	Réfrigérateur	3
2291	<i>Juglans cinerea</i>	Montréal (Jardin botanique)	Réfrigérateur	3
2294	<i>Juglans cinerea</i>	Montréal (Jardin botanique)	Réfrigérateur	2
2214	<i>Carya ovata</i>	Montréal (Jardin botanique)	Réfrigérateur	3
2290	<i>Carya ovata</i>	Montréal (Jardin botanique)	Réfrigérateur	3
2217	<i>Carya ovata</i>	Montréal (Jardin botanique)	Réfrigérateur	3
2277	<i>Carya ovata</i>	Montréal (Jardin botanique)	Réfrigérateur	3
2219	<i>Carya ovata</i>	Montréal (Jardin botanique)	Réfrigérateur	3
2269	<i>Carya ovata</i>	Montréal (Jardin botanique)	Réfrigérateur	3
2272	<i>Carya ovata</i>	Montréal (Jardin botanique)	Réfrigérateur	3
2268	<i>Carya ovata</i>	Montréal (Jardin botanique)	Réfrigérateur	3
2227	<i>Carya ovata</i>	Montréal (Jardin botanique)	Réfrigérateur	4
2264	<i>Carya ovata</i>	Montréal (Jardin botanique)	Réfrigérateur	4
2265	<i>Carya ovata</i>	Montréal (Jardin botanique)	Réfrigérateur	3
2278	<i>Carya ovata</i>	Montréal (Jardin botanique)	Réfrigérateur	2
2236	<i>Carya ovata</i>	Montréal (Jardin botanique)	Réfrigérateur	2
2207	<i>Carya ovata</i>	Montréal (Jardin botanique)	Réfrigérateur	2
2312	<i>Carya ovata</i>	Montréal (Jardin botanique)	Réfrigérateur	2
2279	<i>Carya ovata</i>	Montréal (Jardin botanique)	Réfrigérateur	2
2280	<i>Carya ovata</i>	Montréal (Jardin botanique)	Réfrigérateur	2
2218	<i>Carya ovata</i>	Montréal (Jardin botanique)	Réfrigérateur	2
2276	<i>Carya ovata</i>	Montréal (Jardin botanique)	Réfrigérateur	2
2267	<i>Carya ovata</i>	Longueuil	Réfrigérateur	2

**REBOISEMENT DES TERRES ENCLAVÉES À PIKE RIVER ET SAINT-ARMAND
R850.2**

Numéro de pot	Espèce	Provenance	Condition de conservation	Nb semences plantées
2192	<i>Carya ovata</i>	Longueuil	Réfrigérateur	2
2384	<i>Carya ovata</i>	Longueuil	Réfrigérateur	2
2270	<i>Carya ovata</i>	Longueuil	Réfrigérateur	2
2283	<i>Carya ovata</i>	Longueuil	Réfrigérateur	2
2282	<i>Carya ovata</i>	Longueuil	Réfrigérateur	2
2243	<i>Carya ovata</i>	Longueuil	Réfrigérateur	2
2366	<i>Carya ovata</i>	Longueuil	Réfrigérateur	2
2208	<i>Carya ovata</i>	Longueuil	Réfrigérateur	2
2281	<i>Carya ovata</i>	Longueuil	Réfrigérateur	2
2242	<i>Carya ovata</i>	Longueuil	Réfrigérateur	2
2326	<i>Carya ovata</i>	Longueuil	Réfrigérateur	2
2355	<i>Carya ovata</i>	Longueuil	Réfrigérateur	2
2484	<i>Carya ovata</i>	Longueuil	Réfrigérateur	2
2378	<i>Carya ovata</i>	Longueuil	Réfrigérateur	2
2202	<i>Carya ovata</i>	Longueuil	Réfrigérateur	2
2275	<i>Carya ovata</i>	Longueuil	Réfrigérateur	2
2383	<i>Carya ovata</i>	Longueuil	Réfrigérateur	2
2185	<i>Carya ovata</i>	Longueuil	Réfrigérateur	2
2322	<i>Carya ovata</i>	Longueuil	Réfrigérateur	2
2351	<i>Carya ovata</i>	Longueuil	Réfrigérateur	2
2193	<i>Carya ovata</i>	Longueuil	Réfrigérateur	2
2497	<i>Carya ovata</i>	Longueuil	Réfrigérateur	2
2222	<i>Carya ovata</i>	Longueuil	Réfrigérateur	1
2288	<i>Carya ovata</i>	Boucherville	Réfrigérateur	2
2289	<i>Carya ovata</i>	Boucherville	Réfrigérateur	2
2309	<i>Carya ovata</i>	Boucherville	Réfrigérateur	2
2235	<i>Carya ovata</i>	Boucherville	Réfrigérateur	2
2308	<i>Carya ovata</i>	Boucherville	Réfrigérateur	2
2329	<i>Carya ovata</i>	Boucherville	Réfrigérateur	2
2483	<i>Carya ovata</i>	Boucherville	Réfrigérateur	2
2307	<i>Carya ovata</i>	Boucherville	Réfrigérateur	2
2285	<i>Carya ovata</i>	Boucherville	Réfrigérateur	2
2266	<i>Carya ovata</i>	Boucherville	Réfrigérateur	2
2381	<i>Carya ovata</i>	Boucherville	Réfrigérateur	2
2485	<i>Carya ovata</i>	Boucherville	Réfrigérateur	2
2493	<i>Carya ovata</i>	Boucherville	Réfrigérateur	2
2273	<i>Carya ovata</i>	Boucherville	Réfrigérateur	2
2330	<i>Carya ovata</i>	Boucherville	Réfrigérateur	2
2500	<i>Carya ovata</i>	Boucherville	Réfrigérateur	2
2306	<i>Carya ovata</i>	Boucherville	Réfrigérateur	2

**REBOISEMENT DES TERRES ENCLAVÉES À PIKE RIVER ET SAINT-ARMAND
R850.2**

Numéro de pot	Espèce	Provenance	Condition de conservation	Nb semences plantées
2363	<i>Carya ovata</i>	Boucherville	Réfrigérateur	2
2429	<i>Carya ovata</i>	Boucherville	Réfrigérateur	2
2274	<i>Carya ovata</i>	Boucherville	Réfrigérateur	2
2245	<i>Carya ovata</i>	Boucherville	Réfrigérateur	2
2188	<i>Carya ovata</i>	Boucherville	Réfrigérateur	2
2271	<i>Carya ovata</i>	Boucherville	Réfrigérateur	2
2390	<i>Carya ovata</i>	Boucherville	Réfrigérateur	2
2287	<i>Acer nigrum</i>	Montréal (Jardin botanique)	T° ambiante	3
2284	<i>Acer nigrum</i>	Montréal (Jardin botanique)	T° ambiante	3
2313	<i>Acer nigrum</i>	Montréal (Jardin botanique)	T° ambiante	3
2231	<i>Acer nigrum</i>	Montréal (Jardin botanique)	T° ambiante	3
2240	<i>Acer nigrum</i>	Montréal (Jardin botanique)	T° ambiante	4
2186	<i>Acer nigrum</i>	Montréal (Jardin botanique)	T° ambiante	3
2286	<i>Acer nigrum</i>	Montréal (Jardin botanique)	T° ambiante	3
2258	<i>Acer nigrum</i>	Montréal (Jardin botanique)	T° ambiante	2
2373	<i>Acer nigrum</i>	Montréal (Jardin botanique)	T° ambiante	2
2211	<i>Acer nigrum</i>	Montréal (Jardin botanique)	T° ambiante	2
2239	<i>Acer nigrum</i>	Montréal (Jardin botanique)	T° ambiante	2
2255	<i>Acer nigrum</i>	Montréal (Jardin botanique)	Réfrigérateur	3
2238	<i>Acer nigrum</i>	Montréal (Jardin botanique)	Réfrigérateur	3
2234	<i>Acer nigrum</i>	Montréal (Jardin botanique)	Réfrigérateur	3
2380	<i>Acer nigrum</i>	Montréal (Jardin botanique)	Réfrigérateur	3
2241	<i>Acer nigrum</i>	Montréal (Jardin botanique)	Réfrigérateur	3
2385	<i>Acer nigrum</i>	Montréal (Jardin botanique)	Réfrigérateur	3
2229	<i>Acer nigrum</i>	Montréal (Jardin botanique)	Réfrigérateur	3
2246	<i>Acer nigrum</i>	Montréal (Jardin botanique)	Réfrigérateur	3
2263	<i>Acer nigrum</i>	Montréal (Jardin botanique)	Réfrigérateur	3
2232	<i>Acer nigrum</i>	Montréal (Jardin botanique)	Réfrigérateur	2
2352	<i>Acer nigrum</i>	Montréal (Jardin botanique)	Réfrigérateur	2
2379	<i>Acer nigrum</i>	Montréal (Jardin botanique)	Réfrigérateur	2
2337	<i>Acer nigrum</i>	Montréal (Jardin botanique)	Réfrigérateur	3
2303	<i>Acer nigrum</i>	Montréal (Cartierville)	Réfrigérateur	2
2396	<i>Acer nigrum</i>	Montréal (Cartierville)	Réfrigérateur	2
2392	<i>Acer nigrum</i>	Montréal (Cartierville)	Réfrigérateur	2
2395	<i>Acer nigrum</i>	Montréal (Cartierville)	Réfrigérateur	2
2204	<i>Acer nigrum</i>	Montréal (Cartierville)	Réfrigérateur	2
2210	<i>Acer nigrum</i>	Montréal (Cartierville)	Réfrigérateur	2
2220	<i>Acer nigrum</i>	Montréal (Cartierville)	Réfrigérateur	2
2205	<i>Acer nigrum</i>	Montréal (Cartierville)	Réfrigérateur	2
2224	<i>Acer nigrum</i>	Montréal (Cartierville)	Réfrigérateur	2

