

PÔLE D'EXPERTISE MULTIDISCIPLINAIRE
EN GESTION DURABLE DU LITTORAL DU
LAC SAINT-PIERRE



UNIVERSITÉ
LAVAL



McGill

UQTR



Université du Québec
à Trois-Rivières

PROGRAMMATION
DE RECHERCHE
Édition 2021



Ce projet est financé par le gouvernement du Québec.

Québec 

Pôle d'expertise multidisciplinaire en gestion durable du littoral du lac Saint-Pierre (2021). Programmation de recherche. Édition 2021, Pôle d'expertise multidisciplinaire en gestion durable du littoral du lac Saint-Pierre, Trois-Rivières, Université du Québec à Trois-Rivières, Université Laval, Université McGill, 87 p.

Programmation remise au comité directeur du pôle d'expertise multidisciplinaire en gestion durable du littoral du lac Saint-Pierre le 1^{er} février 2021.

Le pôle d'expertise multidisciplinaire en gestion durable du littoral du lac Saint-Pierre bénéficie également de sources de financement hors entente que sont la Stratégie québécoise de l'eau 2018-2030 (sous-mesure 1.4.1.1) financée par le ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, le Programme Innov'Action agroalimentaire financé par le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec, le programme d'aide financière du Groupe de recherche interuniversitaire en écologie aquatique pour projets conjoints réguliers et le programme de support aux études supérieures de l'Université du Québec à Trois-Rivières.

Image de la page de couverture : Pierre-André Bordeleau (2019).

Table des matières

1. LE PÔLE, EN BREF.....	4
2. LA PROGRAMMATION DE RECHERCHE	5
2.1 COMMENT LA PROGRAMMATION DE RECHERCHE A-T-ELLE ÉTÉ ÉLABORÉE?	5
2.2 COMMENT LA PROGRAMMATION DE RECHERCHE EST-ELLE STRUCTURÉE?	5
2.3 PRINCIPALES MISES À JOUR ANNUELLES DE LA PROGRAMMATION DE RECHERCHE	6
2.3.1 Axe agriculture	6
2.3.2 Axe environnement et faune	7
2.4 STRATÉGIES D'ARRIMAGE	8
2.4.1 Arrimage des études agronomiques et environnementales.....	8
2.4.2 Arrimage des études des axes agriculture et environnement et faune avec les études de l'axe socioéconomie	15
2.5 Synthèse des travaux du Pôle.....	15
2.7 ÉCHÉANCIER ET CALENDRIER DE RÉALISATION	16
2.8 TRANSFERTS DES CONNAISSANCES.....	20
3. LES PROJETS DE RECHERCHE PAR AXE	22
3.1 LES PROJETS DE L'AXE AGRICULTURE	22
3.2 LES PROJETS DE L'AXE ENVIRONNEMENT ET FAUNE.....	52
3.3 LES PROJETS DE L'AXE SOCIOÉCONOMIE.....	79

1. LE PÔLE, EN BREF

Le pôle d'expertise multidisciplinaire en gestion durable du littoral du lac Saint-Pierre (ci-après nommé « le Pôle ») rassemble plusieurs chercheurs travaillant en collaboration sous la coordination scientifique de trois universités : l'Université Laval, l'Université McGill et l'Université du Québec à Trois-Rivières (UQTR). Ces dernières veillent au respect du mandat du Pôle, en partenariat avec trois ministères provinciaux : le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec (MAPAQ), le ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs (MFFP) et le ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC). De nombreux organismes engagés activement dans la gestion du littoral du lac Saint-Pierre collaborent également au Pôle (comme l'Union des producteurs agricoles, les entreprises agricoles, le comité ZIP et des organismes de conservation).

Le Pôle a pour **mandat** de proposer une stratégie d'intervention dans la zone littorale favorisant la mise en place d'une agriculture durable, adaptée et respectueuse de l'écosystème du lac Saint-Pierre et soutenant la restauration de milieux prioritaires.

À cette fin, il doit développer des travaux de recherche scientifique devant répondre à trois **objectifs** :

- Développer des cultures et des pratiques agricoles adaptées au contexte particulier des grands littoraux cultivés du lac Saint-Pierre qui auront des incidences positives sur la qualité de son écosystème;
- Évaluer la performance et les impacts sociaux, économiques, environnementaux et fauniques des activités agricoles et des projets de restauration;
- Proposer, à partir des résultats des recherches, au ministre de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques et au ministre de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation, un mode de gestion agricole favorisant la mise en place d'une agriculture durable dans le littoral du lac Saint-Pierre.

2. LA PROGRAMMATION DE RECHERCHE

2.1 COMMENT LA PROGRAMMATION DE RECHERCHE A-T-ELLE ÉTÉ ÉLABORÉE?

Les chercheurs du Pôle, en collaboration avec les ministères, se sont concertés et ont consulté les organismes actifs dans la gestion du littoral du lac Saint-Pierre. La gouvernance du Pôle prévoit en effet la consultation des milieux agricole, environnemental et faunique, en plus des milieux de la recherche universitaire, pour l'identification des besoins de recherche et d'expérimentation. Ce travail de coordination et de consultation réalisé en 2018 a réuni 51 personnes, professionnels de divers ministères et organismes agissant dans la gestion du littoral et producteurs agricoles. Il a permis l'élaboration d'une première programmation de recherche approuvée en 2019. Le présent document fait état de la programmation de recherche de 2021 et, notamment, des principaux changements apportés depuis la dernière programmation annuelle pour mieux s'adapter aux défis de la recherche dans le littoral et aux besoins des partenaires.

La programmation de recherche permet de prendre connaissance des sujets d'étude scientifique du Pôle et de comprendre comment ils s'arriment, de manière à former un ensemble cohérent qui répond aux trois objectifs du Pôle. La présente programmation compte 24 projets de recherche et regroupe une trentaine de chercheurs provenant des trois universités responsables du Pôle, ainsi que de trois universités partenaires (Institut national de recherche scientifique, Université du Québec à Chicoutimi, Université du Québec à Rimouski).

2.2 COMMENT LA PROGRAMMATION DE RECHERCHE EST-ELLE STRUCTURÉE?

La programmation de recherche propose d'implanter plusieurs systèmes cultureux et de tester des pratiques agricoles dans le littoral du lac Saint-Pierre. Ces implantations font l'objet d'une évaluation de performance agronomique, d'adaptation aux conditions spécifiques de la zone littorale, ainsi que de performance environnementale, faunique et socioéconomique. Des dispositifs en grandes parcelles sont implantés à l'échelle des champs afin de tester des cultures et pratiques agricoles connues, mais dont l'adaptation à la zone littorale pose des défis. Des dispositifs en petites parcelles sont également implantés afin de tester divers types de cultures présentant un potentiel dans la zone littorale.

Des milieux naturels définis, comme des prairies humides naturelles et des milieux forestiers, sont utilisés comme sites témoins pour l'évaluation environnementale et faunique. Leur analyse permettra d'évaluer le rôle des zones de conservation dans la dynamique et dans le fonctionnement du littoral.

La programmation de recherche se structure autour de trois axes de recherche :

- Axe 1 : Agriculture
- Axe 2 : Environnement et faune
- Axe 3 : Socioéconomie

Les chercheurs y inscrivent leur projet de recherche tout en développant des stratégies d'arrimage entre les axes pour s'assurer de la cohésion de la programmation de recherche. Ces stratégies d'arrimage (section 2.4), puis les projets développés dans chaque axe (section 3), sont exposés dans le présent document.

2.3 PRINCIPALES MISES À JOUR ANNUELLES DE LA PROGRAMMATION DE RECHERCHE

Chaque année, la programmation de recherche est réévaluée. L'équipe de recherche assure son adaptation en continu aux défis et aux questions susceptibles d'émerger au cours de ses activités. À mesure de l'avancement des travaux, certains projets peuvent donc être modifiés, alors que d'autres peuvent être élaborés. La présente section trace un bref portrait des principales mises à jour effectuées par rapport à la programmation approuvée en 2020.

2.3.1 Axe agriculture

Ajout d'un scénario de rechange en cas de crue prolongée

Pour s'adapter à la grande variabilité annuelle de l'ampleur et de la durée des inondations, certains chercheurs de l'axe agriculture proposent deux scénarios, selon l'intensité de la crue. Les scénarios envisagés sont décrits en détail dans les descriptions des projets, à la section 3.1.

Ajout d'un projet sur la fertilité des sols de la zone littorale

Une subvention additionnelle a été octroyée par le ministre de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation au Pôle afin de réaliser un projet de recherche et d'expérimentation pour le suivi du phosphore, de l'azote et du carbone selon un gradient d'utilisation des terres en zone littorale. Le projet est mené par la professeure Cynthia Kallenbach de l'Université McGill. Les détails de son projet sont explicités dans la fiche du projet, dans la section de l'axe agriculture du présent document.

2.3.2 Axe environnement et faune

Mesure des variables pivots en période exondée

Les variables pivots devaient initialement être mesurées en période d'inondation, au moment où la profondeur de l'eau, ayant diminué, permet l'échantillonnage. L'objectif est de mesurer la hauteur et la biomasse résiduelle de la végétation de l'année précédente utilisée par les poissons durant l'inondation. Toutefois, compte tenu du fait que la période où le littoral est inondé est relativement courte et que plusieurs échantillonnages ont lieu durant cette période, il est proposé de mesurer les variables pivots en période exondée. Comme la végétation résiduelle devrait être substantiellement la même durant l'inondation et après le retrait de l'eau, ce changement au protocole ne devrait pas impacter les valeurs mesurées. Toutefois, un ajustement du protocole de collecte et de traitements des échantillons devra être fait pour s'assurer de la fiabilité de cette donnée. Afin de ne pas additionner la nouvelle pousse printanière aux biomasses résiduelles de l'année précédente, on prévoit faire l'échantillonnage des variables pivots immédiatement après le retrait de l'eau.

Demande de subvention CRSNG-Alliance pour bonifier le projet d'ADNe

Pour bonifier le volet ADNe du projet et tripler les fonds disponibles, une demande de subvention CRSNG-Alliance a été préparée par Vincent Fugère, Vincent Maire, François Guillemette, Gilbert Cabana, Andrea Bertolo et Marco Rodríguez. Le programme Alliance finance des partenariats entre des chercheurs universitaires et des organismes partenaires du secteur privé, du secteur public ou du secteur sans but lucratif. Le Pôle d'expertise est un des partenaires pour cette demande, par le truchement de la Direction générale de l'appui à l'agriculture durable du MAPAQ. Le financement Alliance nous permettrait : 1) de séquencer un plus grand nombre d'échantillons et de marqueurs génétiques, améliorant ainsi la résolution spatiotemporelle et la couverture taxonomique de nos analyses; 2) d'obtenir des données de microscopie provenant de taxonomistes professionnels experts en identification d'invertébrés, ce qui nous permettrait de mieux « calibrer » notre indicateur génétique; 3) de recruter un(e) stagiaire postdoctoral(e) qui intégrera les divers jeux de données génétiques pour construire un indice moléculaire de la biodiversité « multitrophique », à savoir basé sur l'ensemble de la chaîne alimentaire, des bactéries jusqu'aux poissons; et finalement 4) d'étendre nos activités d'échantillonnage aux cours d'eau orphelins qui se déversent dans la plaine d'inondation par l'entremise de deux campagnes d'échantillonnage, en 2021 et en 2022. En plus de l'ADNe, cet échantillonnage en cours d'eau comprendrait des mesures de la qualité de l'eau (nutriments, pesticides) et de la biodiversité des diatomées, des invertébrés et des poissons. Le « volet ruisseaux » du projet se ferait en partenariat avec plusieurs organisations : le Centre d'expertise en analyse

environnementale du Québec (une division du MELCC), la division d'expertise sur la faune aquatique du MFFP, Ressources Naturelles Canada et l'initiative fédérale Ecobiomics, le Bureau environnement et terre d'Odanak et quatre organismes de bassins versants (Association de la gestion intégrée de la rivière Maskinongé, Organisme de bassins versants des rivières du Loup et des Yamachiche, Organisme de concertation pour l'eau des bassins versants de la rivière Nicolet et Organisme de bassins versants de la Zone Bayonne).

2.4 STRATÉGIES D'ARRIMAGE

2.4.1 Arrimage des études agronomiques et environnementales

Afin de favoriser les interactions scientifiques, la mise en commun des résultats et le partage des connaissances, des **secteurs d'échantillonnage prioritaires** ont été sélectionnés. Cette approche méthodologique permet d'évaluer la réponse de différentes **variables agronomiques, environnementales et fauniques** le long d'un **gradient d'utilisation des terres**, et ce, pour chaque secteur où l'on trouve des implantations en grandes parcelles et en petites parcelles. De plus, des **variables pivots** permettront de lier les projets de ces axes (agriculture et environnement et faune), soit la hauteur et la biomasse de la végétation.

Secteurs d'échantillonnage prioritaires

Quatre secteurs d'échantillonnage ont été sélectionnés de manière à rencontrer une diversité d'utilisation du sol et de conditions d'inondation sur les deux rives du lac Saint-Pierre (figure 1) :

- 1) Secteur de Baie-du-Febvre,
- 2) Secteur de Pierreville,
- 3) Secteur de Saint-Barthélemy,
- 4) Secteur de l'île Dupas.

D'autres sites seront également implantés à Baie-du-Febvre, à Saint-Cuthbert et à Yamachiche pour la mise en place de projets d'aménagement de fossés agricoles.



Figure 1. Localisation des secteurs d'échantillonnage prioritaires du Pôle pour les activités de recherche des axes agriculture et environnement et faune. Secteurs 1) Baie-du-Febvre, 2) Pierreville, 3) Saint-Barthélemy et 4) île Dupas.

Intégration des mesures environnementales et fauniques dans les projets de l'axe agriculture

En plus de faire l'objet de tests visant à mesurer leur performance agronomique, les cultures et les pratiques agricoles donneront lieu à un suivi afin de déterminer leurs effets sur la qualité de l'eau, des sols et de la faune, aquatique et terrestre.

Comparaison de systèmes de grandes cultures à l'échelle des exploitations agricoles dans les quatre secteurs prioritaires

Dans les aménagements agricoles à grande échelle et dans les milieux naturels de référence, toutes les mesures environnementales et fauniques seront prises (tableau 1).

Voici la liste des principales variables qui seront mesurées.

Qualité de l'eau et faune aquatique en période d'inondation :

- Les propriétés chimiques et microbiologiques de l'eau (NO_3 , NO_2 , NH_4 , turbidité, phosphore total, pH, matières en suspension, conductivité, oxygène, carbone organique dissous, résidus de pesticides, diversité et activité microbienne);
- Les communautés phytoplanctoniques (p. ex. : diversité, abondance, groupes fonctionnels, chlorophylle a, phycocyanine, tryptophane);

- Les communautés de zooplancton (p. ex. : diversité, abondance, taux de croissance, spectre de taille);
- L'abondance, le succès de reproduction, la croissance, le contenu énergétique et la morphométrie de la perchaude et du brochet (adultes, juvéniles et larves);
- L'ADN environnemental du sol afin de déterminer la biodiversité aquatique lors de la crue printanière.

Qualité des sols (propriétés chimiques, physiques et microbiologiques) :

- Analyses biogéochimiques de carottes de sol (gradient vertical, matière organique du sol, analyses carbone et azote et isotopies du carbone, azote, césium et plomb), pH, granulométrie;
- Les propriétés physiques et microbiologiques seront évaluées par l'étude des agrégats stables à l'eau, par la diversité bactérienne et fongique, par la biomasse microbienne, par l'abondance et l'activité des méthanotrophes et des méthanogènes et par les échanges de CO₂ et de CH₄ (p. ex. : production, assimilation, minéralisation);
- L'ADN environnemental des sols afin de déterminer la biodiversité des sols (p. ex. les micro-organismes qui régulent les flux de carbone et de nutriments).

Écotoxicologie :

- Un échantillonnage de sol sera pris à chaque automne pour évaluer en laboratoire les banques d'œufs d'invertébrés dans les sols. Ces échantillons de sol seront ensuite reconditionnés avec de l'eau et mis en contact avec des poissons-zèbres (*Danio rerio*) afin de réaliser des essais écotoxicologiques selon des protocoles standards.
- Des échantillons d'eau et de sol en période d'inondation seront envoyés au Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec pour l'analyse de quelque 70 composés associés aux pesticides.

Stations environnementales permanentes :

Des stations environnementales seront mises en place pour la durée de la crue (d'avril à la fin de mai environ) pour les mesures d'écoulement et de turbidité. Ces sondes seront attachées à une tige de métal enfoncée dans les sites inondés. Le système de sondes indépendantes (CO₂, pH, CH₄, O₂) sera déployé sur des périodes de deux cycles jour/nuit par site et permettra d'évaluer le fonctionnement écosystémique de chaque site. Certaines mesures (turbidité) seront également prises à l'aide d'une caméra multispectrale montée sur un drone. Les résultats des projets

de télédétection et d'hydrologie seront arrimés aux projets portant sur les mesures ponctuelles dans les aménagements agricoles et les milieux naturels. Ils permettront donc d'élargir spatialement le bilan des effets des pratiques agricoles sur l'écosystème du lac Saint-Pierre lors de la crue printanière.

Faune terrestre :

- Inventaires sur les oiseaux nicheurs et sur les insectes chanteurs et pollinisateurs, et ce, en saison sèche.

Comparaison d'essais agronomiques à échelles fines

Les essais à des échelles spatiales plus fines sont nécessaires afin de connaître la performance agronomique des cultures en zone inondable. Néanmoins, ces projets se prêtent difficilement à l'analyse de toutes les variables environnementales et fauniques. Les variables susceptibles de répondre aux différents types d'essais agronomiques sont résumées au tableau 1.

Tableau 1. Résumé des aménagements agricoles proposés et des principales variables environnementales et fauniques mesurées en 2021

Chercheur principal	Type d'aménagement	Échelle spatiale	Nombre de parcelles	Nombre de traitements	Variables pivots de végétation	Qualité de l'eau	Qualité des sols	Biodiversité faunique	Fertilité des sols
<i>A. Vanasse</i>	^a Vieille prairie Nouvelle prairie Maïs et soya, régie améliorée Maïs et soya, régie conventionnelle	Champs agricoles et milieux naturels	24	6	Biomasse et hauteur au printemps et à l'automne	Toutes les variables ^b	Toutes les variables ^c	Toutes les variables ^d	Variabilité des stocks de phosphore, d'azote et de carbone du sol ^e
	^a Milieux naturels de référence (prairie naturelle et forêt)		17	2					
	Comparaison des travaux du sol		4	2		Turbidité	-	-	
<i>C. Halde</i>	Cultures intercalaires dans le maïs-grain	Petites parcelles expérimentales	64	8		-	Teneur en azote minéral	-	
	Cultures intercalaires dans le soya	Petites parcelles expérimentales	56	7		-	Teneur en azote minéral	-	
	Cultures intercalaires de pleine saison	Petites parcelles expérimentales	96	12		-	Teneur en azote minéral	-	
<i>P. Seguin</i>	Cultures fourragères	Petites parcelles expérimentales	224	20		-	-	-	
<i>V. Gravel</i>	Cultures alternatives	Petites parcelles expérimentales	Ind.	Ind.		-	-	-	
	Phytoprotection	Petites parcelles expérimentales	6	3	-	-	-	-	
<i>M. Poulin et Z. Qi</i>	Bandes herbacées en bord de fossés	Petites parcelles expérimentales	120 (largeur) 72 (espèces)	2 (largeur) 8 (espèces)	Biomasse et hauteur à l'automne	-	-	-	

^a Vieille prairie (prairie permanente), nouvelle prairie (jeune prairie ou prairie temporaire), prairie naturelle (prairie humide, marais).

^b Écoulement, conductivité, pH, turbidité, matières en suspension, température, teneurs en O₂, CO₂, CH₄, N_{total}, N_{dissous}, P_{total}, P_{dissous}, pesticides, matières organiques (carbone organique dissous, composés organiques présents), profils de lumière.

^c Teneurs en P, N, C, matières organiques, isotopie du C, de l'N, du césium et du plomb, mesures des flux CO₂-CH₄, pH, granulométrie, état des sols agricoles au printemps, NDVI, banques d'œufs d'invertébrés (diversité taxonomique et fonctionnelle, taux d'éclosion journalier), banques de graines de plantes aquatiques (diversité, taux de germination), ADN environnemental.

^d Production primaire (de biomasse de phytoplancton), métabolisme bactérien (taux de respiration bactérienne, production bactérienne, abondance de bactéries, capacité de dégradation du carbone), diversité microbienne et abondance de méthanotrophes, zooplancton (densité, contenu en énergie, ratios isotopiques, profils d'acides gras), populations de poissons (densité d'œufs, abondance, contenu en énergie, ratios isotopiques, taux de croissance journalière, indices de conditions morphométriques, profils d'acides gras des larves de perchaude et de brochet; taux de malformation et expression génique globale des larves de perchaude; diversité et abondance des individus adultes), communautés d'oiseaux nicheurs, d'oies et de canards (structure et composition), communautés d'insectes pollinisateurs et chanteurs (structure et composition).

^e Variabilité temporelle, au printemps, en été et en automne, ainsi que la variabilité spatiale de l'N, du P et du C en fonction de différents niveaux d'élévation des champs agricoles et des milieux naturels à l'étude; cycles de l'N, du P et du C et leurs réservoirs en fonction de l'utilisation des terres et de la variabilité saisonnière; étude des variations de l'N, du P et du C à travers le profil de sol en fonction de l'utilisation des terres; variabilité du rendement du maïs et du soya sous régie conventionnelle et améliorée à différents niveaux d'élévation.

