



RAPPORT D'AVANCEMENT ET D'ENTRETIEN DES ACTIVITÉS RÉALISÉES EN 2022

**Reboisement des terres enclavées à Pike River et Saint-Armand —
Projet de compensation — phase III
R850.3**

Par Natacha Jetha, Mathieu Lamarche et Dominique Tardif
Agents 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 et de la Mobilité durable

Mars 2023

La présente étude a été réalisée à la demande du ministère des Transports et de la Mobilité durable 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 et de la Mobilité durable.

Collaborateurs

Mary Bergen, agente de recherche, Université du Québec à Montréal
Pierre Drapeau, professeur-chercheur, Université du Québec à Montréal
Marc Mazerolle, professeur-chercheur, Université Laval
Sara Mercier-Blais, agente de recherche, Université du Québec à Montréal
Yves Prairie, professeur-chercheur, Université du Québec à Montréal
Arianne Reda, biologiste, Université du Québec à Montréal

TABLE DES MATIÈRES

1.	INTRODUCTION.....	9
2.	CALENDRIER DE RÉALISATION	11
3.	PLANTATIONS DANS LES TERRES ENCLAVÉES	13
3.1.	Aménagements préplantations.....	13
3.2.	Plantations expérimentales	16
3.3.	Plantations non expérimentales	18
4.	TRANSPLANTATIONS D'EMVS.....	19
4.1.	Transplantations effectuées en 2022	20
5.	EVEE.....	21
5.1.	Installation du géotextile.....	22
5.2.	Poursuite du contrôle pour le roseau commun.....	25
6.	SUIVIS	28
6.1.	Flore pionnière	30
6.2.	Faune	30
6.3.	Carbone aquatique et terrestre.....	33
7.	PRINCIPAUX RÉSULTATS	35
7.1.	Flore pionnière	37
7.2.	EMVS	38
7.3.	EVEE.....	39
7.4.	Pédofaune	40
7.5.	Mammifères généralistes	42
7.6.	Avifaune	44
7.7.	Herpétofaune.....	47
7.8.	Carbone terrestre	50
7.9.	Carbone aquatique.....	53
8.	PROBLÉMATIQUES ET SOLUTIONS.....	56
9.	PLANTATIONS DANS LE MR8	56
9.1.	Suivis des plantations et des grands arbres transplantés	57
9.2.	Remplacement des arbres morts	59
9.3.	Irrigation des arbres.....	62

9.4. Exclos du MR8	63
10. CROISSANCE DE SEMENCES <i>IN SITU</i>	63
10.1. Suivi de la croissance des semences.....	64
11. TRANSPLANTATIONS D'EMVS 2020.....	64
11.1. Suivi des EMVS.....	65
11.2. Protection des EMVS retrait des espèces végétales compétitrices	68
12. PRINCIPAUX CONSTATS.....	68
13. CONTRIBUTION ET PARTICIPATION.....	69
14. COMMUNICATION	69
15. CONCLUSION	70
16. BIBLIOGRAPHIE	71
ANNEXE A.....	73
ANNEXE B.....	85
ANNEXE C	87

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Avancement de la mise en œuvre du reboisement dans les différents secteurs du projet de compensation	11
Tableau 2. Groupements d'arbres des patrons temporaires en fonction du type de milieu	17
Tableau 3. Dénombrement des différentes EMVS transplantées en 2022 dans [<i>Information sensible</i>]	21
Tableau 4. Nombre total d'individus d'EMVS récoltés et leur répartition dans les quadrats (1m ²) du [<i>Information sensible</i>].....	21
Tableau 5. Cibles des différents volets en fonction des objectifs pour l'année 0 et 1	36
Tableau 6. Comparatif de la moyenne de la richesse spécifique par type de traitement de legs biologiques et pourcentage d'augmentation dans le MR8A	37
Tableau 7. Comparatif de la richesse spécifique totale du MR8B	38
Tableau 8. Décompte du nombre moyen d'individus par type de milieu et de strate pédologique	42
Tableau 9. Pourcentage d'occurrence de chaque espèce de mammifère observée en 2021 pour l'ensemble des stations	43
Tableau 10. Fréquence d'occurrence des espèces dont la valeur est supérieure à 80 % pour 2021	45
Tableau 11. Pourcentage de la richesse spécifique à chaque station en 2021	45
Tableau 12. Fréquence d'occurrence des espèces dont la valeur est supérieure à 80 % pour 2022	46
Tableau 13. Pourcentage de la richesse spécifique détectée à chaque station pour les années 2021 et 2022	47
Tableau 14. Nombre de sites par type de milieu avec au moins une détection pour chaque espèce échantillonnée par station d'enregistrement	48

Tableau 15. Espèces de salamandres et de couleuvres observées dans les refuges artificiels selon les années d'échantillonnage, et nombre d'individus recensés.....	48
Tableau 16. Nombre de sites de chaque type avec au moins une détection pour chaque espèce échantillonnée par enregistreurs acoustiques entre 2021 et 2022	49
Tableau 17. Données de l'année 2021 pour les flux de dioxyde de carbone (CO ₂) (mg/m ² /heure) des différentes stations d'échantillonnage.....	52
Tableau 18. Moyenne des flux de dioxyde de carbone (CO ₂) (mg/m ² /heure) en fonction des différents types de milieux	52
Tableau 19. Teneurs en carbone (%) dans les différents milieux échantillonnés et selon la profondeur du carottage.....	53
Tableau 20. Moyennes des résultats obtenus pour les stations échantillonnées pour les données d'analyses de l'eau entre 2021 et 2022	55
Tableau 21. Moyennes des résultats obtenus pour les stations échantillonnées pour les données prises avec la multisonde YSI entre 2021 et 2022.....	55
Tableau 22. État des grands arbres transplantés en 2020 dans le MR8A au printemps 2022.....	58
Tableau 23. États des arbres plantés en 2021 dans le MR8 au printemps 2022	58
Tableau 24. Pourcentage des arbres plantés ou transplantés en fonction des différentes catégories de défauts	59
Tableau 25. Décompte du nombre et du pourcentage de mortalité par espèce d'arbres dans le MR8 selon le suivi de 2022.....	60
Tableau 26. Dénombrement des arbres morts en fonction de leur gabarit dans le MR8 en 2022	62
Tableau 27. Pourcentage de survie et dénombrement des transplantations dans [<i>Information sensible</i>] entre 2020 et 2022	66
Tableau 28. Pourcentage de survie ajusté des différentes espèces transplantées en 2020, en fonction de la densité des quadrats et de l'année du suivi	67
Tableau 29. Pourcentage de survie pour les quadrats expérimentaux du [<i>Information sensible</i>]	68

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Cartographie des immeubles appartenant au MTMD.....	10
Figure 2. Calendrier résumant la progression des activités réalisées en 2022	12
Figure 3. Photographie des inondations dans les champs avant l'installation des exclos	14
Figure 4. Cartographie représentant les trois exclos aménagés dans les sous-zones 3 et 4 des terres enclavées.....	15
Figure 5. Représentation de la matrice quadrillée mise en place dans les exclos 1 et 2	16
Figure 6. Cartographie des différents patrons temporaires dans l'exclos 1.....	17
Figure 7. Disposition des différents patrons temporaires à l'intérieur de l'exclos 1	18
Figure 8. Cartographie de la localisation des arbres alloués par le MRNF en 2022	19
Figure 9. Photographie lors du prélèvement de spécimens d'ail des bois (<i>Allium tricoccum</i>) dans la zone déboisée à l'est de la route 133, près de l'échangeur du chemin Champlain.....	20
Figure 10. Cartographie du roseau commun (<i>Phragmites australis subsp. australis</i>) recensé en 2020 dans les différents immeubles excédentaires du MTMD.....	22
Figure 11. Tracé de la bande de géotextile et traitements de contrôle du roseau commun (<i>Phragmites australis subsp. australis</i>).....	23
Figure 12. Bandes de géotextile installées dans le MR7	24
Figure 13. Barre d'armature recourbée servant à l'ancrage du géotextile.....	25
Figure 14. Méthode du pliage mécanique utilisée pour les terres enclavées près du MR7 à l'aide d'un tracteur muni de rouleaux compresseurs	26
Figure 15. Pliage mécanique à l'aide d'un rouleau à pelouse	27
Figure 16. Méthode du labourage dans les terres enclavées près du MR7 à l'aide d'une excavatrice	28

Figure 17. Durée et répartition des différents suivis qui seront effectués dans le cadre du projet de recherche sur une période de 13 ans.....	29
Figure 18. Localisation des stations d'échantillonnage où se situent les enregistreurs acoustiques (SM4) utilisés pour l'écoute des chants d'oiseaux et d'anoures.....	31
Figure 19. Cartographie représentant la localisation des différents refuges artificiels pour les couleuvres et les salamandres	32
Figure 20. Cartographie des 15 différentes stations d'écoute pour les chiroptères.....	33
Figure 21. Cartographie des stations d'échantillonnages réalisées en 2022 pour les données du carbone aquatique	34
Figure 22. Photographies de feuilles de dentaires à deux feuilles (<i>Cardamine diphylla</i>) ayant poussées à partir de bout de rhizomes, à gauche et d'une hampe florale d'ail des bois (<i>Allium tricoccum</i>) ayant poussée à la suite des transplantations printanières, à droite	39
Figure 23. Densités (tiges/m ²) du roseau commun (<i>Phragmites australis subsp. australis</i>) dans le MR7 selon les différents traitements après un an	40
Figure 24. Répartition des sites d'échantillonnage 2021 pour la pédofaune ..	41
Figure 25. Cartographie de la localisation des différentes caméras de chasse installées dans les immeubles du MTMD en 2021	43
Figure 26. Photographie d'un coyote (<i>Canis latrans</i>) à la station située au bord du ruisseau Edwin	44
Figure 27. Photographie d'une salamandre à points bleus (<i>Ambystoma laterale</i>) lors d'un relevé durant la saison 2022.....	49
Figure 28. Photographie d'une grenouille des bois (<i>Lithobates sylvaticus</i>) observée sur le terrain en 2022.....	50
Figure 29. Cartographie représentant la localisation des différents collets installés pour les mesures de flux de carbone	51
Figure 31. Cartographie de la position des arbres en surplus plantés en dehors des parcelles du MR8A en 2022	61
Figure 32. Photographie du dispositif aménagé en 2021 pour la croissance des semences in situ et de leur protection	64

1. INTRODUCTION

Dans le cadre du décret 599-2007, issu du projet de prolongement de l'autoroute 35, le laboratoire de P^r Kneeshaw a été mandaté par le ministère des Transports et de la Mobilité durable (MTMD) afin de réaliser l'aménagement, l'entretien et le suivi du volet reboisement du plan de compensation. Huit milieux récepteurs (MR) et quatre sous-zones ont été délimités à l'intérieur du site de compensation (Figure 1). 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. Lutter contre le roseau commun et les autres espèces végétales exotiques envahissantes (EVEE) ou nuisibles ;
3. Assurer le maintien des espèces végétales rares et à statut et augmenter leur abondance ;
4. Réaliser un bilan carbone (terrestre et aquatique).

Le présent rapport présente les activités effectuées en 2022 concernant l'état de l'avancement des aménagements planifiés, de l'entretien et du succès du projet de compensation.

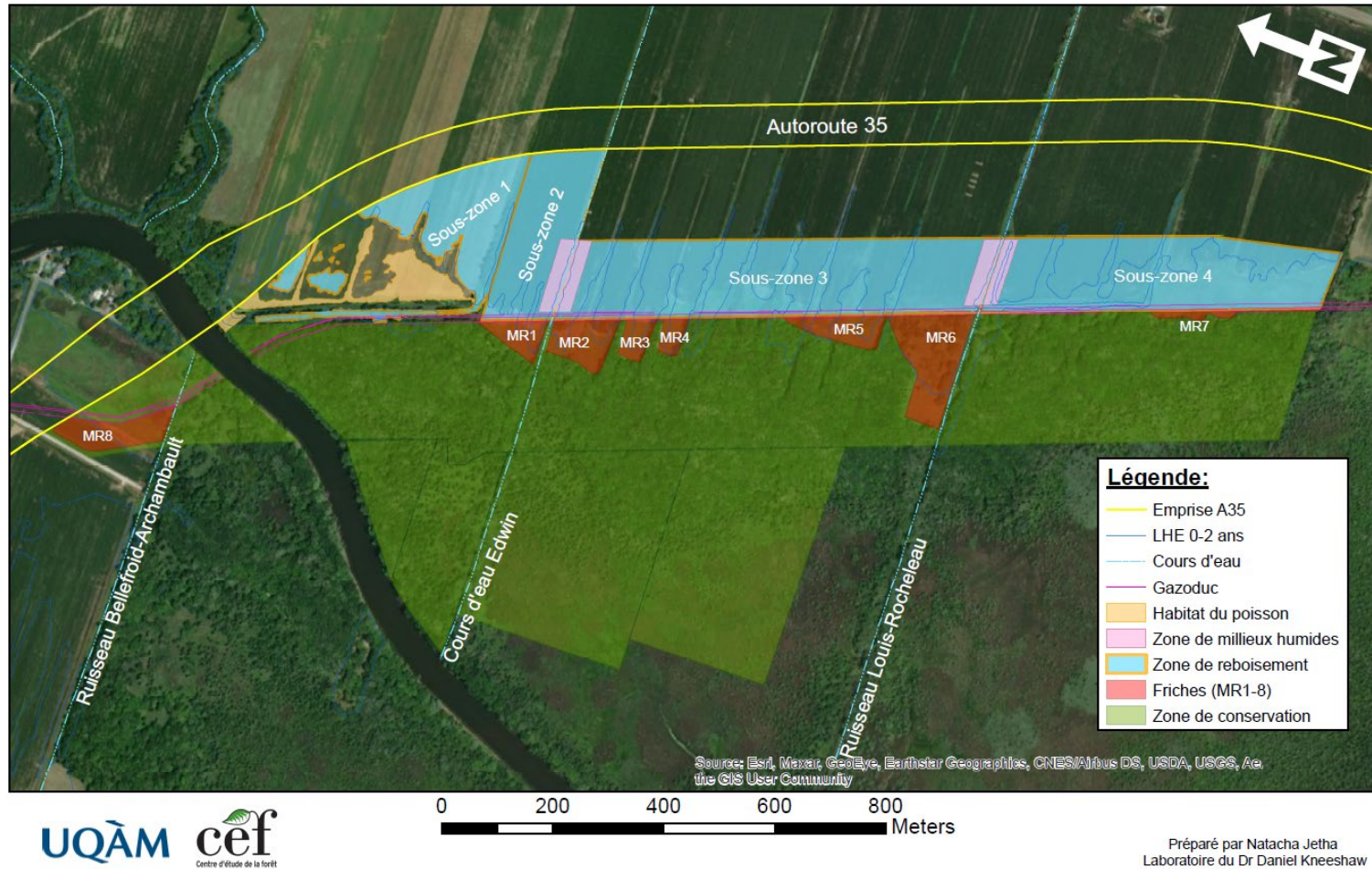


Figure 1. Cartographie des immeubles appartenant au MTMD

2. CALENDRIER DE RÉALISATION

Plusieurs activités se devaient d'avoir lieu cette année. Notamment, la mise en œuvre d'exclos dans les terres enclavées, les préparatifs pour les aménagements du design expérimental de plantation, une partie des plantations des terres enclavées, ainsi qu'une deuxième phase de transplantations d'espèces menacées, vulnérables ou susceptibles de l'être (EMVS). Finalement, la poursuite de divers suivis floristiques, fauniques et du carbone était aussi présente au calendrier de cette année. La chronologie des activités réalisées ainsi que la durée sur laquelle s'est échelonnée chacune de celles-ci sont représentées à la Figure 2. De plus, il est possible de voir l'avancement du reboisement selon les différents milieux au Tableau 1.

Tableau 1. Avancement de la mise en œuvre du reboisement dans les différents secteurs du projet de compensation

Secteurs	Avancement
MR8 :	
Aménagements	100 %
Design expérimental de plantation	100 %
Plantations	100 %
FRICHES :	
Aménagements	100 %
Design expérimental de plantation	100 %
Plantations	0 %
TERRES ENCLAVÉES :	
Aménagements	50 %
Design expérimental de plantation	58 %
Plantations	1 %

RAPPORT D'AVANCEMENT ET D'ENTRETIEN DES ACTIVITÉS RÉALISÉES EN 2022
R850.3

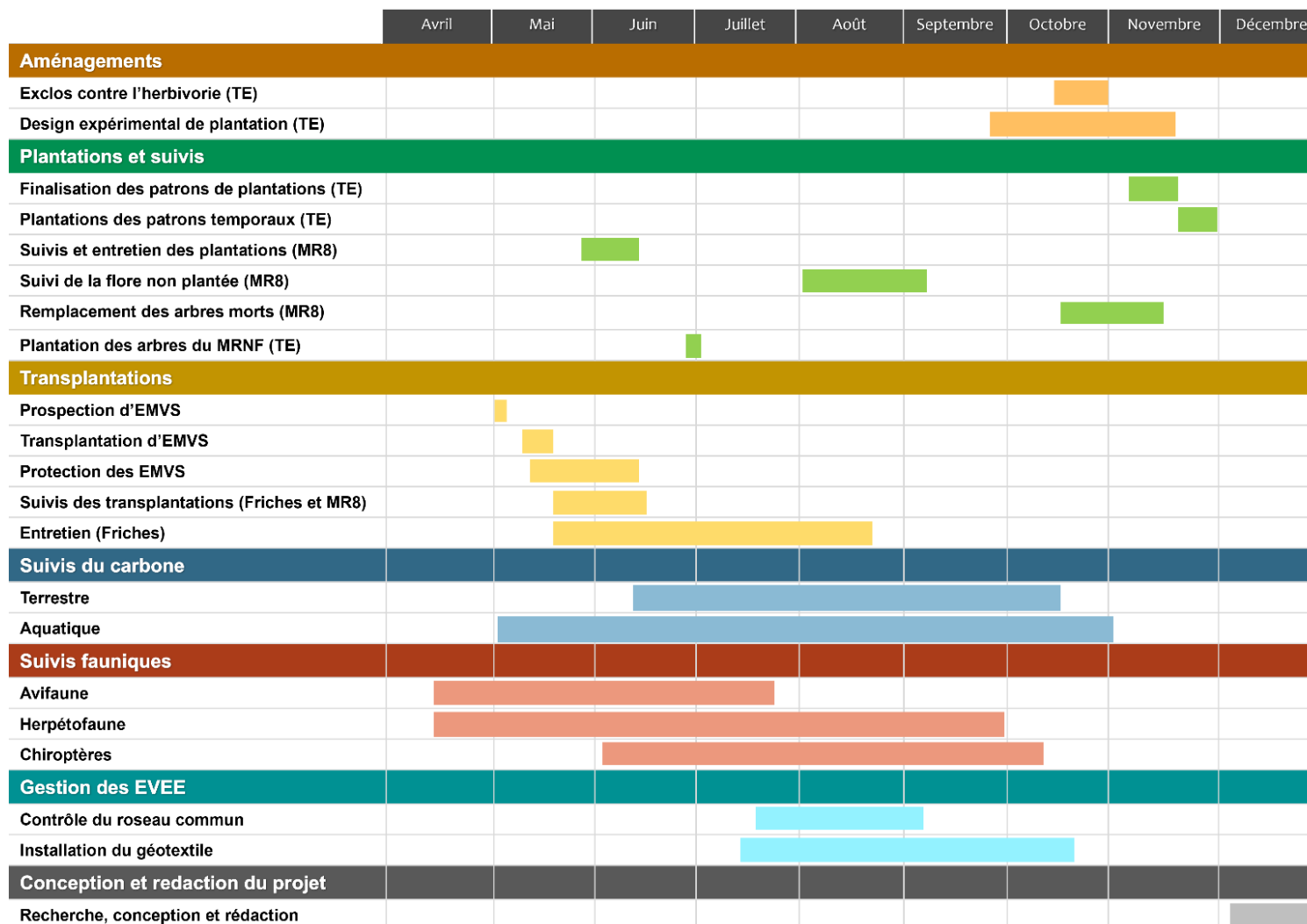


Figure 2. Calendrier résumant la progression des activités réalisées en 2022

[SECTION AVANCEMENT]
Chapitres 3 à 10

3. PLANTATIONS DANS LES TERRES ENCLAVÉES

Les plantations dans les terres enclavées ont été commencées cette année. Il est à noter qu'une faible portion du nombre d'individus qui était initialement prévu pour la plantation a véritablement été plantée en 2022. Ceci s'explique par le retard de la mise en place des exclos, qui est détaillé au Chapitre 3.1. L'équipe a tout de même entrepris le début des plantations. Cependant, la majorité des individus qui devaient être plantés cette année sera reportée à la saison 2023.