**REBOISEMENT DES TERRES ENCLAVÉES À PIKE RIVER ET SAINT-ARMAND
R850.2**

Numéro de pot	Espèce	Provenance	Condition de conservation	Nb semences plantées
2239	<i>Acer nigrum</i>	Montréal (Cartierville)	Réfrigérateur	2
2327	<i>Acer nigrum</i>	Montréal (Cartierville)	Réfrigérateur	2
2369	<i>Acer nigrum</i>	Montréal (Cartierville)	Réfrigérateur	2
2377	<i>Acer nigrum</i>	Montréal (Cartierville)	Réfrigérateur	2
2244	<i>Acer nigrum</i>	Montréal (Cartierville)	Réfrigérateur	2
2356	<i>Acer nigrum</i>	Montréal (Cartierville)	Réfrigérateur	2
2301	<i>Acer nigrum</i>	Montréal (Cartierville)	Réfrigérateur	2
2237	<i>Acer nigrum</i>	Montréal (Cartierville)	Réfrigérateur	2
2372	<i>Acer nigrum</i>	Montréal (Cartierville)	Réfrigérateur	2
2183	<i>Acer nigrum</i>	Montréal (Cartierville)	Congélateur	25
2191	<i>Acer nigrum</i>	Montréal (Cartierville)	Congélateur	17
2248	<i>Acer nigrum</i>	St-André-d'Argenteuil	Réfrigérateur	2
2320	<i>Acer nigrum</i>	St-André-d'Argenteuil	Réfrigérateur	1
2431	<i>Acer nigrum</i>	St-André-d'Argenteuil	Réfrigérateur	1
2400	<i>Acer nigrum</i>	St-André-d'Argenteuil	Réfrigérateur	1
2317	<i>Acer nigrum</i>	St-André-d'Argenteuil	Réfrigérateur	1
2197	<i>Acer nigrum</i>	St-André-d'Argenteuil	Réfrigérateur	1
2357	<i>Acer nigrum</i>	St-André-d'Argenteuil	Réfrigérateur	1
2353	<i>Acer nigrum</i>	St-André-d'Argenteuil	Réfrigérateur	1
2316	<i>Acer nigrum</i>	St-André-d'Argenteuil	Réfrigérateur	1
2354	<i>Acer nigrum</i>	St-André-d'Argenteuil	Réfrigérateur	1
2302	<i>Acer nigrum</i>	St-André-d'Argenteuil	Réfrigérateur	1
2494	<i>Acer nigrum</i>	St-André-d'Argenteuil	Réfrigérateur	1
2216	<i>Acer nigrum</i>	St-André-d'Argenteuil	Réfrigérateur	1
2495	<i>Acer nigrum</i>	St-André-d'Argenteuil	Réfrigérateur	1
2360	<i>Acer nigrum</i>	St-André-d'Argenteuil	Réfrigérateur	1
2215	<i>Acer nigrum</i>	St-André-d'Argenteuil	Réfrigérateur	1
2498	<i>Acer nigrum</i>	St-André-d'Argenteuil	Réfrigérateur	1
2432	<i>Acer nigrum</i>	St-André-d'Argenteuil	Réfrigérateur	1
2304	<i>Acer nigrum</i>	St-André-d'Argenteuil	Réfrigérateur	1
2335	<i>Acer nigrum</i>	St-André-d'Argenteuil	Réfrigérateur	1
2334	<i>Acer nigrum</i>	St-André-d'Argenteuil	Réfrigérateur	1
2359	<i>Acer nigrum</i>	St-André-d'Argenteuil	Réfrigérateur	1
2348	<i>Acer nigrum</i>	St-André-d'Argenteuil	Réfrigérateur	1
2209	<i>Acer nigrum</i>	St-André-d'Argenteuil	Réfrigérateur	1
2346	<i>Acer nigrum</i>	St-André-d'Argenteuil	Réfrigérateur	1
2252	<i>Acer nigrum</i>	St-André-d'Argenteuil	Réfrigérateur	1
2257	<i>Acer nigrum</i>	St-André-d'Argenteuil	Réfrigérateur	1
2221	<i>Acer nigrum</i>	St-André-d'Argenteuil	Réfrigérateur	1

ANNEXE A.4

Tableau des indicateurs d'atteinte des objectifs pour les différents volets (suivis jusqu'en 2033)

Objectifs	Indicateurs	Changements attendus (cibles)	Mesures quantitatives (suivis)
Maintien et augmentation de la diversité végétale du sous-bois	Taux de survie des espèces végétales rares et à statut précaire transplantées et plantées	Établissement des populations viables de toutes les espèces transplantées <u>Cible</u> : 100 % du succès	<u>Suivi extensif</u> : Mesure de survie des espèces transplantées et plantées (herbacées et arbres)
	Diversité des espèces floristiques	Augmentation d'espèces non plantée ou ensemencée <u>Cible</u> : Augmentation de l'an 0 à l'an 10 de l'abondance et diversité floristique	Abondance par espèce de la régénération forestière et implantation de nouveaux individus (par point d'échantillonnage ou nombre de quadrats)
Développement d'habitats pour la faune	Diversité structurale des forêts comme habitat pour les communautés d'avifaune, mammifères, pédofaune, herpétofaune	<u>Cible</u> : Augmentation de l'an 0 à l'an 10 de l'abondance et diversité faunique (pédofaune, herpétofaune, avifaune et mammifères)	<u>Suivi de l'avifaune</u> : Observation de la présence d'individus par point d'écoute ; Analyse des changements dans la composition des espèces ; Mesures des jeunes oiseaux comme indicateur du succès de reproduction <u>Suivi des mammifères et chiroptères</u> : Observation de la présence d'espèces de chiroptère, mammifères par photos ; Analyse des changements dans la composition des communautés
	Augmentation de l'abondance des détritivores	<u>Cible</u> : Augmentation de l'an 0 à l'an 10 de l'abondance et diversité faunique (pédofaune détritivore)	<u>Suivi de l'herpétofaune</u> : Observation de la présence d'espèces par écoute ; Analyse des changements dans la composition des populations dans le temps <u>Suivi de la pédofaune</u> : Analyse de présence d'individus dans les échantillons

**REBOISEMENT DES TERRES ENCLAVÉES À PIKE RIVER ET SAINT-ARMAND
R850.2**

Objectifs	Indicateurs	Changements attendus (cibles)	Mesures quantitatives (suivis)
Développement d'habitats pour la faune	Diversité horizontale structurale (richesse et abondance des arbres et plantes herbacées)	<u>Cible</u> : Diversité arborescente par ha similaire aux forêts matures de la région actuelle ou historique ; Indice de diversité des plantations (herbacées, arbres et végétation générale)	Abondance par espèces d'arbres, arbustes et d'herbacées ; Évolution de la régénération forestière et implantation de nouveaux individus (par point d'échantillonnage ou nombre de quadrats) ; Indice de richesse et de Shannon
	Quantité et répartition du bois mort (volume et taille/ha)	<u>Cible</u> : Augmentation des volumes du bois mort dans le temps ; Augmentation de la pédofaune détriticide, avifaune, herpétofaune, etc. dépendant du bois mort	Volume et densité de bois morts m ³ /ha et par stade de dégradation selon les clés de dégradation
Développement d'habitats pour la faune	Survie des espèces arborescentes transplantées et plantées ; Croissance du peuplement	<u>Cible</u> : Augmentation et par la suite maintien du couvert forestier à travers le temps	Coefficient de distribution ; suivi extensif et expérimental intensif ; Mesure de la croissance des espèces plantées
	Établissement des espèces végétales par dispersion	<u>Cible</u> : Augmentation de l'abondance des espèces forestières indigènes non plantées	Abondance par espèces ; Évolution de la régénération forestière et implantation de nouveaux individus (par point d'échantillonnage ou nombre de quadrats)
	Fermeture de la canopée	<u>Cible</u> : Augmentation et par la suite maintien du couvert forestier à travers le temps	Pourcentage (%) de fermeture de la canopée, incluant les sous-étages
Contrôle des EVEC	Abondance et recouvrement des EVEC	<u>Cible</u> : Élimination des EVEC du territoire (présence maximale < 2 % de la superficie)	Suivi des superficies et densités recouvertes par les EVEC dans les proportions du territoire avec leur présence
	Réduction de la densité des populations des EVEC	Densité des populations où les EVEC sont présentes à moins de 10 % de recouvrement d'une parcelle	Abondance des EVEC par m ² dans les secteurs où elles sont présentes

**REBOISEMENT DES TERRES ENCLAVÉES À PIKE RIVER ET SAINT-ARMAND
R850.2**

Objectifs	Indicateurs	Changements attendus (cibles)	Mesures quantitatives (suivis)
Production des espèces d'arbres rares et à statut (<i>ex-situ</i>)	Semis atteignant une hauteur fixe après 2 ans	<u>Cible</u> : Taux de croissance des semis de 20 %	Suivi <i>ex-situ</i> (pépinière ou serre) du taux de germination et de survie des semences
	Semis germés	<u>Cible</u> : Taux de germination de 50 %	
	Taux de réussite des plantations des semis	<u>Cible</u> : Taux de survie minimal de 70 %	
Bilan carbone	Quantification de carbone séquestré et dégagé dans les différents milieux (aquatiques et terrestres)	<u>Cible</u> : Le ratio de tonnes de carbone/an produit vs carbone séquestré diminue dans le temps	Suivi de l'évolution du bilan carbone terrestre et aquatique aux points d'échantillonnages déterminés en tonnes de carbone par an