Gradient d'utilisation des terres

Dans les quatre secteurs d'échantillonnage prioritaires, des sites sont sélectionnés afin d'obtenir un gradient d'utilisation des terres qui soit indépendant du temps d'inondation. Ce gradient s'étend des milieux naturels aux cultures annuelles en régie conventionnelle, en passant par les systèmes cultureux établis en grandes parcelles (figure 2). L'analyse de chaque variable, le long du gradient, permettra ensuite de faire ressortir des tendances et de déterminer quels types d'utilisation du sol offrent les plus grands gains agricoles, environnementaux et fauniques. Cette analyse permettra d'identifier les cultures et pratiques les plus susceptibles d'avoir une incidence positive sur la qualité de l'écosystème du lac Saint-Pierre.

Dans chacun des quatre secteurs prioritaires, les chercheurs du Pôle ont identifié des milieux naturels de référence : des milieux forestiers et des prairies humides naturelles. Ces milieux sont sélectionnés parce qu'ils sont comparables, hydrologiquement, aux aménagements en grandes parcelles du même secteur. Un modèle numérique d'élévation réalisé pour l'ensemble de la plaine inondable du lac Saint-Pierre a été utilisé pour choisir

les milieux naturels de référence. Ces derniers doivent se situer à la même élévation que les champs agricoles pour être soumis aux mêmes conditions de crue, au printemps.
À titre d'exemple, les réponses fictives d'une variable faunique (diversité de l'avifaune) et d'une variable agricole (rendement agricole) sont représentées pour deux secteurs (lignes pleine et pointillée) le long du gradient d'utilisation des terres (figure 2).

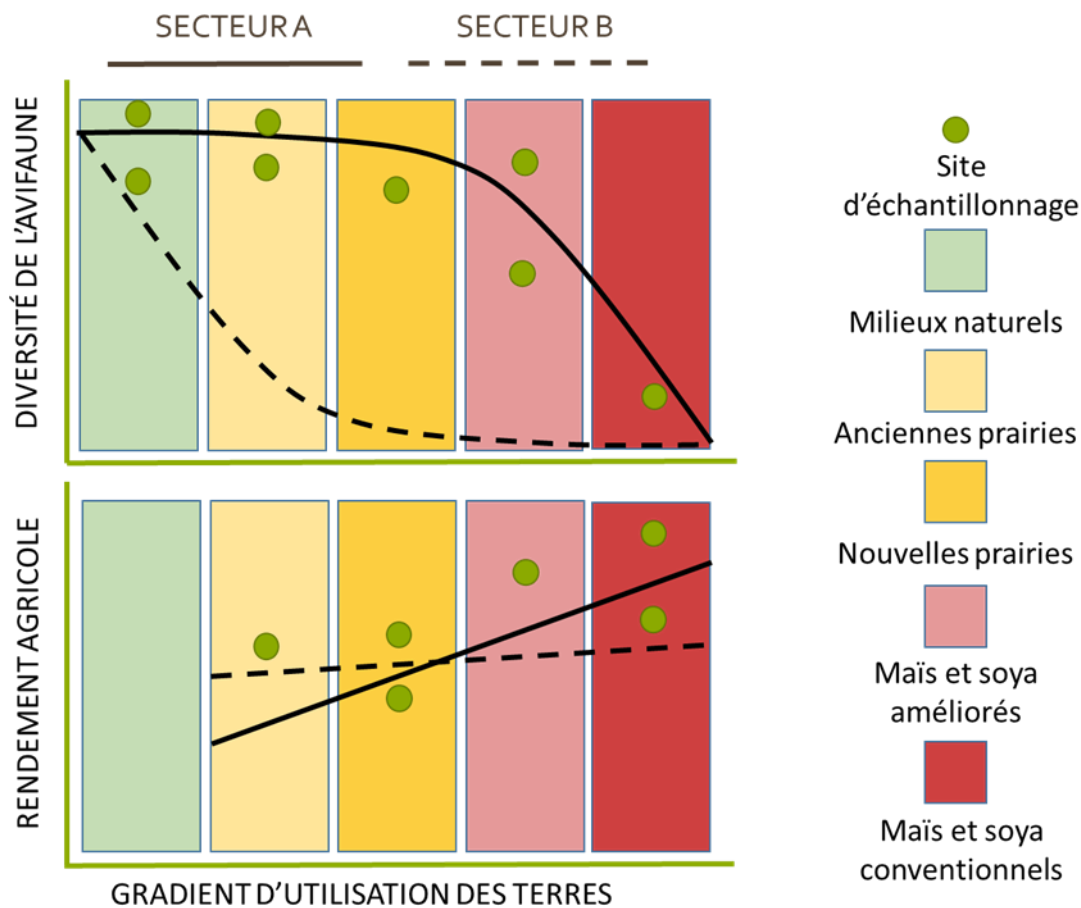


Figure 2. Représentation schématique du cadre conceptuel visant à évaluer la réponse fonctionnelle de variables environnementales, fauniques et agricoles le long d'un gradient d'utilisation des terres dans la zone littorale du lac Saint-Pierre. À titre d'exemple, les réponses d'une variable faunique (diversité de l'avifaune) et d'une variable agricole (rendement agricole) sont représentées le long du gradient d'intensification agricole pour deux secteurs (ligne pleine et ligne pointillée).

Variables pivots

Afin d'évaluer les gains environnementaux et fauniques potentiels des essais agronomiques mis en place dans les grandes et les petites parcelles, deux variables pivots ont été choisies : **la biomasse et la hauteur de la végétation.**

La biomasse et la hauteur étirée de la végétation seront mesurées à l'automne et au printemps. De plus, la hauteur dite « Robel », qui est une mesure qui combine la hauteur et la densité de la végétation, sera mesurée à l'automne. Ces variables pivots seront systématiquement mesurées sur tous les sites agronomiques expérimentaux et dans les milieux naturels témoins. Elles serviront de prédicteurs dans l'évaluation faunique et environnementale des sites. Cela permettra d'évaluer indirectement le potentiel environnemental et faunique des essais agronomiques réalisés sur les petites parcelles. Par ailleurs, les variables de hauteur et de couvert de la végétation seront estimées à partir d'images aériennes (p. ex. : drones, satellites), ce qui permettra d'extrapoler des scénarios de gestion à l'échelle de l'ensemble de la zone littorale du lac Saint-Pierre.

2.4.2 Arrimage des études des axes agriculture et environnement et faune avec les études de l'axe socioéconomie

L'axe socioéconomie cherche à comprendre les impacts des cultures et pratiques agricoles testées par le Pôle sur les différentes échelles sociales en jeu autour du lac Saint-Pierre, soit : (1) le producteur et son entreprise, (2) le littoral et ses acteurs et (3) les politiques et programmes gouvernementaux. L'arrimage et la coordination entre les axes se feront soit à dire d'experts, c'est-à-dire en intégrant directement les chercheurs d'un axe dans la définition des éléments d'enquête, ou en utilisant leurs résultats.

2.5 SYNTHÈSE DES TRAVAUX DU PÔLE

Des rencontres entre les chercheurs sont prévues cet hiver afin d'établir le cadre d'analyse qui servira à produire la synthèse des travaux du Pôle en vue du dépôt du rapport final, prévu le 1^{er} février 2022. Les chercheurs poursuivent l'objectif de compléter les modèles d'analyses au courant de l'hiver afin d'être en mesure d'y ajouter les données de la dernière année d'échantillonnage à l'automne-hiver 2021-2022.

En parallèle, des professionnels et postdoctorants des trois axes, en collaboration avec les chercheurs du Pôle, ont été mobilisés afin de préparer le document synthèse et organiser la réalisation des sections interdisciplinaires.



2.6 ÉCHÉANCIER ET CALENDRIER DE RÉALISATION

Les travaux des scientifiques œuvrant au sein du Pôle consistent en diverses activités selon les types d'études menées (p. ex., la collecte de données environnementales et fauniques pendant l'inondation et à l'automne, l'implantation de parcelles agronomiques expérimentales après la période de crue, les entrevues et groupes de discussion avec les professionnels et les producteurs). Ces travaux sont ponctués par des ateliers de travail entre chercheurs, ce qui assure l'arrimage des projets de recherche, ainsi que par la production de divers rapports. Le tableau 2 présente un calendrier de réalisation et un échéancier général pour le Pôle, alors que les tableaux 3 à 5 indiquent les dates de début et de fin de projet de chacun des projets de recherche.

Tableau 2. Calendrier de réalisation et échéancier général

	2018		2019				2020				2021				2022
	Été	Aut.	Hiv.	Prin.	Été	Aut.	Hiv.	Prin.	Été	Aut.	Hiv.	Prin.	Été	Aut.	Hiv.
Planification de la programmation de recherche															
Annnonce de la création du Pôle															
Ateliers de travail des chercheurs															
Atelier de consultation du milieu															
Adoption de la programmation de recherche															
Travaux de recherche															
Travaux de recherche scientifique de l'axe agriculture															
Planification, implantation et collecte de données															
Analyse des données															
Travaux de recherche scientifique de l'axe environnement et faune															
Planification et campagne d'échantillonnage sur le terrain															
Analyse des données															
Travaux de recherche de l'axe socioéconomie															
Collecte de données (entretiens, questionnaires, etc.)															
Analyse des données															
Synthèse des travaux de recherche des trois axes															
Principales rencontres liées à la gouvernance du Pôle															
Rencontre d'arrimage des projets de recherche (chercheurs)															
Rencontre du comité consultatif															
Rencontre avec la table des partenaires															
Rencontre du comité directeur															
Livrables contractuels															
Dépôt de la programmation annuelle de recherche															
Dépôt du rapport d'état d'avancement annuel															
Dépôt du rapport annuel															
Dépôt du rapport final															

Tableau 3. Échéancier des projets de l'axe agriculture

Chercheur principal	Titre du projet	Date de début du projet	Date prévue de fin du projet
Anne Vanasse U. Laval	Comparaison de systèmes culturaux de grandes cultures dans quatre secteurs de la zone littorale du lac Saint-Pierre	Mai 2019	Mars 2022
Caroline Halde U. Laval	Adaptation et performance agronomique des cultures de couverture en pleine saison et en intercalaire dans le maïs-grain et dans le soya pour la zone littorale du lac Saint-Pierre	Mai 2019	Mars 2022
Philippe Seguin U. McGill	Potentiel des plantes fourragères comme cultures dans les zones inondables du lac Saint-Pierre	Mai 2019	Mars 2022
Valérie Gravel U. McGill	Potentiel agronomique et environnemental de cultures alternatives cultivées en zones inondables du lac Saint-Pierre	Mai 2019	Mars 2022
Valérie Gravel U. McGill	Phytoprotection dans le contexte de la zone littorale du lac Saint-Pierre : développement d'une gestion raisonnée des ravageurs, maladies et mauvaises herbes	Mai 2019	Mars 2022
Monique Poulin U. Laval	Développer des méthodes d'aménagement de fossés végétalisés dans la zone littorale du lac Saint-Pierre	Mai 2019	Mars 2022
Zhiming Qi U. McGill	Élaboration de stratégies de gestion des eaux de drainage afin d'améliorer la qualité de l'eau et de réduire les coûts d'entretien des fossés dans la zone inondable du lac Saint-Pierre	Mai 2019	Mars 2022
Cynthia Kallenbach U. McGill	Interactions entre les inondations et la gestion des sols cultivés en zone littorale du lac Saint-Pierre sur la solubilité et la rétention du phosphore, de l'azote et du carbone dans le sol	Octobre 2020	Mars 2022

Tableau 4. Échéancier des projets de l'axe environnement et faune

Chercheur principal	Titre du projet	Date de début du projet	Date prévue de fin de projet
Stéphane Campeau UQTR	Cartographie prédictive des patrons d'écoulement dans la zone littorale du lac Saint-Pierre	Mai 2019	Mars 2022
Alexandre Roy UQTR	Évaluation de l'effet des pratiques agricoles sur la qualité de l'eau par télédétection multiéchelle et multitemporelle	Mai 2019	Mars 2022
François Guillemette UQTR	Effets des pratiques agricoles sur la production à la base du réseau trophique aquatique dans la zone littorale du lac Saint-Pierre	Mai 2019	Mars 2022
Gilbert Cabana UQTR	Effet des cultures et pratiques agricoles existantes et en transition sur la production secondaire de la zone littorale du lac Saint-Pierre	Mai 2019	Mars 2022
Marco Rodriguez UQTR	Réponses des populations de poissons aux activités agricoles, milieux naturels et projets de restauration dans la zone littorale du lac Saint-Pierre	Mai 2019	Mars 2022
Shiv Prasher U. McGill	Balayage à large spectre des pesticides dans l'eau et dans les sédiments de la zone littorale du lac Saint-Pierre	Mai 2019	Mars 2022
Jessica Head U. McGill	Évaluation de l'effet des pesticides sur les premiers stades de vie des poissons en relation aux pratiques agricoles dans la zone littorale du lac Saint-Pierre	Mai 2019	Mars 2022
Andrea Bertolo UQTR	Effets de pratiques agricoles sur les banques d'œufs d'invertébrés et de graines de plantes aquatiques : une approche expérimentale pour quantifier la résilience des communautés de la zone littorale du lac Saint-Pierre	Mai 2019	Mars 2022
Vincent Maire UQTR	Influence de l'utilisation des terres sur la séquestration du carbone du sol dans un contexte d'inondation	Mai 2019	Mars 2022
Raphaël Proulx UQTR Valérie Fournier U. Laval	Réponse fonctionnelle de la biodiversité animale sur un gradient d'utilisation des terres	Mai 2019	Mars 2022
Vincent Fugère UQTR	Utiliser l'ADN environnemental pour évaluer l'impact des pratiques agricoles sur la biodiversité de la zone littorale du lac Saint-Pierre	Mai 2020	Mars 2022

Tableau 5. Échéancier des projets de l'axe socioéconomie

Chercheur principal	Titre du projet	Date de début du projet	Date prévue de fin de projet
Lota D. Tamini U. Laval	Analyse de l'impact économique, technique et environnemental des pratiques de gestion bénéfiques au lac Saint-Pierre	Mai 2019	Mars 2022
Julie Ruiz UQTR	Agriculteurs et conseillers face aux changements des pratiques agricoles, quels potentiels au lac Saint-Pierre?	Mai 2019	Mars 2022
Patrick Mundler U. Laval	Analyse économique de différents scénarios d'occupation des sols de la zone inondable 0-2 ans	Décembre 2019	Avril 2021
Maurice Doyon U. Laval	Impact du design des politiques et de la structure de l'information présentée sur l'acceptabilité de nouvelles pratiques agronomiques par les agriculteurs de la zone littorale du lac Saint-Pierre	Janvier 2021	Mars 2022
Nathalie Lewis UQAR	Réussir à travailler ensemble pour la réhabilitation de grands écosystèmes : les situations initiales comptent-elles?	Mai 2020	Mars 2022

2.7 TRANSFERT DES CONNAISSANCES

En 2019, le Pôle s'est doté d'une stratégie de mobilisation des connaissances¹ qui prévoit notamment l'organisation d'activités de transfert de connaissances avec le milieu, la diffusion de documents, ainsi que la participation du Pôle à d'autres projets en cours sur le littoral. Un processus de coordination des communications externes avec les trois ministères qui gèrent le Pôle et avec l'Union des producteurs agricoles a également été mis en place. La présente section fait état des activités (tableau 6) et documents (tableau 7) prévus à ce jour dans la programmation de recherche de 2021 qui contribueront aux transferts des connaissances du Pôle. Les chercheurs du Pôle pourront également être amenés à participer à d'autres activités ponctuelles, selon les demandes du milieu.

Relevons également que, dans le cadre de leurs projets de recherche, les chercheurs de l'axe socioéconomie rencontrent divers acteurs aux niveaux provincial, régional et local (comme des professionnels et des producteurs agricoles). Ces rencontres sont souvent l'occasion de présenter plus largement les travaux de recherche du Pôle. Conformément

¹ Ruiz, J. (2019). Stratégie de mobilisation des connaissances, pôle d'expertise multidisciplinaire en gestion durable du littoral du lac Saint-Pierre, Université du Québec à Trois-Rivières, Trois-Rivières.

aux politiques éthiques de la recherche scientifique, ces rencontres sont anonymes, sauf si les acteurs donnent leur consentement explicite au dévoilement de leur participation. Seuls les rapports finaux de recherche feront état d'un bilan des rencontres réalisées et ce bilan ne sera pas nominatif.

Tableau 6. Liste des activités prévues auxquelles les chercheurs du Pôle participeront en 2021

Titre de l'activité	Type d'activité	Date ou période prévue
Rencontres de coordination avec l'Initiative des laboratoires vivants d'Agriculture et Agroalimentaire Canada	Rencontres	Selon les besoins
Participation au comité directeur et rencontres de coordination des cellules d'innovation avec le projet Cohabitation agriculture-faune en zone littorale du lac Saint-Pierre de l'UPA	Rencontres	Selon les besoins
Participation à la Table de concertation régionale du lac Saint-Pierre	Rencontres	Selon les besoins
Présentations dans le cadre des conférences hebdomadaires du RIVES	Présentations	Hiver 2021
Série de trois conférences virtuelles ouvertes au public	Présentations	Février, Mars, Avril
Poursuite des activités de réseautage étudiant (troisième activité)	Présentations	24 mars

Tableau 7. Liste des documents du Pôle prévus pour diffusion en 2021

Documents	Type	Date ou période prévue
Mise à jour du site Internet	Site Internet	En tout temps
Infolettre	Infolettre	Printemps et automne
Programmation de recherche annuelle	Livrable	Février
Rapport annuel	Livrable	Février
Article dans le journal <i>Mém'eau</i>	Article	Mars
Article synthèse	Article	Hiver-Printemps 2021

3. LES PROJETS DE RECHERCHE PAR AXE

3.1 LES PROJETS DE L'AXE AGRICULTURE

Les objectifs spécifiques à l'axe agriculture sont :

- Développer des systèmes agronomiques performants spécifiques à la zone littorale du lac Saint-Pierre;
- Adapter les pratiques agricoles suivantes au contexte de la zone littorale du lac Saint-Pierre : cultures de couverture, plantes fourragères, cultures alternatives, phytoprotection et aménagement des bandes pérennes près des fossés de drainage;
- Développer des systèmes et des pratiques culturales qui permettent la cohabitation de l'agriculture et de la faune au lac Saint-Pierre.

Tableau 8. Liste des projets de recherche de l'axe agriculture

Chercheur principal	Titre du projet
Anne Vanasse U. Laval	Comparaison de systèmes culturaux de grandes cultures dans quatre secteurs de la zone littorale du lac Saint-Pierre
Caroline Halde U. Laval	Adaptation et performance agronomique des cultures de couverture en pleine saison et en intercalaire dans le maïs-grain et dans le soya pour la zone du littoral du lac Saint-Pierre
Philippe Seguin U. McGill	Potentiel des plantes fourragères comme cultures dans les zones inondables du lac Saint-Pierre
Valérie Gravel U. McGill	Potentiel agronomique et environnemental de cultures alternatives cultivées en zones inondables du lac Saint-Pierre
	Phytoprotection dans le contexte de la zone inondable du lac Saint-Pierre : développement d'une gestion raisonnée des ravageurs, maladies et mauvaises herbes
Monique Poulin U. Laval	Développement des méthodes d'aménagement de fossés végétalisés dans la zone littorale du lac Saint-Pierre
Zhiming Qi U. McGill	Élaboration de stratégies de gestion des eaux de drainage afin d'améliorer la qualité de l'eau et de réduire les coûts d'entretien des fossés dans la zone inondable du lac Saint-Pierre
Cynthia Kallenbach U. McGill	Interactions entre les inondations et la gestion des sols cultivés en zone littorale du lac Saint-Pierre sur la solubilité et la rétention du phosphore, de l'azote et du carbone dans le sol

COMPARAISON DE SYSTÈMES CULTURAUX DE GRANDES CULTURES DANS QUATRE SECTEURS DE LA ZONE LITTORALE DU LAC SAINT- PIERRE

ANNE VANASSE (UNIVERSITÉ LAVAL)

Thème :

Projets agronomiques à grande échelle

Principaux collaborateurs :

Philippe Seguin (U. McGill), Caroline Halde (U. Laval) et d'autres chercheurs des axes environnement et faune et socioéconomie

Contexte :

L'établissement des sites agronomiques à grande échelle est central dans la programmation de recherche du Pôle. Les systèmes cultureux implantés dans ce projet font partie d'un gradient d'utilisation des terres qui permettra aux chercheurs des trois axes de documenter les aspects agronomiques, économiques, environnementaux et fauniques en lien avec les conditions d'inondation du lac Saint-Pierre. Dans le cadre du présent projet, la mise en place de systèmes cultureux à grande échelle chez les producteurs permet de comparer six systèmes à l'intérieur de ce gradient, soit deux systèmes de prairies (nouvelles et vieilles prairies), deux systèmes de production de maïs (pratique conventionnelle et pratique améliorée) et deux systèmes de production de soya (pratique conventionnelle et pratique améliorée). Le gradient de milieu naturel n'est donc pas inclus dans cette partie, mais il est documenté dans la partie de l'axe environnement et faune.

Objectifs :

Objectif général :

Évaluer la faisabilité et la performance agronomique de systèmes cultureux permettant une meilleure couverture de sol dans la zone du littoral du LSP.

Objectifs spécifiques:

- Comparer la performance agronomique des systèmes cultureux de production conventionnelle de maïs et de soya à des systèmes cultureux améliorés avec des cultures de couverture intercalaires et des bandes de graminées pérennes le long des fossés.
- Évaluer la performance agronomique (rendement et qualité du foin) des prairies nouvellement établies et des vieilles prairies.
- Vérifier le succès d'établissement des cultures de couverture, des bandes pérennes le long des fossés, ainsi que celui des prairies nouvellement établies.
- Évaluer la hauteur totale, la hauteur dite « Robel », le recouvrement et la biomasse du couvert végétal à l'automne, ainsi que la biomasse au printemps, et ce, dans les différents systèmes cultureux à l'étude.
- Comparer deux modes de préparation du sol sur les rendements des cultures de maïs ou de soya et vérifier les impacts sur la turbidité de l'eau.