3.1. Aménagements préplantations

Avant de procéder aux plantations, plusieurs aménagements se devaient d'être effectués afin de pouvoir préparer le terrain.

Un ensemencement mécanique se devait d'être fait au printemps 2022, mais les conditions hydrologiques du secteur se sont avérées non optimales comme tout le secteur (forêts et champs) s'est retrouvé inondé (Figure 3). L'ensemencement des terres enclavées sera donc effectué au printemps 2023, si les conditions et les accès le permettent.

Afin de limiter la progression de l'envahissement par le roseau commun (*Phragmites australis subsp. australis*) une barrière de géotextile a été mise en place au pourtour de la colonie se trouvant dans la sous-zone 4. Cette activité est détaillée au Chapitre 5.1



Figure 3. Photographie des inondations dans les champs avant l'installation des exclos (sous-zone 4, 28 juin 2022)

Dans le but de protéger les plantations, trois exclos ont été aménagés à l'intérieur des terres enclavées (Figure 4). L'exclos 1, le plus grand, a une superficie approximative de 71 500 m², alors que les exclos 2 et 3 ont des superficies approximatives de 23 400 m² et de 27 300 m² respectivement.

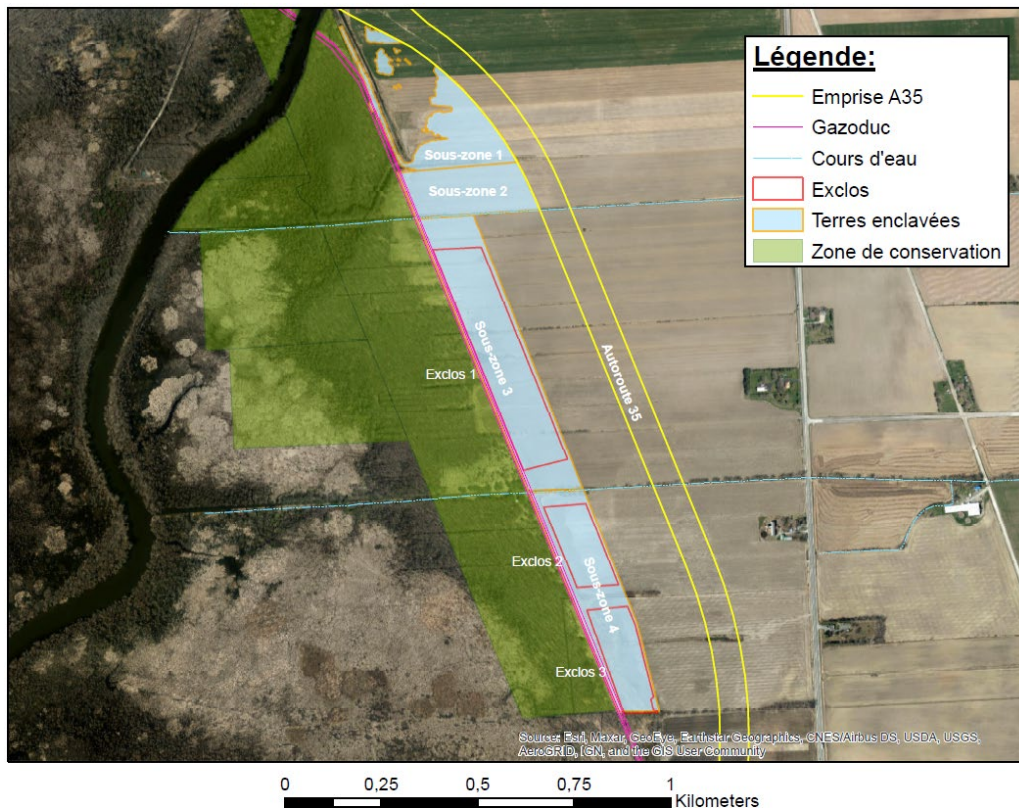


Figure 4. Cartographie représentant les trois exclos aménagés dans les sous-zones 3 et 4 des terres enclavées

L'aménagement du dispositif expérimental de plantation consiste à « découper » la zone à l'intérieur des exclos en quadrats de 20 m X 20 m (400 m²), de sorte à obtenir une matrice dans ces zones de plantation (Figure 5). Chaque coin d'un quadrat est délimité par une barre d'armature enfoncée dans le sol, puis revêtue d'un tuyau de polychlorure de vinyle (PVC) dont l'embout est peinturé à titre de marquage (Annexe A.1). Considérant l'installation tardive des exclos cette année, seuls les dispositifs de plantations expérimentales des exclos 1 et 2 ont été réalisés (Figure 4). Le dispositif dans l'exclos 3 sera mis en place lors de la saison 2023.

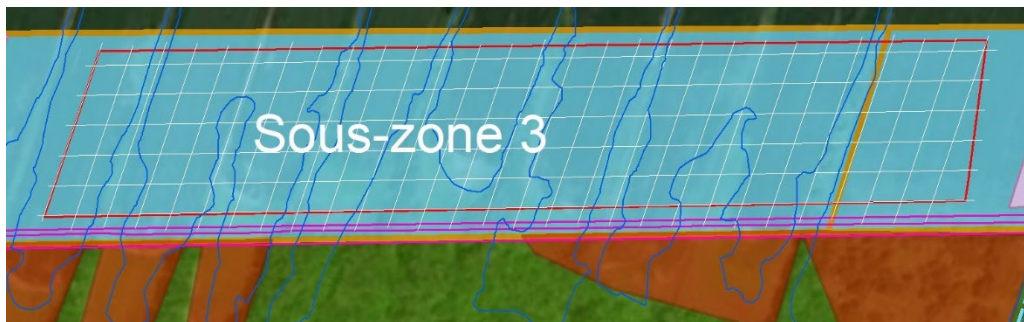


Figure 5. Représentation de la matrice quadrillée mise en place dans les exclos 1 et 2*

*Ce schéma n'est pas à l'échelle et n'illustre que l'exclos 1

3.2. Plantations expérimentales

Les plantations expérimentales sont caractérisées par des plantations où des suivis plus intensifs auront lieu. Différents types de patrons expérimentaux seront testés dans le cadre de ce projet. En 2022, la première séquence de plantation pour les patrons temporaires a été effectuée. Pour les détails concernant les différents patrons de plantations expérimentales voir la section 5.6 du rapport R850.1 (Gabillot *et al.*, 2021).

Patrons temporaires

Deux types de patrons sont testés, soit les patrons de plantation de succession régulière, ainsi que les plantations de succession inversée. Au total, 192 arbres ont été plantés dans l'exclos 1 (sous-zone 4). Les gabarits des arbres plantés varient entre des pots de 3,8 à 11,3 litres (1 à 3 gallons) et les plantations se sont déroulées à la fin du mois de novembre 2022. La répartition des arbres est représentée à la Figure 6 et le détail de chaque patron peut être consulté à l'Annexe B.

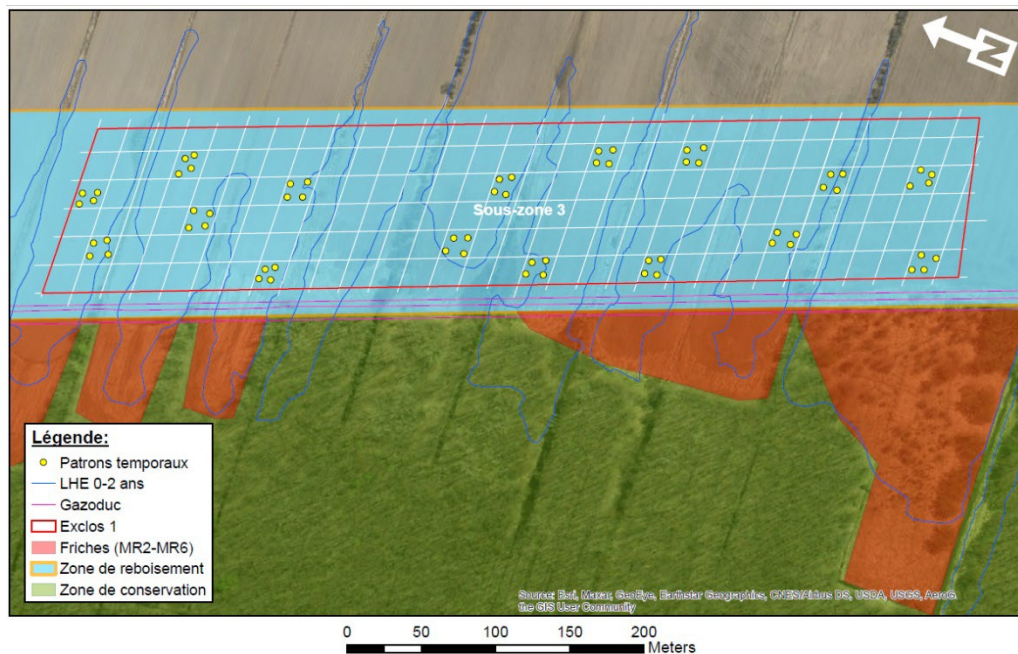


Figure 6. Cartographie des différents patrons temporaux dans l'exclos 1

Deux densités sont testées, soit l'une à 600 tiges/ha et l'autre à 1200 tiges/ha. Considérant que les sols, dans les terres enclavées, situés à l'ouest (près de la forêt existante) sont plus humides que les sols plus à l'est (près de l'autoroute), deux groupements d'arbres adaptés aux différents milieux, identifiés comme « humide » ou « forestier » ont été sélectionnés. Le choix des groupements est resté basé sur la succession écologique des espèces d'arbres plantées (Tableau 2).

Tableau 2. Groupements d'arbres des patrons temporaux en fonction du type de milieu

Type de milieu		Espèces pionnières	Espèces intermédiaires	Espèces de fin de succession
Forestier	Groupement A	<i>Populus tremuloides</i>	<i>Betula alleghaniensis</i>	<i>Tilia americana</i>
	Groupement B	<i>Betula papyrifera</i>	<i>Carya cordiformis</i>	<i>Fagus grandifolia</i>
Humide	Groupement C	<i>Populus deltoides</i>	<i>Acer rubrum</i>	<i>Thuja occidentalis</i>
	Groupement D	<i>Salix nigra</i>	<i>Quercus bicolor</i>	<i>Thuja occidentalis</i>

Les quadrats de plantations pour ce type de patron sont d'une superficie de 100 m² (10 m X 10 m). Cette dimension permet de subdiviser les quadrats de plantation « réguliers » (400 m²) en quatre sections égales (Chapitre 3.1). Des barres d'armatures revêtues de tuyaux de PVC ont été ajoutées à l'intérieur de ces quadrats afin d'avoir des délimitations claires et bien visibles sur le terrain.

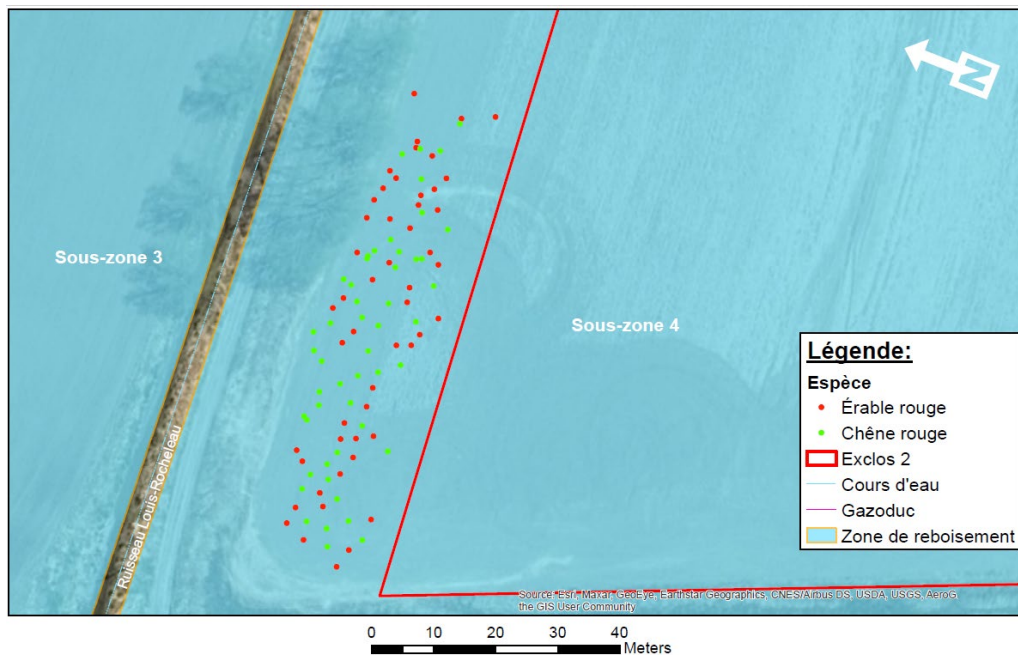


Figure 8. Cartographie de la localisation des arbres alloués par le MRNF en 2022

4. TRANSPLANTATIONS D'EMVS

Au printemps 2022, alors que l'équipe de recherche s'apprêtait à effectuer une prospection d'EMVS dans les immeubles du MTMD, l'équipe a eu la surprise de voir qu'un nombre important d'EMVS printanières avait poussé au travers des copeaux de bois déchiquetés (zone précédemment déboisée en 2021) et que les quantités dénombrées étaient alors plus importantes que ce qui avait été préalablement répertorié (Figure 9). L'activité de transplantation d'EMVS a donc été entreprise sans tarder.



Figure 9. Photographie lors du prélèvement de spécimens d'ail des bois (*Allium tricoccum*) dans la zone déboisée à l'est de la route 133, près de l'échangeur du chemin Champlain (mai 2022)

4.1. Transplantations effectuées en 2022

Le prélèvement des herbacées d'EMVS a eu lieu du côté est et ouest de la route 133, près de l'échangeur pour le chemin Champlain. Au total, plus de 1000 individus ont pu être prélevés et transplantés dans les [Information sensible] au printemps (Tableau 3). Ces individus incluaient : l'ail des bois (*Allium tricoccum*), l'asaret du Canada (*Asarum canadense*), la dentaire à deux feuilles (*Cardamine diphylla*), la matteuccie fougère-à-l'autruche (*Matteuccia struthiopteris*), la sanguinaire du Canada (*Sanguinaria canadensis*) et le trille blanc (*Trillium grandiflorum*). Il est à noter que certains spécimens de trilles n'ont pas pu être identifiés à l'espèce au moment des prélèvements dû à l'absence de floraison (Tableau 3).

Tableau 3. Dénombrement des différentes EMVS transplantées en 2022 dans [Information sensible]

[Information sensible]

Les transplantations ont eu lieu en mai 2022 dans [Information sensible]. Des réplicats ont été effectués dans le but de pouvoir tester les taux de survie de différentes densités de plantation (Tableau 4).

Tableau 4. Nombre total d'individus d'EMVS récoltés et leur répartition dans les quadrats (1m²) du [Information sensible]

[Information sensible]

Un fait à mentionner est que certains arbres à proximité des transplantations sont la cible de castors (*Castor canadensis*). Une attention particulière devra donc être portée à cet effet dans les années subséquentes pour éviter tous dommages aux transplantations d'EMVS.

5. EVEC

La lutte contre le roseau commun s'est poursuivie en 2022. Les méthodes employées incluaient : la pose de géotextile, le pliage (manuel et mécanique), la coupe sous l'eau ainsi qu'un labour du sol à deux profondeurs différentes.

Les principaux endroits visés par ces interventions sont illustrés par les zones en jaune à la Figure 10. Les différents traitements de contrôle effectués dans le MR7 sont présentés à la Figure 11. Un court descriptif de chacun de ces différents milieux a été réalisé à la section 5.3 du rapport R850.1 (Gabillot *et al.*, 2021). Les résultats préliminaires un an après les traitements effectués dans le MR7 sont présentés au Chapitre 7.2.