ANNEXE A.5

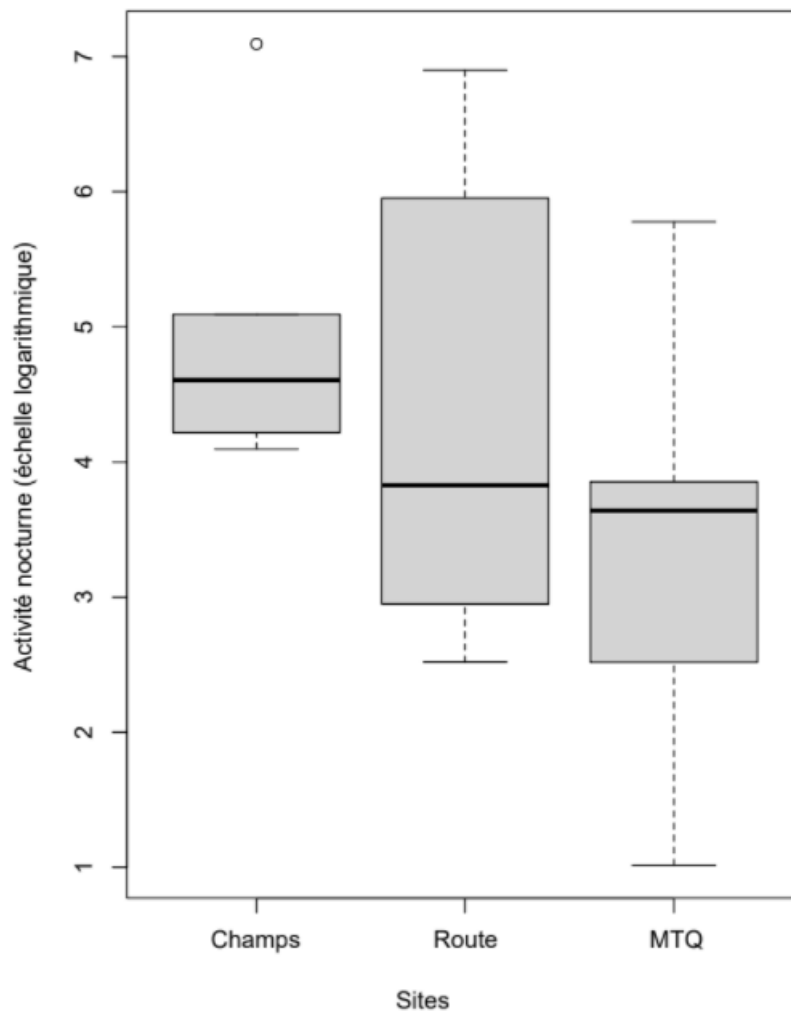
Tableau représentant la liste des différentes stations d'échantillonnage pour l'avifaune en fonction de la profondeur dans le couvert forestier et le type de milieux.

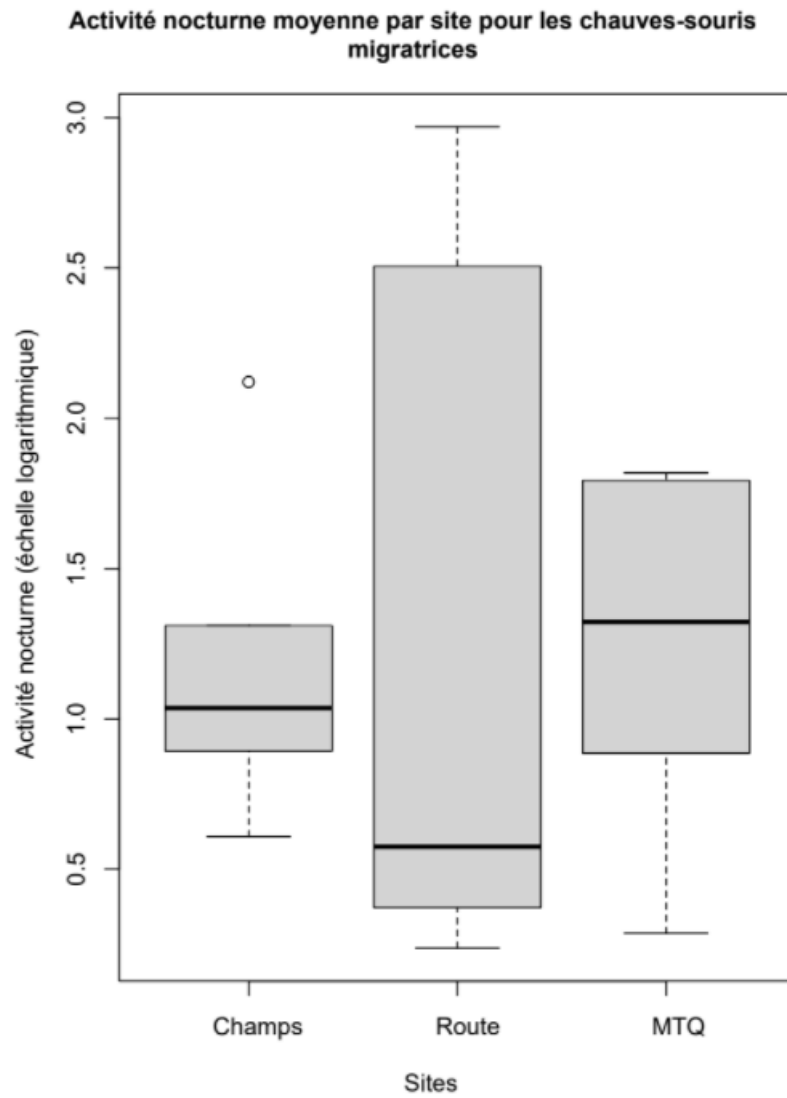
Station	Milieu
C-forêt	Forêt
C-lisière	Forêt
E-forêt	Mixte
E-lisière	Mixte
F-forêt	Mixte
F-lisière	Mixte
Francine 3-forêt	Mixte
G-forêt	Mixte
G-lisière	Mixte
H-lisière	Mixte
J-forêt	Mixte
J-lisière	Mixte
K-forêt	Mixte
K-lisière	Forêt
L-forêt	Mixte
L-lisière	Mixte
M-forêt	Forêt
M-lisière	Mixte
N-forêt	Forêt
N-lisière	Forêt
P-lisière	Mixte
Q-lisière	Mixte
W-lisière	Forêt
X-forêt	Mixte
Y-lisière	Forêt
Z-lisière	Mixte

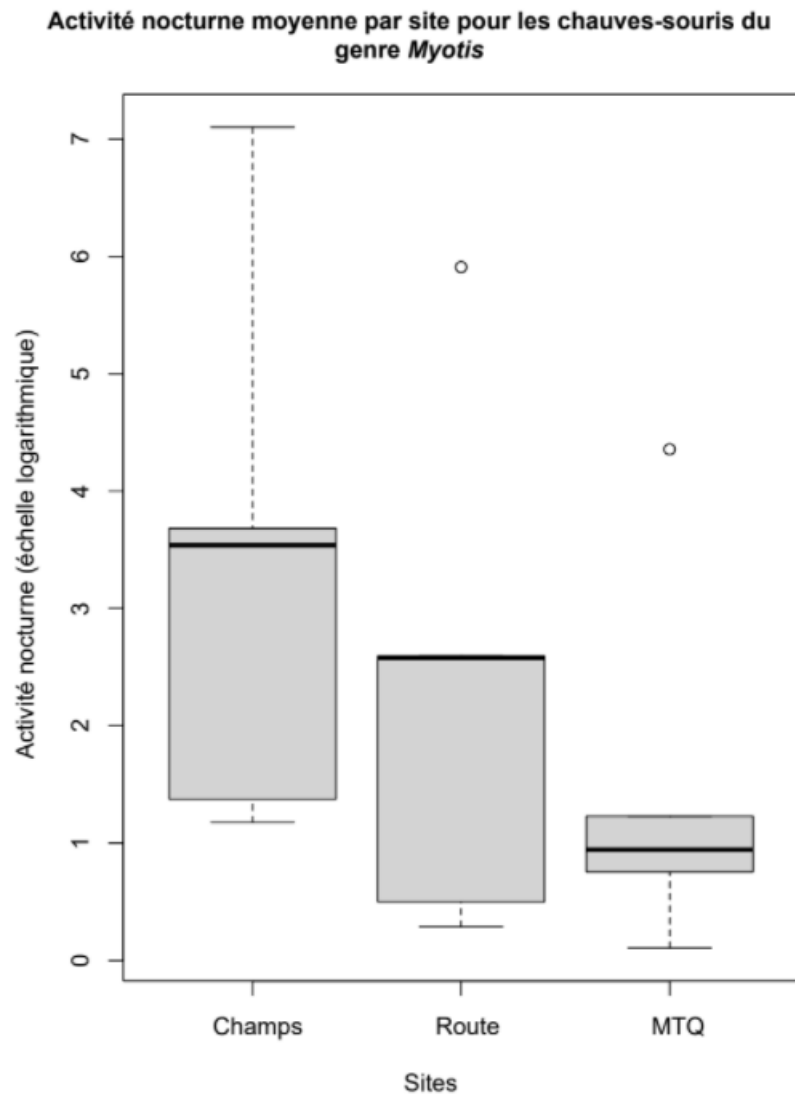
ANNEXE A.6

Présentation des résultats préliminaires pour le volet chiroptères

Activité nocturne moyenne par site pour la grande chauve-souris
brune







ANNEXE B

RAPPORT D'ÉTAPE 1: PROSPECTION DES EMVS



PROSPECTION DES ESPÈCES FLORISTIQUES MENACÉES, VULNÉRABLES OU SUSCEPTIBLES DE L'ÊTRE (EMVS)