Méthodologie :

Dispositif expérimental :

Projet A. Comparaison des systèmes culturels :

- 1) Champ de maïs avec pratique conventionnelle;
- 2) Champs de maïs avec pratiques culturales améliorées : culture intercalaire de *ray-grass* annuel (implanté à 4-7 feuilles du maïs) et bandes de 4 m de *ray-grass* et alpestris roseau implantées de chaque côté du champ près des lignes de fossé;
- 3) Champ de soya avec pratique conventionnelle;
- 4) Champ de soya avec pratiques culturales améliorées : culture intercalaire de blé d'automne (semé en pré-défoliation du soya) et bandes de 4 m de *ray-grass* et alpestris roseau implantées de chaque côté du champ près des lignes de fossé;
- 5) Champ avec nouvelle prairie (établie en 2018 ou en 2020);
- 6) Champ en prairie établie depuis plusieurs années (vieille prairie).

La comparaison de ces systèmes est effectuée dans quatre secteurs différents du lac Saint-Pierre (Baie-du-Febvre, Pierreville, Saint-Barthélemy et île Dupas). Le tableau A1 résume les traitements qui seront comparés en 2021 selon les secteurs à l'étude et selon deux scénarios, soit une crue hâtive ou normale et une crue tardive. En cas de crue hâtive, les traitements prévus au dispositif expérimental seront implantés comme décrit.

En cas de crue tardive ne permettant pas l'ensemencement du maïs avant la mi-juin ou la fin juin, les parcelles en maïs seront remplacées par des cultures de couverture. Nous comparerons alors deux traitements, soit le *ray-grass* annuel et le blé d'automne. Toutefois, le choix des cultures de couverture de pleine saison n'est pas facile à faire car nous n'avons obtenu que certaines données environnementales très partielles sur certains sites, en raison de la pandémie de COVID-19 au printemps 2020. Compte tenu des rendements élevés en biomasse du *ray-grass* annuel mesurés à l'automne 2019 et du fait que cette culture pourrait représenter un débouché économique (récolte de foin ou autre, comme la biométhanisation), nous aimerions conserver cette culture. Toutefois, nous ajusterons le choix du cultivar. Il serait probablement préférable que le cultivar de *ray-grass* ne soit pas alternatif et qu'il ne produise pas d'épis (pour éviter la production de semences), mais nous ajusterons selon la disponibilité des semences.

Concernant la deuxième culture : étant donné que le blé d'automne a pu survivre dans certains secteurs et que des œufs de poisson ont été trouvés dans le secteur de Pierreville, nous aimerions le conserver. D'autres choix pourraient être possibles, comme les mélanges avoine-vesce velue-lin ou seigle-vesce velue, qui ont bien performé dans les petites parcelles, mais dont on ne sait pas encore le potentiel comme substrat au printemps. Autres possibilités : un mélange avoine-pois fourrager, qui permettrait aux producteurs de récolter et de cribler le pois, puis de le valoriser comme semence de cultures de couverture (information obtenue lors des ateliers avec l'UPA). Cependant, si ce dernier choix est intéressant du point de vue économique, il ne permettrait pas d'obtenir un couvert végétal au printemps suivant. Le compromis entre les aspects économiques et environnementaux n'est pas facile à faire. Enfin, conserver le scénario de comparaison *ray-grass* par rapport au blé d'automne nous permettrait de répéter l'expérience qui avait été faite en 2019, lors

d'une crue tardive. Mais nous aimerions discuter de ces aspects avec certains membres du comité consultatif.

Même si l'évaluation du rendement commercial sera faite dans tous les champs, nous vérifierons auprès des agronomes régionaux du MAPAQ s'il est possible de prendre à nouveau des échantillons des champs de maïs et de soya lors de la récolte à différents niveaux d'élévation. Nous souhaitons connaître la variabilité du rendement en fonction des zones d'élévation.

Concernant les bandes pérennes, nous allons vérifier, après la crue, l'état de celles qui ont été ensemencées en 2020 (BAIE 01, PIER 05 et une bande du site BART 06). Nous allons ensuite décider si un réensemencement ou un sursemis doit être fait. Un suivi sera effectué pour les autres bandes pérennes, mais nous croyons qu'il n'y aura pas lieu de faire d'autres interventions.

Si les nouvelles prairies ensemencées en 2020 ne se sont pas bien établies, nous allons refaire les semis (sites de BAIE 07, BART 10 et DUPA 07), mais en essayant d'en optimiser les opérations par la location de semoirs plus performants ou par le choix de semences enrobées, qui permettraient peut-être d'améliorer l'établissement.

Liste des variables mesurées
Variables pivots :
- Biomasse (kg M.S./ha) des cultures de couverture intercalaires ou de pleine saison (crue tardive), des graminées pérennes et autres espèces (des bandes herbacées) et des prairies en fin de saison, avant le gel.
- Hauteur totale et hauteur dite « Robel » des cultures de couverture intercalaires ou de pleine saison (crue tardive), des graminées pérennes et autres espèces (des bandes herbacées) et des prairies en fin de saison, avant le gel.
- Biomasse (kg M.S./ha) de la végétation présente au printemps lors de la crue dans les parcelles de maïs et soya (conventionnelles et améliorées), dans les bandes de graminées pérennes et dans les prairies, nouvelles et vieilles (équipe agronomique et environnement-faune).
Variables complémentaires :
- Recouvrement des espèces d'intérêt (cultures de couverture, graminées pérennes dans les bandes et dans les prairies) et des mauvaises herbes, effectué durant la saison pour vérifier le succès d'établissement et en fin de saison, avant le gel.
- Peuplement du maïs et du soya (effectué durant la saison).
- Rendement des cultures de maïs, de soya et des prairies.
- Humidité à la récolte du maïs et du soya.
- Qualité fourragère du foin récolté.

Livrables :

- Rendement/ha des cultures de maïs, de soya et de prairies établies selon différents systèmes cultureux;
- Efficacité de recouvrement des sols, biomasse, hauteur totale et hauteur dite « Robel » à l'automne des cultures de couverture, des graminées pérennes des bandes de *ray-grass*-alpiste roseau et des prairies;
- Évaluation du couvert végétal au printemps des différents systèmes cultureux;
- Recommandations en lien avec la faisabilité d'établissement et la performance agronomique de ces systèmes cultureux;
- Évaluation technicoéconomique des systèmes avec les chercheurs de l'axe socioéconomie.

Projet B. Comparaison des travaux de sol

- 1) Labour d'automne et travail de sol au printemps (déchaumeuse);
- 2) Travail du sol au printemps avec une déchaumeuse;
- 3) Deux sites : Saint-Barthélemy et Pierreville.

Au site de Saint-Barthélemy, des mesures de turbidité de l'eau devraient être prises lors de la crue au printemps. Une culture de soya ou de maïs sera établie, selon la crue. Des mesures de rendement seront prises à l'automne pour les deux traitements.

Au site de Pierreville, comme les travaux de sol d'automne ont été réduits (outil à dent et outil à disque), nous déterminerons au printemps s'il est nécessaire de faire l'évaluation de la turbidité et le suivi de ce site avec un semis d'une culture et une mesure de rendement à l'automne.

Tableau A1. Traitements pour le projet de comparaison des systèmes culturaux (maïs, soya, prairies) selon deux scénarios (crue normale et crue tardive) prévus pour 2021

Bloc	Site	Crue normale (2021)	Crue tardive (2021)
Baie-du-Febvre	BAIE02	Soya conventionnel	Soya conventionnel
Baie-du-Febvre	BAIE01	Soya amélioré + B.P. ¹	Soya amélioré + B.P. ¹
Baie-du-Febvre	BAIE03	Maïs conventionnel	Blé d'automne
Baie-du-Febvre	BAIE04	Maïs amélioré + B.P. ¹	Blé d'automne + B.P. ¹
Baie-du-Febvre	BAIE07	Nouvelle prairie (semis 2020 (ou resemis 2021) d'alpiste roseau et d'avoine fourragère)	Nouvelle prairie (semis 2020 ou (resemis 2021) d'alpiste roseau et d'avoine fourragère)
Baie-du-Febvre	BAIE09	Vieille prairie	Vieille prairie
Baie-du-Febvre	BAIE10	Nouvelle prairie ajoutée en 2020 (établie en 2018)	Nouvelle prairie ajoutée en 2020 (établie en 2018)
Pierreville	PIER02 ²	Maïs de conserverie	Blé d'automne
Pierreville	PIER03	Soya amélioré + B.P. ¹	Soya amélioré + B.P. ¹
Pierreville	PIER04	Maïs conventionnel	<i>Ray-grass</i> annuel
Pierreville	PIER05	Maïs amélioré + B.P. ¹	<i>Ray-grass</i> annuel + B.P. ¹
Saint- Barthélemy	BART05	Soya conventionnel	Soya conventionnel
Saint- Barthélemy	BART06	Soya amélioré + B.P. ¹	Soya amélioré + B.P. ¹
Saint- Barthélemy	BART07	Maïs conventionnel	<i>Ray-grass</i> annuel
Saint- Barthélemy	BART08	Maïs amélioré + B.P. ¹	<i>Ray-grass</i> annuel + B.P. ¹
Saint- Barthélemy	BART09	Vieille prairie	Vieille prairie
Saint- Barthélemy	BART10	Nouvelle prairie (semis 2020 (ou resemis) d'alpiste roseau et d'avoine fourragère)	Nouvelle prairie (semis 2020 ou (resemis) d'alpiste roseau et d'avoine fourragère)
Saint- Barthélemy	BART11	Nouvelle prairie ajoutée en 2020 (établie en 2018)	Nouvelle prairie ajouter en 2020 (établie en 2018)

Tableau A1 (suite). Traitements pour le projet de comparaison des systèmes culturaux (maïs, soya, prairies) selon deux scénarios (crue normale et crue tardive) prévus pour 2021

Bloc	Site	Crue normale (2021)	Crue tardive (2021)
Île Dupas	DUPA01	Maïs conventionnel	Blé d'automne
Île Dupas	DUPA02	Maïs amélioré + B.P. ¹	Blé d'automne + B.P. ¹
Île Dupas	DUPA05	Soya conventionnel	Soya conventionnel
Île Dupas	DUPA04	Soya amélioré + B.P. ¹	Soya amélioré + B.P. ¹
Île Dupas	DUPA03	Vieille prairie Nouvelle prairie	Vieille prairie Nouvelle prairie
Île Dupas	DUPA07	(semis 2020 (ou resemis) d'alpiste roseau et d'avoine fourragère)	(semis 2020 ou (resemis) d'alpiste roseau et d'avoine fourragère)

¹ « B.P. » est mis pour « bandes pérennes herbacées ».

² Le producteur nous a indiqué qu'il sèmerait du maïs de conserverie s'il avait un contrat.

ADAPTATION ET PERFORMANCE AGRONOMIQUE DES CULTURES DE COUVERTURE EN PLEINE SAISON ET EN INTERCALAIRE DANS LE MAÏS-GRAIN ET DANS LE SOYA POUR LA ZONE DU LITTORAL DU LAC SAINT-PIERRE

CAROLINE HALDE (UNIVERSITÉ LAVAL)

Thème :

Cultures de couverture

Principaux collaborateurs :

Anne Vanasse (U. Laval) et Colline Chih (étudiante de deuxième cycle, U. Laval)

Contexte :

Face à la dégradation du lac Saint-Pierre (LSP), des mesures doivent être prises pour réconcilier l'agriculture et la protection de l'environnement. L'implantation de cultures de couverture (CC) pourrait être l'une des solutions à adopter dans le littoral du lac Saint-Pierre. Les cultures de couverture (CC) sont des cultures non récoltées utilisées en agriculture pour couvrir le sol afin de le protéger contre l'érosion et contre les pertes d'éléments nutritifs par le lessivage et par le ruissellement¹². Sur les terres agricoles du littoral, les CC permettraient d'assurer un couvert végétal au printemps, si elles résistent à l'hiver et à la crue. Les CC prélèveraient également les nutriments en excès dans le sol lors de la saison de croissance et protégeraient le sol contre l'érosion hydrique²³. Dans la zone littorale, elles pourraient jouer un rôle écologique important en limitant la quantité de matières en suspension durant l'inondation. Ainsi, les CC pourraient jouer un rôle dans l'amélioration de la qualité de l'eau du lac Saint-Pierre. Les producteurs bénéficieraient aussi d'avantages agronomiques à implanter des CC. En effet, elles amélioreraient la structure du sol et feraient compétition aux mauvaises herbes. De plus, les CC de légumineuses peuvent fixer l'azote de l'air dans le sol. Ces services peuvent conduire à une augmentation du rendement de la culture commerciale²³. En conclusion, les CC pourraient favoriser la biodiversité, améliorer la qualité de l'eau du lac Saint-Pierre et augmenter le rendement des cultures commerciales. Or, les espèces de CC les mieux adaptées au contexte du littoral et leurs bénéfices respectifs demeurent méconnues. Il est donc nécessaire d'évaluer la capacité des CC à devenir l'une des solutions à adopter dans le littoral du lac Saint-Pierre.

Objectifs :

L'objectif général du projet est de vérifier l'adaptation et la performance agronomique des CC dans la zone du littoral du LSP, selon trois modes d'implantation.

Les objectifs spécifiques du projet sont :

¹ Soil Science Society of America (SSSA) (2008). *Glossary of soil science terms*, SSSA, Madison, WI.

² Blanco-Canqui, H., T.M. Shaver, J.L. Lindquist, C.A. Shapiro, R.W. Elmore, C.A. Francis et G.W. Hergert (2015). "Cover Crops and Ecosystem Services: Insights From Studies in Temperate Soils", *Agronomy Journal*, 107: p. 2449-2474. DOI: 10.2134/agronj15.0086.

³ Fageria, N.K., V.C. Baligar, et B.A. Bailey (2005). "Role of Cover Crops in Improving Soil and Row Crop Productivity", *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 36 (19-20): p. 2733-2757.

- *Volet pleine saison* :
En cas de crue prolongée, sélectionner les CC de pleine saison produisant une biomasse abondante, haute et dense, permettant une couverture de sol maximale et qui résiste à la crue printanière;
- *Volet intercalaire dans le maïs-grain* :
Évaluer l'impact des CC implantées en intercalaire dans une culture de maïs-grain sur la couverture du sol, sur la biomasse des CC et sur la performance agronomique du maïs-grain à deux espacements différents entre les rangs de maïs-grain;
- *Volet intercalaire dans le soya* :
Évaluer l'impact des CC implantées en intercalaire dans une culture de soya sur la couverture du sol, sur la biomasse des CC et sur la performance agronomique du soya.

Méthodologie :

Lors de la saison de croissance 2021, des essais agronomiques en parcelles expérimentales seront effectués sur deux entreprises agricoles de grandes cultures dans la zone du littoral du LSP. Tout d'abord, un suivi des parcelles de CC implantées en pleine saison en 2020 sera effectué au printemps 2021. Aucune nouvelle parcelle ne sera établie en 2021 pour ce volet (*pleine saison*).

- *Volet pleine saison* :
Dispositif expérimental en tiroir, avec quatre blocs. Ce volet a déjà été implanté en 2019 et en 2020, sur deux sites à chaque année (rive nord et rive sud). Les parcelles (6 m x 5 m) implantées en 2020 (an 1) seront suivies jusqu'à la décrue de l'année suivante (an 2). Les six traitements de CC testés en parcelles principales sont : seigle d'automne, *ray-grass* vivace, seigle d'automne-vesce velue, seigle d'automne-trèfle rouge, avoine-vesce velue-lin, en plus d'une parcelle témoin sans CC (sol nu). Les deux traitements d'enherbement testés en parcelles secondaires sont : enherbé ou désherbé. Chacune des combinaisons de traitements (6 CC x 2 enherbements) est répétée sur 4 blocs, à chacun des sites. Un total de 96 parcelles expérimentales seront suivies au printemps 2021 : 6 CC x 2 enherbements x 4 blocs x 2 sites x 1 an. Une étudiante à la maîtrise, C. Chih, effectuera le suivi de ces parcelles, sous la supervision de C. Halde et d'A. Vanasse.

Liste des variables mesurées	Volet Pleine saison
AU PRINTEMPS AVANT LA CRUE À L'AN 2	
- Biomasse aérienne des résidus de CC (à l'an 2, après la fonte des neiges et avant la crue, si possible) (kg ha ⁻¹)	Oui
APRÈS LA DÉCRUE À L'AN 2	
- Biomasse aérienne des résidus de CC (kg ha ⁻¹)	Oui
- Recouvrement du sol par les résidus de CC (résidus et sol nu) (%)	Oui
- Teneur en azote minéral (NO ₃ et NH ₄) (kg N ha ⁻¹)	Oui

CC = cultures de couverture.

Un suivi des parcelles de CC implantées en intercalaire dans le maïs-grain en 2020 sera effectué au printemps 2021. De nouvelles parcelles de CC seront implantées en 2021 en intercalaire dans une culture commerciale de maïs-grain (volet intercalaire dans le maïs-grain) et de soya (volet intercalaire dans le soya).

- *Volet intercalaire dans le maïs-grain :*

Dispositif expérimental en tiroir, avec quatre blocs. Ce volet a été implanté en 2020 sur un site (rive sud), où un suivi des parcelles sera fait au printemps 2021. Ce volet sera aussi implanté sur de nouvelles parcelles en 2021 sur deux sites (rive nord et rive sud). Les parcelles expérimentales (3 m x 7 m à 30 pouces, 6 m x 7 m à 60 pouces) seront implantées en intercalaire dans une culture de maïs-grain (au stade 4-6 feuilles). Les deux traitements en parcelles principales sont des espacements du maïs-grain à 30 et à 60 pouces. Les quatre CC testées en parcelles secondaires sont : *ray-grass* annuel (une CC), *ray-grass* annuel-trèfle incarnat (deux CC), *ray-grass* annuel-trèfle incarnat-radis fourrager (trois CC) et une parcelle témoin sans CC (aucune CC). Un total de 64 parcelles expérimentales seront implantées en 2021 = 4 CC x 2 espacements du maïs-grain x 4 blocs x 2 sites x 1 an.

- *Volet intercalaire dans le soya :*

Dispositif expérimental en blocs aléatoires complets, avec quatre blocs. Ce volet sera implanté pour une première fois en 2021, sur deux sites (rive nord et rive sud). Les parcelles expérimentales (3 m x 7 m) seront implantées en intercalaire dans une culture de soya (espacée de 30 po) (au stade 2-3 feuilles trifoliées). Les CC testées sont : trèfle blanc nain (une CC), trèfle souterrain (une CC), lotier (une CC), mélilot jaune (une CC), mélange trèfle blanc nain-*ray-grass* (deux CC), mélange lotier-*ray-grass* (deux CC) et une parcelle témoin sans CC intercalaire (aucune CC). Un total de 56 parcelles expérimentales seront implantées en 2021 = 7 CC x 4 blocs x 2 sites x 1 an.

Liste des variables mesurées	Volet intercalaire dans le maïs-grain		Volet intercalaire dans le soya
	Parcelles implantées en 2020	Parcelles implantées en 2021	
LORS DE LA SAISON DE CROISSANCE À L'AN 1			
- Densité de population de la culture commerciale (2-3 semaines après le semis de la culture commerciale) (plant m ⁻²)		Oui	Oui
- Densité de population des CC (2-3 semaines après le semis des CC) (plant m ⁻²)		Oui	Oui
- Analyse physicochimique des sols pour décrire les sites (1 éch./bloc)	Déjà échantillonné en 2020	Oui	Oui
AU GEL HIVERNAL DE L'AN 1			
- Stade phénologique des CC (échelle BBCH et autres)		Oui	Oui
- Recouvrement du sol par les CC (CC et sol nu) (%)		Oui	Oui
- Hauteur Robel (cm)		Oui	Oui
- Biomasse aérienne de chacune des CC (kg ha ⁻¹)		Oui	Oui
- Biomasse aérienne des plantes adventices		Oui	Oui
- Concentration en azote de la biomasse aérienne des CC et MH		Oui	Oui
- Teneur en azote minéral (NO ₃ et NH ₄)			
À LA FIN DE L'AUTOMNE DE L'AN 1			
- Densité de population de la culture commerciale à la récolte (plant m ⁻²)		Oui	Non
- Rendement de la culture commerciale (t ha ⁻¹)		Oui	Oui
- Teneur en humidité de la culture commerciale		Oui	Oui
APRÈS LA DÉCRUE À L'AN 2			
- Biomasse aérienne des résidus de CC (kg ha ⁻¹)	Oui	Non	Non
- Teneur en azote minéral (NO ₃ et NH ₄) (kg N ha ⁻¹)	Oui	Non	Non

CC = cultures de couverture.

Livrables :

- Évaluations agronomiques sur la faisabilité, l'adaptation et la performance agronomique des CC à utiliser en pleine saison et en intercalaire dans le maïs-grain ou dans le soya, pour des champs de grandes cultures dans la zone du littoral du lac Saint-Pierre;
- Fiche-résumé des résultats pour vulgarisation auprès des producteurs agricoles et des agronomes, à la fin du projet;
- Publication d'un mémoire de maîtrise sur le *volet pleine saison* par C. Chih;
- Analyse technicoéconomique des CC par l'équipe de Lota D. Tamini.