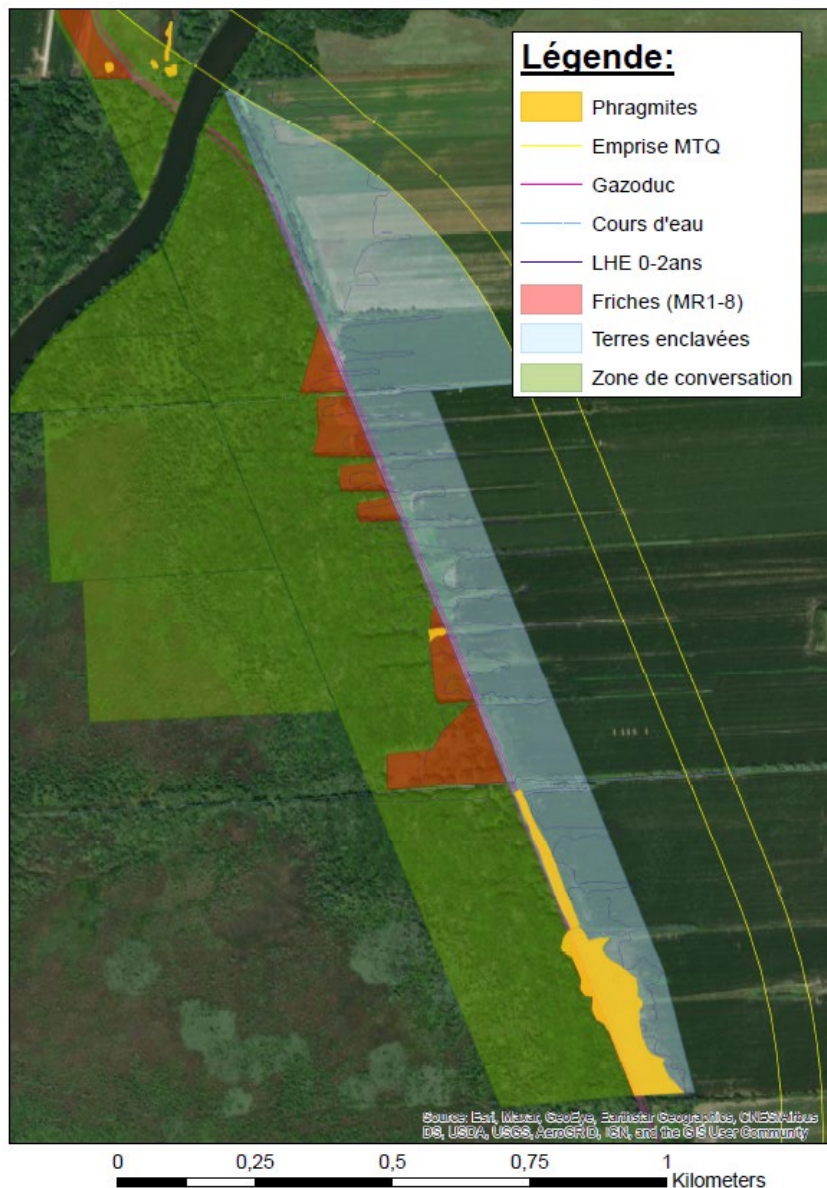


Figure 10. Cartographie du roseau commun (*Phragmites australis subsp. australis*) recensé en 2020 dans les différents immeubles excédentaires du MTMD

5.1. Installation du géotextile

Une membrane de géotextile, fabriquée à base de polypropylène, a été installée dans le but de créer une ceinture en géotextile au pourtour de la colonie de roseaux communs afin de limiter sa propagation (Gabillot *et al.*, 2021 ; Auclair *et al.*, 2022). Au total, le géotextile a été installé sur une longueur d'environ 1500 m. Les rouleaux de géotextile utilisés pour construire la bande mesurent

100 m X 4 m. Le géotextile mis en place est constitué de deux rouleaux installés côte à côte pour une largeur totale de 8 m, et ce, sur toute la longueur de la zone visée par l'intervention (Figure 11 et Figure 12).

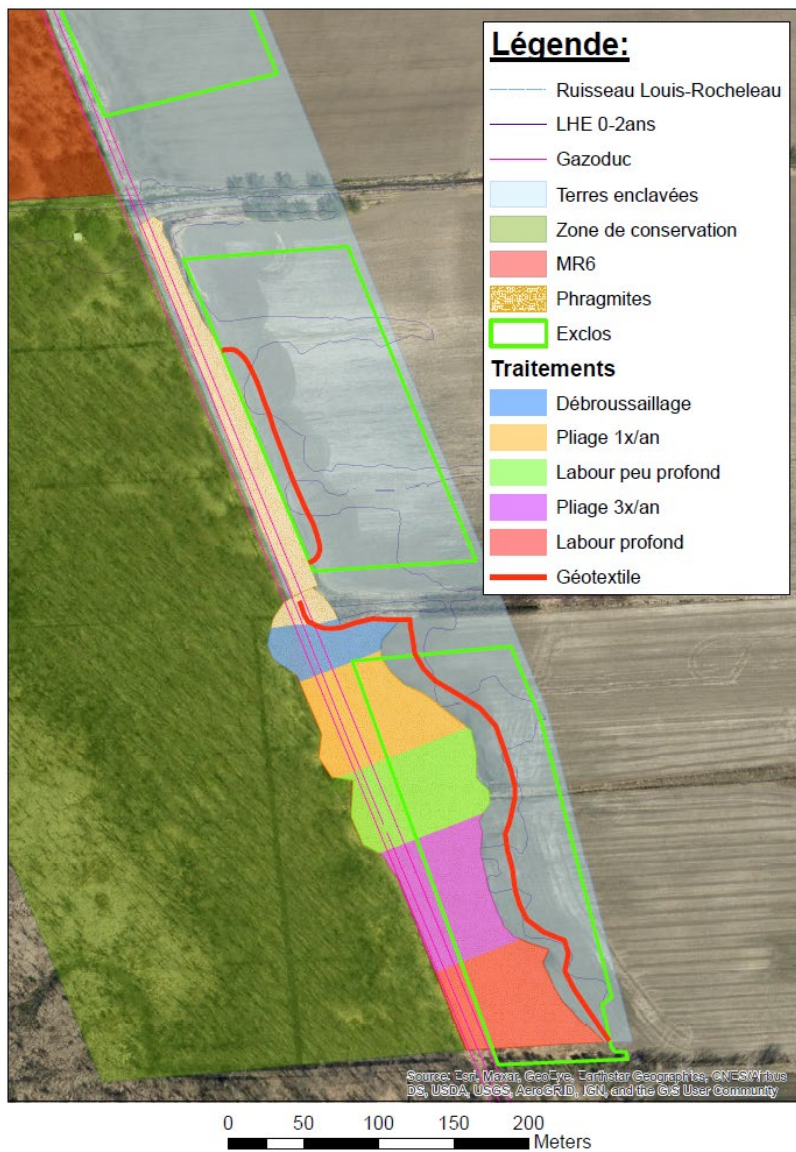


Figure 11. Tracé de la bande de géotextile et traitements de contrôle du roseau commun (*Phragmites australis subsp. australis*)



Figure 12. Bandes de géotextile installées dans le MR7

Le géotextile a été enfoncé à une profondeur de 30 cm dans le sol à l'aide d'une excavatrice, du côté opposé de la zone envahie par le roseau commun, de façon à créer une barrière contre les rhizomes de la plante. La membrane a ensuite été fixée solidement au sol à l'aide de barres d'armatures recourbées à leur extrémité (Figure 13) et installées à de multiples endroits à une distance d'environ 6 m l'une de l'autre. Des barres d'environ 75 cm ont été installées du côté intérieur de la bande de géotextile, au milieu de la bande au niveau du chevauchement des deux membranes ainsi que du côté extérieur de la bande.



Figure 13. Barre d'armature recourbée servant à l'ancrage du géotextile

L'enfoncement dans le sol de la portion extérieure de la membrane ainsi que la fixation complète à l'aide de barres d'armatures, n'ont pu être complétés pendant la saison de travaux de 2022. Les conditions météorologiques saisonnières (neige, gel du sol) rendaient difficile la poursuite des travaux d'installation. La bande de géotextile a donc été fixée solidement avec des barres d'armature en attendant des conditions plus propices à l'achèvement des travaux.

5.2. Poursuite du contrôle pour le roseau commun

Plusieurs méthodes de contrôle précédemment employées en 2021 ont été appliquées de nouveau en 2022.

Comme réalisé en 2021, le pliage manuel a de nouveau été effectué dans le MR5, en lisère de la forêt adjacente au MR7, en bordure du chemin du Bois et en bordure du MR8. Également, quatre des traitements expérimentaux

appliqués en 2021 sur la plus grande colonie près du MR7 (sous-zone 4) y ont été répétés en 2022 (Figure 11), soit :

- Pliage 1x/an : Pliage mécanique avec un tracteur ou un VTT ;
- Labour peu profond : Labourage du sol réalisé entre 30 et 50 cm de profondeur ;
- Pliage 3x/an : Pliage mécanique avec un tracteur ou un VTT, et
- Labour profond : Labourage du sol réalisé entre 50 et 100 cm de profondeur.

Un pliage mécanique a eu lieu dans les terres enclavées près du MR7 en juillet à l'aide d'un tracteur muni de rouleaux compresseurs. Cette méthode a été utilisée pour les premiers pliages de la saison dans les traitements de « Pliage 1x/an » et « Pliage 3x/an » (Figure 14). Un deuxième traitement de pliage mécanique a été effectué à l'aide d'un rouleau à pelouse attaché à un véhicule tout-terrain (VTT) à la mi-août (Figure 15). Un pliage à l'aide d'un rouleau à pelouse permet de traiter des zones qui sont difficilement accessibles à de la machinerie agricole. Étant donné la faible efficacité du deuxième pliage mécanique avec le rouleau à pelouse, le traitement a été complété avec un pliage manuel.



Figure 14. Méthode du pliage mécanique utilisée pour les terres enclavées près du MR7 à l'aide d'un tracteur muni de rouleaux compresseurs



Figure 15. Pliage mécanique à l'aide d'un rouleau à pelouse

Les traitements de labour ont été réalisés à la fin septembre 2022 à l'aide d'une excavatrice (Figure 16). Le traitement de labour profond n'a pu être réalisé dans son entièreté en raison des conditions trop humides du sol qui rendaient la circulation de la machinerie impossible dans une partie de la zone du traitement.

La zone qui avait été débroussaillée en 2021 a été en partie recouverte par une membrane de géotextile en 2022. Le reste de la zone a subi un traitement de pliage.



Figure 16. Méthode du labourage dans les terres enclavées près du MR7 à l'aide d'une excavatrice (aout 2021)

La méthode de coupe sous l'eau a également été réalisée dans des quadrats de 1m² délimités dans l'une des colonies de roseaux communs, située près du MR8 et dans la plus grande colonie de roseaux près du MR7.

Les tiges de roseaux près de la digue et les aux abords des canaux de drainage entre le MR7 et le ruisseau Louis-Rochelleau ont été pliées à l'aide d'un rouleau à pelouse attaché à un VTT et d'un pliage manuel. L'entièreté des superficies n'a pas pu être traitée puisque les ressources nécessaires en temps et en main-d'œuvre dépassaient les capacités de l'équipe de recherche et l'achèvement du pliage de cette zone serait entré en conflit avec les échéanciers fixés pour d'autres tâches.

6. SUIVIS

Différents suivis ont été réalisés en 2022 dans le but de respecter les objectifs du projet. En ce sens, des suivis sur la flore (Chapitre 6.1), la faune (Chapitre 6.2) et le carbone (Chapitre 6.3) ont été effectués. La durée et la répartition des différents suivis peuvent être consultées à la Figure 17.

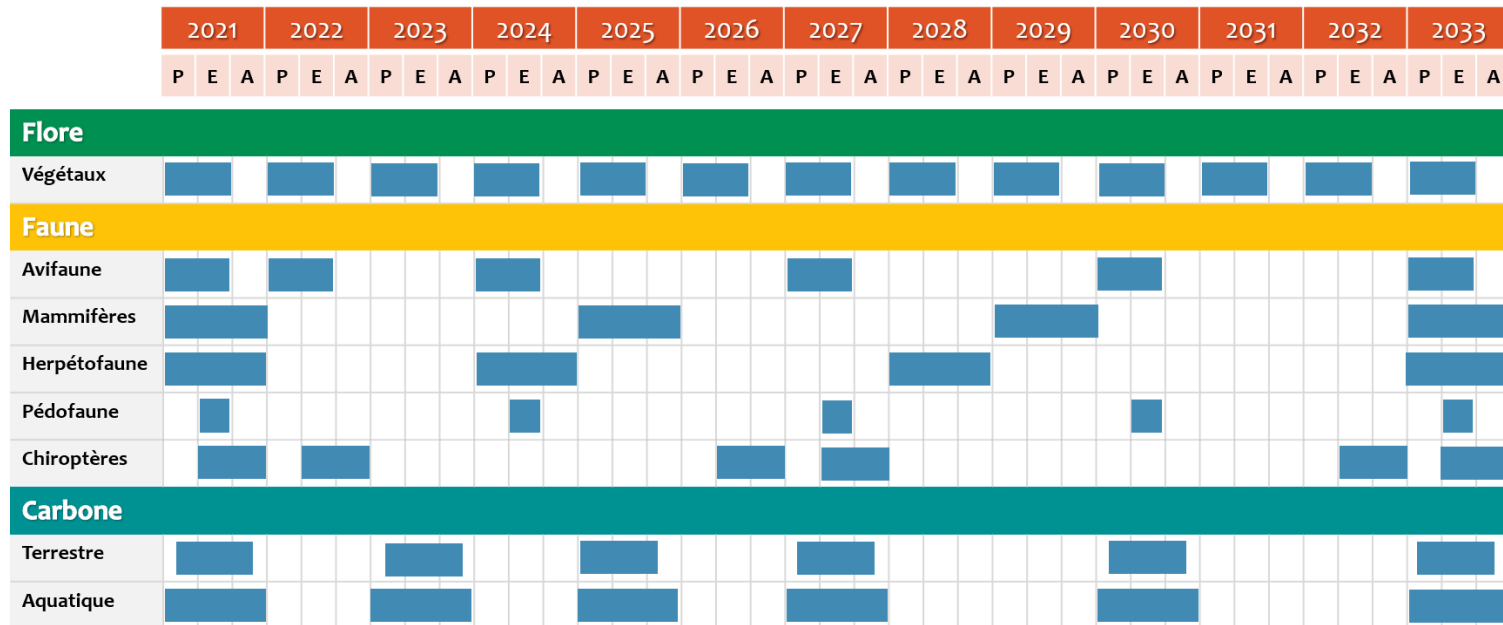


Figure 17. Durée et répartition des différents suivis qui seront effectués dans le cadre du projet de recherche sur une période de 13 ans

Légende : (P) signifie printemps, (E) été et (A) automne

6.1. Flore pionnière

De sorte à suivre la colonisation et l'établissement de la flore non plantée, des relevés floristiques de la régénération naturelle de la strate herbacée sont effectués depuis 2021 dans le MR8. Des quadrats (1 m²) d'identification ont été réalisés de façon aléatoire dans chacun des traitements de legs biologiques des parcelles du MR8A, pour un total de 12 quadrats. Ceci permettra de suivre l'évolution de la régénération naturelle des herbacées, et potentiellement, de mesurer une réponse variable en fonction des différents legs biologiques appliqués.

Avant même d'effectuer les suivis durant l'été 2022, il était possible de voir une bien plus grande diversité d'espèces végétales comparativement à 2021. Plusieurs fleurs des champs avaient poussé contrairement à l'année précédente où le chénopode blanc (*Chenopodium album*) prédominait. Les résultats détaillés de ces suivis peuvent être consultés au Chapitre 7.1.

Comme aucun traitement de legs biologiques n'a été effectué dans le MR8B jusqu'à présent, un seul quadrat d'identification de 1 m² a été réalisé dans chacune des parcelles. Ainsi, un total de six quadrats, choisis aléatoirement, ont été identifiés. Les résultats détaillés de ces suivis peuvent être consultés au Chapitre 7.1.

6.2. Faune

Les suivis fauniques se sont poursuivis en 2022 et incluaient l'échantillonnage de données sur l'avifaune et les chiroptères sur le site du projet de compensation (Figure 17). La collecte de données sur l'herpétofaune a également été réalisée en 2022 en raison d'un échantillonnage incomplet en 2021.

Avifaune

Le suivi de l'avifaune a été fait à l'aide de deux méthodes. La première méthode consistait en l'écoute et l'observation active, par une équipe d'ornithologues sur le terrain, de la présence d'espèces détectables par la vue et par l'ouïe pour l'ensemble de l'avifaune nicheuse, de même que pour les espèces cibles, aux différentes stations d'échantillonnage (Figure 18), à raison de cinq jours par semaine de la mi-mai à la mi-juillet. Des cris de houspillages de mésanges ont également été utilisés.

La deuxième méthode consistait en l'écoute de bandes sonores provenant d'enregistreurs acoustiques de type SM4 (marque *Wildlife acoustics*) installés aux mêmes stations. Voir le rapport R850.2, section 4.1.1 pour une description complète du protocole utilisé pour le suivi de l'avifaune (Auclair *et al.*, 2022).

Il est à noter que le protocole d'échantillonnage a été légèrement modifié en écourtant le temps passé à chaque station pour favoriser un échantillonnage à plusieurs reprises durant la saison. Les résultats de la saison d'échantillonnage 2022 sont présentés au Chapitre 7.6.



Figure 18. Localisation des stations d'échantillonnage où se situent les enregistreurs acoustiques (SM4) utilisés pour l'écoute des chants d'oiseaux et d'anoures

Herpétofaune

En 2022, un échantillonnage a été fait entre le 19 avril et le début du mois d'août afin de capturer la période complète de chant des anoures, et ainsi, pallier le manque de données de 2021. Deux types d'observations ont servi aux analyses, soit à partir de bandes audios provenant d'enregistreurs acoustiques (SM4) (Figure 18) pour les anoures et visuellement à partir de refuges artificiels (Figure 19) pour les couleuvres et les salamandres. Les résultats de la saison d'échantillonnage 2022 sont présentés au Chapitre 7.7.

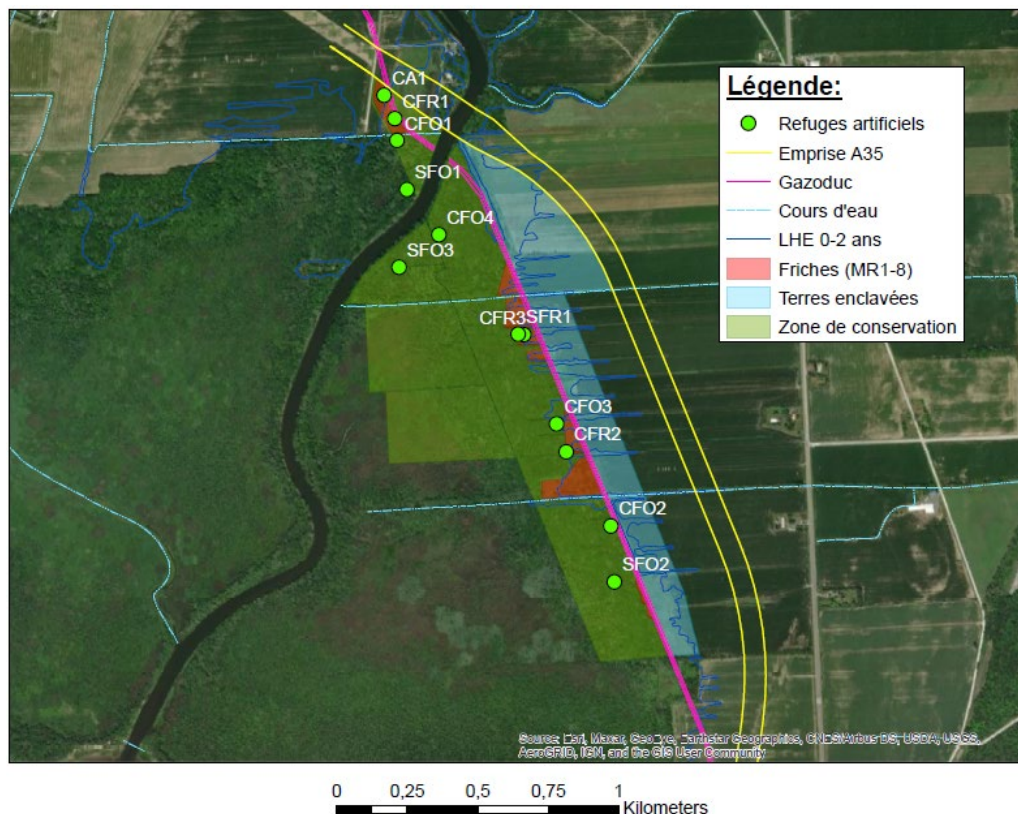


Figure 19. Cartographie représentant la localisation des différents refuges artificiels pour les couleuvres et les salamandres

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

Chiroptères

Le suivi des chiroptères est effectué à l'aide d'enregistreurs d'ultrasons de type Anabat et d'enregistreurs acoustiques de type SM4. Cinq stations d'écoute sont réparties à l'intérieur des immeubles du MTMD et 10 stations d'écoutes sont réparties à l'extérieur des immeubles du MTMD sur des propriétés privées (Figure 20). Le suivi a été effectué entre la mi-juin et le début d'octobre 2022. L'analyse des résultats par rapport à l'échantillonnage de 2022 est toujours en cours et les résultats seront présentés lorsqu'ils seront disponibles.