**Reboisement des terres enclavées à Pike-River et Saint-Armand —
Projet de compensation — phase II, rapport d'étape 1
R850.2**

Par Laurie Auclair, Natacha Jetha et Dominique Tardif
Agentes de recherche pour le laboratoire du P^r Kneeshaw

Daniel Kneeshaw, Chercheur principal
Centre d'étude de la forêt
Département des sciences biologiques
Faculté des sciences
Université du Québec à Montréal
Téléphone : 514-987-3000, poste 4480
Courriel : kneeshaw.daniel@uqam.ca

Réalisé pour le compte du ministère des Transports

Août 2021

La présente étude a été réalisée à la demande du ministère des Transports et a été financée par le Ministère.

Les opinions exprimées dans le présent rapport n'engagent que la responsabilité de leurs auteurs et ne reflètent pas nécessairement les positions du ministère des Transports.

Collaborateurs(trices)

Myriam Fontaine, Étudiante à la maîtrise, Université du Québec à Montréal
César Gabillot, Agent de recherche, Université du Québec à Montréal

TABLE DES MATIÈRES

1. INTRODUCTION	116
2. MÉTHODES ET CALENDRIER DE RÉALISATION.....	116
2.1. Prospection, dénombrement et localisation d'espèces à statut précaire — avril à septembre 2021.....	116
2.2. Transplantations — septembre 2021.....	116
3. RÉSULTATS	117
3.1. Localisation et prospection des EMVS	117
3.2. Transplantations	119
4. CONCLUSION ET PRINCIPAUX CONSTATS	120
4.1. Prospection des espèces à statut précaire	120
4.2. Milieu(x) visé(s) pour la transplantation des espèces à statut précaire 121	
ANNEXE.....	123

1. INTRODUCTION

La prospection des espèces floristiques menacées, vulnérables ou susceptibles de l'être (EMVS) a commencé au début du mois d'avril à l'intérieur des immeubles excédentaires du MTQ et sur des propriétés privées. Cette prospection a été prévue à la suite des transplantations faites à l'automne 2020, lors desquelles le nombre d'individus d'ail des bois (*Allium tricoccum*), de dentaire à deux feuilles (*Cardamine diphylla*), de trille blanc (*Trillium grandiflorum*), d'érable noir (*Acer nigrum*), de noyer cendré (*Juglans cinerea*) et de caryer ovale (*Carya ovata*) s'est révélé nul ou insuffisant. L'objectif de ce rapport est donc de rendre compte des résultats des prospections effectuées.

2. MÉTHODES ET CALENDRIER DE RÉALISATION

2.1. Prospection, dénombrement et localisation d'espèces à statut précaire — avril à septembre 2021

Pour chacune des localisations des herbacées d'EMVS désignées, un dénombrement a été fait en tenant compte de la superficie recouverte par une population d'une espèce donnée et le nombre d'individus présents dans 1 m² de celle-ci. Puis, des démarches d'obtention d'autorisation pour une récolte éventuelle pour chacun des différents sites, incluant la localisation des populations, seront faites au ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC) et seront abordées de manière plus exhaustive au chapitre 3 du rapport.

Pour les semis d'EMVS visées, une prospection ayant débuté en juillet se poursuivra jusqu'en septembre 2021. Advenant le cas où le nombre de semis trouvés serait insuffisant ou nul, une prospection de semences complémentaires sera réalisée en fonction des différents moments de fructification des espèces. Cette prospection tiendrait compte de la présence et de la quantité de semences observées dans les arbres matures, de la localisation des espèces et de la formulation d'une demande au MELCC pour procéder à une récolte le moment venu.

AJUSTEMENTS : comme l'équipe de l'UQAM n'a pas été tenue informée des EMVS trouvées sur les immeubles du MTQ qui seront déboisés lors de la phase IV du projet, la prospection de ceux-ci devra être reportée à l'année suivante, en 2022.

2.2. Transplantations — septembre 2021

Les transplantations prévues à l'automne 2021 risquent très fortement d'être reportées à l'automne 2022, considérant les difficultés à trouver des EMVS

pouvant être transplantées, ou même à obtenir un accord pour procéder à la récolte de ces spécimens. Ces aspects seront abordés au chapitre 3.

3. RÉSULTATS

3.1. Localisation et prospection des EMVS

En ce qui concerne la prospection des EMVS de type herbacée, celle-ci a débuté comme prévu au début avril 2021. Une première prospection a été effectuée sur les immeubles appartenant au MTQ. Des populations d'ail des bois (ABD), de dentaire à deux feuilles (DDF) et de trille blanc (TB) avaient été répertoriées précédemment lors de la caractérisation effectuée par le groupe DDM (Figure 1). Comme le déboisement de ces zones a eu lieu en même temps que la période de croissance de ces espèces et que les débris ligneux, ayant été déchiquetés sur place, ont été épandus au sol, la prospection des herbacées s'est avérée impossible à faire vu l'immense couche de copeaux de bois qui recouvrait le sol (voir *Annexe*). Cet imprévu a donc rendu impossible la localisation des plants, et assurément leur survie, en vue d'une récolte et d'une transplantation éventuelle.

REBOISEMENT DES TERRES ENCLAVÉES À PIKE RIVER ET SAINT-ARMAND R850.2



Figure 1. Inventaire espèces floristiques à statut réalisé par le groupe DDM dans les immeubles du MTQ

Une seconde prospection a eu lieu sur des terres privées, soit au [Information sensible]. Celle-ci avait pour but la prospection des espèces végétales printanières, telles que l'ADB, la DDF et le TB, par exemple. Les trois espèces ont pu être recensées sur le site, tout particulièrement l'ADB, dont les populations étaient majestueuses et abondantes (voir *Annexe*). Les informations quant au dénombrement et à la localisation sont disponibles au chapitre 4 du présent rapport. Malheureusement, la [Information sensible] a fait preuve de réserve face à notre idée de prélèvement sur leur propriété. De plus, après avoir demandé conseil à l'experte Andrée Nault (biologiste reconnue et spécialisée dans la conservation et la restauration des plantes menacées et vulnérables), celle-ci nous a déconseillé de prélever les espèces situées sur cette propriété, mentionnant la priorité de maintenir l'intégrité de cette aire protégée. L'équipe tentera toutefois de demander une autorisation au [Information sensible] pour effectuer un prélèvement de graines d'ADB.

En ce qui a trait aux espèces arborées, comme aucun individu d'érable noir non hybridé n'a été trouvé dans les immeubles du MTQ, une première prospection dans les environs de Huntingdon a été effectuée. Le choix de ce lieu était basé sur des informations partagées par le Centre de données sur le patrimoine naturel du Québec (CDPNQ). Une visite aux abords de la route a permis d'identifier des individus purs d'érables noirs, ainsi qu'au moins un noyer cendré. Les démarches afin de retrouver les propriétaires de ces lots et d'obtenir des autorisations de passage et de prélèvements sont en cours. D'autres journées de prospection sont prévues dans les secteurs d'Hemmingford et de Saint-Chrysostome afin de repérer des individus d'érables noirs, de noyers cendrés et de caryers ovales.

Également, deux connaissances de l'équipe de recherche possèdent sur leurs propriétés des spécimens d'érables noirs non hybridés et de noyers cendrés. Ces endroits ont été visités et seront utilisés à des fins de récolte. Ceux-ci se trouvent à Montréal et à Godmanchester.

Il est à noter que les demandes d'autorisation nécessaires auprès du MELCC pour le prélèvement de semences sont en cours, et que toute récolte dépend du Ministère.

3.2. Transplantations

Concernant la transplantation des EMVS, comme aucune autorisation de prélèvement n'a pu être obtenue jusqu'à ce jour, particulièrement en lien avec l'ADB, les transplantations risquent très fortement d'être reportées d'un an, soit en 2022. Ceci permettra à l'équipe de recherche de trouver de nouveaux sites potentiels ainsi que d'avoir en main le rapport de caractérisation de la phase IV des travaux, qui permettra sûrement d'identifier la présence d'espèces à transplanter. Qui plus est, ce délai permettra de concrétiser les démarches auprès du MELCC pour l'obtention d'une demande d'autorisation de prélèvement d'EMVS en bonne et due

forme. Il est à noter que ces démarches ne concernent cependant pas les espèces comme le chêne bicolore ou le caryer ovale qui ont un statut susceptible d'être désigné menacée ou vulnérable, car celles-ci ne nécessitent pas d'autorisation de prélèvement particulière.