POTENTIEL DES PLANTES FOURRAGÈRES COMME CULTURES DANS LES ZONES INONDABLES DU LAC SAINT-PIERRE

PHILIPPE SEGUIN (UNIVERSITÉ MCGILL)

Thème :

Prairies / Plantes fourragères

Principaux collaborateurs :

Valérie Gravel et autres (MAPAQ, UQTR et U. Laval)

Contexte :

Les plantes fourragères ont déjà été une culture importante dans le littoral du lac Saint-Pierre. Les superficies en plantes fourragères ont diminué au cours des dernières décennies, au profit de cultures annuelles (maïs et soya). Cependant les plantes fourragères ont un plus grand potentiel dans les zones littorales en matière de services écologiques.

Objectifs :

L'objectif général de ce projet est d'évaluer le potentiel agronomique et environnemental de différentes espèces fourragères et leur régie lorsqu'elles sont cultivées en zone inondable.

Sous-objectifs :

- 1) Évaluer le rendement et la qualité du fourrage d'espèces en semis pur ou en mélanges;
- 2) Évaluer la survie des espèces évaluées au printemps, après la crue;
- 3) Déterminer la meilleure régie en ce qui a trait au rendement et au potentiel écologique.

Méthodologie :

Le protocole expérimental et l'échantillonnage ont été réalisés sur les deux sites prévus (rive nord et rive sud). L'établissement des parcelles sur le site de la rive sud (Baie-du-Febvre) a eu lieu en 2019 et en 2020. Sur la rive-nord (Saint-Barthélemy), il a eu lieu en 2020, suivant le même protocole expérimental que sur la rive sud. Des données ont été prises en 2019, en 2020 et seront également prises sur les mêmes parcelles en 2021.

Les traitements en évaluation incluent différentes espèces de plantes fourragères et différentes régies. Tous les traitements sont évalués dans deux zones (zone haute : > 6 m et zone basse : < 6 m) à Baie-du-Febvre et dans une zone (> 6 m) à Saint-Barthélemy. Les traitements sont disposés dans un dispositif expérimental en blocs aléatoires, selon un dispositif en tiroir (RCBD avec *split-plot*), les traitements de régie étant en parcelles principales et les espèces en parcelles secondaires.

Les espèces évaluées en 2019 et 2020 comptent l'alpiste roseau sans alcaloïdes, la fléole des prés, le vulpin des prés et un mélange complexe d'espèces de graminées et de légumineuses (alpiste roseau, fléole des prés, vulpin des prés, lotier, brome inerme); la fétuque rouge a été ajoutée en 2020 comme espèce en semis pur et dans le mélange complexe. Une plante abri annuelle (l'avoine, 60 kg/ha) a été ajoutée au semis dans tous

les traitements afin de réduire la pression exercée par les mauvaises herbes. En 2021, chaque espèce dont l'établissement sera jugé adéquat sera soumise à quatre régies : une coupe avec ou sans fertilisation azotée (100 kg/ha) et deux coupes avec une fertilisation azotée après la première coupe (100 kg/ha) ou après les deux coupes (60 + 40 kg/ha). Les parcelles secondaires seront d'une dimension de 4,5 m × 6 m. Le nombre de parcelles implantées est de 4 espèces × 4 régies × 4 répliques, soit de 64 parcelles pour les semis de 2019 [une seule zone (la zone haute) ayant survécu en 2020] et de 5 espèces × 4 régies × 4 répliques × 2 sites, soit de 160 parcelles pour les semis de 2020 (une zone à deux sites; l'implantation de la deuxième zone au site de la rive sud ayant été compromise par les conditions environnementales et hydrographiques, de même que par les mauvaises herbes en 2020).

Les principales variables étudiées pour l'année 2021 pour les 224 parcelles seront : survie à l'hiver et à la crue, recouvrement du sol, rendements en biomasse, composition botanique, qualité fourragère, biomasse résiduelle automnale, hauteur étirée et hauteur Robel des plants à l'automne. La totalité des mesures seront prises uniquement pour les sites ayant une bonne survie à l'hiver et à la crue. Les sites pour lesquels la survie sera minimale seront abandonnés. En 2021, un nombre limité d'échantillons pourraient aussi être soumis à des analyses plus poussées afin d'identifier le potentiel des composés antinutritionnels qui pourraient être présents dans les fourrages produits dans le littoral du LSP. L'analyse du bilan économique est importante, mais n'est pas budgétée. Nous tenons pour acquis que cette analyse sera prise en charge par les membres de l'axe socioéconomie.

Puisque l'établissement des parcelles en 2019 et 2020 aux deux sites a été très difficile, si, au printemps 2021, nous constatons que la plupart des parcelles et espèces n'ont pas survécu à l'hiver et à la crue printanière et que peu ou pas de données peuvent être prises sur ces parcelles, nous prévoyons établir deux nouvelles expériences en remplacement.

Expérience 1. Évaluation de l'impact de la fertilisation azotée et de la régie de coupe sur le rendement de l'alpiste roseau

En 2021, sur un ou deux sites, à identifier parmi les prairies utilisées dans le cadre de l'expérience en grande parcelles d'A. Vanasse et coll. (probablement les nouvelles prairies établies en 2018 avec de l'alpiste roseau BAIE10 et/ou BART11), nous établirions un protocole expérimental en petites parcelles. Dans un (ou deux) champ(s) d'alpiste roseau dont l'établissement serait jugé adéquat, des parcelles seraient soumises à quatre régies : une coupe avec ou sans fertilisation azotée (100 kg/ha) et deux coupes avec une fertilisation azotée après la première coupe (100 kg/ha) ou après les deux coupes (60 + 40 kg/ha). Les parcelles secondaires seraient d'une dimension de 4,5 × 6 m. Le nombre de parcelles implantées serait de 4 régies × 4 répliques, soit de 16 parcelles. Les principales variables étudiées pour l'année 2021 sur ces 16 ou 32 parcelles seraient : rendements en biomasse, composition botanique, qualité fourragère, recouvrement du sol, biomasse résiduelle automnale, hauteur étirée et hauteur Robel des plants à l'automne.

Expérience 2. Évaluation de l'impact de l'enrobage des semences et du taux de semis sur l'établissement de l'alpiste roseau

En 2021, sur un ou deux sites (Baie-du-Febvre et/ou Saint-Barthélemy), nous établirions un protocole expérimental en petites parcelles afin d'évaluer l'impact de l'enrobage des semences et du taux de semis sur l'établissement de l'alpiste roseau dans des zones du LSP. Les traitements seraient disposés dans un dispositif expérimental en blocs aléatoires, selon un dispositif en tiroir (RCBD avec *split-plot*), les traitements d'enrobage seraient en parcelles principales et les taux de semis en parcelles secondaires. Un total de 8 traitements seraient évalués : une combinaison de semences enrobées ou non et 4 taux de semis (5, 10, 15, 20 kg/ha). Les taux de semis seraient ajustés pour refléter le fait que le poids de 1 000 graines d'alpiste roseau enrobées est supérieur à celui de semences non enrobées, et ce, afin de semer un même nombre de plants par superficie. Les taux mentionnés précédemment sont pour les semences non enrobées et seraient donc majorés pour les semences enrobées. Les parcelles secondaires seraient d'une dimension de 4,5 × 6 m. Le nombre de parcelles implantées serait de 4 régies × 4 répliques, soit de 16 parcelles. Les principales variables étudiées pour l'année 2021, sur les 16 ou 32 parcelles, seraient : rendements en biomasse, composition botanique, qualité fourragère, recouvrement du sol, biomasse résiduelle automnale, hauteur étirée et hauteur Robel des plants à l'automne.

Liste des variables mesurées
Survie à l'hiver et à la crue
Rendement en biomasse après chaque coupe
Composition botanique
Qualité fourragère
Recouvrement du sol au printemps et à l'automne
Biomasse résiduelle automnale
Hauteur étirée des plants
Hauteur Robel

Livrables 2019-2022:

- Identification des espèces fourragères et de la régie les plus adaptées aux différentes zones du littoral du LSP;
- Détermination des caractéristiques de la biomasse des différents traitements au printemps, suggérant indirectement leur potentiel pour la nidification des espèces de poissons locaux (avec la collaboration des chercheurs de l'axe environnement et faune);
- Détermination du potentiel de rendement économique des plantes fourragères cultivées dans le littoral du LSP (avec la collaboration des chercheurs de l'axe socioéconomie).

POTENTIEL AGRONOMIQUE ET ENVIRONNEMENTAL DE CULTURES ALTERNATIVES CULTIVÉES EN ZONES INONDABLES DU LAC SAINT-PIERRE

VALÉRIE GRAVEL (UNIVERSITÉ MCGILL)

Thème :

Cultures alternatives

Principaux collaborateurs :

Anne Vannasse (U. Laval) et Philippe Seguin (U. McGill)

Contexte :

L'une des priorités du Pôle est de développer de nouvelles pratiques agronomiques durables, tant du point de vue agricole qu'environnemental. Une avenue possible est l'implantation de cultures alternatives aux cultures présentement cultivées dans le littoral, soit, principalement, le maïs et le soya.

Objectifs :

L'objectif général du projet est d'évaluer le potentiel agronomique et environnemental de différentes espèces lorsque cultivées en zones inondables.

Sous-objectifs :

- 1) Évaluer le potentiel de rendement d'espèces vivaces, annuelles et bisannuelles dans le littoral du LSP;
- 2) Évaluer le potentiel d'impact environnemental en ce qui a trait aux indicateurs phénologiques et morphologiques des plants cultivés;
- 3) Initier le développement d'itinéraires techniques des cultures alternatives démontrant le plus fort potentiel agronomique et environnemental.

Méthodologie :

Comme pour les parcelles implantées en 2019 et en 2020 sur le site de la rive sud (Baie-du-Febvre), deux zones d'un même champ seront ciblées (zone haute et zone basse). Dans chacune des zones, un dispositif en bloc complet sera implanté, avec un total de trois blocs. Chaque parcelle aura une dimension d'environ 2 m x 6 m (adaptée selon les besoins de chaque culture). Le dispositif expérimental sera donc le suivant : nombre d'espèces (nombre précis à définir) x 2 zones x 3 répétitions. Étant donné qu'il s'agit de la dernière année, seules les espèces annuelles seront réimplantées en 2021 en suivant les protocoles établis pour les années précédentes. Le nombre d'espèces testées sera réduit en fonction des résultats obtenus en 2020, notamment en ce qui a trait aux rendements obtenus en 2020 et à la capacité de survie aux inondations sporadiques durant la saison de croissance. Le choix des cultures se fera également en fonction de la biomasse résiduelle au printemps et de leur potentiel environnemental, ainsi que des résidus de biomasse. Un suivi des cultures vivaces sera effectué dans les parcelles implantées en 2019 et en 2020.

Deux espèces annuelles dont l'identité reste à définir selon l'analyse des résultats de 2020 (possiblement le lin et la caméline) seront implantées dans un dispositif secondaire afin de

tester plus spécifiquement les paramètres d'implantation sous les conditions dans les plaines inondables du lac Saint-Pierre (par exemple, les dates de semis et le taux de semis). Une fois de plus, un dispositif en bloc complet avec répétition sera utilisé.

Les variables étudiées tout au long de la saison de croissance seront : 1) données de croissance des plants, 2) rendements commercialisables des différentes cultures, 3) biomasse totale en fin de saison, 4) données phénologiques des plants à l'automne et au printemps suivant la décrue (p. ex., hauteur étirée, hauteur Robel et couverture du sol) et 5) survie à la crue ou inondation au printemps 2020.

Si aucune vivace ne survit à la crue, de nouvelles espèces d'intérêt pourraient aussi être implantées sur le site de Baie-du-Febvre en 2021, selon les disponibilités et coûts des semences (p. ex. : Kernza®, mélange avoine/pois fourrager visant la production de semence, etc.).

Liste des variables mesurées
Survie à la crue
Croissance
Rendements
Biomasse automnale
Hauteur étirée des plants à l'automne
Hauteur Robel des plants à l'automne
Couverture du sol à l'automne

Livrables 2019-2022 :

- Une sélection fiable des principales espèces ayant été identifiées comme des alternatives possibles aux cultures conventionnelles, incluant les avantages et inconvénients de chacune;
- Classement des espèces testées selon leur potentiel agronomique basé sur les paramètres évalués;
- Liste de cultures alternatives démontrant un potentiel agronomique et environnemental pour les conditions particulières du littoral du LSP;
- Première ébauche d'un itinéraire technique pour les cultures identifiées dans le cadre du projet.

**PHYTOPROTECTION DANS LE CONTEXTE DE LA ZONE LITTORALE DU LAC SAINT-PIERRE :
DÉVELOPPEMENT D'UNE GESTION RAISONNÉE DES RAVAGEURS, MALADIES ET
MAUVAISES HERBES**

VALÉRIE GRAVEL (UNIVERSITÉ MCGILL)

Thème :

Phytoprotection

Principaux collaborateurs :

Anne Vannasse (U. Laval) et Philippe Seguin (U. McGill)

Contexte :

L'implantation de nouvelles pratiques agricoles dans le littoral du lac Saint-Pierre (LSP) doit prendre en considération la phytoprotection. Une grande préoccupation environnementale dans cette région est directement liée à l'utilisation de pesticides et à leurs effets potentiellement néfastes sur la faune. Changer les pratiques culturales, par exemple en optant pour l'utilisation de cultures alternatives ou pour l'utilisation réduite des pesticides, peut avoir un effet bénéfique sur l'environnement tout en créant un déséquilibre phytosanitaire des cultures agricoles (p. ex. : apparition de nouveaux ravageurs, perte de rendement due à des taux d'infestation plus élevés).

Objectifs :

L'objectif général de ce projet est d'évaluer l'impact des changements de pratiques culturales sur l'état phytosanitaire des cultures.

Sous-objectifs :

- 1) Évaluer une approche de lutte intégrée envers les ennemis des cultures conventionnelles déjà produites dans le littoral du LSP minimisant l'utilisation de pesticides;
- 2) Évaluer l'impact de pratiques culturales améliorées sur les ennemis des cultures de soya et de maïs;
- 3) Évaluer l'état phytosanitaire des cultures alternatives envisagées pour le littoral du LSP et déterminer les besoins éventuels en matière d'interventions phytosanitaires.

Méthodologie :

Le projet sera divisé en deux approches spécifiques : une approche observationnelle mettant à profit les dispositifs expérimentaux proposés pour d'autres projets (p. ex., celui portant sur les parcelles à grande échelle et les cultures alternatives). La deuxième approche visera l'évaluation de l'utilisation du sarrasin dans le cadre d'une stratégie de contrôle du ver fil-de-fer et d'autres ravageurs du semis.

Pour l'approche observationnelle, un premier essai suivra l'état phytosanitaire des parcelles à grande échelle (PGE) implantées dans le cadre du Pôle (projet d'Anne Vannasse). Les traitements comparés seront : 1) nouvelle prairie, 2) vieille prairie, 3) maïs conventionnel, 4) soya conventionnel, 5) maïs pratiques améliorées et 6) soya pratiques

améliorées. Un dépistage des ravageurs des semis aura lieu pour chacun des sites (vers fil-de-fer, vers blanc et mouche du semis) suivant le protocole du Réseau d'avertissements phytosanitaires (RAP). Un dépistage des principales maladies et principaux ravageurs des cultures sera de plus effectué si leur présence est observée. Un dépistage des mauvaises herbes sera effectué en collaboration avec l'équipe en charge des PGE. Un deuxième essai suivra l'état phytosanitaire des parcelles implantées dans le cadre du projet sur les cultures alternatives (projet de Valérie Gravel).

Pour le deuxième volet du projet, des parcelles expérimentales ont été implantées en 2020 dans la zone du littoral (Baie-du-Febvre). Les traitements étudiés sont : 1) témoin soya conventionnel, 2) sarrasin fauché et enfoui et 3) sarrasin fauché, mais non enfoui. Le dispositif est un plan en tiroirs et inclut une zone haute et une zone basse dans chacune des parcelles principales. Le dispositif expérimental sera donc : 3 traitements x 2 zones = 6 sous-parcelles implantées. Un dépistage des ravageurs du semis de la culture implantée sera effectué comme décrit auparavant.

Les principales variables étudiées pour l'année 2021 et au cours des trois années du projet seront :

- a) Pour l'approche observationnelle : Abondance et seuils d'intervention économique des ravageurs des semis (ver fil-de-fer, ver blanc et mouche du semis) sur les sites en grandes cultures : présence, puis densité d'infestation des insectes ravageurs et principales maladies dans les cultures implantées si leur présence est observée (sur les grandes parcelles et sur les petites parcelles du projet de Valérie Gravel concernant les cultures alternatives).
- b) Approche de gestion phytosanitaire raisonnée : Abondance et seuils d'intervention économique pour les ravageurs des semis (ver fil-de-fer, ver blancs et mouche du semis).

Liste des variables mesurées
Abondance des ravageurs du semis
Seuils d'intervention économique des ravageurs du semis
Présence, puis densité des insectes ravageurs (grandes cultures et cultures alternatives)
Présence, puis densité des maladies (grandes cultures et cultures alternatives)

Livrables 2019-2022 :

- Évaluation du développement épidémiologique des ravageurs et ennemis des cultures en fonction des pratiques culturales améliorées;
- Évaluation du potentiel de l'utilisation du sarrasin dans une stratégie de gestion intégrée et d'une réduction de l'utilisation des pesticides dans les zones visées du littoral du LSP;
- Bilan de l'utilisation des intrants visant la gestion des ravageurs, des maladies et des mauvaises herbes selon les pratiques culturales;
- Estimation des besoins en intrants phytosanitaires des cultures alternatives;

- Première ébauche d'un itinéraire technique pour la gestion des ennemis des cultures alternatives identifiés dans le cadre du projet.

DÉVELOPPEMENT DES MÉTHODES D'AMÉNAGEMENT DE FOSSÉS VÉGÉTALISÉS DANS LA ZONE LITTORALE DU LAC SAINT-PIERRE

MONIQUE POULIN (UNIVERSITÉ LAVAL)

Thème :

Diversification des bandes herbacées près des fossés

Principaux collaborateurs :

Zhiming Qi (U. McGill), Anne Vanasse (U. Laval) et d'autres chercheurs de l'axe environnement et faune et de l'axe socioéconomie

Contexte :

Les bandes riveraines implantées en bordure des cours d'eau et des fossés agricoles ont un rôle écologique clef pour les écosystèmes naturels avoisinants. Elles constituent notamment des bandes tampons entre les champs et les cours d'eau ou fossés en retenant les sédiments et en filtrant les contaminants agricoles (p. ex. : fertilisants, pesticides). En plus de fournir un habitat pour la faune et pour la flore, elles favorisent la dispersion des espèces à l'échelle du paysage. Toutefois, les espèces végétales adaptées aux conditions spécifiques du littoral du lac Saint-Pierre et susceptibles d'être implantées efficacement le long des fossés demeurent méconnues. Aux fins de ce projet de recherche, nous appellerons *bandes de végétation* les bandes établies en bordure de fossés, de manière à les distinguer des bandes riveraines établies en bordure de cours d'eau. Lorsqu'il s'agit des bandes implantées avec des espèces herbacées uniquement (sans arbustes), nous utiliserons plus précisément les termes *bandes herbacées*.

Objectifs généraux :

Les objectifs généraux de ce projet sont (1) de développer les connaissances relatives aux communautés végétales présentes dans le littoral du lac Saint-Pierre afin d'identifier les espèces à privilégier dans les projets d'aménagement de bandes de végétation le long de fossés agricoles et (2) d'évaluer leur succès d'établissement dans la plaine d'inondation du lac Saint-Pierre.

Cinq volets de recherche principaux sont prévus pour cette année :

- Le suivi des bandes pérennes herbacées implantées en 2020 dans trois secteurs de la zone littorale sur 2 m ou sur 4 m de large (**volet A**). Ce volet permettra d'évaluer, un an après implantation, le succès d'établissement des espèces semées (alpage roseau et avoine) et les variables pivots associées à ces communautés herbacées. Ces aménagements permettront également d'observer l'impact de la largeur des bandes enherbées sur la dynamique de sédimentation des fossés (projet en collaboration avec Z. Qi).
- La mise en place de l'essai de semis de mélanges herbacés diversifiés le long des fossés agricoles visant à évaluer le succès d'établissement de multiples espèces herbacées (**volet B**). Ce volet permettra d'identifier des espèces et des mélanges herbacés diversifiés s'établissant le long des fossés agricoles afin d'élargir la gamme de services écologiques fournis par ces communautés et

d'en améliorer la résilience face aux perturbations. Cet essai, initialement prévu en 2020, a été reporté à 2021 en raison de la COVID-19.

- L'inventaire botanique des sites de ponte de la perchaude inventoriés par le MFFP (**volet C**). Ce volet permettra d'identifier les types de végétation (structure, composition) favorables à la ponte de la perchaude et, dans la mesure du possible, sur la base des inventaires réalisés en 2019, d'identifier de nouveaux sites éventuellement favorables à la ponte de la perchaude pouvant être échantillonnés. Ces inventaires, initialement prévus en 2020, ont été reportés à 2021 en raison de la COVID-19.
- L'analyse approfondie des données des 500 inventaires botaniques réalisés en 2019 dans 125 friches, prairies humides et marais en vue d'une publication scientifique (**volet D**). L'objectif de ce volet est de mieux appréhender les rôles conjoints de l'intensification agricole et des inondations sur la diversité végétale des milieux naturels de la zone 0-2 ans.
- L'analyse des données d'une expérience en serre (données en cours d'acquisition) visant à évaluer le rôle de la diversité spécifique et fonctionnelle sur la résilience des communautés végétales aux inondations en ce qui a trait à la production de biomasse (**volet E**). Ce volet permettra de développer des outils afin de mieux concevoir des mélanges herbacés résilients aux inondations (sur la base des traits fonctionnels des plantes) et de faire progresser les connaissances sur les liens entre biodiversité et fonctions écosystémiques (en vue d'une publication scientifique).