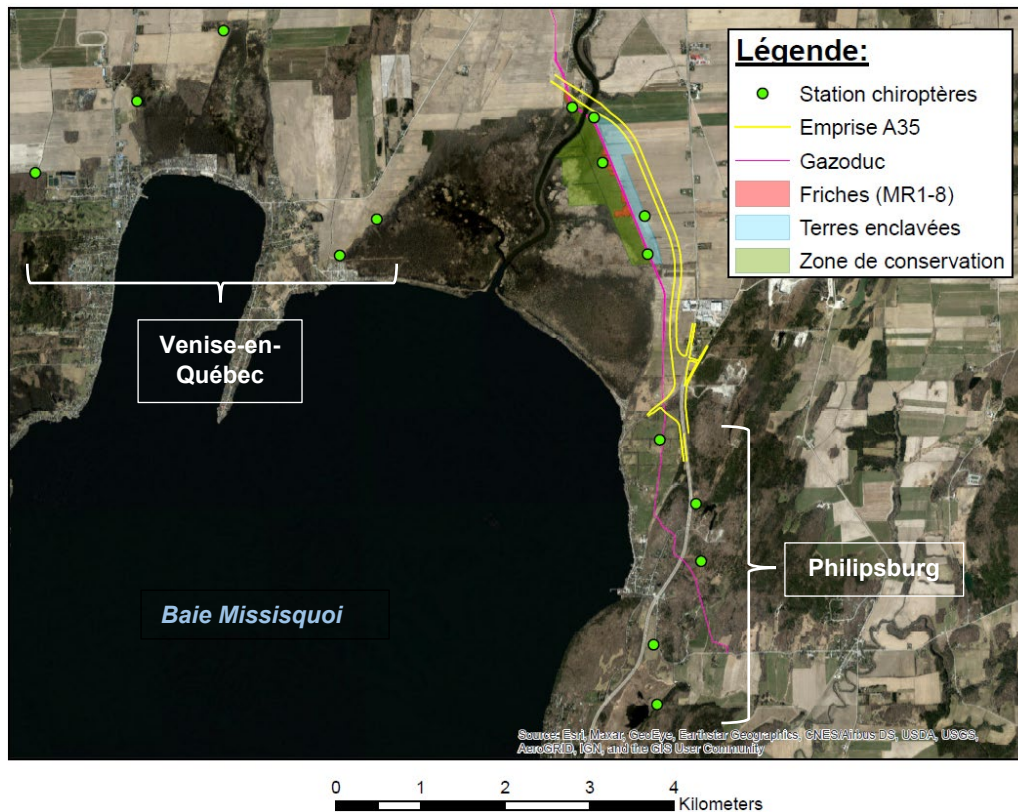


Figure 20. Cartographie des 15 différentes stations d'écoute pour les chiroptères

6.3. Carbone aquatique et terrestre

L'année 2022 n'était normalement pas une année de collecte de données pour le volet du carbone aquatique (Figure 17). Cependant, à la suite d'une demande du MTMD, une collecte de données a été réalisée à certains endroits. En effet, tous les points d'échantillonnages qui se trouvaient en amont de la zone de travaux ont été échantillonnés. De plus, un canal de drainage au nord des terres enclavées a aussi été échantillonné durant toute la saison, considérant qu'il sera affecté par divers travaux (Figure 21). Les résultats pour le carbone aquatique sont disponibles au Chapitre 7.9.

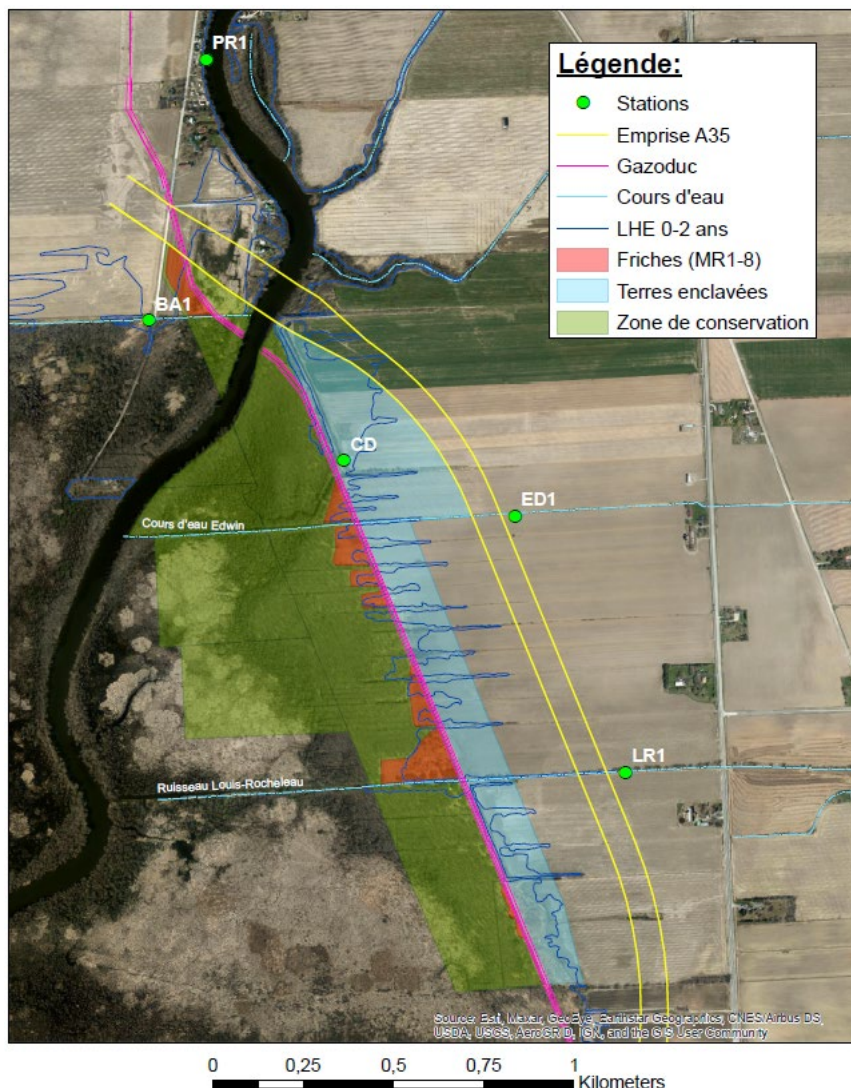


Figure 21. Cartographie des stations d'échantillonnages réalisées en 2022 pour les données du carbone aquatique

Légende : BA = Bellefroid-Archambault, CD = canal de drainage, ED = Edwin, LR = Louis-Rochelleau, PR = rivière aux Brochets, 1 = amont

En ce qui a trait au volet du carbone terrestre, plusieurs problématiques sont survenues (Chapitre 8), ce qui a malheureusement fait en sorte que très peu de données ont pu être récoltées. L'équipe a tout de même installé des sondes au pourtour de tous les collets carbone, afin de bonifier les données de respiration des sols (Annexe A.3). Au total, quatre sondes ont été installées, soit deux pour la température (°C) et deux pour l'humidité du sol (% et kPa) pour chacun des collets. Les quatre sondes sont connectées à un enregistreur de données (*data logger*) de marque *WatchDog* et sont programmées pour enregistrer une donnée toutes les 60 minutes de mai à septembre.

7. PRINCIPAUX RÉSULTATS

Comme le temps d'analyse requiert parfois un nombre d'heures imposant pour les spécialistes qui s'y adonnent, le traitement des données peut prendre jusqu'à plusieurs mois de travail. Pour ces raisons, le présent rapport présente donc des données issues des saisons 2021 et 2022.

Le Tableau 5 représente les cibles fixées en fonction des objectifs des différents volets à l'étude dans le projet, en comparant l'état initial du milieu (données de base à l'année 0) avec l'évolution du milieu dans le temps (données subséquentes). Il est à noter qu'en étant encore au début du projet, plusieurs volets demeurent encore incomplets en regard des données recueillies. Ainsi, les analyses portant sur l'année 0 et celles subséquentes seront bonifiées dans les années à suivre. Le Tableau 5 doit être consulté à l'aide du tableau détaillé des différents indicateurs, des cibles et des mesures quantitatives, en fonction des objectifs fixés présenté à l'Annexe C.

Tableau 5. Cibles des différents volets en fonction des objectifs pour l'année 0 et 1

Objectifs	Indicateurs	Cibles	2020	2021	2022
Maintien et augmentation de la diversité végétale	Survie EMVS ¹	100 %	–	70 %	80 %
	Régénération naturelle des EMVS	année 0 < année 10	–	N/A	N/A
	Régénération naturelle des herbacées	année 0 < année 10	–	N/A	N/A
Développement d'habitats pour la faune	Diversité mammifères	année 0 < année 10	–	N/A	N/A
	Diversité chiroptères	année 0 < année 10	–	N/A	N/A
	Diversité avifaune	année 0 < année 10	–	N/A	N/A
	Diversité herpétofaune	année 0 < année 10	–	N/A	N/A
	Diversité pédofaune	année 0 < année 10	–	N/A	N/A
	Diversité végétale	année 0 < année 10	–	N/A	N/A
Développement d'une forêt résiliente	Survie des arbres ²	100 %	–	70 %	80 %
	Régénération naturelle des arbres	année 0 < année 10	–	N/A	N/A
	Fermeture de la canopée	> 90 %	–	N/A	N/A
Contrôle des EVEC	Recouvrement EVEC	< 2 %	–	N/A	N/A
	Densité EVEC	< 10 %	–	N/A	N/A
Production des espèces d'arbres rares et à statut (<i>ex situ</i>)	% Croissance des semis <i>ex situ</i>	> 20 %	–	N/A	N/A
	% Germination des semences <i>ex situ</i>	> 50 %	–	N/A	N/A
	% Survie des semis plantés issus de la croissance <i>ex situ</i>	> 70 %	–	N/A	N/A
Bilan carbone	Carbone terrestre et aquatique	ratio CO ₂ /an émis vs séquestré année 0 > année 10	–	N/A	N/A

Légende : ¹Les pourcentages de survie des EMVS peuvent varier dans le temps considérant que les relevés sont faits en fonction des parties aériennes qui sont comptabilisées, ainsi si un rhizome était vivant, mais qu'il n'a pas développé de parties aériennes, l'individu n'a pas été dénombré. ²Les pourcentages de la survie des arbres peuvent varier dans le temps et augmenter en fonction des années de plantations (ajout d'individus), ainsi que par le remplacement des arbres morts. Les valeurs indiquées représentent le pourcentage global des arbres plantés et transplantés.

7.1. Flore pionnière

La flore pionnière, c'est-à-dire la flore non plantée issue d'une régénération naturelle, a fait l'objet d'un recensement dans le MR8 en 2021 et 2022. Ce recensement permettra de suivre l'évolution des espèces durant la transition d'un milieu agricole, vers un milieu forestier.

Les résultats du suivi de la flore pionnière démontrent de fortes augmentations de richesse depuis le début du projet. En effet, pour le MR8A toutes les parcelles ont des pourcentages d'augmentation de la richesse spécifique de 175 % et plus (Tableau 6). Le MR8A est un milieu dans lequel des traitements de legs biologiques ont été appliqués en 2021. Selon ces premiers résultats, les pourcentages démontrent que le traitement le plus complet (ajout de terre, de bois et de feuilles mortes) présente le plus haut pourcentage d'augmentation alors que le témoin, où rien n'a été appliqué, est celui avec le pourcentage d'augmentation le plus faible (Tableau 6).

Tableau 6. Comparatif de la moyenne de la richesse spécifique par type de traitement de legs biologiques et pourcentage d'augmentation dans le MR8A

Traitement	Richesse spécifique moyenne 2021	Richesse spécifique moyenne 2022	% d'augmentation
Terre + feuilles	9,33	22,33	239,3 %
Bois	9,33	21,67	232,1 %
Terre + bois + feuilles	7,33	20	272,7 %
Témoin	8,33	14,67	176 %
TOTAL MOYEN DU MR8A	8,58	19,67	230,04 %

Il a aussi été possible de constater visuellement un changement dans la composition des espèces. Plus de 40 nouvelles espèces ont pu être dénombrées. Il est à noter qu'un débroussaillage a eu lieu dans le MR8A en 2021 dans le but de procéder aux plantations. Cette activité pourrait avoir influencé positivement la diversité végétale du milieu (Bonanomi *et al.*, 2009). La dominance des espèces entre 2021 et 2022 peut être consultée à l'Annexe A.4.

En ce qui a trait au MR8B, les résultats sont un peu moins détaillés. Les résultats présentent un total de richesse spécifique de toute la zone du MR8B qui a été comparé entre les deux années. Une augmentation moyenne de 233 % de la richesse spécifique a été observée dans le MR8B (Tableau 7).

Tableau 7. Comparatif de la richesse spécifique totale du MR8B

MR8B	Richesse spécifique totale 2021	Richesse spécifique totale 2022	% d'augmentation
Total	27	63	233,33 %

Plus de 35 nouvelles espèces ont pu être dénombrées pour ce milieu. Comme pour le MR8A, il est fort probable que plusieurs de ces espèces étaient déjà présentes dans le milieu, mais moins abondantes. La différence entre le nombre d'échantillonnages dans MR8B entre 2021 (trois quadrats) et 2022 (six quadrats) pourrait aussi être en cause, et le nombre d'espèces qui aurait pu être recensé en 2021 est peut-être sous-représenté. La dominance des espèces entre 2021 et 2022 pour le MR8B peut être consultée à l'Annexe A.5.

7.2. EMVS

En 2022, un quadrat expérimental de dentaire à deux feuilles, constitué uniquement des fragments de rhizomes brisés, a été aménagé. Lors d'un passage au début du mois de juillet 2022, il a été possible d'observer que plusieurs des rhizomes présentaient des feuilles. Il a aussi été possible de remarquer plusieurs hampes florales dans les différents quadrats d'ail des bois qui ont été transplantés dans [*Information sensible*] (Figure 22). Ces résultats sont donc très encourageants en regard du succès de survie de ces EMVS dans un nouveau milieu récepteur (Davis & Short, 1997 ; Godefroid *et al.*, 2011 ; MELCCFP, 2020).



Figure 22. Photographies de feuilles de dentaires à deux feuilles (*Cardamine diphylla*) ayant poussées à partir de bout de rhizomes, à gauche (11 juillet 2022) et d'une hampe florale d'ail des bois (*Allium tricoccum*) ayant poussée à la suite des transplantations printanières, à droite (5 juillet 2022)

7.3. EVEC

La récolte des données s'est effectuée à l'aide de la mise en place de quadrats de suivis permanents, c'est-à-dire des quadrats qui seront les mêmes tout au long des suivis effectués jusqu'en 2033. Les résultats de 2022 des différents traitements, une année après leur application sur la colonie de roseaux communs, près du MR7 sont présentés à la Figure 23. La densité de tiges de roseaux communs retrouvée dans les zones de traitement de « Pliage 1x/an » et de « Labour profond » était cinq fois plus élevée en 2022 qu'elle ne l'était en 2021 avant tout traitement. La densité présente dans le traitement « Labour peu profond » était quatre fois plus élevée en 2022 par rapport à 2021. Alors que le traitement de « Pliage 3x/an » a connu une augmentation en densité de 13 % en 2022 comparativement à 2021.

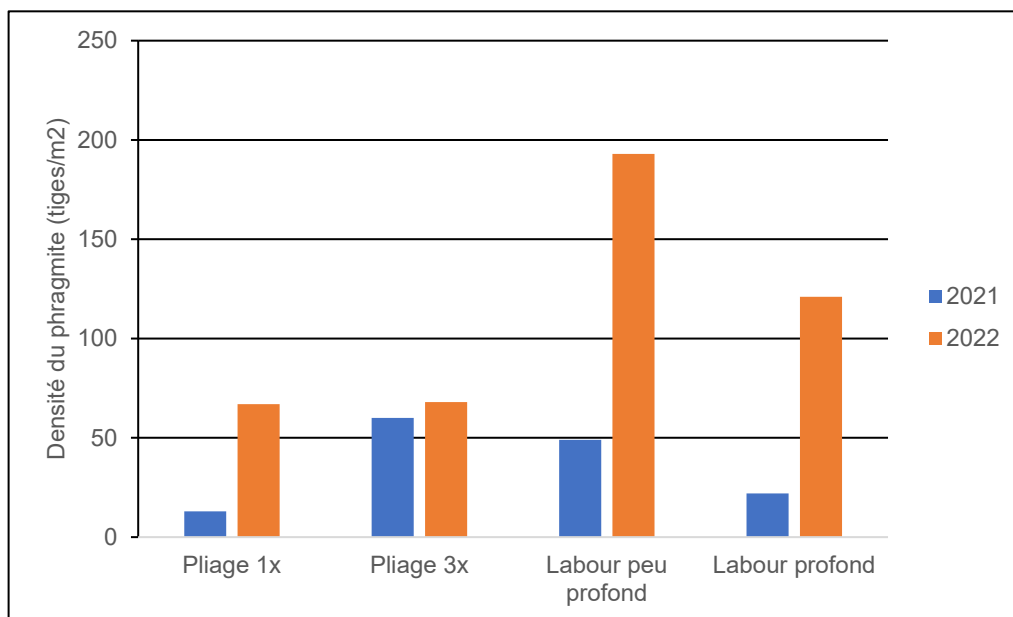


Figure 23. Densités (tiges/m²) du roseau commun (*Phragmites australis subsp. australis*) dans le MR7 selon les différents traitements après un an

Malgré l'augmentation des densités mesurées, celles-ci ne peuvent être représentatives de l'efficacité des traitements vu la courte période écoulée depuis le début des travaux de contrôle. L'intégration de paramètres supplémentaires ainsi que le suivi des colonies sur plusieurs années permettront de dresser un portrait plus clair de l'efficacité des méthodes employées.

7.4. Pédofaune

Lors de la saison 2021, 10 sites avaient été échantillonnés pour chacun des types de milieux observés dans les immeubles du MTMD soit : les milieux agricoles, les friches et les milieux forestiers (Figure 24). À chacun des sites, deux strates ont été prélevées. La première strate correspond à la litière retrouvée au sol, et la deuxième, correspond aux premiers 10 cm de sol. Les efforts ont été dirigés vers l'identification des collemboles (*Collembola sp.*) et des acariens (*Acarî sp.*).