4. CONCLUSION ET PRINCIPAUX CONSTATS

4.1. Prospection des espèces à statut précaire

Des EMVS, incluant l'ail des bois (ADB) et la dentaire à deux feuilles (DDF), ont été identifiées en 2020 à l'intérieur d'immeubles excédentaires du MTQ présents de part et d'autre de la route 133. A priori, il était prévu que ces lots de terre soient déboisés en hiver, ce qui aurait permis de récolter et de transplanter ces espèces avant le début de l'été. Or, comme le déboisement venait tout juste d'avoir lieu, la prospection effectuée au début du mois d'avril 2021 a révélé que le sol avait été recouvert d'une épaisse couche de copeaux de bois. Aucune transplantation printanière n'a donc pu être effectuée. Ce constat a alors nécessité des recherches additionnelles afin de cibler des EMVS ailleurs que dans les immeubles excédentaires du MTQ dans le secteur de Pike River et de Saint-Armand.

Des prospections ultérieures (mi-avril 2021) dans le [Information sensible] ont permis d'identifier plusieurs colonies d'ADB et de DDF présentes sur les lieux (Figure 2). La densité (nombre d'individus présents par m²) et la superficie de différentes colonies ont été mesurées (Tableau 1). Les colonies d'ADB sont denses et présentent en moyenne 136 plants/m².

[Information sensible]

Figure 2. Carte de localisation des colonies d'ADB, de DDF et de TB retrouvées dans la région de [Information sensible] (Tableau 1)

**Tableau 1. Taille et densité des colonies d'ADB présentes au
[Information sensible] (Figure 2)**

Colonies d'ail des bois	Densité (ind./m ²)	Superficie des colonies (m ²)	Taille de la colonie (nb d'individus)
Colonie ADB 1	184	729,8	134 283
Colonie ADB 2	112	649,78	72 775
Colonie ADB 3	173	1363,36	235 861
Colonie ADB 4	77	1128,33	86 881

Pour ce qui est de la DDF, plusieurs colonies ont également été identifiées (Tableau 2). Contrairement à l'ADB, la DDF n'est pas une espèce formant de denses colonies (voir *Annexe*). La moyenne d'individus calculée en fonction de la superficie totale d'une colonie offre donc une moyenne inférieure à 1 plant/m², alors qu'en réalité, les individus peuvent être plus rapprochés sur le site.

**Tableau 2. Taille et densité des colonies de DDF présentes
au [Information sensible]**

Colonies de dentaire à deux feuilles	Densité (ind./m ²)	Superficie des colonies (m ²)	Taille de la colonie (nb d'individus)
Colonie DDF 1	0,33	10,89	33
Colonie DDF 2	0,75	63,36	84
Colonie DDF 3	0,35	13,68	39

4.2. Milieu(x) visé(s) pour la transplantation des espèces à statut précaire

Dans le Tableau 3 sont présentés les milieux visés pour les transplantations qui seront effectuées cette année ou en 2022.

Tableau 3. Emplacement(s) propice(s) à la transplantation
d'EMVS

Espèce	MR1	MR2	MR3	MR4	MR5	MR6	MR8
<i>Acer nigrum</i>						X	
<i>Juglans cinerea</i>	X	X	X	X	X	X	X
<i>Carya ovata</i>	X	X	X	X	X	X	X
<i>Trillium grandiflorum</i>						X	
<i>Allium tricoccum</i>						X	
<i>Cardamine diphylla</i>						X	

ANNEXE
PHOTOGRAPHIES

Milieus propices à la récolte de l'ADB et autres EMVS ayant été déboisés dans les immeubles du MTQ (printemps 2021)



Colonies d'ADB présentes au [Information sensible]



Colonies de DDF présentes au [Information sensible]



ANNEXE C
RAPPORT D'ÉTAPE 2: SUIVI DES EMVS TRANSPLANTÉES EN
2020



SUIVI DES ESPÈCES FLORISTIQUES MENACÉES, VULNÉRABLES OU SUSCEPTIBLES DE L'ÊTRE (EMVS) TRANSPLANTÉES EN 2020

**Reboisement des terres enclavées à Pike-River et Saint-Armand —
Projet de compensation — phase II, rapport d'étape 2
R850.2**

Par Laurie Auclair, Natacha Jetha et Dominique Tardif
Agentes de recherche pour le laboratoire du P^r Kneeshaw

Daniel Kneeshaw, Chercheur principal
Centre d'étude de la forêt
Département des sciences biologiques
Faculté des sciences
Université du Québec à Montréal
Téléphone : 514-987-3000, poste 4480
Courriel : kneeshaw.daniel@uqam.ca

Réalisé pour le compte du ministère des Transports

Novembre 2021

La présente étude a été réalisée à la demande du ministère des Transports et a été financée par le Ministère.

Les opinions exprimées dans le présent rapport n'engagent que la responsabilité de leurs auteurs et ne reflètent pas nécessairement les positions du ministère des Transports.

Collaborateurs(trices)

Myriam Fontaine, Étudiante à la maîtrise, Université du Québec à Montréal

TABLE DES MATIÈRES

1. INTRODUCTION.....	131
2. MÉTHODES ET CALENDRIER DE RÉALISATION	132
2.1. Suivi des EMVS au printemps 2021.....	132
2.2. Entretien des EMVS.....	134
2.2.1. Désherbage des espèces compétitrices.....	135
2.2.2. Protection contre l'herbivorie	135
3. RÉSULTATS	135
3.1. TAUX DE SURVIE DES HERBACÉES ET DES SEMIS	135
3.1.1. Taux de survie en fonction de l'espèce d'herbacées ou de semis, de la densité de plantation et du milieu récepteur	135
3.1.2. Taux de survie de chaque espèce dans chaque milieu récepteur	137
3.2. Taux de survie des arbres de gros calibre dans le MR8A	139
3.2.1. Taux de survie par parcelle.....	139
3.2.2. Taux de survie des arbres de gros calibre en fonction des types de patrons	140
3.3. Influence de l'herbivorie sur l'état des plants	140
3.4. Influence des plantes compétitrices sur l'état des plants	141
3.4.1. <i>[Information sensible]</i>	141
3.4.2. <i>[Information sensible]</i>	141
4. CONCLUSION ET PRINCIPAUX CONSTATS	141
4.1. Survie en fonction de l'espèce	141
4.1.1. Survie en fonction du milieu récepteur.....	142
4.1.2. Survie en fonction des différentes densités	143
4.2. Facteurs influençant la survie	143
4.2.1. Présence de plantes compétitrices.....	143
4.2.2. Influence de l'herbivorie	143
4.3. Principales conclusions.....	144
5. BIBLIOGRAPHIE	145
ANNEXE.....	146

1. INTRODUCTION

Dans le cadre du projet de prolongement de l'autoroute 35 par le ministère des Transports du Québec (MTQ) dans le secteur de Pike River et Saint-Armand, le Ministère s'est engagé (décret gouvernemental 599-2007) à éviter et minimiser ses impacts, notamment par la transplantation d'espèces floristiques rares et à statut précaire. Une transplantation d'espèces floristiques menacées, vulnérables, ou susceptibles de l'être (EMVS) a donc été effectuée à l'intérieur des immeubles excédentaires du MTQ. La récolte des EMVS a été réalisée dans les zones où un déboisement y était prévu.

Les transplantations des EMVS ont été faites en deux temps à l'automne 2020. En premier lieu, les transplantations des herbacées et des semis ont commencé durant la dernière semaine du mois de septembre, lorsque les plantes étaient en dormance. Les herbacées visées étaient l'asaret du Canada (*Asarum canadense*), le carex massette (*Carex typhina*), l'iris de Virginie (*Iris virginica*), la matteuccie fougère-à-l'autruche (*Matteuccia struthiopteris*), la sanguinaire du Canada (*Sanguinaria canadensis*) ainsi que le trille blanc (*Trillium grandiflorum*), et les semis incluaient le caryer ovale (*Carya ovata*) et le chêne bicolore (*Quercus bicolor*). Ces transplantations ont été faites à l'intérieur des divers milieux récepteurs (MR) correspondant le mieux aux besoins de chacune de ces espèces, c'est-à-dire dans les [Information sensible]. Par la suite, au mois de novembre, les transplantations se sont poursuivies avec les arbres de gros calibre dans le MR8A (Figure 1). Les premiers suivis de ces transplantations ont été effectués au printemps 2021.

L'objectif de ce rapport est d'offrir un compte rendu des résultats portant sur le succès de survie de chacune de ces espèces, de même que le succès général des transplantations observé dans chacun des milieux récepteurs visés. Il fait également état des principaux défis révélés lors des entretiens, comme les espèces végétales compétitrices et l'herbivorie, et leurs impacts sur le succès de survie.