Notez que la bonne réalisation des projets de terrain (volets A à C) sera tributaire des consignes de la santé publique et de l'Université Laval vis-à-vis de la COVID-19.

Notre équipe participera aussi activement à l'élaboration de la synthèse des projets de recherche du Pôle, notamment par la participation de mon professionnel de recherche, B. Bourgeois.

Méthodologie :

Volet A :

Des bandes herbacées pérennes composées d'alpiste roseau et d'avoine ont été semées en 2020 sur 2 ou 4 m de large le long de six fossés agricoles répartis dans trois secteurs de la zone littorale (Baie-du-Febvre, Saint-Cuthbert et Yamachiche), selon un plan en blocs complets, pour un total de douze bandes. Ces bandes seront échantillonnées à deux reprises en 2021 (mi-saison et fin de saison) afin de renseigner la dynamique d'établissement de l'alpiste et de mesurer les variables pivots de ces communautés végétales pérennes. Ces échantillonnages seront effectués dans 10 quadrats de 50 x 50 cm par bande, soit dans 120 quadrats au total.

Liste des variables mesurées
Composition et couvert des espèces à mi-saison
Couvert total d'herbacées semées et d'espèces spontanées à mi-saison
Hauteur totale et hauteur dite « Robel » en fin de saison
Cote de rigidité
Biomasses d'herbacées semées et d'espèces spontanées en fin de saison

Volet B :

Initialement, huit mélanges herbacés ont été sélectionnés à partir de ces critères : 1) les inventaires botaniques réalisés dans 125 friches, prairies humides et marais de la zone littorale à l'été 2019, 2) la complémentarité dans les niches écologiques des espèces, notamment face à la résistance à la crue et à la sécheresse, 3) les avis d'experts et 4) les considérations technicoéconomiques (potentiel énergétique, coût des semences, besoin en stratification, etc.). Ces mélanges sont composés ainsi :

- 1) Panic érigé (variété Lowland) + *ray-grass* annuel;
- 2) Foin d'odeur + *ray-grass* annuel;
- 3) Alpiste roseau + *ray-grass* annuel;
- 4) Mélange prairie humide (développé par Canards Illimités) : 15 % agrostide blanche + 20 % fétuque élevée + 12 % *ray-grass* vivace + 13 % *ray-grass* annuel + 15 % panic érigé + 25 % phléole des prés;
- 5) Mélange prairie humide modifié : 17 % agrostide blanche + 20 % fétuque rouge + 15 % *ray-grass* vivace + 13 % *ray-grass* annuel + 20 % élyme de Virginie + 15 % lotier corniculé;
- 6) Mélange diversifié 1 : 25 % *ray-grass* annuel + 15 % lotier corniculé + 20 % alpiste roseau + 15 % fétuque rouge + 15 % pâturin des prés + 10 % asclépiade des marais;
- 7) Mélange diversifié 2 : 25 % *ray-grass* annuel + 15 % mélilot jaune + 10 % glycérie géante + 15 % vulpin des prés + 25 % élyme de Virginie + 10 % aster lancéolé;
- 8) Mélange 4 espèces : 25 % *ray-grass* annuel + 20 % lotier corniculé + 25 % élyme de Virginie + 30 % alpiste roseau.

En complément, un essai en serre visant à évaluer la tolérance à l'inondation de quatre mélanges herbacés a été réalisé en 2020. Cet essai a montré que certaines espèces ne parvenaient pas à s'établir. Ces espèces sont l'aster à ombelles (*Doellingeria umbellata*), la glycérie géante (*Glyceria grandis*), le scirpe noirâtre (*Scirpus atrovirens*), le scirpe souchet (*Scirpus cyperinus*) et la verveine hastée (*Verbena hastata*). Une rencontre est prévue avec A. Vanasse pour ajuster la composition des mélanges pour 2021. La disponibilité de semences chez les fournisseurs est également susceptible d'entraîner des modifications pour ces mélanges.

Ces traitements seront établis au semoir expérimental (U. Laval) dans des parcelles d'environ 1,62 x 5 m, répétés dans trois blocs placés le long d'un même bord de fossé, sur

une portion non utilisée des fossés ayant une bande enherbée de 2 m implantée dans le cadre du volet A dans trois secteurs (Baie-du-Febvre, Saint-Cuthbert et Yamachiche), pour un total de 72 unités expérimentales. Compte tenu des conditions difficiles (sol très argileux, inondations durant la saison et présence élevée de mauvaises herbes) prévalant à Baie-du-Febvre, il est possible que ce semis soit effectué seulement dans les deux autres secteurs.

Liste des variables mesurées
Composition et couvert des espèces à mi-saison
Hauteur totale et hauteur dite « Robel » en fin de saison
Cote de rigidité
Biomasses des espèces herbacées dominantes en fin de saison

Volet C :

Lors de l'échantillonnage réalisé par le MFFP au printemps 2020, des œufs de perchaude (ou de grand brochet) ont été détectés sur vingt-neuf sites localisés dans les secteurs de Baie-du-Febvre, de Pierreville et de Saint-Barthelémy. Ces sites feront l'objet d'un inventaire botanique (quadrats de 2,5 x 2,5 m) à mi-saison afin de déterminer le type de communautés végétales qu'ils abritent (structure, composition).

Liste des variables mesurées
Composition et couvert des espèces à mi-saison
Couvert des strates de végétation
Hauteur maximale
Cote de rigidité
Cote de densité

Volet D :

À l'été 2019, 500 inventaires botaniques répartis selon un gradient d'intensification agricole du paysage (quadrats de 2,5 x 2,5 m) ont été réalisés dans 125 friches, prairies humides et marais de la zone littorale 0-2 ans. Ces données feront l'objet d'une analyse approfondie afin d'évaluer les rôles respectifs des perturbations anthropiques (intensification agricole) et naturelles (durée d'inondation) sur la diversité des communautés végétales.

Liste des variables mesurées en 2019
Composition et couvert des espèces à mi-saison
Couvert des strates de végétation
Hauteur maximale
Cote de rigidité
Cote de densité

Volet E :

Une expérience en serre a été mise en place pour évaluer le rôle des conditions d'inondation (comparativement à des conditions de capacité au champ) et de la diversité spécifique et fonctionnelle sur la production de biomasse de communautés végétales composées de quatre espèces (*Alopecurus pratensis*, *Asclepias incarnata*, *Lotus corniculatus*, *Phalaris arundinacea*) plantées en pots, soit seules, soit en combinaison de deux, de trois ou de quatre espèces. Au total, 110 unités expérimentales (pots de 15 cm de diamètre sur 30 cm de haut) ont été étudiées, le nombre de réplicats variant de deux à six pour chaque traitement de disponibilité en eau, multiplié par la combinaison d'espèces. Les données de cette expérience sont en cours d'acquisition. Nous évaluons le recouvrement et la biomasse des plantes, de même que certains de leurs traits fonctionnels (p. ex. : hauteur, surface foliaire spécifique, densité racinaire). L'analyse des données issues de cette expérience est prévue en 2021.

Liste des variables mesurées
Biomasse aérienne et racinaire
Surface foliaire spécifique
Hauteur maximale
Traits racinaires (densité et longueur de racines, proportion de racines fines, etc.)

Livrables :

Le suivi des bandes pérennes herbacées permettra de renseigner la dynamique d'établissement de l'apiste roseau et, éventuellement, d'identifier les plantes spontanées pouvant limiter cet établissement (volet A). Le volet B permettra d'établir une liste d'espèces végétales propices à l'aménagement de bandes herbacées diversifiées le long des fossés agricoles de la zone littorale. L'inventaire botanique des sites échantillonnés par le MFFP permettra d'identifier le type de végétation favorable à la ponte de la perchaude (volet C) et, éventuellement, de proposer de nouveaux sites d'échantillonnage à la végétation semblable (sur la base des inventaires de 2019). La meilleure compréhension du rôle respectif des perturbations anthropiques (intensification agricole) et naturelles (durée d'inondation) sur la diversité des communautés végétales fournira des pistes pour la conservation de la biodiversité dans un contexte de zone littorale cultivée (volet D). La détermination des traits fonctionnels impliqués dans la résilience des communautés végétales aux perturbations (en matière de production de biomasse) (volet E) constituera un outil préliminaire pour concevoir des mélanges d'espèces herbacées mieux adaptés à des conditions d'inondation régulières.

ÉLABORATION DE STRATÉGIES DE GESTION DES EAUX DE DRAINAGE AFIN D'AMÉLIORER LA QUALITÉ DE L'EAU ET DE RÉDUIRE LES COÛTS D'ENTRETIEN DES FOSSÉS DANS LA ZONE INONDABLE DU LAC SAINT- PIERRE

ZHIMING QI (UNIVERSITÉ MCGILL)

Thème :

Sédimentation dans les fossés de drainage

Principaux collaborateurs :

Zhiming Qi (U. McGill), Shiv Prasher (U. McGill) et Monique Poulin (U. Laval)

Contexte :

Les fossés de drainage agricole ont tendance à être obstrués en raison de la sédimentation dans le littoral du lac Saint-Pierre (LSP), où l'eau s'écoule à faible vitesse. Le creusement de tranchées est nécessaire tous les 5 à 8 ans et représente une charge économique importante pour les producteurs du secteur agricole.

Objectifs :

L'objectif général de cette recherche est d'élaborer des stratégies de gestion des eaux de drainage afin de réduire les coûts d'entretien des fossés situés dans la zone inondable du LSP.

Le projet vise, dans un premier temps, à mesurer le taux de sédimentation, l'érosion des berges, la géomorphologie des fossés de surface et la qualité de l'eau du sol à proximité des champs selon différentes pratiques agronomiques, en particulier les aménagements de bandes enherbées le long des fossés agricoles. Dans un deuxième temps, une analyse économique des coûts-revenus des différentes stratégies de gestion des drains pourra être réalisée afin de trouver la solution la mieux adaptée aux conditions particulières de la plaine inondable.

Méthodologie :

Afin d'étudier l'effet de la bande tampon végétative sur les dépôts de sédiments et la qualité de l'eau du sol dans les fossés de drainage, trois sites sont sélectionnés dans la zone du littoral du lac Saint-Pierre : Saint-Cuthbert (nord-ouest, 46,1° de latitude N., 73,1° de longitude O.), Yamachiche (centre-nord, 46,3° de latitude N., 73,9° de longitude O.) et Baie-du-Febvre (sud, 46,1° de latitude N., 72,7° de longitude O.). Sur chaque site, il y a trois traitements : un tampon végétatif des bandes de 2 m et de 4 m de large le long de chaque fossé de chaque côté, accompagnées d'un témoin sans bande tampon (0 m). Sur chaque site, il n'y a qu'un seul réplicat pour chaque traitement, donc sur les trois sites, il y a trois doublons au total pour chaque traitement et neuf unités expérimentales (fossés). Les fossés ont été creusés et nettoyés de leurs sédiments en octobre-novembre 2019. La bande tampon végétative a été plantée en mai 2020 par l'équipe de M. Poulin.

Le changement topographique de chaque fossé de drainage sera mesuré à l'aide du tachéomètre électronique (*Total Station*) et d'un appareil de télédétection LiDAR monté sous un aéronef sans pilote (drone) pour étudier le dépôt de sédiments. Le relevé du tachéomètre électronique (*Total Station* de marque Leica FlexLine TS06) sera réalisé pour mesurer la topographie de la section transversale de chaque fossé à un intervalle de 20 m, et ce, deux fois, en juin-juillet et en octobre-novembre 2021, respectivement. L'analyse LiDAR de chaque fossé sera mise en œuvre à l'aide d'un appareil YellowScan LiDAR Surveyor monté sous un aéronef sans pilote (drone). Les données topographiques LiDAR seront converties en volume de fossé à l'aide du logiciel ArcGIS. L'importance de l'effet du traitement est analysée à l'aide d'un logiciel statistique.

La hauteur du couvert végétal sera mesurée à l'aide de la méthode « Robel » pour estimer la densité de la biomasse de la végétation de la bande herbacée implantée par l'équipe de M. Poulin et celle des plantes présentes dans les fossés témoins (par l'équipe de Z. Qi - F. Zhang et Y. Li). La mesure de la hauteur dite « Robel » sera prise une fois à l'automne 2021 avec un point d'échantillonnage tous les 60 m des deux côtés de chaque fossé. Une analyse par télédétection de l'indice de végétation normalisé (NDVI) sera réalisée par l'équipe d'A. Roy pour estimer la densité de la biomasse le long des fossés.

Des échantillons de sol et d'eau seront prélevés une fois sur tous les sites pour évaluer l'effet des bandes tampons sur la qualité du sol et de l'eau. Ces échantillons seront prélevés à 40 m d'intervalle le long des fossés en novembre 2021 et seront testés en laboratoire pour déterminer le P total et le N total.

Liste des variables mesurées
Coupes transversales de fossés à 20 m d'intervalle (tachéomètre électronique)
Topographie des fossés à ~ 300 points / m ² (analyse LiDAR)
Concentration en N et en P de l'échantillon de sol et d'eau
Hauteur dite « Robel » pour la densité de la biomasse

Livrables :

Ce projet évaluera l'efficacité de l'implantation de bandes végétalisées pour réduire la sédimentation et améliorer la qualité de l'eau dans les fossés de drainage du littoral du LSP. De plus, l'évaluation coûts-avantages déterminera les stratégies les moins coûteuses pour l'entretien des fossés de drainage agricole.

INTERACTIONS ENTRE LES INONDATIONS ET LA GESTION DES SOLS CULTIVÉS EN ZONE LITTORALE DU LAC SAINT-PIERRE SUR LA SOLUBILITÉ ET LA RÉTENTION DU PHOSPHORE, DE L'AZOTE ET DU CARBONE DANS LE SOL

CYNTHIA KALLENBACH (UNIVERSITÉ MCGILL)

Thème :

Qualité des sols

Principaux collaborateurs :

Christian von Sperber (U. McGill), Anne Vanasse (U. Laval), Zhiming Qi (U. McGill), Vincent Maire (UQTR), Christine Landry (Institut de recherche et de développement en agroenvironnement), MAPAQ

Contexte :

L'inondation régulière des champs agricoles du littoral du lac Saint-Pierre (LSP) modifie les conditions chimiques du sol, comme l'anoxie, qui peuvent provoquer un rejet d'azote (N) et de phosphore (P) augmentant potentiellement les apports d'N et de P dans le LSP. Ces conditions peuvent affecter la qualité de l'eau et avoir des conséquences négatives pour les populations de perchaudes et d'autres espèces de poissons. De plus, pendant les inondations, l'N et le P peuvent quitter les champs par ruissellement de surface. Par ailleurs, certaines pertes de nitrate et de P soluble peuvent être causées par lessivage vers la nappe phréatique peu profonde. Ainsi, les inondations peuvent avoir un impact sur la perte de N et de P du sol pénétrant dans les plans d'eau voisins, mais aussi augmenter la disponibilité de ces éléments nutritifs pour les plantes cultivées.

En plus d'évaluer la dynamique de l'N et du P dans les champs du littoral, nous proposons d'inclure une évaluation de l'impact des inondations sur la mobilité et sur la rétention du carbone (C) du sol. Comme pour le P, une grande partie du C du sol est séquestrée par les minéraux, mais, lors des inondations, ce C peut entrer en phase dissoute. La perte de C dissous pourrait avoir des conséquences négatives sur la santé du sol, car elle affecte la rétention et la disponibilité du C dans le sol.

Les interactions entre la variabilité des inondations et les pratiques agricoles dans les champs doivent être examinées dans le contexte de l'écosystème particulier du littoral du LSP. Cela permettra d'éclairer les producteurs agricoles à propos des pratiques bénéfiques à employer, aussi bien en ce qui concerne la fertilisation avec de l'N et du P qu'en ce qui a trait au choix des cultures (et des cultures de couverture intercalaires ou en dérobée), pour augmenter la rétention des nutriments que sont l'N et le P, de même que la rétention du C dans les champs, et ainsi diminuer leur exportation vers le LSP.

Enfin, une étude exploratoire de mesures des rendements selon différents niveaux d'élévation des champs de maïs et de soya sous régie conventionnelle et sous régie améliorée du projet à grande échelle du Pôle sera réalisée dans le cadre de notre recherche.



Objectifs :

Nos objectifs spécifiques sont de :

- 1) Caractériser la variabilité temporelle, au printemps, en été et en automne, ainsi que la variabilité spatiale de l’N, du P et du C en fonction de différents niveaux d’élévation au sein des champs agricoles et milieux naturels à l’étude;
- 2) Déterminer comment les cycles de l’N, du P et du C et leurs réservoirs diffèrent en fonction de l’utilisation des terres et de la variabilité saisonnière;
- 3) Étudier comment l’N, le P et le C changent en fonction du profil de sol en fonction de l’utilisation des terres;
- 4) Déterminer la variabilité du rendement du maïs et du soya sous régie conventionnelle et sous régie améliorée à différents niveaux d’élévation.

Méthodologie :

Les équipes de recherche du Pôle ont identifié dix points d’échantillonnage géoréférencés dans chacun des sites expérimentaux (champs agricoles et milieux naturels) du dispositif du projet à grande échelle. Ces points sont situés dans les quatre secteurs prioritaires du LSP et représentent des lieux d’échantillonnage communs aux différents projets de l’axe agriculture et de l’axe environnement et faune. Selon la position de chacun des dix points par site, le niveau d’élévation peut être variable. Pour les objectifs 1 à 3, nous utiliserons les quatre traitements de cultures annuelles, les trois prairies (vieilles, nouvelles et naturelles) et le site forestier. Cependant, l’inclusion de la nouvelle prairie dans l’étude en 2021 dépendra de son succès d’implantation.

Objectif 1 - Échantillonnage sur le terrain :

À compter du printemps 2021, trois à quatre points d’échantillonnage par traitement seront utilisés pour l’échantillonnage des sols lié à cet objectif. Ils seront situés à quatre niveaux d’élévation différents correspondant aux cotes de niveau de l’eau à Sorel suivantes : 1) 5,5 à 5,9 m; 2) >5,9 à 6,3 m; 3) >6,3 à 6,79 m; 4) >6,79 m (hors littoral). En plus des trois ou quatre points d’échantillonnage dans les champs, nous prélèverons des échantillons en amont et en aval (par rapport à la crue) des bandes pérennes, à trois ou à quatre niveaux d’élévation différents. Les bandes pérennes de quatre champs parmi les huit en régie améliorée serviront à ces échantillonnages. Nous allons échantillonner à quatre périodes entre le printemps 2021 et l’automne 2021. Des échantillons de sol seront prélevés à une profondeur de 30 cm à chaque endroit. Chaque carotte de sol de 0 à 30 cm sera séparée en trois strates de profondeur : de 0 à 5 cm, de 5 à 15 cm et de 15 à 30 cm.

Objectif 2 - Échantillonnage sur le terrain :

Les échantillons de sol pour cet objectif seront prélevés à un seul point d’échantillonnage par site, qui sera positionné à la même altitude sur tous les sites. Cela permettra de normaliser les données et de limiter la variabilité associée aux différences d’élévation afin de pouvoir comparer directement l’effet de l’utilisation des terres. Ces échantillons comprendront deux profondeurs de sols et seront prélevés à quatre périodes différentes.

Objectif 3 - Échantillonnage sur le terrain :

En collaboration avec l'équipe de V. Maire, nous quantifierons les différences dans les réservoirs d'N, de P et de C selon la profondeur du sol et dans les couches de sol à faible redox et à redox fluctuant. Nous utiliserons le carottier à essence pour collecter quatre carottes à 100 cm de profondeur, et ce, dans chacun des champs agricoles expérimentaux (les cultures annuelles et les prairies) et dans les milieux naturels témoins. Chacune des quatre carottes sera collectée à une altitude similaire en suivant le même protocole que celui utilisé en 2019 par V. Maire. Les échantillons seront analysés pour cinq profondeurs différentes (0-5 cm, 5-15 cm, 15-30 cm, 30-50 cm et 50-100 cm) ou en fonction du profil du sol et des couches redox visiblement distinctes.

Objectif 4 - Échantillonnage sur le terrain :

En collaboration avec le MAPAQ, nous collecterons des données sur le rendement du maïs et du soya dans les quatre secteurs prioritaires. Les rendements de maïs seront mesurés et comparés en fonction des différentes zones d'altitude qui auront été ciblées pour l'objectif 1. La prise de ces mesures est prévue sur deux années, à l'automne, en 2020 et en 2021. La méthode manuelle de mesure de rendement sera utilisée pour cette collecte de données. Le MAPAQ fournira l'expertise concernant le protocole et les échantillonnages en champs. Les échantillons de soya seront traités à l'Université McGill par C. Kallenbach et les échantillons de maïs seront traités par l'Université Laval ou au MAPAQ.

Liste des variables mesurées
Redox du sol - <i>in situ</i>
Humidité du sol - <i>in situ</i>
pH du sol - <i>in situ</i>
P du sol (Mehlich P du P soluble et total; P inorganique et organique)
Azote du sol (N total, N organique, nitrate, ammonium)
Carbone organique du sol (total, dissous, associé aux minéraux)
Nutriments (N and P) et du C dans la biomasse microbienne
Activité enzymatique extracellulaire microbienne

Livrables :

- Fournir une évaluation quantitative des fractions du P du sol dans différentes conditions d'inondation, de cultures et de systèmes de gestion des cultures, et, ainsi, déterminer leur risque de contribuer au dépôt de phosphore dans le LSP;
- Fournir une évaluation quantitative des concentrations inorganiques et organiques d'N du sol dans différentes conditions d'inondation, de cultures et de systèmes de gestion des cultures, et, ainsi, déterminer leur risque de contribuer aux apports d'azote dans le LSP;
- Identifier les systèmes de gestion des cultures qui minimisent les changements dans la mobilisation et dans la libération du carbone stocké dans le sol dans des conditions d'inondation variables;
- Fournir une estimation de la variabilité du rendement du maïs et du soya en fonction des différences d'élévation du champ.