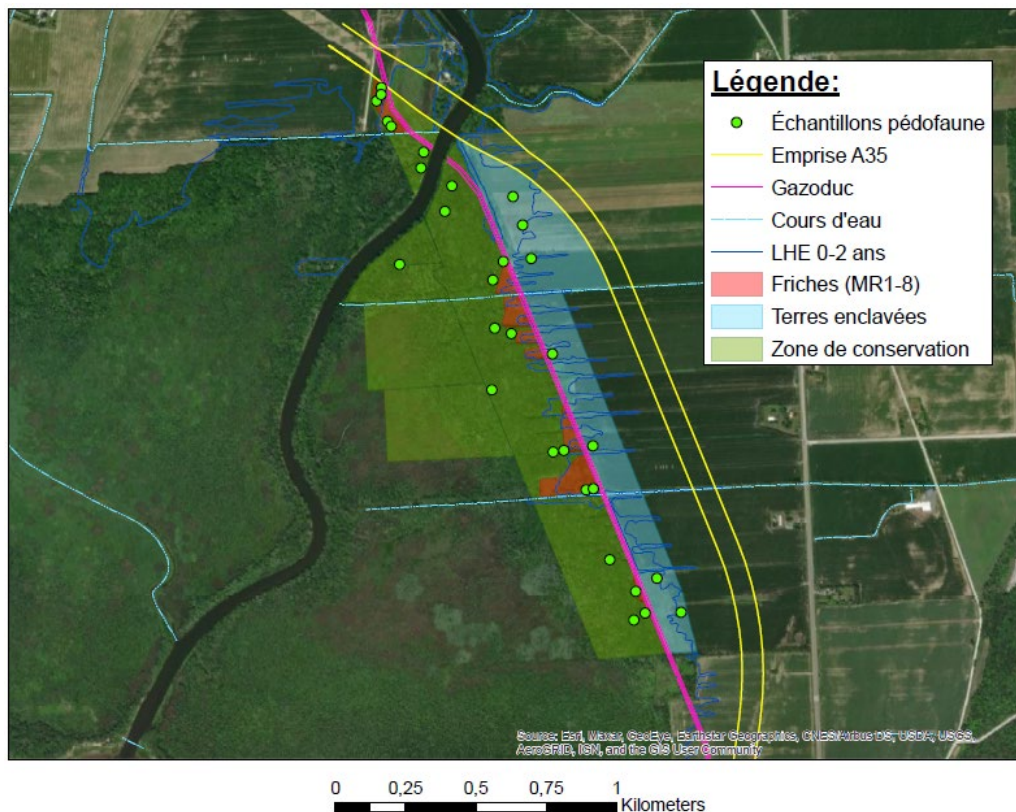


Figure 24. Répartition des sites d'échantillonnage 2021 pour la pédofaune

L'analyse des carottes de sol échantillonnées en 2021 a permis de mettre en valeur l'abondance et la diversité de différents taxons. Les milieux pour lesquels l'abondance des espèces, tant pour les collemboles que pour les acariens, est la plus élevée sont les friches. De plus, la litière y présente la plus grande abondance d'espèces, tous les milieux confondus (Tableau 8). En effectuant une analyse PERMANOVA, il a été possible d'observer que 12 % de la variation dans la composition des espèces est influencée par le type de milieu. Ce qui explique la présence ou l'absence de différents groupes selon le milieu échantillonné.

Tableau 8. Décompte du nombre moyen d'individus par type de milieu et de strate pédologique

Milieu	Strate	Collemboles	Acariens	Autres	Total
Agricole	Litière	5,20	122,40	0,59	136,39
	Sol 0-10 cm	1,30	13,90	0,11	16,81
Total		3,25	68,15	0,35	76,60
Forêt	Litière	7,50	112,90	0,39	126,19
	Sol 0-10 cm	1,80	27,20	0,09	30,29
Total		4,65	70,05	0,24	78,24
Friches	Litière	11,90	154,30	1,03	181,63
	Sol 0-10 cm	3,60	63,40	0,40	73,07
Total		7,75	108,85	0,72	127,34

Aussi, il est important de rappeler que les échantillons de sol de 2021 ont été récoltés après une période de canicule, ce qui pourrait venir influencer notamment la diversité, la richesse, l'abondance et l'uniformité de la pédofaune qui est observée en général (Coyle *et al.*, 2017 ; Fialho *et al.*, 2021).

7.5. Mammifères généralistes

En 2021, 15 caméras de chasse avaient été installées stratégiquement sur la zone de compensation (Figure 25) durant les mois de juillet à novembre. Une méthode d'analyse à partir d'une intelligence artificielle (IA) a été utilisée pour trier les photos et identifier la faune présente sur celles-ci. Un premier tri des données de caméras de chasse s'est effectué en utilisant le modèle *MegaDetector*. Ensuite, une analyse a été réalisée afin de ne conserver qu'une seule photographie pour chaque séquence courte où il y a présence d'animaux. La photographie conservée est celle où le plus grand nombre d'individus a été observé. Chaque séquence courte a été isolée par un minimum de 30 minutes sans activité avant et après celle-ci. Le modèle a utilisé un indice de confiance de 0,95 pour retenir la présence d'animaux.

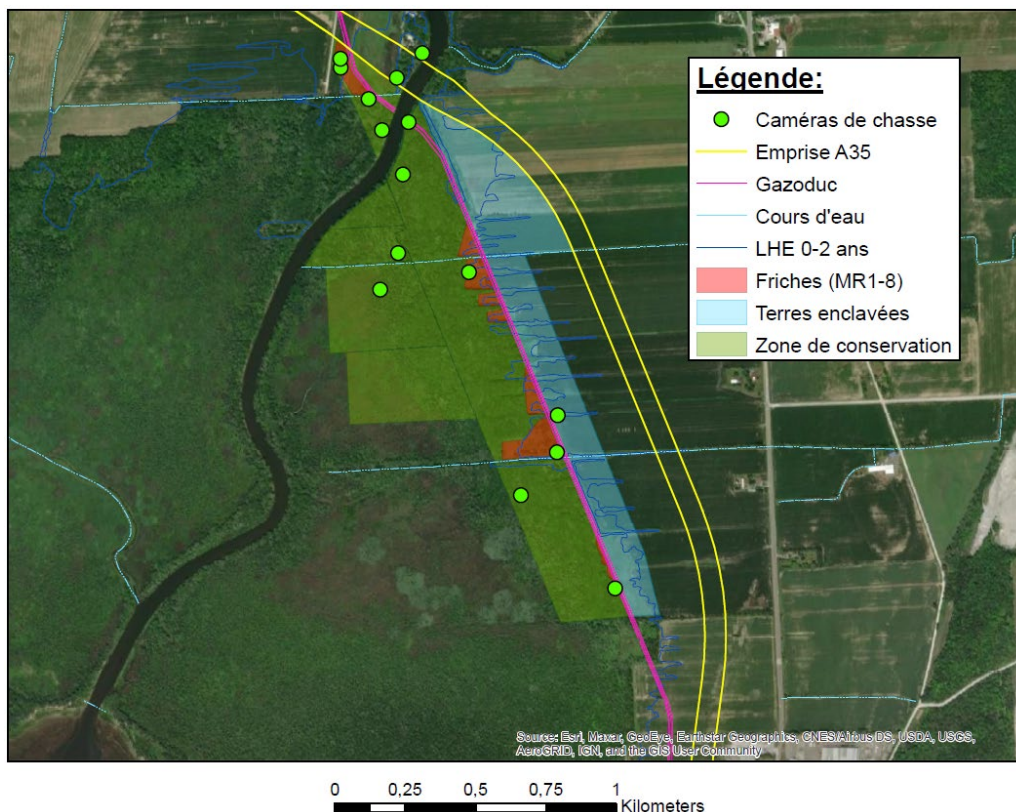


Figure 25. Cartographie de la localisation des différentes caméras de chasse installées dans les immeubles du MTMD en 2021

Le Tableau 9 présente les pourcentages d'occurrence de chaque espèce de mammifères observée pour l'ensemble des 15 stations. Le cerf de Virginie (*Odocoileus virginianus*) est l'espèce qui a largement été la plus observée. Une observation d'un coyote (*Canis latrans*) a même pu être captée par l'une des caméras (Figure 26).

Tableau 9. Pourcentage d'occurrence de chaque espèce de mammifère observée en 2021 pour l'ensemble des stations

Espèce	% d'occurrence
Cerf de Virginie	98,46 %
Raton laveur	1,20 %
Renard roux/gris	0,20 %
Coyote	0,20 %

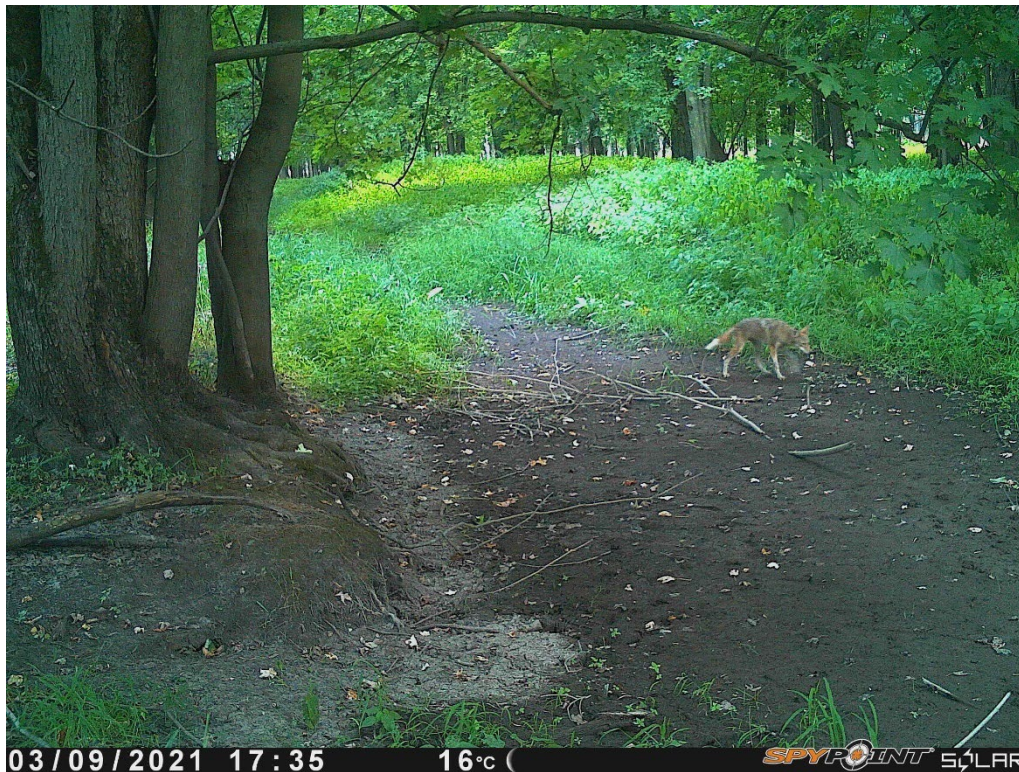


Figure 26. Photographie d'un coyote (*Canis latrans*) à la station située au bord du ruisseau Edwin

Bien qu'en 2022 il n'y avait pas de suivi concernant les mammifères généralistes, l'équipe a observé le 3 octobre 2022 un lynx roux (*Lynx rufus*) qui traversait le chantier de l'autoroute (Annexe A.6). L'observation a été faite complètement au sud de la zone de compensation.

7.6. Avifaune

Les individus qui n'ont pas été identifiés à l'espèce ont été omis des calculs de synthèse préliminaires. Dans la plupart des cas, puisqu'il était impossible de confirmer avec certitude que la vocalisation inconnue était celle d'un nouvel individu ou d'une nouvelle espèce n'ayant pas été détectée auparavant, ces données ont été écartées des analyses pour éviter des erreurs. Seuls les résultats pour les stations à l'intérieur des immeubles du MTMD sont présentés.

2021

Lors de la saison d'échantillonnage de 2021, 42 espèces d'oiseaux ont été répertoriées à l'aide des deux méthodes d'échantillonnage. Les espèces les plus fréquentes peuvent être consultées au Tableau 10. La Grive des bois, une espèce menacée selon le Comité sur la situation des espèces en péril au

Canada (COSEPAC) (COSEPAC, 2021), a été détectée à deux des cinq stations d'échantillonnage.

Tableau 10. Fréquence d'occurrence des espèces dont la valeur est supérieure à 80 % pour 2021

Espèces	2021
Bruant chanteur	100 %
Bruant des marais	80 %
Carouge à épaulettes	100 %
Grive fauve	90 %
Merle d'Amérique	100 %
Oriole de Baltimore	80 %
Paruline flamboyante	100 %
Paruline jaune	100 %
Pioui de l'Est	100 %
Pic maculé	90 %
Troglodyte familier	80 %
Tyran huppé	100 %
Viréo mélodieux	100 %
Viréo aux yeux rouges	100 %

Certaines stations ont affiché une richesse spécifique plus élevée que d'autres, c'est le cas des stations K-lisière et L-lisière, où il a été possible d'observer respectivement 62 % et 69 % du total des 42 espèces recensées (Tableau 11). Il est important de noter que les enregistrements acoustiques ont permis de détecter la présence de sept espèces non répertoriées sur le terrain, soit : le Bruant familier (*Spizella passerina*), le Bruant à gorge blanche (*Zonotrichia albicollis*), le Cardinal à poitrine rose (*Pheucticus ludovicianus*), la Grive solitaire (*Catharus guttatus*), le Jaseur d'Amérique (*Bombycilla cedrorum*), le Piranga écarlate (*Piranga olivacea*) et le Tyran huppé (*Myiarchus crinitus*).

Tableau 11. Pourcentage de la richesse spécifique à chaque station en 2021

Stations forêt		Stations lisière	
	2021		2021
J-forêt (10)	48 %	J-lisière (11)	57 %
X-forêt (23)	57 %	K-lisière (13)	62 %
		L-lisière (15)	69 %

Légende : Le numéro entre parenthèses après le nom de la station représente le numéro affiché sur la carte à la Figure 18

2022

Lors de la saison d'échantillonnage de 2022, 58 espèces d'oiseaux ont été répertoriées à l'aide des deux méthodes d'échantillonnage. Les espèces les plus fréquentes peuvent être consultées au Tableau 12. La fréquence d'occurrence élevée du Pioui de l'Est (90 %) pour une deuxième année consécutive est un élément positif étant donné son statut d'espèce « préoccupante » selon la *Loi sur les espèces en péril* (COSEPAC, 2012).

Tableau 12. Fréquence d'occurrence des espèces dont la valeur est supérieure à 80 % pour 2022

Espèces	2022
Bécassine de Wilson	80 %
Bruant chanteur	100 %
Carouge à épaulettes	90 %
Cornelle d'Amérique	80 %
Hirondelle bicolore	80 %
Merle d'Amérique	90 %
Paruline flamboyante	90 %
Paruline jaune	100 %
Paruline masquée	80 %
Pioui de l'Est	90 %
Quiscale bronzé	90 %
Tyran huppé	80 %
Viréo aux yeux rouges	80 %

En 2022, une plus grande richesse totale d'espèces aviaires a été dénombrée, comparativement à la saison 2021. Plusieurs facteurs peuvent expliquer les différences interannuelles dans le nombre d'espèces détectées, mais la plus longue période d'échantillonnage de 2022 (Chapitre 6.2) est très certainement susceptible de contribuer à accroître ainsi la probabilité d'observer plus d'espèces. Il importe de mentionner qu'une station pour laquelle le même nombre d'espèces a été observé en 2021 et en 2022 pourrait voir son taux de richesse diminuer étant donné le plus grand nombre d'espèces répertoriées sur l'ensemble du site de compensation en 2022. La station avec le plus haut pourcentage de richesse totale en 2022 est J-forêt (47 %). L'observation et l'écoute active sur le terrain ont permis de détecter la présence de 22 espèces qui n'ont pas été détectées sur les enregistrements acoustiques.

Tableau 13. Pourcentage de la richesse spécifique détectée à chaque station pour les années 2021 et 2022

Stations forêt			Stations lisière		
	2021	2022		2021	2022
J-forêt (10)	48 %	47 %	J-lisière (11)	57 %	43 %
X-forêt (23)	57 %	42 %	K-lisière (13)	62 %	40 %
			L-lisière (15)	69 %	40 %

Légende : Le numéro entre parenthèses après le nom de la station représente le numéro affiché sur la carte à la Figure 18

7.7. Herpétofaune

Pour ce qui est de l'enregistrement des chants d'anoures, il importe de rappeler que 26 stations — 17 en lisière et neuf en forêt — ont été installées dans les immeubles du MTMD ainsi que dans les boisés privés environnants (Figure 18). Les enregistreurs acoustiques étaient programmés pour enregistrer des séquences de 3 min pour les plages horaires programmées, chaque jour de la fin mai à la mi-juillet 2021. Les plages horaires sélectionnées étaient 14 h, 15 h, 20 h, 21 h, 22 h, 23 h, 24 h et 1 h. La méthodologie détaillée en lien avec ce volet peut être consultée à la section 4.2.1 du rapport R850.2 (Auclair *et al.*, 2022).

Pour l'analyse des enregistrements, un sous échantillonnage des fichiers audios a été réalisé afin d'optimiser celle-ci. Chacun des enregistrements a été écouté afin d'identifier les différentes espèces d'anoures entendues, ainsi que pour leur attribuer une cote d'intensité de chant selon le *North American Amphibian Monitoring Protocol* (Weir *et al.*, 2005).

2021

Aucune salamandre ni couleuvre n'a été observée au niveau des refuges artificiels durant la saison d'échantillonnage de 2021. Cependant, plusieurs espèces ont été répertoriées ponctuellement en dehors des refuges tout au long de la saison des travaux. Notamment, une couleuvre rayée (*Thamnophis sirtalis*), une rainette versicolore (*Hyla versicolor*), ainsi que des tortues serpentes (*Chelydra serpentina*).

Tableau 14. Nombre de sites par type de milieu avec au moins une détection pour chaque espèce échantillonnée par station d'enregistrement

Espèce	2021	
	Lisière	Forêt
Rainette versicolore	17	9
Rainette crucifère	5	2
Crapaud d'Amérique	5	3
Grenouille verte	16	7
Ouaouaron	11	3

Cinq espèces d'anoures ont pu être entendues dans les enregistrements acoustiques de 2021 (Tableau 14). La rainette versicolore a pu être entendue à toutes les stations d'écoutes et est donc l'espèce avec la plus grande fréquence d'observation. À l'inverse, c'est la rainette crucifère (*Pseudacris crucifer*) qui présente la plus faible fréquence d'observation. Finalement, c'est la rainette versicolore, ainsi que la grenouille verte (*Lithobates clamitans*), dont l'abondance des individus a été la plus importante sur les enregistrements.

Les espèces ayant une reproduction hâtive, telles que la rainette crucifère et le crapaud d'Amérique (*Anaxyrus americanus*) (MFFP, 2015), n'ont pas pu être échantillonnées à leur juste mesure en raison de la date tardive de la mise en place des enregistreurs acoustiques (Tableau 14).

2022

En 2022, six individus de salamandre à points bleus (*Ambystoma laterale*) étaient présents lors de l'échantillonnage au mois d'août (Tableau 15). Il est à noter que deux individus de salamandres à points bleus sur six ont été observés en dessous de refuges à couleuvre (Figure 27).