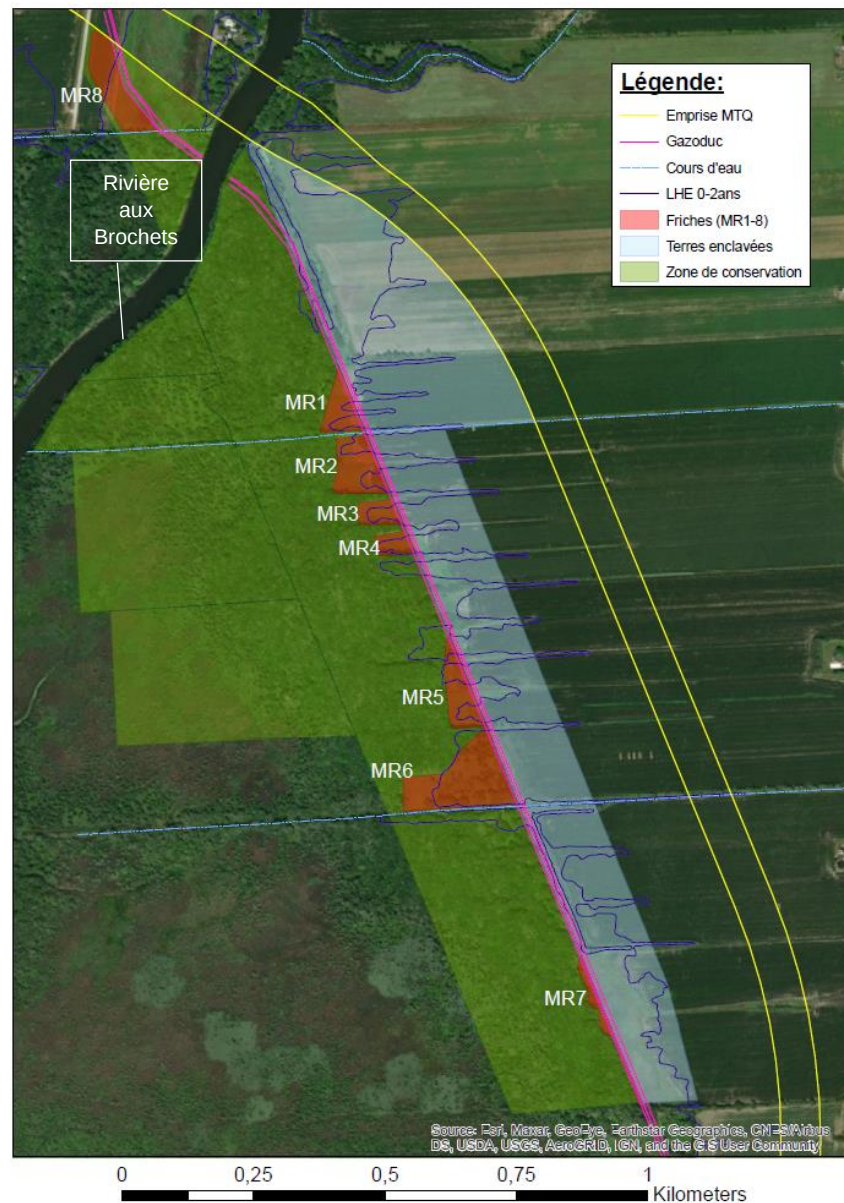


Figure 1. Carte représentant les différents milieux récepteurs (MR) où les transplantations ont été réalisées

2. MÉTHODES ET CALENDRIER DE RÉALISATION

2.1. Suivi des EMVS au printemps 2021

Le nombre de plants pour chaque EMVS a initialement été déterminé lors des transplantations en 2020 (Tableau 1). C'est à partir de ce nombre que le taux de survie a par la suite été calculé, en y incluant les individus vivants et dépériss au printemps 2021.

Le succès de survie pour les herbacées et semis à statut précaire a été calculé en fonction de trois critères différents qui seront abordés plus en détail dans la section 3 portant sur les résultats. Le taux de survie a d'abord été calculé à partir du succès de l'espèce en soi, puis en fonction de la densité d'individus présents à l'intérieur d'un même quadrat de 1 m². Nous avons testé différentes densités, car plusieurs espèces poussent naturellement en groupes (effet Allee), tandis que le manque de compétition intraspécifique peut être un avantage pour d'autres. Les différentes densités testées incluaient : 1 individu, 2 individus, 5 individus et 10 individus par mètre carré. Il importe de rappeler que le nombre de réplicats pour chaque densité a été choisi en tenant compte de la quantité de spécimens disponibles par espèce (Tableau 1). Ces traitements de densité ont été effectués dans tous les MR, à l'exception du traitement « 2 individus par m² » qui a uniquement été testé dans deux des milieux récepteurs, soit le [Information sensible] et le [Information sensible]. Ensuite, le succès de survie a également été calculé en tenant compte du succès général, toutes espèces confondues, pour un milieu récepteur donné. Les perturbations observées sur les plants, comme les marques de broutage par les herbivores, ont également été notées puisqu'il s'agit de critères pouvant influencer le succès de survie des EMVS.

Des quadrats expérimentaux de 2 m² ont également été créés à l'intérieur du [Information sensible] dans lesquels des mélanges d'espèces et de densités différentes ont été testés de manière aléatoire. Ceux-ci n'ont cependant pas été considérés dans le cadre des analyses portant sur le taux de survie des EMVS tel qu'abordé à la section 3. Ils ont néanmoins permis de tester l'effet de transplantations en groupe et l'effet de compétition et interspécifique avec les différentes EMVS employées, le tout dans le but de recréer une structure se rapprochant de celle présente dans la nature.

Finalement, pour les arbres de gros calibre qui se trouvent exclusivement dans le MR8A, le succès de survie a été calculé en fonction du statut de l'arbre, de la parcelle où il se trouve et du type de patron (isolé ou regroupé) présent dans les parcelles.

Tableau 1. Nombre initial d'individus transplantés en 2020 dans les MR

Espèce	Quantité initiale disponible	Nombre d'individus transplantés par MR (2020)				Quadrats expérimentaux
		[Information sensible]	[Information sensible]	[Information sensible]	[Information sensible]	
Herbacées avec statut						
<i>Asarum canadense</i>	151	20	10	20	30	71
<i>Carex typhina</i>	50	10	10	N/A	30	N/A
<i>Iris virginica</i>	124	30	N/A	N/A	70	24
<i>Matteuccia struthiopteris</i>	71	N/A	10	15	25	21
<i>Sanguinaria canadensis</i>	83	20	10	20	30	3
<i>Trillium grandiflorum</i>	22	N/A	N/A	N/A	22	N/A
Semis avec statut						
<i>Carya ovata</i>	5	5	N/A	N/A	N/A	N/A
<i>Quercus bicolor</i>	15	15	N/A	N/A	N/A	N/A
TOTAL	521	100	40	55	207	119

2.2. Entretien des EMVS

À la suite des suivis des différentes EMVS ayant été transplantées en 2020, il est devenu évident qu'un entretien était nécessaire afin d'assurer leur plein potentiel de croissance et de survie (voir *Annexe*). En 2021, l'entretien a été réalisé dès le début du mois de juillet.

En effet, la forte compétition qu'exercent les herbes et les dicotylédones dominant les friches a le potentiel de priver de ressources les nouveaux plants tentant de s'établir (Parker, 1994). Les espèces indigènes, comme le haricot de terre (*Amphicarpaea bracteata*), et des espèces exotiques officieusement envahissantes, telles que la lysimaque nummulaire (*Lysimachia nummularia*), ont fait l'objet d'un contrôle accru. Puisque la réduction de la biomasse de ces plantes compétitrices peut être bénéfique afin d'assurer la survie, la croissance et la reproduction des nouveaux plants, quelques séances de désherbage des quadrats d'herbacées ont été effectuées afin d'amoindrir la pression sur les EMVS transplantées (section 2.2.1). Par ailleurs, la pression exercée par l'herbivorie sur les plants transplantés représente aussi un enjeu en ce qui a trait à leur survie (section 2.2.2).

2.2.1. Désherbage des espèces compétitrices

Un désherbage a été réalisé à l'intérieur des quadrats ainsi qu'en périphérie de chaque individu transplanté (voir *Annexe*). Le but était de permettre aux individus nouvellement transplantés dans ce milieu un meilleur accès aux ressources qui leur sont essentielles. Cette activité sera répétée durant quelques années, le temps de permettre aux EMVS de bien s'établir dans leur nouvel environnement. Pour le moment, la fréquence de cet entretien a été établie à deux fois durant la période estivale, soit au début juillet et à la mi-août.

2.2.2. Protection contre l'herbivorie

La palatabilité que possèdent les trilles blancs et les asarets du Canada chez les cerfs de Virginie est reconnue (Anderson, 1994 ; Koh *et al.*, 2010). Néanmoins, le broutage exercé par les herbivores a également été noté chez plusieurs autres EMVS ayant été transplantées (section 3.3). Ainsi, dans l'optique d'augmenter le succès de survie et de croissance des individus les plus affectés, des abris en filet de polypropylène ont été mis en place sur les quadrats d'espèces semblant être les plus vulnérables au broutage (voir *Annexe*). Si cette méthode s'avère efficace, des protecteurs supplémentaires pourraient être installés.

3. RÉSULTATS

3.1. Taux de survie des herbacées et des semis

Le nombre initial présenté dans le Tableau 2 correspond au nombre d'individus transplantés à l'automne 2020. Afin d'avoir un décompte juste du succès de survie, les plants vivants, dépéris, ainsi que ceux ayant été broutés, ont été considérés dans la catégorie d'individus vivants en 2021 pour les analyses.

Le taux de survie ajusté qui est présenté dans cette section correspond au taux de survie des espèces en fonction de la quantité de plants initialement transplantés à l'intérieur de chacun des quadrats. Ainsi, même si le nombre total d'individus observés à l'an 1 du suivi peut être supérieur au nombre planté en 2020, il est possible que le taux de survie soit inférieur à 100 % dû à la mortalité de certains individus initialement transplantés dans les quadrats. Le calcul du taux de survie ajusté ne tient pas compte notamment de la reproduction de certains plants ni des erreurs dans les décomptes initiaux lors des transplantations.