3.2 LES PROJETS DE L'AXE ENVIRONNEMENT ET FAUNE

Les objectifs spécifiques de l'axe environnement et faune sont de :

- Mesurer l'influence des différentes cultures et pratiques culturales testées et des milieux naturels sur l'environnement et la faune du lac Saint-Pierre;
- Évaluer le rôle des prairies humides naturelles et des milieux forestiers dans la dynamique du littoral du lac Saint-Pierre;
- Caractériser la provenance des masses d'eau tributaires du lac Saint-Pierre qui agissent sur l'inondation;
- Analyser la toxicité de l'eau et des sols en fonction des différents usages de la zone littorale.

Tableau 9. Liste des projets de recherche de l'axe environnement et faune

Chercheur principal	Titre du projet
Stéphane Campeau UQTR	Cartographie prédictive des patrons d'écoulement dans la zone littorale du lac Saint-Pierre
Alexandre Roy UQTR	Évaluation de l'effet des pratiques agricoles sur la qualité de l'eau par télédétection multiéchelle et multitemporelle
François Guillemette UQTR	Effets des pratiques agricoles sur la production à la base du réseau trophique aquatique dans la zone littorale du lac Saint-Pierre
Gilbert Cabana UQTR	Effet des cultures et pratiques agricoles existantes et en transition sur la production secondaire de la zone littorale du lac Saint-Pierre
Marco Rodriguez UQTR	Réponses des populations de poissons aux activités agricoles, milieux naturels et projets de restauration dans la zone littorale du lac Saint-Pierre
Shiv Prasher U. McGill	Balayage à large spectre des pesticides dans l'eau et dans les sédiments de la zone littorale du lac Saint-Pierre
Jessica Head U. McGill	Évaluation de l'effet des pesticides sur les premiers stades de vie des poissons en relation aux pratiques agricoles dans la zone littorale du lac Saint-Pierre
Andrea Bertolo UQTR	Effets de pratiques agricoles sur les banques d'œufs d'invertébrés et de graines de plantes aquatiques : une approche expérimentale pour quantifier la résilience des communautés de la zone littorale du lac Saint-Pierre
Vincent Maire UQTR	Influence de l'utilisation des terres sur la séquestration du carbone du sol dans un contexte d'inondation
Raphaël Proulx UQTR Valérie Fournier U. Laval	Réponse fonctionnelle de la biodiversité animale sur un gradient d'utilisation des terres
Vincent Fugère UQTR	Utiliser l'ADN environnemental pour évaluer l'impact des pratiques agricoles sur la biodiversité de la zone littorale du lac Saint-Pierre

CARTOGRAPHIE PRÉDICTIVE DES PATRONS D'ÉCOULEMENT DANS LA ZONE LITTORALE DU LAC SAINT-PIERRE

STÉPHANE CAMPEAU (UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À TROIS-RIVIÈRES)

Thème :

Hydrodynamique de l'inondation et des tributaires de la plaine inondable

Principaux collaborateurs :

Alexandre Roy (UQTR), Christophe Kinnard (UQTR) et Pierre-André Bordeleau (UQTR)

Contexte :

Afin de mesurer l'impact des futures interventions de restauration dans la plaine inondable du lac Saint-Pierre, il est nécessaire d'y préciser les patrons d'écoulement et l'origine des matières en suspension des eaux turbides qui recouvrent la plaine pendant la crue printanière. Dans la plaine de récurrence 2 ans, la qualité de l'eau à un point donné est la résultante de l'effet combiné 1) des propriétés des eaux de fonte provenant de l'amont du réseau de drainage local, 2) de la remise en suspension des sédiments par le vent et par le courant sur le site même et 3) des propriétés des masses d'eau du fleuve et de ses tributaires (incluant les rivières, les petits cours d'eau et les fossés).

Objectifs :

Les objectifs du projet sont 1) de cartographier les patrons d'écoulement lors de la crue et lors de la décrue (matrice d'écoulement du réseau terrestre et orientation et vitesse des courants dans la plaine d'inondation), 2) de délimiter les sous-bassins versants et les surfaces contributives en chaque point de la plaine inondable et à différentes dates, 3) de caractériser et de distinguer les différentes masses d'eau en mesurant *in situ* la conductivité, la turbidité et les concentrations en matières en suspension (MES) dans la plaine inondable, 4) de développer un modèle prédictif de l'écoulement et de la turbidité et 5) d'évaluer l'impact des pratiques agricoles sur les concentrations en MES et sur la turbidité dans la plaine au cours du printemps, en collaboration avec l'équipe d'A. Roy.

Méthodologie :

Les relevés LiDAR, avec une généralisation à 1 m, seront utilisés afin de produire une matrice d'écoulement. Cette matrice sera modifiée afin de tenir compte des centaines de ponts et de ponceaux présents sur le territoire. Elle sera validée sur le terrain lors de la crue printanière. La matrice d'écoulement sera complétée par des mesures de vitesse et de direction des courants effectuées sur le terrain, afin de produire des matrices composites des patrons d'écoulement à différents moments pendant la crue et lors de la décrue. À partir de ces matrices, les sous-bassins versants et les surfaces contributives pour chaque parcelle étudiées par le Pôle seront déterminés. La conductivité, la turbidité de l'eau et les concentrations en matières en suspension seront mesurées sur le terrain afin de caractériser et de distinguer les différentes masses d'eau et de raffiner les patrons d'écoulement. Des sondes autonomes de turbidité et des courantomètres TCM-4 seront installés et demeureront sur place jusqu'à la fin de la décrue. De plus, des mesures ponctuelles de conductivité, de turbidité et de matières en suspension seront effectuées le long de transects

dans la plaine inondable à bord d'un kayak. Les transects seront réalisés au-dessus des essais agronomiques à grande échelle.

Lorsque le niveau de l'eau le permettra, deux transects seront réalisés à des profondeurs différentes sur chaque parcelle agricole. Les transects seront parcourus à plusieurs reprises au cours de la crue et de la décrue. En 2021, les transects seront étendus afin de couvrir également les essais en bandes enherbées (projets des professeurs Monique Poulin et Zhiming Qi). L'ensemble des mesures effectuées sur le terrain permettront à l'équipe d'Alexandre Roy de développer des produits de turbidité satellitaires. Le patron d'écoulement établi à l'aide des relevés LiDAR, des courantomètres et des observations effectuées sur le terrain permettra d'évaluer l'origine de la turbidité (et celle des MES) mesurée au-dessus des parcelles agricoles.

Liste des variables mesurées
Écoulement (matrice d'écoulement du réseau terrestre et orientation et vitesse des courants dans la plaine d'inondation lors de la crue et pendant la décrue)
Conductivité de l'eau (mS/cm)
Turbidité de l'eau <i>in situ</i> (FNU)
Matières en suspension (mg/l)
État des sols agricoles au printemps (sols nus, résidus, prairies)

Livrables :

- Matrice d'écoulement du réseau terrestre (LiDAR) et orientation et vitesse des courants dans la plaine d'inondation lors de la crue et pendant la décrue;
- Délimitation des sous-bassins versants et des surfaces contributives pour chaque parcelle du Pôle, pour la crue et pour la décrue;
- Cartographie de la conductivité, de la turbidité et des concentrations en MES mesurées *in situ* à différents moments de la crue et de la décrue. Ces données permettront à l'équipe d'Alexandre Roy de développer des produits de turbidité satellitaires;
- Modèle prédictif de l'écoulement dans la plaine inondable du lac Saint-Pierre et modèle de turbidité développé en collaboration avec l'équipe d'Alexandre Roy;
- Cartographie de l'état des sols agricoles au printemps, avant le début des travaux aux champs (sols nus, résidus, prairies, etc.).

ÉVALUATION DE L'EFFET DES PRATIQUES AGRICOLES SUR LA QUALITÉ DE L'EAU PAR TÉLÉDÉTECTION MULTIÉCHELLE ET MULTITEMPORELLE

ALEXANDRE ROY (UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À TROIS-RIVIÈRES)

Thème :

Hydrodynamique de l'inondation et des tributaires de la plaine inondable

Principaux collaborateurs :

Christophe Kinnard (UQTR), Stéphane Campeau (UQTR) et Pierre-André Bordeleau (UQTR)

Contexte :

Les caractéristiques optiques de l'eau, dont sa turbidité, sont des indicateurs importants de sa qualité et peuvent avoir des répercussions importantes sur les processus écologiques dans la plaine inondable du lac Saint-Pierre (LSP). Néanmoins, même s'il est reconnu que les pratiques agricoles peuvent grandement influencer la turbidité de l'eau lors des inondations en agissant sur la mise en suspension des sédiments dans l'eau, peu d'études ont quantifié ces effets pour la plaine inondable du LSP. En effet, les patrons hydrologiques complexes de la plaine inondable du LSP influencent grandement les patrons spatiotemporels de la turbidité. Or, alors qu'il est difficile de faire un suivi de ces patrons à l'échelle du LSP, la télédétection peut permettre de pallier ce manque¹.

Objectifs :

Le but du projet est d'évaluer l'impact des pratiques agricoles sur la turbidité de l'eau dans la plaine inondable du LSP à l'aide de la télédétection multiéchelle et multitemporelle.

- 1) Développer et évaluer un algorithme de détection de la turbidité de l'eau dans le littoral du LSP lors des crues printanières à partir de donnée de télédétection multiéchelle (drone et satellite);
- 2) Évaluer l'effet des nouvelles pratiques agricoles sur la turbidité de l'eau à l'échelle du lac Saint-Pierre au cours des deux dernières années à partir de données satellitaires et de drone;
- 3) Évaluer l'impact de la couverture du sol sur la turbidité de l'eau à l'échelle du littoral du LSP à partir de données satellites de 1984 à aujourd'hui.

En plus du projet sur la télédétection de la turbidité de l'eau, en collaboration avec les chercheurs de l'axe agronomie et avec d'autres chercheurs de l'axe environnement et faune, un besoin important de faire le suivi spatial et temporel de la productivité agricole dans le littoral du lac Saint-Pierre a été identifié. Des vols de drone pendant la saison de croissance seront effectués à cette fin. Un suivi à haute résolution spatiale de l'évolution de l'indice de végétation normalisé (NDVI) sera réalisé. De plus, une nouvelle étudiante à la maîtrise (Amélie-Alexandre Bergeron) a débuté un projet en avril 2020 sur l'impact de

¹ Dogliotti, A.I., K.G. Ruddick, B. Nechad, D. Doxaran et E. Knaeps (2015). "A Single Algorithm to Retrieve Turbidity from Remotely-Sensed Data in All Coastal and Estuarine Waters", *Remote Sensing of Environment*, 156, p. 157-168.

l'intensité des inondations sur cet indice dans la plaine inondable avec l'aide d'images Landsat (de 1984 jusqu'à présent).

Méthodologie :

L'objectif 1, qui visait à développer un algorithme pour la télédétection de la turbidité spécifiquement pour la plaine inondable du LSP, est en grande partie complété. Dans les prochains mois, le modèle de turbidité basé sur les images satellitaires Sentinel-2 permettra d'effectuer une analyse de l'impact de l'occupation du sol sur la turbidité pour l'ensemble du lac Saint-Pierre pour les années 2019, 2020 et 2021 et, ainsi, de répondre à l'objectif 2. Un modèle linéaire à effets mixtes sera développé en considérant l'ensemble des parcelles agricoles dans la plaine inondable du lac Saint-Pierre en se basant sur la base de données des cultures assurées (BDCA). Pour le printemps 2021, des vols de drone seront réalisés conjointement avec les mesures intensives de turbidité au sol (FNU *in situ*, par l'équipe S. Campeau). Ces images, avec celles prises en 2019 et en 2020, permettront de développer, avec l'équipe S. Campeau, un modèle plus fin des patrons hydrologiques et des turbidités liées.

Concernant l'objectif 2, des vols de drones seront effectués à quatre reprises au-dessus des quatre secteurs étudiés par le Pôle au cours de la saison de croissance pour effectuer le suivi spatiotemporel de la biomasse. La caméra multispectrale installée sur le drone permet de mesurer l'indice de végétation normalisé (NDVI) généralement corrélé à la biomasse. Les premiers vols auront lieu très tôt lors du retrait de l'eau après l'inondation afin de saisir des images du couvert végétal juste avant que les premiers semis soient plantés (autour de la mi-juin, début juillet). Par la suite, des visites seront faites à la mi-juillet, à la mi-août et en septembre-octobre afin de mesurer l'évolution de la biomasse sur les différents sites. Ces images permettront d'obtenir une information à haute résolution spatiale de la productivité agricole sur les parcelles du Pôle pour les chercheurs de l'axe agronomie (A. Vanasse et C. Halde).

À partir des images de NDVI obtenues à vol de drone et des images Landsat (de 1984 jusqu'à présent), une analyse de l'impact de l'inondation sur la variabilité interannuelle de la productivité agricole dans le littoral du lac Saint-Pierre sera effectuée (projet de maîtrise d'Amélie-Alexandra Bergeron).

Liste des variables mesurées

Images multispectrales à haute résolution (drone) et Sentinel-2 (10 m) → calcul de la turbidité de l'eau
Indice de végétation normalisé (NDVI) calculé à partir d'images obtenues à vol de drone et d'imagerie satellitaire

Livrables :

- Cartographie à fine échelle spatiale et temporelle (incluant des champs où des pratiques agricoles seront déployées) de la turbidité à partir d'images obtenues à vol de drone;
- Cartographie de la turbidité de l'eau sur l'ensemble des milieux ouverts de la plaine inondable à partir d'images obtenues par satellite;

- Analyse quantitative de l'impact des pratiques agricoles et des projets de restauration sur la turbidité de l'eau;
- Modèle prédictif de la turbidité (conjointement avec l'équipe de S. Campeau);
- Cartes de NDVI à partir d'images obtenues à vol de drone et d'images satellitaires.

EFFETS DES PRATIQUES AGRICOLES SUR LA PRODUCTION À LA BASE DU RÉSEAU TROPHIQUE AQUATIQUE DANS LA ZONE LITTORALE DU LAC SAINT-PIERRE

FRANÇOIS GUILLEMETTE (UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À TROIS-RIVIÈRES)

Thème :

Production aquatique de la plaine d'inondation

Principaux collaborateurs :

Gilbert Cabana (UQTR), Vincent Maire (UQTR) et Jérôme Comte (INRS-ETE)

Contexte :

Ce projet vise à documenter les effets des différentes pratiques culturales sur la productivité primaire située à la base des réseaux trophiques qui soutient la productivité des niveaux supérieurs (invertébrés, poissons). Ce projet sera mis en relation avec celui de G. Cabana (production aquatique secondaire). Il intégrera les mesures sur la production de méthane dans les sols (équipe de V. Maire) dans le réseau trophique aquatique par la méthanotrophie. L'information générée par ce projet apportera également un éclairage sur l'impact des pratiques agricoles sur la biodiversité aquatique au sens large en ajoutant une composante microbienne au Pôle, en collaboration avec J. Comte. Finalement, une analyse détaillée de la composition de la matière organique et des nutriments renseignera sur l'impact des pratiques culturales sur la qualité de l'eau dans la plaine d'inondation.

Objectifs :

Les objectifs du projet sont : 1) d'étudier l'impact des pratiques agricoles et des projets de restauration sur la productivité aquatique primaire dans la plaine inondable du lac Saint-Pierre; 2) d'étudier la capacité des producteurs primaires à soutenir les organismes supérieurs (p. ex. invertébrés, larves de poisson) à l'aide d'une approche isotopique; 3) d'étudier l'impact des différentes pratiques agricoles et projets de restauration sur la biodiversité des microorganismes pouvant altérer certaines fonctions écologiques clés de la plaine d'inondation (p. ex. recyclage de nutriments, méthanotrophie). Finalement, le relargage de la matière organique des sols ennoyés vers l'eau sera suivi à l'aide de mesures chimiques. Ces mesures serviront à établir les liens entre les différentes pratiques agricoles et projets de restauration et les changements de productivité aquatique, et ce, pour chaque site échantillonné.

Méthodologie :

Un stagiaire postdoctoral, deux étudiants à la maîtrise et une étudiante au baccalauréat (J. Comte, G. Cabana et V. Maire comme codirecteurs) seront chargés de la collecte des échantillons et de la réalisation des expériences. Des échantillons d'eau seront prélevés sur 28 sites différents répartis sur 4 transects situés sur les rives nord et sud du lac Saint-Pierre, chacun présentant 6 pratiques agricoles ou projets de restauration différents (grandes parcelles). Les échantillons seront récupérés deux fois pendant la période d'inondation. En plus du prélèvement des échantillons, la turbidité, la température, le pH et les concentrations en oxygène seront déterminés à l'aide d'une sonde multiple YSI. Les

régimes de lumière sous-marine seront déterminés à l'aide d'un profileur PAR-UV et les concentrations de CO₂ et de CH₄ seront mesurées à l'aide d'un détecteur de gaz LiCor.

Productivité primaire - La production primaire sera évaluée à l'aide de la biomasse de phytoplancton mesurée en concentrations de chlorophylle *a*.

Métabolisme bactérien - Les taux de respiration bactérienne seront mesurés en tant que pertes en oxygène à l'aide de capteurs optiques (Presens). La production bactérienne sera estimée à l'aide de la technique d'incorporation de leucine tritiée. L'abondance des bactéries sera mesurée par cytométrie en flux à l'INRS-ETE. Les modifications des capacités métaboliques de la communauté bactérienne seront évaluées à l'aide de Biolog EcoPlates, qui fournit de l'information sur la capacité des bactéries à dégrader 3 L de substrats carbonés différents.

Diversité microbienne - Des échantillons d'eau dupliqués d'environ 1 L seront collectés pour récupérer l'ADN de la communauté microbienne attachée et libre avec des filtres de 3 µm et 0,2 µm, respectivement. L'ADN microbien sera ensuite extrait à l'aide d'un kit AllPrep DNA / RNA (Qiagen) et la diversité de la communauté déterminée par séquençage (plateforme Illumina MiSeq) à l'Institut de biologie intégrative et des systèmes (IBIS, Université Laval, Québec). Une attention particulière sera accordée à l'identification des gènes associés aux méthanotrophes (*pmoA*).

Matière organique - Le carbone organique dissous sera analysé dans les échantillons d'eau après filtration, puis caractérisé optiquement par absorbance et fluorescence (à l'aide de la modélisation PARAFAC). Les sources de matière organique seront évaluées à l'aide d'une approche de traçage multi-isotopes basée sur le $\delta^2\text{H}$ et le $\delta^{13}\text{C}$.

Liste des variables mesurées
Azote total et dissous, nitrates + nitrites
Phosphore total et dissous
Chlorophylle <i>a</i>
Fluorescence et absorbance de la matière organique dissoute
Respiration + Abondance + Production bactérienne
Capacité métabolique bactérienne
Physicochimie : pH, conductivité, température
Profil de lumière (sonde fluorescente)
Gaz dissous : O ₂ , CO ₂ , CH ₄
Carbone organique particulaire
Signature isotopique du carbone inorganique et organique dissous
Séquençage de la communauté bactérienne
Abondance des méthanotrophes

Livrables :

Ce projet répondra à plusieurs questions concernant l'impact de l'agriculture et des projets de restauration sur le fonctionnement de la plaine d'inondation du lac Saint-Pierre. Il conduira également à des publications avec comité de lecture et à la formation d'étudiants :

- Quel est l'impact des pratiques agricoles actuelles et des efforts de restauration sur la productivité primaire de la plaine inondable?
- Les différents types d'agriculture et de projets de restauration entraînent-ils des changements dans la diversité et dans le fonctionnement des communautés microbiennes aquatiques?
- Est-ce que la méthanotrophie constitue une voie de transmission d'énergie importante vers les niveaux les plus élevés du réseau trophique de la plaine inondable?
- Comment les différentes pratiques culturales et projets de restauration affectent-ils la quantité et la composition chimique de la matière organique présente dans l'eau en période d'inondation?

EFFET DES CULTURES ET PRATIQUES AGRICOLES EXISTANTES ET EN TRANSITION SUR LA PRODUCTION SECONDAIRE DE LA ZONE LITTORALE DU LAC SAINT-PIERRE

GILBERT CABANA (UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À TROIS-RIVIÈRES)

Thème :

Qualité de l'eau et biodiversité faunique

Principaux collaborateurs :

Andrea Bertolo (UQTR), François Guillemette (UQTR) et Pascal Sirois (UQAC)

Contexte :

Les organismes responsables de la productivité secondaire jouent un rôle crucial comme source de nourriture pour les poissons du lac Saint-Pierre. Il est donc impératif de comprendre comment ces populations sont influencées par les différents usages de la zone littorale afin de favoriser le rétablissement des populations des espèces de poisson en déclin au lac Saint-Pierre.

Objectifs :

Les travaux de ce projet porteront sur les communautés animales aquatiques, notamment les invertébrés (zooplancton) et les larves de poisson (perchaude). L'objectif principal est de voir si des mesures d'abondance, de diversité (zooplancton), de condition physiologique et de croissance répondent au gradient d'utilisation du sol allant de l'agriculture conventionnelle aux milieux naturels.