Tableau 15. Espèces de salamandres et de couleuvres observées dans les refuges artificiels selon les années d'échantillonnage, et nombre d'individus recensé

Année	Salamandres		Couleuvres	
	Espèce	Nb. Individus	Espèce	Nb. Individus
2021	–	–	–	–
2022	Points bleus	6	–	–

Il est intéressant de mentionner l'observation ponctuelle de certaines espèces au courant de la saison en dehors des refuges artificiels, entre autres, de rainettes versicolores, de tortues peintes (*Chrysemys picta*), de salamandres à points bleus et de grenouille des bois (*Lithobates sylvaticus*) (Figure 28).



Figure 27. Photographie d'une salamandre à points bleus (*Ambystoma laterale*) lors d'un relevé durant la saison 2022

Pour l'analyse des enregistrements de 2022, la même méthode que pour l'année 2021 a été utilisée. La période d'échantillonnage, débutée plus tôt en 2022 qu'en 2021, a permis d'identifier deux nouvelles espèces dans les enregistrements soit : la grenouille léopard du Nord (*Lithobates pipiens*) et la grenouille des bois (Tableau 16). Comme pour l'année 2021, la rainette versicolore a pu être entendue à toutes les stations. Toutefois, la rainette crucifère, qui était l'espèce la moins fréquemment observée en 2021, a elle aussi été observée à toutes les stations au cours de la dernière saison. La grenouille verte a également été entendue aux 26 différentes stations d'enregistrements. Finalement, en 2022 la fréquence d'observation pour le crapaud d'Amérique et le ouaouaron (*Lithobates catesbeianus*) a augmenté. En termes d'abondance sur les enregistrements, c'est la rainette crucifère qui a été dénombrée le plus souvent et la grenouille des bois qui l'a été le moins souvent.

Tableau 16. Nombre de sites de chaque type avec au moins une détection pour chaque espèce échantillonnée par enregistreurs acoustiques entre 2021 et 2022

Espèce	2021		2022	
	Lisière	Forêt	Lisière	Forêt
Rainette versicolore	17	9	17	9
Rainette crucifère	5	2	17	9
Crapaud d'Amérique	5	3	16	7
Grenouille verte	17	7	17	9
Ouaouaron	11	3	11	6
Grenouille léopard du Nord	–	–	16	6
Grenouille des bois	–	–	7	4

Malgré la différence au niveau de la durée des périodes d'échantillonnages entre les années 2021 et 2022, la moyenne d'espèces détectées dans les lisières et les milieux forestiers reste très semblable. La grenouille léopard du Nord, quant à elle, tendait à être moins souvent détectée dans les forêts que dans les lisières.



Figure 28. Photographie d'une grenouille des bois (*Lithobates sylvaticus*) observée sur le terrain en 2022

7.8. Carbone terrestre

Un bris d'équipement a fait en sorte qu'il a été impossible de remettre les résultats à temps en 2021. Il importe aussi de rappeler que l'échantillonnage des carottes de sol réalisé en 2020 fut établi en fonction des types de milieux soit : les friches non reboisées, les friches à reboiser, les milieux agricoles « conventionnels », les milieux agricoles fourragers et les milieux forestiers.

En 2021, 13 collets avaient été installés sur la zone de compensation (Figure 29). Ces derniers avaient été échantillonnés en août et en septembre 2021. Les données ont été analysées d'abord avec le logiciel *SoilFluxPro* version 5.2 de Li-Cor, puis les flux ont été calculés avec le progiciel HMR sur R. Ces opérations permettent de normaliser les données initiales en fonction de la température du sol et de la pression atmosphérique. Le progiciel HMR est spécialement conçu afin de faire des analyses statistiques issues des flux gazeux à l'aide d'une chambre de respiration.

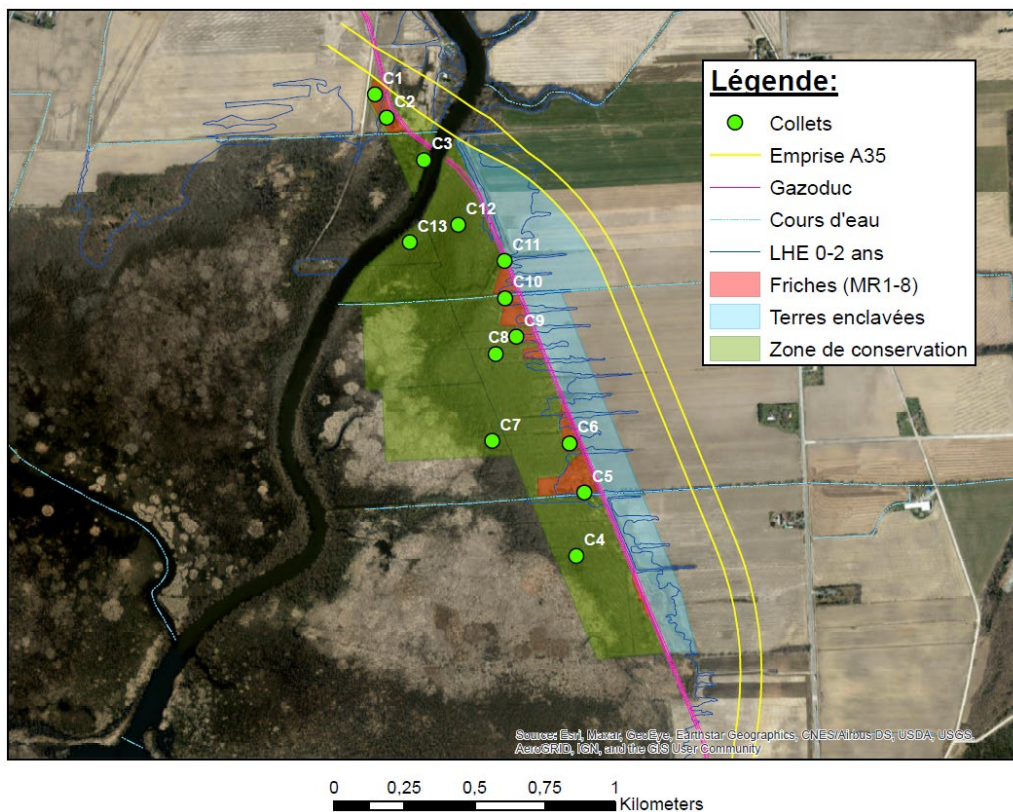


Figure 29. Cartographie représentant la localisation des différents collets installés pour les mesures de flux de carbone

Au Tableau 17, il est possible de voir les valeurs des émissions de dioxyde de carbone (CO₂) mesurées à chacune des stations d'échantillonnage pour les mois d'août et de septembre 2021. Les stations étaient réparties dans trois types de milieux, soit sur une parcelle de terre agricole cultivée jusqu'en 2020 (agricole maïs-soja), dans la forêt adjacente au site de compensation (forêt) et dans les friches sur le site (friches à reboiser et non reboisées).

Tableau 17. Données de l'année 2021 pour les flux de dioxyde de carbone (CO₂) (mg/m²/heure) des différentes stations d'échantillonnage

Stations (type de milieu)	Aout	Septembre
C1 (agricole maïs-soja)	640,17	619,20
C2 (friche à reboiser)	996,85	495,61
C6 (friche à reboiser)	619,45	557,34
C9 (friche à reboiser)	810,12	818,61
C5 (friche non reboisée)	1426,28	868,36
C10 (friche non reboisée)	1035,83	767,38
C11 (friche non reboisée)	759,39	562,13
C3 (forêt)	1200,81	1092,06
C4 (forêt)	748,06	795,87
C7 (forêt)	1093,58	826,20
C8 (forêt)	950,85	909,85
C12 (forêt)	854,75	643,06
C13 (forêt)	876,71	727,46

En ce qui a trait aux valeurs de CO₂ mesurées en milieux forestiers, ces dernières varient entre 643,06 et 1200,81 mg/m²/h pour les mois d'aout et septembre (Tableau 17). Les plus faibles valeurs obtenues se rapprochent des résultats de Lessard *et al.* (1994), qui avaient mené une étude sur des sites agricoles et dans des écosystèmes forestiers tempérés, tous deux adjacents et caractérisés par des sols mal drainés.

Pour les milieux agricoles, les valeurs de CO₂ mesurées étaient de 640,17 mg/m²/h au mois d'aout et de 619,20 mg/m²/h au mois de septembre 2021 (Tableau 17). Les valeurs mesurées par Lessard *et al.* (1994) sur un site agricole exploité variaient entre 11,25 et 294,58 mg/m²/h. La valeur la plus élevée (294,58 mg/m²/h) avait été enregistrée au mois d'aout.

Tableau 18. Moyenne des flux de dioxyde de carbone (CO₂) (mg/m²/heure) en fonction des différents types de milieux

Type de milieu	Moyenne
Agricole	629,69
Friche	809,78
Forêt	893,27

Les valeurs des émissions de CO₂ mesurées dans les friches variaient entre 495,61 et 1426,28 mg/m²/h (Tableau 17). Bien que la mesure de CO₂ la plus élevée ait été prise à la station C5, la moyenne de CO₂ mesurée dans les friches demeure plus faible que celle mesurée en forêt et plus élevée que celle mesurée dans la parcelle agricole (Tableau 18). Selon Estruch *et al.* (2018), les émissions de CO₂ pourraient augmenter lors du passage d'un champ agricole à une friche, à cause du changement dans la composition des espèces et du couvert végétal. Il sera intéressant de voir si les champs agricoles, une fois leur revégétalisation

débutée, se comporteront de la même manière, et si une augmentation des émissions de CO₂ se produira ou non.

En ce qui a trait aux échantillons de sol récoltés en 2020, les analyses de ces derniers ont démontré qu'il n'existait pas de différences significatives entre les différents milieux, à l'exception des milieux forestiers (Tableau 19). Les concentrations de carbone dans les sols sont généralement faibles, et celles-ci démontrent que pour la plupart des sites échantillonnés, ceux-ci n'agissent pas comme des réservoirs de carbone. De plus, la profondeur des échantillons récoltés, 0-15 cm ou 15-30 cm, ne semblait pas être un aspect qui avait un facteur d'importance pour les concentrations obtenues.

Tableau 19. Teneurs en carbone (%) dans les différents milieux échantillonnés et selon la profondeur du carottage

Type de milieu	Teneur moyenne en carbone (%)	Profondeur (cm)	Teneur en C (%)
FNR (MR1)	2,87	0-15	3,53
		15-30	2,20
FNR (MR2)	0,05	0-15	0
		15-30	0,10
FAR (MR3)	0,60	0-15	0,41
		15-30	0,78
FAR (MR4)	1.17	0-15	0.48
		15-30	1.86
FAR (MR5)	0.05	0-15	0.10
		15-30	0
FNR (MR6)	0,06	0-15	0,11
		15-30	0
Agricole maïs-soja (MR8)	0,67	0-15	1,20
		15-30	0,14
Agricole fourrager	0,17	0-15	0,35
		15-30	0
Forêts	7,73	0-15	9,35
		15-30	6,12

Légende : FNR = friche non reboisée, FAR = friche à reboiser

7.9. Carbone aquatique

En 2022, lors de l'échantillonnage de la rivière aux Brochets (PR1), la présence de *blooms* de cyanobactéries a pu être remarquée. Aussi, dans le canal de drainage échantillonné (CD), des lentilles d'eau, sur une épaisseur de 2-3 cm, étaient présentes entre le mois d'août et d'octobre. 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 (P) présentées au Tableau 20 permettent de qualifier les stations du ruisseau Edwin (ED1) et PR1 comme étant eutrophisées (30-100 µg P/L) et la station du ruisseau Bellefroid-Archambault (BA1), et CD comme hypereutrophes (> 100 µg P/L) (Wetzel, 2001).

En ce qui concerne les concentrations de gaz dissous, les mesures de dioxyde de carbone (CO₂) (237-579 µmol/L) permettent de constater que les stations BA1, CD et ED1 sont des milieux étant des sources importantes de gaz à effet de serre (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 méthane (CH₄) dissous, les concentrations (0,5-2,4 µmol/L) retrouvées à la station du ruisseau Louis-Rochelleau (LR1) et à ED1, ainsi que dans PR1 sont en général plus basses que celles du milieu boréal naturel et des ruisseaux du Wisconsin, tandis que les concentrations de CD sont beaucoup plus élevées (50,2 µmol/L) (Tableau 20). Les résultats présentent quelques limitations puisque le ruisseau Edwin n'a pu être échantillonné en juillet et en août.

Finalement, les données de la multisonde YSI, telles que la température (°C), la conductivité (µS/cm), le pH, la concentration en oxygène (mg/L) et la saturation en oxygène (%), sont présentées au Tableau 21. En 2022, elles représentent la moyenne des mois de juin, juillet, et octobre (données manquantes en mai et août).

Tableau 20. Moyennes des résultats obtenus pour les stations échantillonnées pour les données d'analyses de l'eau entre 2021 et 2022

Station	P total (µg P/L)		N total (mg N/L)		COD (mg/L)		CID (mg/L)		Concentration CO ₂ dissous (µmol/L)		Concentration CH ₄ dissous (µmol/L)	
	2021	2022	2021	2022	2021	2022	2021	2022	2021	2022	2021	2022
BA1	304,9	290,4	1,3	2,9	7,9	6,4	46,6	39,2	350,4	290,1	13,5	4,9
CD	–	345,6	–	1,3	–	10,9	–	30,8	–	578,5	–	50,2
ED1	50,5	51,9	2,0	5,6	5,3	3,9	64,9	46,6	529,5	237,8	1,5	0,5
LR1	61,1	27,6	2,6	3,5	4,2	3,8	41,0	47,6	126,8	86,1	2,8	1,5
PR1	48,5	56,5	1,2	2,3	7,5	8,2	26,1	26,8	38,9	37,5	2,9	2,4

Légende : BA = Bellefroid-Archambault, ED = Edwin, LR = Louis-Rochelleau, PR = rivière aux Brochets, 1 = amont, P = phosphore, N = azote, COD = carbone organique dissous, CID = carbone inorganique dissous

Tableau 21. Moyennes des résultats obtenus pour les stations échantillonnées pour les données prises avec la multisonde YSI entre 2021 et 2022

Station	Température (°C)		Conductivité (µS/cm)		pH		Oxygène dissous (%)		Oxygène dissous (mg/L)		Profondeur maximum (cm)	
	2021	2022	2021	2022	2021	2022	2021	2022	2021	2022	2021	2022
BA1	17,11	16,75	741,8	489,67	7,28	6,97	79,76	83,67	7,88	7,99	27,50	75
CD	–	19,88	–	259,33	–	6,67	–	72,80	–	6,57	–	100
ED1	12,84	10,86	887,5	589,00	7,25	7,09	64,95	73,85	6,98	8,23	5	27,5
LR1	18,11	14,59	995	688,33	7,52	7,25	91,00	95,50	8,81	9,75	20,00	22,5
PR1	20,19	17,59	490,2	356,67	8,04	7,66	121,66	105,00	10,92	9,98	–	–

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

8. PROBLÉMATIQUES ET SOLUTIONS

Les plus grandes problématiques qui ont été rencontrées durant la saison 2022 sont sans contredit les difficultés liées aux conditions du sol. En effet, les inondations printanières ont retardé plusieurs activités et rendu ardue la réalisation de plusieurs tâches. Par exemple, la réalisation des exclos dans les terres enclavées a dû être reportée de plusieurs mois, ce qui a entraîné un retard dans l'aménagement des dispositifs de plantations, et ainsi, engendré le report de la majorité des plantations prévues pour 2022 ; plusieurs suivis (EMVS, avifaune, herpétofaune) ont été difficiles ou ont dû être reportés de quelques semaines ; par plusieurs occasions les véhicules se sont enlisés dans les accès ; plusieurs refuges pour l'herpétofaune ont été perdus et ont dû être remplacés puis sécurisés ; l'installation d'enregistreurs était ralentie à cause du niveau élevé de l'eau en forêt (plus de 1 m par endroit) ; l'ancrage afin de maintenir le géotextile en place a dû être recommencé, etc. Ces conditions ralentissent parfois énormément la vitesse d'exécution prévue pour certaines activités et engendrent des coûts supplémentaires pour l'équipe de recherche.

De plus, les arbres alloués par le MRNF ont été plantés trop tard durant la saison, ce qui a causé des dommages aux bourgeons et aux tiges apicales des arbres plantés. La présence des castors a causé le bris de certains arbres (Annexe A.7), affectant le suivi des chiroptères et la pérennité des EMVS transplantées.

Finalement, un bris d'appareil, des retards dans la réception de marchandise et les délais associés à la réalisation des exclos ont causé le report entier de la saison d'échantillonnage 2022 pour le volet du carbone terrestre.

[SECTION ENTRETIEN]
Chapitres 11 à 15

9. PLANTATIONS DANS LE MR8

Le MR8 a fait l'objet de plusieurs interventions depuis 2020. Notamment par une transplantation d'arbres matures (2020), par une plantation en sous-étage, ainsi que par l'aménagement de legs biologiques et de monticules (2021). En 2022, les seules plantations qui ont eu lieu dans ce milieu étaient le remplacement des arbres morts ayant été plantés en 2021 (Chapitre 9.2), ainsi que trois chênes bicolores (*Quercus bicolor*) issus d'une croissance *ex situ* (Chapitre 10). Dans les années à suivre, seuls les suivis et l'entretien des plantations, et des grands arbres transplantés seront à effectuer.

9.1. Suivis des plantations et des grands arbres transplantés

Le suivi de l'état des arbres, de leurs défauts ainsi que l'entretien des plantations et des grands arbres transplantés a été effectué le 24 mai 2022. Comme beaucoup de retards phénologiques ont pu être observés chez les arbres plantés en 2021, en plus de la difficulté à distinguer l'état de certains arbres entre « dépérit » ou « mort », un deuxième suivi des arbres identifiés comme « mort » a été effectué le 31 mai 2022 et un troisième suivi des arbres identifiés comme « dépéris » a été effectué le 7 juin 2022 afin de valider l'exactitude des données. Les chênes bicolores, les chênes à gros fruits (*Quercus macrocarpa*) et les caryers cordiformes (*Carya cordiformis*) étaient ceux qui présentaient le plus de retards phénologiques.

Des tapis en paillis de fibres de coco (45 cm X 45 cm) ont été installés autour de chaque plant qui mesurait environ moins de 65 cm (Annexe A.8). Les étiquettes de marquage numérotées, les rubans de balisage (*flag*) et les protecteurs de troncs en spirale ont été vérifiés. Pour statuer de l'état « dépérit », le critère utilisé correspondait à un arbre qui semblait avoir moins de 30 % de ses feuilles ou de ses bourgeons potentiels. La majorité des arbres observés comme « dépérit » avaient soit une descente de cime ou des rejets à la souche.

L'état des grands arbres transplantés, observé lors des suivis, est présenté au Tableau 22. Sur les 47 arbres transplantés en 2020, la majorité des arbres étaient vivants en 2022, soit 26 individus sur 47 (55,32 %). Le pourcentage de survie pour les arbres plantés en 2021 est de 87,5 % et ce dernier inclut les arbres vivants et dépéris (Tableau 23).