3.1.1. Taux de survie en fonction de l'espèce d'herbacées ou de semis, de la densité de plantation et du milieu récepteur

Selon les informations obtenues lors des premiers suivis au printemps 2021 (Tableau 2), l'espèce herbacée ayant montré le meilleur taux de survie parmi

toutes les espèces est l'iris de Virginie (98 %) suivie par le carex massette (90 %) et la matteuccie fougère-à-l'autruche (84 %). L'asaret du Canada et la sanguinaire du Canada ont, quant à elles, obtenu un succès d'environ 60 %. Finalement, le trille blanc a été associé au plus faible taux de succès parmi toutes les EMVS transplantées, avec seulement 32 % des individus qui ont survécu. Les facteurs pouvant influencer directement ce succès seront abordés aux sections 3.3 et 3.4.

Pour ce qui est des semis, les chênes bicolores ayant été transplantés exclusivement dans le MR1B ont montré un succès de survie de près de 100 %, tandis que 20 % des caryers ovales transplantés dans le même milieu ont survécu.

En ce qui concerne les différents traitements de densité testés, le succès de survie le plus élevé a été associé à la plus haute densité, soit 10 individus/m² (88 %). Les taux de survie des plants pour les trois autres traitements, c'est-à-dire 1, 2 et 5 individus par m² (quadrat), sont très similaires et s'élèvent respectivement à 69 %, 63 % et 66 %.

Tableau 2. Taux de survie en fonction de l'espèce d'EMVS, de la densité de plantation et du milieu récepteur

	Par espèce							
	<i>A. cana dense</i>	<i>C. ovata</i>	<i>C. typhina</i>	<i>I. virg ini ca</i>	<i>M. struthi opteris</i>	<i>S. cana dense</i>	<i>Q. bicolor</i>	<i>T. grandi florum</i>
Nombre initial à la plantation à l'automne 2020	80	5	49	100	50	80	15	22
Individus vivants en 2021	45	1	107	146	47	54	14	10
Taux de survie ajusté	56 %	20 %	90 %	98 %	84 %	61 %	93 %	32 %
Taux de broutage des individus vivants	34 %	0 %	16 %	0 %	16 %	19 %	20 %	18 %
	Par densité							
	1 individu/ m ²	2 individus/ m ²	5 individus/ m ²	10 individus /m ²				
Taux de survie ajusté pour toutes les espèces	69 %	63 %	66 %	88 %				

**REBOISEMENT DES TERRES ENCLAVÉES À PIKE RIVER ET SAINT-ARMAND
R850.2**

Taux de broutage	14 %	23 %	14 %	18 %	
	Par milieu récepteur				
	[Information sensible]	[Information sensible]	[Information sensible]	[Information sensible]	
Taux de survie ajusté pour toutes les espèces	70 %	60 %	62 %	83 %	
Taux de broutage	18 %	20 %	15 %	19 %	

3.1.2. Taux de survie de chaque espèce dans chaque milieu récepteur

D'après les données présentées dans le Tableau 2, le succès de survie moyen de toutes les EMVS est supérieur à l'intérieur du [Information sensible], avec 83 %.

Ce taux de survie varie fréquemment de manière importante d'une espèce à l'autre en fonction du milieu récepteur dans lequel elle se trouve. Par exemple, l'asaret du Canada a un succès de survie de 77 % dans le [Information sensible], tandis qu'elle a un succès de 20 % dans le [Information sensible], et le carex massette a un taux de survie de 100 % dans le [Information sensible], tandis que son succès de survie est diminué de moitié dans le [Information sensible] (Tableau 3).

**REBOISEMENT DES TERRES ENCLAVÉES À PIKE RIVER ET SAINT-ARMAND
R850.2**

Tableau 3. Taux de survie des EMVS en fonction du milieu récepteur

	<i>A. canadense</i>	<i>C. ovata</i>	<i>C. typhina</i>	<i>I. virginica</i>	<i>M. struthiopteris</i>	<i>S. canadense</i>	<i>Q. bicolor</i>	<i>T. grandiflorum</i>
[Information sensible]								
Nombre initial	20	5	10	30	N/A	20	15	N/A
Individus vivants en 2021	4	1	19	38	N/A	13	14	N/A
Taux de survie ajusté	20 %	20 %	100 %	97 %	N/A	65 %	93 %	N/A
[Information sensible]								
Nombre initial	10	N/A	10	N/A	10	10	N/A	N/A
Individus vivants en 2021	6	N/A	5	N/A	9	5	N/A	N/A
Taux de survie ajusté	50 %	N/A	50 %	N/A	90 %	50 %	N/A	N/A
[Information sensible]								
Nombre initial	20	N/A	N/A	N/A	15	20	N/A	N/A
Individus vivants en 2021	13	N/A	N/A	N/A	12	11	N/A	N/A
Taux de survie ajusté	65 %	N/A	N/A	N/A	80 %	45 %	N/A	N/A
[Information sensible]								
Nombre initial	30	N/A	30	70	25	30	N/A	22
Individus vivants en 2021	27	N/A	83	108	24	24	N/A	10
Taux de survie ajusté	77 %	N/A	100 %	99 %	84 %	73 %	N/A	32 %

3.2. Taux de survie des arbres de gros calibre dans le MR8A

Les transplantations des gros arbres dans le MR8A ont été faites en fonction de deux patrons principaux : regroupés ou isolés, inspirés des patrons utilisés lors de la rétention variable après coupe. Les parcelles (P) P2, P5 et P6 comportent des patrons regroupés (distance de 3 à 4 m entre chacun des arbres), alors que les parcelles P1, P3 et P4 comportent des patrons isolés (distance de 7 à 10 m entre chacun des arbres) (Figure 2). Les essences et agencements d'espèces divergent d'une parcelle à l'autre. Ainsi, le succès des espèces en fonction des parcelles n'a pas été pris en considération dans cette section, mais seulement le succès de survie général.



Figure 2. Carte représentant les différentes parcelles à l'intérieur du MR8A

3.2.1. Taux de survie par parcelle

Dans le Tableau 4, il est possible de voir que la parcelle P4 est celle ayant eu le plus faible taux de survie avec 71 %. Somme toute, sur les 48 individus transplantés, seulement 4 étaient morts au printemps 2021, et il s'agissait principalement d'arbres de calibre inférieur tels que des semis et des gaules.

Tableau 4. Taux de survie des arbres de gros calibre dans les parcelles du MR8A

Parcelle	P1	P2	P3	P4	P5	P6
Taux de survie	100 %	100 %	100 %	71 %	88 %	88 %
Taux de survie total	91 %					

3.2.2. Taux de survie des arbres de gros calibre en fonction des types de patrons

Dans les patrons regroupés, deux types de sous-sections ont été faits. La première comporte exclusivement des regroupements d'arbres, alors que la seconde inclut aussi des arbustes (Tableau 5). Globalement, le taux de survie observé pour les patrons isolés et regroupés est très similaire.

Tableau 5. Taux de survie des arbres dans le MR8A en fonction des différents patrons

Type de patron	Isolé	Regroupé	
	Arbres	Arbres	Arbres et arbustes
Taux de survie	90 %	100 %	83 %
		91,5 %	

3.3. Influence de l'herbivorie sur l'état des plants

Un taux d'herbivorie supérieur à 15 % a été détecté dans chacun des milieux récepteurs. Le taux le plus élevé, soit 20 %, a été observé dans le [Information sensible], suivi de très près par le [Information sensible] (19 %) et le [Information sensible] (18 %) (Tableau 2).

Tel qu'en témoigne le Tableau 2 (section 3.1.1) présentant les taux de survie des EMVS, certaines espèces ont été plus affectées par l'herbivorie que d'autres. Plus spécifiquement, l'asaret du Canada est l'espèce ayant été associée au plus haut taux de broutage avec 34 % des plants broutés. De façon générale, les autres espèces, incluant le carex massette, la matteuccie fougère-à-l'autruche, la sanguinaire du Canada et le trille blanc ont subi un taux d'herbivorie inférieur à 20 %, tandis que l'iris de Virginie n'a fait l'objet d'aucun broutage à l'intérieur des quadrats. Lors des suivis, aucune marque d'herbivorie n'a été notée chez le caryer ovale, et son succès de survie est beaucoup plus faible que celui de l'iris de Virginie. Toutefois, nous n'avons pu observer qu'un seul des cinq plants de caryer ovale initialement transplantés. À cet effet, nous supposons que les semis manquant lors du

suivi ont soit été broutés, ou n'ont simplement pas survécu au choc de la transplantation.

3.4. Influence des plantes compétitrices sur l'état des plants

Lors des suivis d'entretien, la présence de lysimaque nummulaire a été identifiée comme un facteur qui semblait influencer sur la survie des plus petites herbacées transplantées (section 3.4.1), alors que le haricot de terre semblait affecter davantage les plus grandes herbacées (section 3.4.2) (voir *Annexe*).

3.4.1. [Information sensible]

Le [Information sensible] est sans doute le milieu dans lequel la plus forte densité de lysimaque nummulaire a été observée. En ce sens, il semble juste de supposer l'existence d'un lien entre la densité de cette espèce exotique et le très faible taux de survie de petites herbacées, comme l'asaret du Canada. Ce lien mériterait d'être approfondi ultérieurement.

3.4.2. [Information sensible]

Une forte présence du haricot de terre a été observée dans ce milieu récepteur. Son plus grand impact semblait être sans contredit sur la matteuccie fougère-à-l'autruche, autour de laquelle il s'enroule en étouffant les frondes (voir *Annexe*).