Méthodologie :

Tous les sites (aménagements agricoles et sites naturels) seront visités dans trois des quatre blocs, car l'accessibilité en chaloupe vers la fin de la décrue, lorsque les larves sont écloses, est impossible pour le bloc de l'île Dupas. Les variables mesurées comprennent l'abondance, la diversité et la croissance des populations de zooplancton, ainsi que la croissance, le contenu en lipides (contenu en énergie et masse sèche corrigés pour la longueur) et la morphométrie des larves de perchaude du début à la fin de la période d'inondation (au moins une sortie, possiblement deux, si la crue perdure). La distribution en taille du zooplancton sera déterminée à l'aide d'une série de huit passoires aux mailles de tailles variables. Un décompte des principaux groupes (p. ex. cladocères, rotifères) sera réalisé sous le microscope. La densité des larves de perchaudes sera mesurée le long d'un transect de 50 m. Le profil en acides gras sera déterminé par chromatographie en phase gazeuse et les ratios isotopiques par spectrométrie de masse. L'âge des perchaudes sera déterminé par un examen microscopique des anneaux de croissance journaliers des otolithes.

Nous mesurerons la biomasse végétale exondée et la hauteur de la végétation (variables pivots). Je coordonnerai l'équipe terrain au printemps, et ce, dans les grandes parcelles, dans les bandes pérennes, ainsi que dans les milieux naturels témoins. Ces mêmes variables

seront également mesurées à l'automne dans les mêmes traitements agricoles par les équipes de l'axe agriculture et dans les milieux naturels par mon équipe.

Liste des variables mesurées
Densité totale du zooplancton
Densité de chacun des grands groupes de zooplancton
Taille du zooplancton
Profils d'acides gras du zooplancton
Ratios isotopiques du zooplancton
Abondance des larves de perchaudes
Morphométrie des larves de perchaudes
Âge des larves de perchaudes
Contenu en énergie des larves de perchaudes
Profils d'acides gras des larves de perchaudes
Ratios isotopiques des larves de perchaudes
Biomasse sèche de la végétation exondée

Livrables :

Les livrables correspondent étroitement à la liste de variables mesurées. L'information sur le zooplancton comprendra : la densité et la distribution en taille du zooplancton, de même que son contenu en énergie et son profil d'acides gras, qui indiqueront sa qualité alimentaire comme proies des alevins présents sur la plaine d'inondation. Les ratios isotopiques (C et N) indiqueront si le méthane est une source importante de carbone pour la chaîne alimentaire de la plaine d'inondation. Nous livrerons de l'information sur la condition physiologique et sur la croissance des alevins (p. ex. : indice morphométrique, contenu en énergie, croissance journalière basée sur la lecture des otolithes) dans les différents traitements à grande échelle. Les valeurs de biomasse végétale sèche (variable pivot) seront mesurées sur les grandes parcelles et sur les bandes pérennes immédiatement après l'exondation et fourniront de l'information sur la structure de l'habitat durant l'inondation.

RÉPONSES DES POPULATIONS DE POISSONS AUX ACTIVITÉS AGRICOLES, MILIEUX NATURELS ET PROJETS DE RESTAURATION DANS LA ZONE LITTORALE DU LAC SAINT-PIERRE

MARCO RODRIGUEZ (UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À TROIS-RIVIÈRES)

Thème :

Biodiversité faunique

Principaux collaborateurs :

MFFP

Contexte :

Ce projet, dont la durée prévue est de trois ans, vise à quantifier les réponses des poissons de la zone littorale du lac Saint-Pierre (LSP) aux activités agricoles ainsi qu'aux projets de restauration et de conservation visant la plaine inondable du LSP. Ce groupe de poissons englobe la majorité des ~80 espèces résidentes du lac, dont environ la moitié fréquentent la plaine d'inondation au printemps pour la reproduction, pour la croissance des jeunes de l'année et comme lieu d'alimentation. Plus spécifiquement, nous allons relier les réponses des poissons (abondance relative et potentiel de reproduction) à un ensemble d'indicateurs de la qualité de l'habitat, ainsi que du type d'utilisation des terres.

Objectifs :

Ce projet vise à quantifier les réponses des poissons aux aménagements agricoles en grandes parcelles et aux milieux naturels de la zone littorale du LSP. Plus spécifiquement, l'abondance relative de toutes les espèces de poissons et le potentiel de reproduction de la perchaude et du grand brochet seront étudiés dans les dispositifs de grandes parcelles agricoles, ainsi que dans les milieux naturels de la zone littorale. Les réponses des poissons seront analysées en fonction de l'occupation des terres et de différents indicateurs de la qualité de l'habitat (p. ex. : profondeur, turbidité, teneur en oxygène, température et élévation), incluant les interactions potentielles entre ces composantes.

Méthodologie :

En 2021, nous viserons à échantillonner les traitements suivants : forêt, prairie naturelle, vieille prairie, nouvelle prairie, maïs conventionnel, soya conventionnel, maïs amélioré, soya amélioré. Les variables suivantes seront mesurées lors de la crue saisonnière au printemps 2021 dans la zone littorale du LSP, dans trois des quatre secteurs prioritaires à l'étude, à savoir Baie-du-Febvre, Pierreville et Saint-Barthélemy :

Liste des variables mesurées
Abondance des espèces de poissons (larves, juvéniles et adultes)
Densité d'œufs de poissons
Concentration en oxygène dissous, température de l'eau, turbidité et conductivité

L'échantillonnage des poissons juvéniles et adultes sera fait à l'aide des transects de pêche électrique réalisés dans les grandes parcelles. L'échantillonnage des larves de poissons sera fait à l'aide des pièges à lumière. Nous allons également dénombrer les œufs de poissons (coups de pousse, décompte visuel).

Livrables

Ce projet fournira des modèles quantitatifs reliant les différentes réponses des poissons aux activités agricoles, de restauration et de conservation, ainsi qu'au contexte environnemental. Spécifiquement, nous établirons des liens quantitatifs entre un ensemble d'indicateurs mesurant les réponses des poissons (abondance relative et potentiel de reproduction) et un autre ensemble d'indicateurs mesurant la qualité de l'habitat et le type d'utilisation des terres. Ces modèles permettront à leur tour d'identifier les pratiques de gestion les mieux adaptées au contexte particulier des grands littoraux cultivés du LSP en matière d'impact environnemental, et ce, dans le but de réduire les impacts découlant des activités agricoles. Ils aideront également à évaluer la performance des projets de restauration pour mieux soutenir la réhabilitation des milieux prioritaires. Ces recherches mèneront à la publication de plusieurs articles scientifiques dans des revues internationales avec comité de lecture.

BALAYAGE À LARGE SPECTRE DES PESTICIDES DANS L'EAU ET DANS LES SÉDIMENTS DE LA ZONE LITTORALE DU LAC SAINT-PIERRE

SHIV PRASHER (UNIVERSITÉ MCGILL)

Thème :

Qualité des sols et écotoxicologie

Principaux collaborateurs :

Jessica Head (U. McGill), Andrea Bertolo (UQTR) et Gilbert Cabana (UQTR)

Contexte :

Plusieurs projets de recherche de cette programmation requièrent des analyses des pesticides présents dans l'eau, dans les sols et dans l'eau conditionnée par le contact avec les sols de la plaine d'inondation du lac Saint-Pierre (LSP).

Objectifs :

Ce projet vise à réaliser des analyses à large spectre de pesticides afin de déterminer lesquels sont présents dans l'eau et dans le sol de la zone littorale du LSP, ainsi qu'à évaluer la persistance et la mobilité de pesticides ciblés dans le sol.

Plus spécifiquement, pour l'année 2021, nous allons quantifier les quantités de CLO, de TMX, de glyphosate et de l'AMPA à deux profondeurs dans le sol des champs agricoles sous différents types d'utilisation et de couvertures de sol.

Méthodologie :

Sur la base des résidus de pesticides observés dans des échantillons d'eau en 2019 et des insecticides néoniques trouvés dans plusieurs échantillons de sol en 2020, nous proposons de poursuivre l'étude de la clothianidine (CLO) et du thiamethoxame (TMX) dans le sol pour la saison 2021. Compte tenu de la pratique d'utilisation substantielle du glyphosate dans les champs de maïs et de soya à proximité du LSP, le comportement et le transport du glyphosate et de son métabolite, le glyphosate et l'acide aminométhylphosphonique (AMPA), seront étudiés également pendant la saison de croissance 2021.

Plus spécifiquement, pour l'année 2021, nous allons quantifier les quantités de CLO, de TMX, de glyphosate et de l'AMPA à deux profondeurs dans le sol des champs agricoles sous différents types d'utilisation et de couvertures de sol, soit à 0-2 cm et à 10-12 cm.

Pour l'extraction et l'analyse de la CLO et du TMX, les méthodologies décrites par Valverde et al. (2017)¹ et Li et al. (2018)² seront suivies. La procédure d'extraction et

¹ Valverde, S., A.M. Ares, J.L. Bernal, M.J. Nozal et J. Bernal (2017). "Simultaneous Determination of Thiamethoxam, Clothianidin, and Metazachlor Residues in Soil by Ultrahigh Performance Liquid Chromatography Coupled to Quadrupole Time-of-Flight Mass Spectrometry", *Journal of separation science*, 40 (5), p. 1083-1090.

² Li, Y., P. Su, Y. Li, K. Wen, G. Bi, M. Cox (2018). "Adsorption-Desorption and Degradation of Insecticides Clothianidin and Thiamethoxam in Agricultural Soils", *Chemosphere*, 207, p. 708-714.

d'analyse décrite par Marek et Koskinen (2013)³ sera suivie à PrasherLab pour l'analyse du glyphosate et de l'AMPA dans les échantillons de sol. Les échantillons extraits seront analysés à BayenLab à l'aide de la technologie chromatographie liquide couplée à la spectrométrie de masse à temps de vol quadripolaire LC-MS/QTOF à ultra haute performance.

Liste des variables mesurées
Concentration de l'insecticide clothianidine
Concentration de l'insecticide thiametoxame
Concentration de l'herbicide glyphosate
Concentration du résidu l'acide aminométhylphosphonique

Livrable :

Au terme du projet, l'analyse des données recueillies permettra de faire la lumière sur le comportement et sur le transport des néonicotinoïdes, en particulier la CLO, le TMX et l'herbicide le plus utilisé au Québec, le glyphosate, et son métabolite le plus courant, l'AMPA, dans les champs agricoles soumis à diverses pratiques de gestion des terres.

³ Marek, L.J. et W.C. Koskinen, (2014). "Simplified Analysis of Glyphosate and Aminomethylphosphonic Acid in Water, Vegetation and Soil by Liquid Chromatography–Tandem Mass Spectrometry", *Pest Management Science*, 70 (7), p. 1158-1164.

ÉVALUATION DE L'EFFET DES PESTICIDES SUR LES PREMIERS STADES DE VIE DES POISSONS EN RELATION AUX PRATIQUES AGRICOLES DANS LA ZONE LITTORALE DU LAC SAINT-PIERRE

JESSICA HEAD (UNIVERSITÉ MCGILL)

Thème :

Écotoxicologie

Principaux collaborateurs :

Shiv Prasher (U. McGill), Denis Roy (U. McGill), Andrea Bertolo (UQTR) et Gilbert Cabana (UQTR)

Contexte :

Les poissons sont de plus en plus utilisés comme bioindicateurs de la qualité de l'environnement et dans les tests de toxicité standardisés. Ils sont sensibles à de nombreux contaminants environnementaux, notamment aux pesticides, en particulier aux stades précoces de vie (SPV). Nos travaux précédents sur le chevalier cuivré (*Moxostoma hubbsi*), une espèce en voie de disparition dans la rivière Richelieu, nous indiquent que les pesticides tels que l'atrazine, le glyphosate, et les néonicotinoïdes, qui sont présents dans l'environnement, peuvent être associés à l'éclosion précoce et à la mortalité des SPV de cette espèce. Dans le projet décrit ci-dessous, nous nous demandons si les niveaux actuels des pesticides dans la plaine inondable du lac Saint-Pierre (LSP) peuvent avoir des effets nocifs pour les SPV des poissons.

Objectifs :

Ce projet vise à évaluer les effets de la qualité de l'environnement sur les poissons aux SPV dans la plaine inondable du LSP. Nous ciblerons les effets des pesticides (herbicides et insecticides) présents dans l'eau et dans le sol de la plaine inondable sur une espèce modèle, le poisson-zèbre (*Danio rerio*), et sur une espèce indigène, la perchaude (*Perca flavescens*).

Les deux principaux objectifs sont les suivants :

- 1) Déterminer les effets de l'eau conditionnée par les sédiments de la plaine inondable du LSP sur le développement et la survie aux SPV du poisson-zèbre.
- 2) Déterminer l'impact de la qualité d'eau de la zone littorale du LSP sur les SPV de la perchaude au niveau de l'individu et au niveau moléculaire (l'expression globale des gènes).

Méthodologie :

Compte tenu des faibles concentrations de pesticides trouvées dans l'eau et dans les sédiments du lac Saint-Pierre, le premier objectif a été réalisé en 2020 et est considéré comme déjà atteint. Pour commencer à répondre au deuxième objectif, nous avons récolté des larves de perchaude et de l'eau sur huit sites alternatifs autour du LSP en mai et en juin 2020. Les sites du Pôle n'ont pas pu être échantillonnés à cause d'une décrue rapide en 2020. Les huit sites comprenaient des sites de référence et des sites impactés par

l'agriculture. Des analyses moléculaires sur les larves et l'analyse chimique des échantillons d'eau seront faites pendant l'hiver 2020-2021.

Au printemps 2021, nous prévoyons récolter des larves de perchaude de tous les sites (aménagements agricoles et sites naturels) du Pôle dans trois des quatre blocs (avec l'équipe de G. Cabana). Les données obtenues seront analysées dans le contexte des pratiques agricoles de chaque site, puis comparées aux résultats de 2020 (sites impactés et de références autour du lac). Nous allons également récolter des échantillons d'eau sur chaque site pour analyser les concentrations de pesticides.

La méthodologie pour le séquençage d'ARN (RNAseq) suivra des méthodes déjà établies dans mon laboratoire. Le RNAseq permet de comparer l'activation et la régulation des gènes dans différents groupes en réponse aux circonstances stressantes, par exemple, l'exposition aux produits toxiques. L'analyse chimique des pesticides dans les échantillons d'eau sera faite avec la collaboration de Stéphane Bayen (Université McGill), selon des méthodes déjà établies.

Liste des variables mesurées

Étude en laboratoire (objectif 1) : Exposition des poissons-zèbres à de l'eau conditionnée par les sédiments prélevés dans les champs agricoles en grandes parcelles.

- Éclosion, survie, malformations

Études de terrain (objectif 2) : Prélèvements des larves de perchaudes du LSP.

- Lieu d'échantillonnage et concentrations de pesticides dans l'eau
- Taux de malformations
- Expression génique globale (transcriptomique)

Livrables :

Les travaux proposés nous permettront de relier les concentrations de pesticides dans les sédiments de la plaine inondable à des mesures de toxicité chez les SPV des poissons. Les profils d'expression génique indiqueront les effets sub-létaux associés aux SPV des poissons. Par ailleurs, l'analyse détaillée des pesticides dans l'eau libre et dans les sédiments de la plaine inondable réalisée par l'équipe de S. Prasher fournira de l'information sur les sous-produits chimiques dans la colonne d'eau, qui sont biodisponibles et bioactifs pour les poissons. De plus, nous tenterons d'identifier les principales voies biochimiques qui sont perturbées chez les poissons exposés à différents traitements en analysant l'expression génique. Nous souhaitons produire deux publications scientifiques à partir de ces travaux, une sur le poisson-zèbre (objectif 1) et l'autre sur la perchaude (objectif 2).

EFFETS DE PRATIQUES AGRICOLES SUR LES BANQUES D'ŒUFS D'INVERTÉBRÉS ET DE GRAINES DE PLANTES AQUATIQUES : UNE APPROCHE EXPÉRIMENTALE POUR QUANTIFIER LA RÉSILIENCE DES COMMUNAUTÉS DE LA ZONE LITTORALE DU LAC SAINT-PIERRE

ANDREA BERTOLO (UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À TROIS-RIVIÈRES)

Thème :

Écotoxicologie

Principaux collaborateurs :

Vincent Fugère (UQTR), Gilbert Cabana (UQTR), Jessica Head, (U. McGill), Denis Roy (U. McGill), Vincent Maire (UQTR) et François Guillemette (UQTR)

Contexte :

La recherche proposée vise à évaluer la résilience potentielle des communautés d'invertébrés et de plantes aquatiques dans la plaine d'inondation en fonction du gradient d'utilisation des terres. L'approche expérimentale vise à mesurer la biodiversité et le taux d'éclosion ou de germination des communautés de différents taxons d'invertébrés benthiques et de plantes aquatiques qui se trouvent dans les sols après le retrait des eaux. Une série d'expériences dans le laboratoire humide de l'UQTR est planifiée afin d'évaluer le potentiel d'éclosion à partir d'échantillons de sols prélevés sur le terrain. Des analyses sur l'ADN environnemental spécifiques aux organismes zooplanctoniques appuieront ces approches expérimentales.

Objectifs :

- Établir la structure ainsi que la diversité fonctionnelle de la communauté zooplanctonique potentielle pour chacun des traitements;
- Effectuer une analyse de la diversité du zooplancton en utilisant l'ADN environnemental (eDNA).

Méthodologie :

Pour l'année 2021, nous comptons mettre en place une deuxième expérience d'éclosion d'œufs de résistance du zooplancton (février-mars 2021) avec les échantillons prélevés en 2020. Étant donné le grand nombre d'échantillons issus de la première expérience qui devront être analysés et le plus grand nombre d'échantillons de sols prélevés en 2020 comparativement à 2019 (pour chaque site du dispositif à grande échelle, nous avons échantillonné à deux hauteurs différentes, comparativement à 2019, où une seule hauteur avait été analysée), nous allons nous concentrer sur les éclosions cumulatives, plutôt que de suivre la phénologie de façon journalière.

Afin d'atteindre cet objectif, nous utiliserons les approches suivantes : 1) suivi des éclosions cumulatives à partir des œufs de dureté par incubation des sols en milieu contrôlé sur des périodes allant de une à quatre semaines; 2) analyses taxonomiques : cette partie sera la plus longue, car elle nécessitera des analyses au microscope binoculaire d'un grand nombre d'échantillons. 3) À la fin des expériences d'éclosion, nous garderons les sols

incubés dans l'eau pour comparer le potentiel de germination de plantes vasculaires aquatiques alors que, en parallèle, 4) d'autres échantillons de sols provenant du même dispositif seront incubés dans une chambre de croissance pendant trois à six mois afin de vérifier le potentiel de germination de plantes terrestres (nous attendons que la chambre de croissance soit réparée pour pouvoir entamer cette dernière étape de l'expérimentation). Pour les échantillons de l'année 2020, nous allons pousser le niveau de détermination taxonomique des échantillons en visant une classification au genre pour les Copépodes, les Rotifères et les Cladocères. Analyses statistiques : des approches univariées (p. ex. : modèles linéaires mixtes généralisés pour analyser l'abondance et la diversité taxonomique au cours du temps) et multivariées (p. ex. : analyse des redondances pour la structure des communautés) seront utilisés.

Des mesures d'ADN serviront à compléter les analyses taxonomiques effectuées en 2019 et en 2020. Dans le cadre de ce projet, nous analyserons seulement la partie relative aux sondes pour le zooplancton. Les détails méthodologiques sont donnés dans le projet intitulé « Utiliser l'ADN environnemental pour évaluer l'impact des pratiques agricoles sur la biodiversité de la zone littorale du lac Saint-Pierre », présenté par V. Fugère. Les résultats des analyses d'eADN seront mis en relation avec les résultats des expériences d'éclosion.

Liste des variables mesurées
Phénologie du zooplancton issu des banques d'œufs
Abondance relative des différents taxons de zooplancton issus des banques d'œufs
Diversité fonctionnelle des communautés zooplanctoniques issues des banques d'œufs
Nombre de plantules par taxon (et l'espèce si possible)

Livrables :

Deux articles scientifiques concernant les expériences d'éclosion (indicateurs de résilience) et un article scientifique sur la diversité des communautés de zooplancton à partir des données d'eADN.

INFLUENCE DE L'UTILISATION DES TERRES SUR LA SÉQUESTRATION DU CARBONE DU SOL DANS UN CONTEXTE D'INONDATION

VINCENT MAIRE (UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À TROIS-RIVIÈRES)

Thème :

Cycle du carbone

Principaux collaborateurs :

Jim Félix-Faure (UQTR), Steve Tessier (B. Sc. UQTR), Roxanne St-Pierre (B. Sc. UQTR), Roxanne Giguère-Tremblay (Ph. D. UQTR), François Guillemette (UQTR), Gilbert Cabana (UQTR), Christine Martineau (Environnement Canada)

Contexte :

À l'échelle globale, les zones inondables sont parmi les terres possédant la plus grande capacité de séquestration de carbone, notamment de dioxyde de carbone (CO₂) et de méthane (CH₄) atmosphérique¹²³⁴, deux gaz contribuant fortement au réchauffement climatique. Cela résulte d'un bilan positif entre l'acquisition de ces gaz par la productivité primaire, issue de la photosynthèse et de la méthanotrophie, et leur émission, issue de la minéralisation de la matière organique et de la méthanogenèse. Wanyama et al. (2019)⁵ ont récemment montré que les émissions de ces deux gaz sont fortement influencées par l'usage des terres (forêt, prairie, champ agricole) et qu'elles peuvent résulter du changement du type de litière apportée au sol, de la structure de la communauté microbienne, ou encore de la physicochimie de l'environnement édaphique. Concernant la productivité primaire, les zones inondables se caractérisent notamment par la capacité de recycler ces gaz à effet de serre par un effet canopée lors de la photosynthèse⁶ ou par la méthanotrophie soutenant la base du réseau trophique, jusqu'à nourrir la perchaude au printemps⁷. Dans le contexte de la plaine d'inondation du lac Saint-Pierre, nous cherchons à connaître les déterminants des flux de CO₂ (rétroaction climatique), de CH₄ (réseau trophique) et le bilan carbone de l'écosystème selon l'usage des terres dans la zone d'inondation de récurrence 0-2 ans.