Tableau 22. État des grands arbres transplantés en 2020 dans le MR8A au printemps 2022

Espèce	Nb arbres initial 2020	Vivant	Dépérit	Mort
<i>Acer saccharinum</i>	7	7	0	0
<i>Alnus rugosa</i>	1	1	0	0
<i>Carya ovata</i>	1	0	0	1
<i>Cornus sp.</i>	1	1	0	0
<i>Cornus stolonifera</i>	3	3	0	0
<i>Crataegus douglasii</i>	1	1	0	0
<i>Crataegus sp.</i>	2	2	0	0
<i>Fraxinus americana</i>	2	1	1	0
<i>Fraxinus pennsylvanica</i>	5	3	2	0
<i>Populus deltoides</i>	6	0	0	6
<i>Populus tremuloides</i>	1	0	0	1
<i>Quercus bicolor</i>	7	5	0	2
<i>Quercus macrocarpa</i>	1	0	0	1
<i>Salix fragilis</i>	1	1	0	0
<i>Salix sp.</i>	3	0	1	2
<i>Ulmus americana</i>	2	0	2	0
<i>Ulmus rubra</i>	3	1	0	2
TOTAL	47	26	6	15
TOTAL POURCENTAGE	–	55,32 %	12,77 %	31,91 %

Tableau 23. États des arbres plantés en 2021 dans le MR8 au printemps 2022

	Vivant	Dépérit	Mort	Total
Nb individus	454	71	75	600
Pourcentage	75,67 %	11,83 %	12,5 %	100 %

Les défauts des arbres annotés étaient les marques de broutage, la présence d'insectes (parasitoïdes [guêpes], phytophage, etc.), les rejets à la souche, les retards phénologiques et les descentes de cime. Les pourcentages des arbres plantés et transplantés selon les différentes catégories de défauts déterminés sont présentés au Tableau 24. Les érables argentés (*Acer saccharinum*) plantés en 2021 étaient ceux qui présentaient le plus de défauts (décente de cime [DC], présence d'insecte [I], rejets à la souche [RS]) et les chênes bicolores étaient ceux avec le plus de retards phénologiques. La cause de ces retards pourrait potentiellement être expliquée par le fait que ces derniers n'étaient pas dans un bon état au moment de la plantation à l'automne 2021, les racines (nues) et les feuilles étaient considérablement desséchées (Annexe A.9).

Tableau 24. Pourcentage des arbres plantés ou transplantés en fonction des différentes catégories de défauts

	Nb ind.	B	DC	I	RS	RP
Arbres plantés	600	0,67 %	18 %	27,7 %	10 %	9 %
Grands arbres transplantés	47	0 %	8,1 %	29,7 %	2,7 %	5,4 %

Légende : B = broutage, DC = décente de cime, I = présence d'insectes, RS = rejets à la souche, RP = retards phénologiques

9.2. Remplacement des arbres morts

Le remplacement des arbres (plantations 2021) dans le MR8 a été effectué entre le 24 octobre et le 17 novembre 2022, alors que les arbres étaient en dormance. Le nombre d'arbres à remplacer a été calculé en fonction des suivis réalisés en mai et juin. Au total, 75 des 600 arbres plantés en 2021 ont été remplacés. Les totaux et le pourcentage de remplacement par espèce sont présentés au Tableau 25. Aussi, tous les arbres morts ont été remplacés par des individus de gabarit similaire. Les détails des mortalités par espèce et par gabarit sont présentés au Tableau 26. Il est important de mentionner que le dénombrement d'arbres fait en 2022 ne correspond pas exactement avec le nombre d'arbres comptabilisé en 2021. En faisant le suivi cette année, il a été remarqué que quelques erreurs d'identification avaient eu lieu. Par exemple, un marronnier (*Aesculus sp.*) avait été identifié comme un chêne blanc (*Quercus alba*) par le fournisseur. De plus, l'équipe a noté un individu de chêne bicolore en surplus. Lors du suivi au printemps 2023, l'identification de chaque arbre sera vérifiée pour trouver d'où provient cette erreur et valider que les fournisseurs n'ont pas fait d'autres erreurs d'identification.

Tableau 25. Décompte du nombre et du pourcentage de mortalité par espèce d'arbres dans le MR8 selon le suivi de 2022

Espèce	Nb de mort	Total	% de mortalité
<i>Acer rubra</i>	0	21	0 %
<i>Acer saccharinum</i>	3	136	2,21 %
<i>Aesculus</i> sp.	0	1	0 %
<i>Alnus rugosa</i>	0	18	0 %
<i>Amelanchier</i> sp.	0	1	0 %
<i>Carpinus caroliniana</i>	3	26	11,54 %
<i>Carya cordiformis</i>	4	10	40 %
<i>Carya ovata</i>	8	30	26,67 %
<i>Celtis occidentalis</i>	12	26	46,15 %
<i>Cornus stolonifera</i>	0	1	0 %
<i>Fraxinus americana</i>	0	8	0 %
<i>Fraxinus nigra</i>	0	11	0 %
<i>Fraxinus pennsylvanica</i>	0	7	0 %
<i>Fraxinus</i> sp.	0	4	0 %
<i>Juglans cinerea</i>	9	59	15,25 %
<i>Populus deltoides</i>	0	16	0 %
<i>Prunus serotina</i>	0	4	0 %
<i>Quercus alba</i>	6	38	15,79 %
<i>Quercus bicolor</i>	24	51	47,06 %
<i>Quercus macrocarpa</i>	5	13	38,46 %
<i>Salix discolor</i>	0	17	0 %
<i>Salix nigra</i>	0	2	0 %
<i>Sambucus canadensis</i>	0	6	0 %
<i>Thuja occidentalis</i>	1	25	4 %
<i>Ulmus americana</i>	0	65	0 %
<i>Ulmus rubra</i>	0	4	0 %
TOTAL	75	600	12,5 %

Lors de l'activité de remplacement des arbres morts à l'automne, certains arbres présentaient des rejets à la souche, qui n'étaient pas présents lors des derniers suivis en juin. Les données de suivi ont donc été modifiées et ces individus n'ont pas été remplacés. Les arbres commandés en surplus ont été plantés dans le MR8A, mais à l'extérieur des parcelles expérimentales de plantations, où un espace résiduel était présent. Au total, 13 chênes bicolores, trois chênes à gros fruits, cinq caryers cordiformes et un caryer ovale (*Carya ovata*) ont été plantés à cet endroit (Figure 30). De plus, trois chênes bicolores issus d'une croissance *ex situ* ont aussi été plantés dans cette même zone (Chapitre 10).

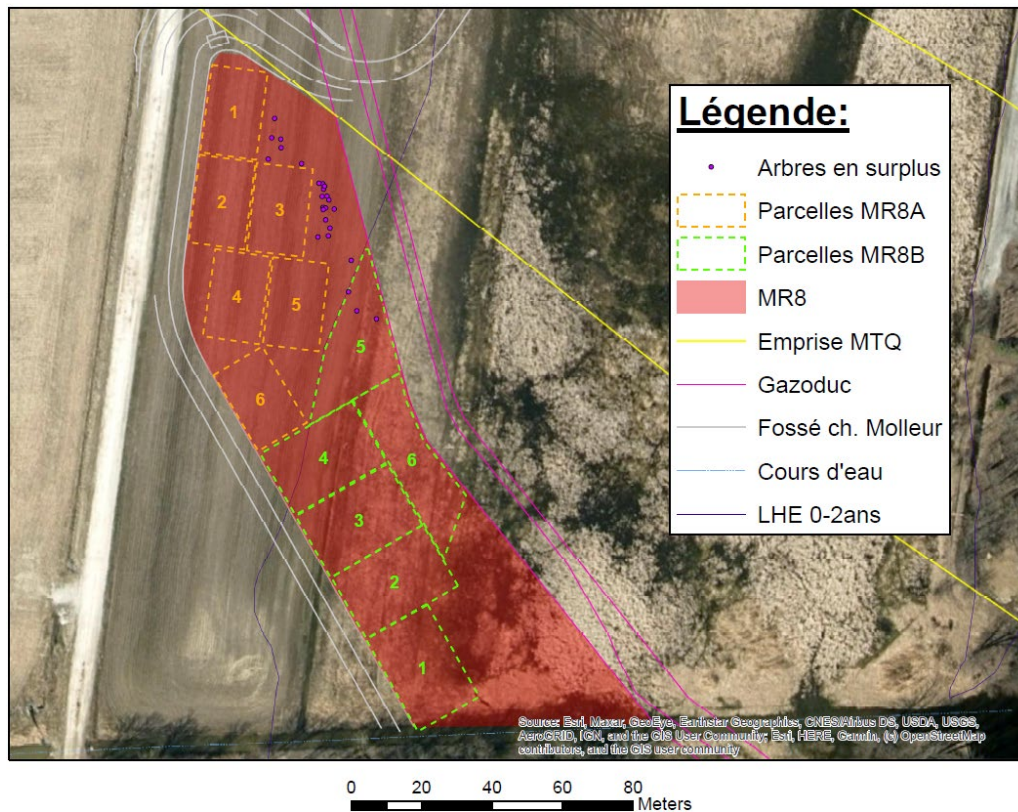


Figure 30. Cartographie de la position des arbres en surplus plantés en dehors des parcelles du MR8A en 2022

Les arbres morts mesurant plus de 65 cm de hauteur ont été laissés sur place afin d'ajouter à la structure verticale du milieu et afin de préserver la matière organique en décomposition.

Tableau 26. Dénombrement des arbres morts en fonction de leur gabarit dans le MR8 en 2022

Espèces	Gabarit (cm)	MR8A	MR8B	Total
TOTAL ACER SACCHARINUM	60 à 90	1	2	3
TOTAL CARPINUS CAROLINIANA	30 à 60	0	3	3
<i>Carya cordiformis</i>	60 à 90	2	0	2
<i>Carya cordiformis</i>	90 à 120	1	0	1
<i>Carya cordiformis</i>	120 à 150	1	0	1
TOTAL CARYA CORDIFORMIS	–	4	0	4
TOTAL CARYA OVATA	30 à 60	0	8	8
<i>Celtis occidentalis</i>	30 à 60	0	3	3
<i>Celtis occidentalis</i>	90 à 120	0	1	1
<i>Celtis occidentalis</i>	120 à 150	0	2	2
<i>Celtis occidentalis</i>	150 à 180	0	5	5
<i>Celtis occidentalis</i>	180 à 210	0	1	1
TOTAL CELTIS OCCIDENTALIS	–	0	12	12
<i>Juglans cinerea</i>	30 à 60	1	6	7
<i>Juglans cinerea</i>	60 à 90	1	0	1
<i>Juglans cinerea</i>	120 à 150	1	0	1
TOTAL JUGLANS CINEREA	–	3	6	9
<i>Quercus alba</i>	30 à 60	0	1	1
<i>Quercus alba</i>	60 à 90	1	0	1
<i>Quercus alba</i>	90 à 120	4	0	4
TOTAL QUERCUS ALBA	–	5	1	6
<i>Quercus bicolor</i>	120 à 150	0	3	3
<i>Quercus bicolor</i>	150 à 180	1	3	4
<i>Quercus bicolor</i>	180 à 240	0	1	1
<i>Quercus bicolor</i>	180 à 210	3	4	7
<i>Quercus bicolor</i>	210 à 240	2	4	6
<i>Quercus bicolor</i>	240 à 270	2	0	2
<i>Quercus bicolor</i>	270 à 300	0	1	1
TOTAL QUERCUS BICOLOR	–	8	16	24
<i>Quercus macrocarpa</i>	150 à 180	1	1	2
<i>Quercus macrocarpa</i>	180 à 210	2	0	2
<i>Quercus macrocarpa</i>	240 à 270	1	0	1
TOTAL QUERCUS MACROCARPA	–	4	1	5
TOTAL THUJA OCCIDENTALIS	30 à 60	0	1	1
GRAND TOTAL	–	25	50	75

9.3. Irrigation des arbres

Aucune activité d'arrosage n'a eu lieu lors de la première année de suivi (2022) considérant les bonnes conditions d'humidité du sol. Un arrosage a cependant été réalisé lors de la plantation effectuée pour le remplacement des arbres morts.

9.4. Exclos du MR8

En début de saison 2022, une tournée a été réalisée le long de l'exclos du MR8 afin de s'assurer que la clôture grillagée en polypropylène et le grillage hexagonal galvanisé (« cage à poules ») étaient toujours bien maintenus et que toutes les attaches étaient encore bien présentes.

Également, l'exclos a dû être déplacé de quelques mètres, forçant le rétrécissement du périmètre et le déplacement de certains arbres, puisqu'une erreur de piquetage avait été commise par l'arpenteur en 2021. Un chêne blanc, un aulne rugueux (*Alnus rugosa*) et un noyer cendré (*Juglans cinerea*) ont été relocalisés à d'autres endroits dans la même parcelle du MR8 pour dégager la zone touchée.

10. CROISSANCE DE SEMENCES *IN SITU*

À la fin de la saison 2021, des semences d'arbres rares ou à statut précaire (EMVS) avaient été récoltées, puis une partie de ces semences avaient été plantées *in situ* à l'intérieur du MR8A. Parmi les espèces récoltées se trouvaient des caryers ovales et cordiformes, des noyers cendrés, des chênes bicolores et des [*Information sensible*] (Figure 31).

Malheureusement, plusieurs des semences récoltées en 2021 et entreposées dans une salle réfrigérée de l'UQAM ont été perdues à cause d'un bris d'équipement. Au total, 292 semences ont été perdues et 161 ont été plantées *ex situ* afin de tenter de les sauver. Seuls trois chênes bicolores ont pu être réchappés et plantés dans le MR8 à l'automne (Chapitre 9.2, Figure 30).



Figure 31. Photographie du dispositif aménagé en 2021 pour la croissance des semences *in situ* et de leur protection

10.1. Suivi de la croissance des semences

Lors des suivis au printemps 2022, il s'est avéré qu'absolument aucune des semences plantées n'a germé dans le MR8A. Des tests de viabilité des semences pour les noix (caryers, noyers et chênes) avaient pourtant été réalisés. Des suivis seront effectués l'an prochain afin de voir si certaines semences vont germer *in situ* durant la saison à venir.

11. TRANSPLANTATIONS D'EMVS 2020

À l'automne 2020, des transplantations d'EMVS ont été effectuées dans divers milieux du site du projet de compensation. Au total 521 individus avaient été transplantés. Les espèces comprenaient l'asaret du Canada, le carex massette (*Carex typhina*), l'iris de Virginie (*Iris virginica*), la matteuccie fougère-à-l'autruche, la sanguinaire du Canada et le trille blanc pour les herbacées, ainsi que le caryer ovale et le chêne bicolore pour les semis. Les différents quadrats de transplantation ont été aménagés dans [*Information sensible*].

11.1. Suivi des EMVS

Un suivi des quadrats et des individus a été réalisé le 23 mai 2022 pour les [*Information sensible*]. Le suivi [*Information sensible*] a été réalisé le 21 juin 2022 à cause des inondations. Il est à noter que les sols [*Information sensible*] ont aussi été inondés sur une longue période. Certains spécimens de trilles n'avaient pu être identifiés à l'espèce comme ils ne comportaient pas de fleur, toutefois, certains de ces individus ont fleuri en 2022 et ont pu être identifiés comme des trilles blancs.

Le pourcentage de survie ajusté correspond au pourcentage de survie des espèces en fonction de la quantité de plants initialement transplantés à l'intérieur de chacun des quadrats. Même si le nombre total d'individus observé peut être supérieur au nombre transplanté en 2020, il est possible que le pourcentage de survie soit inférieur à 100 %, dû aux mortalités de certains individus. Le calcul du pourcentage de survie ajusté ne tient donc pas compte de la reproduction de certains plants ni des erreurs dans les décomptes lors des transplantations.

Tableau 27. Pourcentage de survie et dénombrement des transplantations dans les [Information sensible] entre 2020 et 2022

[Information sensible]	Espèce	Nb initial planté en 2020	Nb. vivant en 2021	Nb vivant en 2022	% de survie ajusté 2021	% de survie ajusté 2022
[Information sensible]	<i>Asarum canadense</i>	20	4	0	20 %	0 %
	<i>Carex typhina</i>	10	19	32	100 %	100 %
	<i>Carya ovata</i>	5	1	0	20 %	0 %
	<i>Iris virginica</i>	30	38	30	97 %	90 %
	<i>Quercus bicolor</i>	15	14	10	93 %	67 %
	<i>Sanguinaria canadensis</i>	20	13	0	65 %	0 %
TOTAL [Information sensible]		100	89	72	71 %	47 %
[Information sensible]	<i>Asarum canadense</i>	10	6	2	50 %	20 %
	<i>Carex typhina</i>	10	5	14	50 %	60 %
	<i>Matteuccia struthiopteris</i>	10	9	7	90 %	60 %
	<i>Sanguinaria canadensis</i>	10	5	0	50 %	0 %
TOTAL [Information sensible]		40	25	23	60 %	35 %
[Information sensible]	<i>Asarum canadense</i>	20	13	2	65 %	10 %
	<i>Matteuccia struthiopteris</i>	15	12	14	80 %	87 %
	<i>Sanguinaria canadensis</i>	20	11	7	45 %	35 %
TOTAL [Information sensible]		55	36	23	62 %	40 %
[Information sensible]	<i>Asarum canadense</i>	30	27	22	80 %	67 %
	<i>Carex typhina</i>	30	83	187	100 %	100 %
	<i>Iris virginica</i>	70	108	67	99 %	89 %
	<i>Matteuccia struthiopteris</i>	25	25	40	88 %	100 %
	<i>Sanguinaria canadensis</i>	30	25	23	77 %	77 %
	<i>Trillium grandiflorum</i>	22	10	10	45 %	45 %
TOTAL [Information sensible]		207	278	349	86 %	82 %
GRAND TOTAL		402	428	466	76 %	63 %

Dans le Tableau 27, les pourcentages ont été calculés en ne tenant pas compte de la survie à l'intérieur des quadrats, mais plutôt sur le total d'individus dénombrés pour chacune des espèces dans un milieu donné. Le [Information sensible] est le milieu avec le pourcentage de survie le plus faible (35 %) pour une deuxième année consécutive. Le [Information sensible] présente le pourcentage de survie le plus élevé avec une valeur de 82 %. C'était également

le cas en 2021 où le pourcentage de survie s'élevait à 86 %. De manière générale, le pourcentage de survie le plus élevé pour la majorité des espèces est dans [*Information sensible*].

Dans le Tableau 28, les pourcentages de survie par espèce et par densité de plantation sont présentés. Il ne semble pas y avoir de tendance en lien avec le pourcentage de survie et la densité de plantation, toutefois aucune analyse statistique n'a été effectuée. Le carex massette, l'iris de Virginie et la matteuccie fougère-à-l'autruche sont les espèces qui avaient généralement le plus de succès, toutes les densités confondues. Certaines espèces avaient un pourcentage de survie supérieur à 100 %, particulièrement pour le carex massette et la matteuccie fougère-à-l'autruche.