La présence de lysimaque nummulaire a également été notée dans le [Information sensible], mais sa densité était relativement moindre que celle observée dans le [Information sensible]. L'espèce a été contrôlée pour dégager les plus petites herbacées.

4. CONCLUSION ET PRINCIPAUX CONSTATS

4.1. Survie en fonction de l'espèce

Parmi les herbacées transplantées en 2020, celles qui ont montré le meilleur succès de survie sont l'iris de Virginie avec un taux de 98 % et le carex massette avec 90 %. Ceci étant dit, ce succès pourrait s'expliquer par le fait que ces deux espèces se reproduisent par rhizomes. De plus, lors de la division initiale des plants à l'automne 2020, un manque d'uniformité entre les différents intervenants responsables de la récolte et des transplantations pourrait avoir nui au décompte des individus d'EMVS, en sous-estimant leur nombre au départ.

Plus précisément, 47 individus supplémentaires d'iris de Virginie ont été dénombrés lors des suivis en 2021 (Tableau 2). Pour le carex massette, 109 individus ont été dénombrés au total : il s'agit de plus du double de la

quantité initialement transplantée. En ce sens, deux hypothèses peuvent être envisagées. La première implique qu'une certaine marge d'erreur lors du dénombrement initial est à l'origine de la variabilité entre le décompte initial et celui réalisé en 2021. La seconde hypothèse envisageable est que la transplantation puisse avoir favorisé la croissance des parties aériennes des plants à rhizomes, ce qui fait que le décompte des individus était supérieur lors des suivis. À cet effet, des indicateurs de superficie des parties aériennes pourraient être utiles afin d'indiquer la superficie couverte par le rhizome, et donc s'il y a une croissance de la « colonie » et non pas des parties aériennes.

Il en va de même pour la survie des semis en général, car au moment des suivis, plusieurs marques d'identification (ruban fluorescent) étaient disparues, probablement dû aux intempéries météorologiques ou à la présence de cerfs. Ainsi, il est possible que les semis ayant été notés comme vivants soient en fait des arbres qui étaient déjà établis dans le milieu. Enfin, du côté des semis ayant été transplantés en 2020, le chêne bicolore a affiché un taux de survie de 93 %.

4.1.1. Survie en fonction du milieu récepteur

De façon générale, la survie des EMVS a été supérieure dans les [*Information sensible*] (83 %) et [*Information sensible*] (70 %) (section 3.1.2). Par contre, on ne peut pas conclure qu'il s'agit de meilleurs milieux récepteurs pour optimiser la survie des EMVS étant donné qu'elles ont toutes des besoins biophysiques différents. Ainsi, le succès de survie général observé dans un milieu récepteur ne peut pas être représentatif du succès de survie réel des EMVS, puisque celui-ci varie pour une espèce donnée entre les différents milieux récepteurs où elle se trouve (Tableau 3). En ce sens, la considération du succès de survie par espèce (section 4.1), peu importe son milieu, semble être plus appropriée pour avoir une interprétation écologique juste au sujet des résultats de transplantations.

Enfin, puisque la distribution des EMVS dans les différents milieux récepteurs a été faite en fonction de leurs besoins, certaines espèces ne se retrouvent que dans un seul milieu récepteur où leur succès de survie observé peut atteindre 100 %. En comparaison, d'autres espèces ayant été distribuées dans tous les milieux récepteurs — qui possèdent des caractérisations différentes — ont vu leur succès de survie varier de façon importante entre chacun des milieux récepteurs. C'est le cas de l'asaret du Canada, par exemple, dont le taux de survie oscille entre 20 % et 77 % selon le milieu où il se retrouve. Cependant, pour le cas précis de l'asaret du Canada, cette espèce est aussi celle ayant subi le plus de broutage, une contrainte qui s'ajoute aux caractéristiques biophysiques propres à chaque MR. En ce sens, on peut donc supposer que la palatabilité de l'asaret est un élément influent concernant sa survie (section 4.2.2).

4.1.2. Survie en fonction des différentes densités

Au niveau des densités de plantation, il semblerait qu'il soit plus efficace de planter les herbacées en colonies plus denses pour assurer leur succès de transplantation (section 3.1.1). En effet, de façon générale, les quadrats avec une densité de 10 individus/m² ont montré un succès de survie supérieur comparativement aux autres traitements.

4.2. Facteurs influençant la survie

Les différentes caractéristiques propres à chaque milieu récepteur peuvent avoir influencé le succès de survie des espèces. En effet, chacun de ces milieux présentait des caractéristiques différentes, comme la composition des sols, l'humidité et la luminosité présente, offrant ainsi une diversité d'espèces floristiques propre à chaque milieu récepteur.

Conséquemment, la sélection du milieu récepteur semblant correspondre le mieux aux besoins de chacune des EMVS transplantées a pu se traduire par la présence de certains facteurs venant influencer la survie des plants. Spécifiquement, la présence de plantes compétitrices (section 3.4) ainsi que la présence d'herbivores (section 3.3) sont les deux facteurs principaux ayant été considérés lors des analyses, car ils peuvent affecter le succès de survie des transplantations.

4.2.1. Présence de plantes compétitrices

Par rapport à la compétition interspécifique, il a pu être observé que les quadrats d'herbacées envahis par la lysimaque nummulaire semblaient contenir des individus moins vigoureux et que la reprise des plants transplantés semblait être plus ardue. Cet aspect sera à surveiller lors des prochains suivis. La présence de plantes compétitrices, comme la lysimaque nummulaire et le haricot de terre, varie entre les différents milieux récepteurs et peut être un facteur venant influencer la survie des EMVS observées (section 4.1.1).

4.2.2. Influence de l'herbivorie

Les résultats des premiers suivis montrent un taux de survie supérieur pour l'iris de Virginie, la matteuccie fougère-à-l'autruche ainsi que le carex massette (succès supérieur à 84 %). Ces EMVS pourraient donc présenter des caractéristiques de palatabilité moins attrayantes pour les herbivores. En contrepartie, d'autres espèces, comme l'asaret du Canada et le trille blanc, ont eu un succès de survie inférieur et semblent susciter un plus grand intérêt de broutage (Anderson, 1994 ; Koh *et al.*, 2010).

On peut ainsi supposer qu'il existe un certain effet de l'herbivorie à l'égard du succès de survie des plants transplantés, puisque l'iris de Virginie qui n'est pas touchée par l'herbivorie présente une mortalité significativement moindre comparativement à l'asaret du Canada et au trille blanc (Tableau 2).

4.3. Principales conclusions

Somme toute, la survie des herbacées transplantées après leur premier hiver est positive et peut être considérée comme un succès. Ces transplantations seront suivies à nouveau au printemps prochain, en 2022, ainsi qu'entretenues durant l'été afin de maximiser l'établissement de nouvelles colonies.

Avec ces résultats préliminaires, nous recommandons que les transplantations d'EMVS soient réalisées lors de la dormance des plants et que celles-ci se fassent majoritairement en groupes (densités de 10 individus/m²). Nous recommandons aussi que, même si un milieu récepteur semble avoir de bonnes conditions abiotiques correspondant aux besoins de chaque espèce, de surveiller et de contrôler la compétition des autres plantes, comme la lysimaque nummulaire et le haricot de terre. Finalement, nous conseillons de se prévaloir d'une protection contre l'herbivorie exercée sur les EMVS.

5. BIBLIOGRAPHIE

- Anderson, R. C. (1994). Height of white-flowered trillium (*Trillium grandiflorum*) as an index of deer browsing intensity. *Ecological Applications*, 4(1), 104–109.
- Koh, S., Bazely, D. R., Tanentzap, A. J., Voigt, D. R. & Da Silva, E. (2010). *Trillium grandiflorum* height is an indicator of white-tailed deer density at local and regional scales. *Forest Ecology and Management*, 259(8), 1472–1479.
- Parker, M. A. (1994). Evolution in natural and experimental populations of *Amphicarpaea bracteata*. *Journal of Evolutionary Biology*, 7(5), 567–579

ANNEXE
PHOTOGRAPHIQUE



Quadrat de matteuccie fougère-à-l'autruche dans le [*Information sensible*]



**Plant d'asaret du Canada vers la fin de sa floraison printanière
([Information sensible])**



Trille blanc vers la fin de sa floraison dans le [Information sensible]



Haricot de terre enroulé autour d'une fronde de matteuccie fougère-à-l'autruche ([*Information sensible*])



Quadrat d'asaret du Canada, avant et après le désherbage dans le
[*Information sensible*]



Quadrat de matteuccie fougère-à-l'autruche dans le [Information sensible], après le désherbage



Broutage d'un asaret du Canada

*Note : Les photos présentées sont les seules que nous avons, puisque souvent, on voyait plutôt une tige séchée sans feuillage



Broutage d'une sanguinaire du Canada

*Note : Les photos présentées sont les seules que nous avons, puisque souvent, on voyait plutôt une tige séchée sans feuillage



Quadrat de sanguinaire du Canada dans le [*Information sensible*]. Les sanguinaires ont des feuilles de grand diamètre, et les plants semblent être en bonne santé (Photo prise durant l'été 2021 et non lors du suivi au printemps 2021)



Quadrat avec des asarets du Canada, après le désherbage
([*Information sensible*])



Quadrat de matteuccie fougère-à-l'autruche avant un désherbage
([*Information sensible*])



Quadrat avec des iris de Virginie ([*Information sensible*]), après le désherbage



Quadrat avec des sanguinaires du Canada, après le désherbage
([*Information sensible*])