Tableau 28. Pourcentage de survie ajusté des différentes espèces transplantées en 2020, en fonction de la densité des quadrats et de l'année du suivi

Espèce	1 ind./m ²		2 ind./m ²		5 ind./m ²		10 ind./m ²	
	2021	2022	2021	2022	2021	2022	2021	2022
<i>Asarum canadense</i>	40 %	70 %	50 %	20 %	53 %	27 %	70 %	23 %
<i>Carex typhina</i>	40 %	40 %	N/A	N/A	87 %	93 %	100 %	100 %
<i>Iris virginica</i>	90 %	80 %	90 %	90 %	100 %	87 %	100 %	92 %
<i>Matteuccia struthiopteris</i>	90 %	90 %	N/A	N/A	75 %	75 %	95 %	100 %
<i>Sanguinaria canadensis</i>	70 %	90 %	50 %	0 %	57 %	40 %	70 %	30 %
<i>Trillium grandiflorum</i>	57 %	57 %	N/A	N/A	40 %	40 %	N/A	N/A

Il est à noter que les quadrats expérimentaux, aménagés lors des transplantations en 2020, n'étaient pas inclus dans les tableaux présentés, car ceux-ci n'ont pas fait l'objet de répliqués. Pour cette raison, le pourcentage de survie des quadrats expérimentaux est présenté séparément (Tableau 29). Les pourcentages de survie varient entre les espèces et les années de suivi. Le quadrat expérimental 3, contenant des matteuccies et des iris, avait le pourcentage de survie le plus élevé en 2022 avec 64 %, tandis qu'en 2021, c'était le quadrat expérimental 2, contenant uniquement des asarets, avait le plus haut pourcentage avec une valeur de 88 %.

Tableau 29. Pourcentage de survie pour les quadrats expérimentaux du [Information sensible]

Quadrat	Espèce	Nb individus plantés	% de survie ajusté 2021	% de survie ajusté 2022	Total % de survie ajusté 2021	Total % de survie ajusté 2022
Quadrat expérimental 1	<i>Asarum canadense</i>	23	26 %	48 %	27 %	42 %
	<i>Sanguinaria canadensis</i>	3	33 %	0 %		
Quadrat expérimental 2	<i>Asarum canadense</i>	48	88 %	60 %	88 %	60 %
Quadrat expérimental 3	<i>Matteuccia struthiopteris</i>	21	67 %	81 %	84 %	64 %
	<i>Iris virginica</i>	24	100 %	50 %		

11.2. Protection des EMVS et retrait des espèces végétales compétitrices

En 2022, afin de limiter au maximum les risques associés à l'herbivorie par les mammifères présents sur le site, spécifiquement les cervidés, des dispositifs de protection ont été installés au-dessus de tous les quadrats dans lesquels les EMVS prélevées ont été transplantées en 2020 et en 2022. Le dispositif est constitué d'un filet à oiseaux fixé sur un piquet de bois enfoncé au centre du quadrat (Annexe A.10). Le filet est maintenu en place par des crampes en acier installées en périphérie du quadrat.

Plusieurs des filets ont été déchirés au courant de la saison 2022, toutefois, aucune marque majeure d'herbivorie n'a été remarquée. Le dispositif sera réévalué en 2023.

Des désherbages ont eu lieu à deux reprises au cours de la saison 2022 afin de retirer les espèces végétales compétitrices des quadrats de transplantations. Les zones ciblées étaient les [Information sensible] dans lesquelles une végétation compétitrice dense avait été observée (Annexe A.11). En particulier, les espèces les plus présentes étaient l'ortie du Canada (*Laportea canadensis*) et l'amphicarpe bractéolée (*Amphicarpaea bracteata*).

12. PRINCIPAUX CONSTATS

De façon générale, les suivis démontrent des résultats positifs. Les mortalités des arbres plantés en 2021 dans le MR8 sont sous la cible des 15 % et les grands arbres transplantés présentent un pourcentage de survie de 68 %. Qui

plus est, plusieurs descentes de cime et de rejets à la souche ont été constatés. Un certain déracinement a aussi été observé à la suite des périodes de gel et de dégel dans le MR8. Malgré tous ces imprévus, les plantations de 2021 s'avèrent être un succès et les individus qui étaient morts ont été remplacés à l'automne 2022 tel que prévu.

Malheureusement, les expériences de croissance *in situ* avec les semences s'avèrent être un échec jusqu'à présent. De nouveaux essais seront effectués dans les années à venir à l'aide du partenariat entre le laboratoire et le groupe Ambioterra qui produira des EMVS et des espèces rares en pépinière.

Pour les transplantations d'EMVS herbacées effectuées en 2020, les mortalités sont plus importantes dans [*Information sensible*], en raison des conditions hydriques du milieu et des inondations de cette année. Toutefois, certains quadrats, dans tous les milieux confondus, démontrent tout de même une augmentation du nombre d'individus initialement planté, plus particulièrement dans le [*Information sensible*] où le succès est le plus important. Les mesures de protection contre l'herbivorie entreprises cette année aideront aussi à diminuer la pression sur les EMVS et seront améliorées en 2023. De même, la gestion des espèces compétitrices lors de l'entretien est à maintenir pour que les herbacées d'EMVS perdurent.

13. CONTRIBUTION ET PARTICIPATION

Il est important de souligner l'implication des différents ministères et organisations qui soutiennent et qui conseillent l'équipe de recherche au travers la réalisation de ce projet de restauration. Notamment, le MTMD, le MRNF, le MELCCFP, Conservation de la nature Canada (CNC) et Ambioterra. Finalement, la réalisation de ce projet ne pourrait se faire sans la contribution des différents chercheurs (Pierre Drapeau, Tanya Handa, Marc Mazerolle, Nicolas Bélanger et Yves Prairie), spécialistes (François Fabianek), et de leurs équipes, qui participent à ce dernier.

14. COMMUNICATION

Les activités de communication à venir en 2023 se résumeront à l'élaboration d'une conférence diffusée aux professionnels de l'environnement (webinaire), d'une présentation du projet sous forme de projection et d'une foire aux questions destinée aux gens de la communauté locale du projet, à la rédaction d'un article journalistique informant de l'avancement et des résultats du projet, et finalement, de l'actualisation de la page web dédiée au projet.

15. CONCLUSION

En somme, la majorité des travaux et tâches prévus lors de 2022 ont été réalisés avec succès. Certes, maints inconvénients sont venus freiner l'avancement de certains travaux. Parmi ceux-ci, se retrouvent la crue des eaux et les inondations subséquentes dans les différents milieux ainsi que les conditions du sol qui y ont été associées, certains délais pour la coordination de travaux tels que la mise en place d'exclos qui ont occasionné le report d'une grande partie des plantations dans les terres enclavées, et des bris d'équipements qui ont affecté la récolte de données de certains volets.

Des milieux comme [*Information sensible*] et le MR8 démontrent des résultats encourageants par rapport aux objectifs du projet de maintien et d'augmentation de la diversité végétale du secteur. Aussi, il est à noter que le contrôle du roseau commun au fil des ans représentera une tâche substantielle afin d'assurer le succès des plantations et la restauration du milieu de compensation.

L'échantillonnage prolongé pour certains volets, comme l'herpétofaune et le carbone aquatique, aura permis de combler un manque de données récoltées en 2021. Les divers suivis fauniques ont pu démontrer qu'il existe une biodiversité intéressante dans le secteur, parmi laquelle plusieurs espèces rares ou à statut de conservation ont pu être observées. La restauration de la zone de compensation et les suivis ultérieurs permettront de déterminer si la colonisation des nouveaux aménagements d'habitats pour la faune sera un succès.

La récolte de données pour le carbone terrestre devra être intensifiée, particulièrement pour les flux de carbone (respiration des sols) et pour le carbone organique dissous, puisque l'échantillonnage de ces mesures a pris du retard selon le calendrier de suivi. L'intensification de l'échantillonnage est nécessaire afin de dresser un bilan carbone complet et modéliser des prévisions futures pour ce dernier.

Finalement, l'équipe de recherche est malgré tout satisfaite de l'évolution du projet et de son avancement considérant les multiples inconvénients et ralentissements causés par les divers aléas. Le succès des plantations et des transplantations, la grande biodiversité du secteur, la reprise naturelle de la végétation de sous-étage dans le MR8, et le caractère innovant de ce projet semblent, tous ensemble, être des éléments clés pour sa réussite à long terme.

16. BIBLIOGRAPHIE

Auclair, L., Jetha, N. & Tardif, D. (2022). Reboisement des terres enclavées à Pike River et Saint-Armand : Projet de compensation phase II, Activités en 2021 (R850.2). <http://www.bv.transports.gouv.qc.ca/mono/1294771.pdf>

Bonanomi, G., Caporaso, S. & Allegranza, M. (2009). Effects of nitrogen enrichment, plant litter removal and cutting on a species-rich mediterranean calcareous grassland. *Plant Biosystems - an International Journal Dealing with All Aspects of Plant Biology*, 143(3), 443–455.
<https://doi.org/10.1080/11263500903172128>

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.

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*. Gouvernement du Canada.
https://www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/services/registre-public-especes-peril/evaluations-rapports-situations-cosepac/pioui-est-2012.html#_fig07

Comité sur la situation des espèces en péril au Canada (COSEPAC). (2021). *Espèces sauvages canadiennes en péril*. Gouvernement du Canada.
https://wildlife-species.canada.ca/species-risk-registry/virtual_sara/files/species/CSAR%20FR%202021.pdf

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), 1581–1591.

Davis, R. C. & Short, F. T. (1997). Restoring eelgrass, *Zostera marina* L., habitat using a new transplanting technique: The horizontal rhizome method. *Aquatic Botany*, 59(1–2), 1–15. [https://doi.org/10.1016/S0304-3770\(97\)00034-X](https://doi.org/10.1016/S0304-3770(97)00034-X)

Estruch, C., Lozano, Y. M., Armas, C. & Pugnaire, F. I. (2018). Plant community changes after land abandonment control CO₂ balance in a dry environment. *Plant and Soil: An International Journal on Plant-Soil Relationships*, 425(1–2), 253–264. <https://doi.org/10.1007/s11104-018-3581-1>

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.

Gabillot, C., Jetha, N. & Tardif, D. (2021). Reboisement des terres enclavées à Pike River et Saint-Armand : Projet de compensation phase I, Caractérisation et transplantation (R850.1).
<http://www.bv.transports.gouv.qc.ca/mono/1259555.pdf>

Godefroid, S., Piazza, C., Rossi, G., Buord, S., Stevens, A. D., Agurauja, R., Cowell, C., Weekley, C. W., Vogg, G., Iriundo, J. M., Johnson, I., Dixon, B., Gordon, D., Magnanon, S., Valentin, B., Bjureke, K., Koopman, R., Vicens, M., Virevaire, M. & Vanderborght, T. (2011). How successful are plant species reintroductions? *Biological Conservation*, 144(2), 672–682.
<https://doi.org/10.1016/j.biocon.2010.10.003>

Lessard, R., Rochette, P., Topp, E. & Pattey, E. (1994). Methane and carbon dioxide fluxes from poorly drained adjacent cultivated and forest sites. *Canadian Journal of Soil Science*, 74(2), 139–139.

Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs (MELCCFP). (2020). *Dentaire à deux feuilles. Espèce vulnérable à la récolte. Fiche descriptive*. Gouvernement du Québec.
<https://www.environnement.gouv.qc.ca/biodiversite/especes-designees-susceptibles/dentaire-deux-feuilles/dentaireDeuxFeuilles.pdf>

Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs (MFFP). (2015). *Méthode d'inventaire des anoures du Québec*. Gouvernement du Québec.
<ftp://transfert.mern.gouv.qc.ca/public/biblio/Mono/2018/10/1226066.pdf>

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.

Weir, L. A., Royle, J. A., Nanjappa, P. & Jung, R. E. (2005). Modeling anuran detection and site occupancy on North American Amphibian Monitoring Program (NAAMP) routes in Maryland. *Journal of Herpetology*, 39(4), 627–639.

Wetzel, R. G. (2001). *Limnology: lake and river ecosystems* (3^e éd.). Academic Press Inc.

ANNEXE A
PHOTOGRAPHIES

ANNEXE A.1



Tuyaux de PVC et barres d'armature utilisés pour délimiter les quadrats expérimentaux

ANNEXE A.2



Photographie d'un semi de chêne rouge (Quercus rubra) alloué par le MRNF avant la mise en place de son protecteur. En arrière-plan, les arbres ont été protégés


ANNEXE A.3



Photographie du dispositif de sondes autour d'un collet carbone

ANNEXE A.4


Espèces dominantes en fonction de leur occurrence dans le MR8A

Occurrence	2021		2022	
	Espèce	Type	Espèce	Type
Plus fréquente 	Chénopode blanc (<i>Chenopodium album</i>)	E, MH	Ricinelle rhomboïde (<i>Acalypha rhomboidea</i>)	I, MH
	Rorippe des marais (<i>Rorippa palustris</i>)	I, MH, H	Sétaire géante (<i>Setaria faberi</i>)	E, EV, MH, G
	Pissenlit officinal (<i>Taraxacum officinale</i>)	E, MH	Pissenlit officinal (<i>Taraxacum officinale</i>)	E, MH
	Véronique voyageuse (<i>Veronica peregrina</i>)	I, MH	Vergerette du Canada (<i>Erigeron canadensis</i>)	E, MH
	Abutilon à pétales jaunes (<i>Abutilon theophrasti</i>)	E, MH	Jonc grêle (<i>Juncus tenuis</i>)	I, MH
	Céraiste vulgaire (<i>Cerastium fontanum</i>)	E, MH	Luzerne lupuline (<i>Medicago lupulina</i>)	E, MH
Moins fréquente	Panic d'automne (<i>Panicum dichotomiflorum</i>)	E, MH, G, H	Oxalide d'Europe (<i>Oxalis stricta</i>)	E, MH

Légende : I = indigène (Québec) ; E = exotique ; EV = envahissante ; MH = mauvaise herbe ; G = graminée ; H = obligée ou facultative des milieux humides

ANNEXE A.5

**Espèces dominantes en fonction de leur occurrence dans le
MR8B**

Occurrence	2021		2022	
	Espèce	Type	Espèce	Type
Plus fréquente 	Renouée persicaire (<i>Persicaria maculosa</i>)	E, MH, H	Petite herbe à poux (<i>Ambrosia artemisiifolia</i>)	E, EV, MH
	Panic d'automne (<i>Panicum dichotomiflorum</i>)	E, MH, G, H	Panic capillaire (<i>Panicum capillare</i>)	I, MH, G
	Bident feuillu (<i>Bidens frondosa</i>)	I, MH, H	Panic d'automne (<i>Panicum dichotomiflorum</i>)	E, MH, G, H
	Souchet comestible (<i>Cyperus esculentus</i>)	I, MH, H	Pissenlit officinal (<i>Taraxacum officinale</i>)	E, MH
	Millepertuis elliptique (<i>Hypericum ellipticum</i>)	I, MH, H	Bident feuillu (<i>Bidens frondosa</i>)	I, MH, H
Moins fréquente	Panic capillaire (<i>Panicum capillare</i>)	I, MH, G	Jonc grêle (<i>Juncus tenuis</i>)	I, MH

Légende : I = indigène (Québec) ; E = exotique ; EV = envahissante ; MH = mauvaise herbe ; G = graminée ; H = obligée ou facultative des milieux humides

ANNEXE A.6



Photographie d'une trace de lynx roux (*Lynx rufus*) observée à l'automne 2022

ANNEXE A.7



L'arbre tombé en avant-plan a été rongé par un castor (*Castor canadensis*), la nouvelle disposition des appareils pour le suivi des chiroptères est visible sur l'arbre en arrière-plan (station située à Philipsburg)

ANNEXE A.8



Exemple de tapis en paillis de fibres de coco utilisé dans MR8
Source de l'image : genie-vegetal.eu

ANNEXE A.9



Feuillage desséché des chênes livrés lors des plantations 2021

ANNEXE A.10



Dispositif de protection aménagé en 2022 pour toutes les transplantations d'EMVS transplantées en 2020 et 2022

ANNEXE A.11



Image avant (à gauche) et après (à droite) le retrait d'espèces végétales compétitrices dans les quadrats d'EMVS

ANNEXE B
SCHÉMAS DÉTAILLÉS DES PATRONS TEMPORAIRES

Légende :

Type de patron	Densité + Type de milieu		Groupement d'arbres + No. de réplikat	
TR = Temporel régulier	600 = 600 tiges/ha	F = Forestier	A	1
TI = Temporel inversé	1200 = 1200 tiges/ha	H = Humide	B	2
			C	3
			D	4

Exemple :

TR-600F-A1 =

Temporel régulier – 600 tiges/ha + Forestier – Groupement A + Réplikat #1

Se référer à l'aide de la Figure 6, de la Figure 7 et du Tableau 2 du document pour bien situer les différents patrons dans l'exclos et la sélection des essences.

D1 :

TR-600F-A1	TI-1200F-B1
TR-1200F-B1	TI-600F-A1

B2 :

TR-600H-C1	TI-1200H-D1
TR-1200H-D1	TI-600H-C1

E4 :

TR-600F-B1	TI-1200F-A1
TR-1200F-A1	TI-600F-B1

C5 :

TR-600H-D1	TI-1200H-C1
TR-1200H-C1	TI-600H-D1

A8 :

TI-1200H-D2	TR-600H-C2
TI-600H-C2	TR-1200H-D2

D8 :

TI-1200F-B2	TR-600F-A2
TI-600F-A2	TR-1200F-B2

B14 :

TI-1200H-C2	TR-600H-D2
TI-600H-D2	TR-1200H-C2

D15 :

TI-1200F-B3	TI-600F-A3
TR-600F-A3	TR-1200F-B3

A17 :

TI-1200H-D3	TI-600H-C3
TR-600H-C3	TR-1200H-D3

E18 :

TI-1200F-A2	TR-600F-B2
TI-600F-B2	TR-1200F-A2

A21 :

TI-1200H-C3	TI-600H-D3
TR-600H-D3	TR-1200H-C3

E21 :

TI-1200F-A3	TI-600F-B3
TR-600F-B3	TR-1200F-A3

B25 :

TR-600H-C4	TR-1200H-D4
TI-1200H-D4	TI-600H-C4

D26 :

TR-600F-A4	TR-1200F-B4
TI-1200F-B4	TI-600F-A4

D29 :

TR-1200F-A4	TR-600F-B4
TI-600F-B4	TI-1200F-A4

A30 :

TI-1200H-C4	TR-600H-D4
TI-600H-D4	TR-1200H-C4

ANNEXE C
INDICATEURS D'ATTEINTE DES OBJECTIFS

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 chiroptères, 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

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
Développement d'une forêt résiliente	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)
Contrôle des EVEC	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
	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

Objectifs	Indicateurs	Changements attendus (cibles)	Mesures quantitatives (suivis)
Production des espèces d'arbres rares et à statut (<i>ex situ</i>)	<p>Semis atteignant une hauteur fixe après 2 ans</p> <p>Semis germés</p> <p>Taux de réussite des plantations des semis</p>	<p><u>Cible</u> : Taux de croissance des semis de 20 %</p> <p><u>Cible</u> : Taux de germination de 50 %</p> <p><u>Cible</u> : Taux de survie minimal de 70 %</p>	Suivi <i>ex situ</i> (pépinière ou serre) du taux de germination et de survie des semences
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