Objectifs :

- 1) Déterminer l'influence de l'usage des terres sur les flux de CO₂ et de CH₄;

1 Mitsch, W.J., B. Bernal, A.M. Nahlik et al. (2013). "Wetlands, Carbon, and Climate Change", *Landscape Ecology*, 28, p. 583-597.

2 Mitsch, W.J. et J.G. Gosselink (2015). "Wetlands", 5th ed., Hoboken, N.J., John Wiley & Sons, Inc., 744 pages.

3 Tana, Z., S. Liub, T.L. Wua, Y. Sohl et C.J. Young (2014). "Ecosystem Carbon Stocks and Sequestration Potential of Federal Lands Across the Conterminous United States", *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112 (41), p. 12723-12728.

4 Mitsch W.J. et Ü. Mander (2018). "Wetlands and Carbon Revisited", *Ecological Engineering*, 114, p. 1-6.

5 Wanyama I., D.E. Pelster, K. Butterbach-Bahl, L.V. Verchot, C. Martius et M.C. Rufino (2019). "Soil Carbon Dioxide and Methane Fluxes from Forests and Other Land Use Types in an African Tropical Montane Region", *Biogeochemistry*, 143, p. 171-190.

6 Van der Merwe, N.J. et E. Medina (1991). "The Canopy Effect, Carbon Isotope Ratios and Foodwebs in Amazonia", *Journal of Archaeological Science*, 18, p. 24-259.

7 Farly L., C. Hudon, A. Cattaneo et G. Cabana (2019). "Seasonality of a Floodplain Subsidy to the Fish Community of a Large Temperate River", *Ecosystems*, 22, p. 1823-1837.

- 2) Déterminer l'influence de l'usage des terres sur les stocks de C du sol;
- 3) Déterminer un bilan annuel de carbone selon l'usage des terres.

Méthodologie :

Dans l'exercice 2021-2022, notre équipe planifie :

- D'analyser les variables biogéochimiques restantes des carottes de sol (analyse carbone et azote et isotopie du carbone, de l'azote, du césium et du plomb) récoltées à l'automne 2019;
- D'analyser le nitrate et l'ammonium des sols ramassés à la surface lors des campagnes de mesures de flux pour expliquer les flux de CH₄, mais aussi estimer des flux de N₂O;
- De procéder à de nouvelles campagnes de mesure des flux de CO₂ et CH₄;
- De quantifier l'abondance des méthanotrophes et méthanogènes dans les sols ramassés à la surface lors des campagnes de mesures de flux avec la collaboration au projet de F. Guillemette;
- De quantifier la dynamique annuelle de température et d'humidité des sols;
- D'estimer la productivité primaire des différents usages des terres pour obtenir le bilan carbone des systèmes;
- D'estimer la sédimentation et l'érosion des sols avec la collaboration au projet de S. Campeau et d'A. Roy.

Liste des variables mesurées
Variables biogéochimiques du sol
Nitrate et ammonium du sol
Flux de CO ₂ et CH ₄ du sol
Dynamique de l'humidité et de la température du sol
Production primaire du sol

Livrables :

Dans le contexte de la zone d'inondation de récurrence 0-2 ans du lac Saint-Pierre, réserve de biosphère de l'UNESCO, le projet répondra à la question suivante : Quel est l'effet de l'utilisation des terres sur la séquestration du carbone dans le sol et sur la production de gaz à effet de serre vers l'atmosphère? Il mènera également à la formation de deux étudiants de premier cycle, d'un étudiant au doctorat et à la publication d'articles scientifiques.

RÉPONSE FONCTIONNELLE DE LA BIODIVERSITÉ ANIMALE SUR UN GRADIENT D'UTILISATION DES TERRES

RAPHAËL PROULX (UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À TROIS-RIVIÈRES) ET VALÉRIE FOURNIER (UNIVERSITÉ LAVAL)

Thème :

Biodiversité faunique terrestre

Principaux collaborateurs :

Sabrina Courant (MELCC), Chantale Langevin (MELCC), Anouk Simard (MFFP), Caroline Dubé (MFFP), Chris Watson (UQTR) et Irene Roca (Helmholtz Institute for Functional Marine Biodiversity)

Contexte :

Les oiseaux et les insectes contribuent au fonctionnement des écosystèmes et au maintien de la biodiversité faunique. La plaine inondable du lac Saint-Pierre (LSP) est reconnue en tant qu'aire migratoire et de nidification d'importance mondiale pour les oiseaux. Ces derniers y occupent une large gamme d'habitats (forestier, prairial, aquatique) et de niches alimentaires, ce qui fait d'eux des sentinelles du territoire. Chez les insectes, les Ensifera (orthoptères chanteurs), les Apoidea (abeilles) et les Syrphoidea (syrphes) sont trois groupes d'organismes cosmopolites, abondants et diversifiés. Les données récoltées en 2019 et 2020 pour ces groupes fonctionnels sont complètes et de qualité.

Objectifs :

Terminer l'analyse des données de 2019 et de 2020 dans les grandes et dans les petites parcelles du Pôle (cf. : rapport annuel 2020-2021).

Proposer des indicateurs acoustiques des oiseaux nicheurs et orthoptères chanteurs pour assurer un suivi de l'intégrité écologique de la plaine inondable du LSP.

Méthodologie :

Le gouvernement du Québec déploie un Programme de suivi de la biodiversité dans un contexte de changements climatiques. Ce programme s'appuie notamment sur l'écoute des organismes chanteurs dans des milieux humides et forestiers de référence, et ce, à la grandeur du Québec. L'équipe de R. Proulx a participé à l'élaboration des protocoles d'analyse des enregistrements audio numériques pour les oiseaux nicheurs et les orthoptères chanteurs. Ces analyses calculent des indices de diversité acoustique et de dominance biophonique dans les enregistrements.

Les inventaires acoustiques seront réalisés dans les grandes parcelles du Pôle et dans les quatre secteurs prioritaires de la plaine inondable du LSP. Au sein de chaque grande parcelle agricole, ou milieu naturel, 300 enregistrements audio numériques (microphone AudioMoth) de trois minutes seront pris sur une période de 30 jours, à chaque demi-heure, entre 5 h et 9 h 30 pour les oiseaux nicheurs. Selon la même approche, 240 enregistrements seront pris sur une période de 20 jours, à chaque demi-heure, entre 20 h et 1 h 30 pour les

orthoptères chanteurs. Les périodes d'échantillonnage visées sont juin 2021 pour les oiseaux nicheurs et fin septembre 2021 pour les insectes chanteurs.

Les indices de diversité acoustique et de dominance biophonique seront calibrés avec les données de composition en espèces de 2019 et 2020. Enfin, la réponse fonctionnelle de ces indices sera évaluée le long du gradient d'utilisation des terres.

Liste des variables mesurées
Indices de diversité acoustique (oiseaux et orthoptères)
Indices biophoniques (oiseaux et orthoptères)
Variables pivots
Recouvrement de la végétation
Hauteur de la végétation

Livrables :

- Recensement des espèces d'oiseaux nicheurs, d'insectes pollinisateurs et d'orthoptères chanteurs à statut de conservation (invasives, en déclin, rares) recensées dans les grandes parcelles et dans les milieux naturels du Pôle;
- Réponse fonctionnelle des indices de diversité acoustique et de dominance biophonique le long du gradient d'utilisation des terres en grandes parcelles.

UTILISER L'ADN ENVIRONNEMENTAL POUR ÉVALUER L'IMPACT DES PRATIQUES AGRICOLES SUR LA BIODIVERSITÉ DE LA ZONE LITTORALE DU LAC SAINT-PIERRE

VINCENT FUGÈRE (UQTR)

Thème :

ADN environnemental, biodiversité faunique

Principaux collaborateurs :

Vincent Maire (UQTR), François Guillemette (UQTR), Andrea Bertolo (UQTR), Marco Rodríguez (UQTR), Gilbert Cabana (UQTR) et Christine Martineau (Ressources Naturelles Canada)

Contexte

L'ADN environnemental (ADNe) est un ADN extrait de n'importe quel type d'échantillon environnemental (sol, eau, air, etc.) sans isolement des organismes au préalable¹². Combiné aux outils génétiques et bio-informatiques modernes, l'ADNe offre un moyen non invasif d'identifier les espèces et les communautés associées à l'environnement à partir duquel l'ADN a été extrait³. Récemment, l'ADNe est devenu un outil fiable pour effectuer un suivi de la biodiversité dite « multitrophique », soit la biodiversité de plusieurs groupes d'organismes composant une chaîne trophique allant des micro-organismes jusqu'aux animaux⁴⁵. Dans le contexte agricole des zones inondables du lac Saint-Pierre (LSP), l'ADNe des sols fournit un outil idéal pour déterminer l'impact de l'utilisation du territoire sur la biodiversité des sols (p. ex. les micro-organismes qui régulent les flux de carbone et de nutriments) et de l'écosystème aquatique lors de la crue printanière. Les sols, par leur structure et par leur texture, offrent un milieu favorable à la préservation de l'ADN, ce qui permet une caractérisation de la biodiversité terrestre et aquatique d'une zone inondable à partir d'un même échantillon. Un indice « moléculaire » de la biodiversité de la plaine d'inondation du LSP permettrait ainsi un suivi spatiotemporel détaillé de l'impact des pratiques agricoles dans la région.

Objectifs :

En utilisant la technique de l'ADNe, nous proposons :

¹ Taberlet, P., E. Coissac, F. Pompanon, C. Brochmann et E. Willerslev (2012). "Towards Next-Generation Biodiversity Assessment Using DNA Metabarcoding", *Mol. Ecol.*, 21, p. 2045-2050.

² Deiner, K., H.M. Bik, E. Mächler, M. Seymour, A. Lacoursière-Roussel, F. Altermatt et al. (2017). "Environmental DNA Metabarcoding: Transforming How we Survey Animal and Plant Communities", *Molecular Ecology*, 26, p. 5872-5895.

³ Creer, S., K. Deiner, S. Frey, D. Porazinska, P. Taberlet, W.K. Thomas et al. (2016). "The ecologist's Field Guide to Sequence-Based Identification of Biodiversity", *Methods in Ecology and Evolution*, 7, p. 1008-1018.

⁴ Stat, M., M.J. Huggett, R. Bernasconi, J.D. DiBattista, T.E. Berry, S.J. Newman et al. (2017). "Ecosystem Biomonitoring With eDNA: Metabarcoding Across the Tree of Life in a Tropical Marine Environment", *Scientific Reports*, 7, article n° 12240.

⁵ Adamowicz, S.J., J.S. Boatwright, F. Chain, B.L. Fisher, I.D. Hogg, F. Leese et al. (2019). "Trends in DNA Barcoding and Metabarcoding", *Genome*, 62, p. v-viii.

- 1) De comparer, pour la biodiversité faunique, les mesures de diversité obtenues par le biais de méthodes traditionnelles (pêche, microscopie) à celles issues de l'ADNe. Cette comparaison nous permettra de calibrer et d'optimiser nos marqueurs génétiques pour les invertébrés et pour les poissons. Pour les micro-organismes, une telle calibration n'est pas nécessaire puisque le séquençage de l'ADN constitue la seule méthode adéquate pour caractériser la structure des communautés.
- 2) D'étudier comment le gradient d'utilisation du territoire dans les grandes parcelles modifie la biodiversité du sol (micro-organismes) et de la plaine inondable (micro-organismes, zooplancton, invertébrés benthiques et poissons). Nous suggérons que les pratiques agricoles auront un impact sur la biodiversité des deux milieux.
- 3) D'établir des liens entre cette biodiversité et certaines fonctions écosystémiques ou certains services écologiques de la plaine d'inondation du LSP, p. ex. l'émission de dioxyde de carbone (CO₂) et de méthane (CH₄), la productivité primaire et secondaire et la biomasse d'espèces de poissons d'intérêt pour la conservation et pour la pêche.

Méthodologie :

L'ADNe des sols et de l'eau sera analysé sur un gradient d'utilisation des terres dans les quatre secteurs prioritaires. Chaque secteur comprend six traitements d'utilisation du sol et de pratiques agricoles (grandes parcelles du projet d'Anne Vanasse) et deux milieux naturels (milieu forestier et prairie humide). Le projet se concentre donc sur un total de 32 sites d'échantillonnage sur le dispositif à grande échelle. Les sites ont été choisis en tenant compte des projets des autres chercheurs du Pôle pour récolter l'ADNe aux mêmes sites où plusieurs autres variables ont été mesurées. À chaque site, un échantillon d'eau sera récolté lors de la crue printanière, puis des échantillons de sol seront prélevés à plusieurs reprises pendant l'été. Les échantillons de sol représentent un composite de trois carottes d'environ 60 cm de profondeur et de 5 cm de diamètre. Les zones oxydantes et réductrices du sol des trois carottes sont rassemblées puis tamisées avec une maille de 6 cm. Cet échantillon composite permet de tenir compte de l'hétérogénéité du milieu. Les échantillons de sol et d'eau seront ensuite congelés à -80 °C en attendant l'extraction d'ADNe. Toutes les précautions de stérilité seront prises sur le terrain et en laboratoire pour éviter la contamination des échantillons.

Le traitement des échantillons se fait dans le laboratoire de C. Martineau au Centre de foresterie des Laurentides (CFL) de Ressources Naturelles Canada, en suivant les méthodes standardisées du projet national de métagénomique « Ecobiomics »⁶. Des trousseaux *Qiagen DNeasy PowerSoil Pro Kit* sont utilisées pour extraire l'ADN. L'ADN récolté subit ensuite des amplifications par PCR (réactions en chaîne par polymérase), en utilisant diverses amorces à large spectre ciblant quatre marqueurs génétiques optimisés pour la détection d'organismes distincts. Ces marqueurs comprennent le gène 16S pour les bactéries et les archées, le gène 18S pour les protistes, le gène ITS2 pour les champignons et le gène COI

⁶ Edge, T.A., D.J. Baird, G. Bilodeau, N. Gagné, C. Greer, D. Konkin et al. (2020). "The Ecobiomics Project: Advancing Metagenomics Assessment of Soil Health and Freshwater Quality in Canada", *Science of The Total Environment*, 710, article n° 135906.

pour les animaux. Les produits PCR indexés sont séquencés sur une plateforme Illumina MiSeq dans un laboratoire du Conseil national de recherches à Saskatoon. Les séquences sont ensuite traitées avec des outils bio-informatiques standards, p. ex. la librairie DADA2 du logiciel d'analyse R⁷. Les séquences (codes-barres) traitées serviront à obtenir l'abondance de chaque ASV (*Amplicon Sequence Variant*, soit des séquences génétiques uniques équivalentes à des espèces distinctes) pour chaque site. L'identité taxonomique des ASVs est établie grâce à des bibliothèques de séquences disponibles en ligne (p. ex. SILVA, PR2 et UNITE). Le produit final de ces analyses est une matrice de composition en espèces pour chaque échantillon, allant des micro-organismes jusqu'aux poissons. Des analyses statistiques (p. ex. des analyses de pistes) peuvent ensuite être utilisées pour déterminer l'impact des traitements d'utilisation du territoire sur la biodiversité et pour relier les changements de diversité au fonctionnement de l'écosystème. Les fonctions écosystémiques (p. ex. les flux de CO₂ et de CH₄) sont estimées par les autres projets du Pôle, incluant ceux de F. Guillemette, de V. Maire et de G. Cabana.

En 2021, nous ajouterons quelques mesures permettant de mieux valider notre indice de biodiversité obtenu par ADNe. Premièrement, nous ajouterons le marqueur génétique 12S, qui permet de mieux caractériser les communautés de poissons que le marqueur COI déjà inclus dans nos protocoles⁸. L'ajout d'un cinquième marqueur nous permettra d'englober une fraction importante du réseau trophique aquatique dans nos analyses et de calquer nos protocoles sur les avancées les plus récentes en écologie moléculaire. Nous validerons les données ADNe (12S) en les comparant avec les données de pêche expérimentale récoltées par M. Rodríguez sur les mêmes sites. L'ajout d'un marqueur exige d'envoyer seulement une petite quantité d'ADN (déjà extraite) à Génome Québec pour qu'il amplifie et qu'il séquence le 12S avec des protocoles standards, utilisés notamment par le MFFP pour son programme de suivi des espèces aquatiques envahissantes.

Ensuite, nous proposons de récolter des échantillons de zooplancton et de macroinvertébrés benthiques aux 32 sites d'intérêts lors de la crue printanière. Pour l'instant, aucun projet du Pôle n'inclut d'identification taxonomique (au genre ou à l'espèce) des invertébrés aquatiques lors de la crue printanière. Les échantillons seront prélevés en utilisant des protocoles standards (p. ex. le protocole du Réseau Benthos du MELCC), puis envoyés à des consultants (taxonomistes professionnels) pour identification. La firme IdentaZoop traiterait les échantillons de zooplancton et la firme EcoAnalysts ceux de macroinvertébrés; ces deux firmes traitent régulièrement des échantillons prélevés par les ministères provinciaux et fédéraux. Les données de composition à haute résolution taxonomique nous permettront de comparer les mesures obtenues par la technique de l'ADNe (marqueur COI) et par microscopie, et ainsi de valider notre identification moléculaire comme nous le faisons avec les données de pêche pour les poissons et le marqueur 12S. Les données de microscopie serviraient aussi aux projets d'A. Bertolo et de G. Cabana.

⁷ Callahan, B.J., P.J. McMurdie, M.J. Rosen, A.W. Han, A.J.A. Johnson et S.P. Holmes (2016). "DADA2: High-Resolution Sample Inference from Illumina Amplicon Data", *Nature Methods*, 13, p. 581-583.

⁸ Sato, Y., M. Miya, T. Fukunaga, T. Sado et W. Iwasaki (2018). "MitoFish and MiFish Pipeline: A Mitochondrial Genome Database of Fish with an Analysis Pipeline for Environmental DNA Metabarcoding", *Mol. Biol. Evol.*, 35, p. 1553-1555.

Liste des variables mesurées
Structure et composition en espèces des bactéries et archées (ADNe)
Structure et composition en espèces des champignons (ADNe)
Structure et composition en espèces des protistes (ADNe)
Structure et composition en espèces des invertébrés aquatiques (zooplancton et macroinvertébrés benthiques : ADNe et microscopie)
Structure et composition en espèces des poissons (ADNe)

Livrables :

- Inventaires des espèces de micro-organismes, d'invertébrés et de poissons recensées dans les grandes parcelles et dans les milieux naturels;
- Réponse de la biodiversité multitrophique le long du gradient d'utilisation des terres;
- Liens entre biodiversité et fonctions écosystémiques;
- Un indice moléculaire (calibré) de la biodiversité multitrophique de la plaine d'inondation, un outil rapide et non-invasif pour évaluer les tendances de la biodiversité dans le littoral du LSP.

3.3 LES PROJETS DE L'AXE SOCIOÉCONOMIE

Les projets de cet axe visent à mieux comprendre les défis et impacts sociaux et économiques de l'implantation des cultures et pratiques agricoles testées par le Pôle à différentes échelles sociales. Pour ce faire, ils s'arrêtent,

(1) À l'échelle du producteur et des entreprises agricoles, aux coûts d'implantation des cultures et pratiques testées par le Pôle, à l'impact de leur implantation sur la situation financière des entreprises, aux défis sociotechniques de leur implantation et à leur taux d'adoption potentiel par les producteurs;

(2) À l'échelle du littoral et de ses acteurs, aux coûts et bénéfices monétaires, privés et collectifs de scénarios de changement d'occupation des sols dans la zone littorale, aux défis et leviers des conseillers agricoles pour stimuler des changements chez les producteurs, de même qu'aux enjeux sociopolitiques de la gestion collective du littoral;

(3) À l'échelle des politiques et programmes environnementaux, à la valeur des biens et services écologiques liés au littoral du lac Saint-Pierre et au design des programmes incitatifs gouvernementaux qui visent à stimuler des changements de pratiques agricoles.

Tableau 10. Liste des projets de recherche de l'axe socioéconomie

Chercheur principal	Titre du projet
Lota D. Tamini U. Laval	Analyse de l'impact économique, technique et environnemental des pratiques de gestion bénéfiques au lac Saint-Pierre
Julie Ruiz UQTR	Agriculteurs et conseillers face aux changements des pratiques agricoles, quels potentiels au lac Saint-Pierre?
Patrick Mundler U. Laval	Analyse économique de différents scénarios d'occupation des sols de la zone inondable 0-2 ans
Maurice Doyon U. Laval	Impact du design des politiques et de la structure de l'information présentée sur l'acceptabilité de nouvelles pratiques agronomiques par les agriculteurs de la zone littorale du lac Saint-Pierre
Nathalie Lewis UQAR	Réussir à travailler ensemble pour la réhabilitation de grands écosystèmes : les situations initiales comptent-elles?

ANALYSE DE L'IMPACT ÉCONOMIQUE, TECHNIQUE ET ENVIRONNEMENTAL DES PRATIQUES DE GESTION BÉNÉFIQUES AU LAC SAINT-PIERRE

LOTA D. TAMINI (UNIVERSITÉ LAVAL)

Thème :

Économie de la production et évaluation de biens environnementaux

Principaux collaborateurs :

Maurice Doyon (U. Laval) et Miriam E. K. Tchana (U. Laval)

Contexte :

Selon la classification du Millenium Ecosystem Assessment¹ les biens et services écosystémiques (BSE) produits par le lac Saint-Pierre (LSP) peuvent se classer en services d'approvisionnement, de support, de régulation et culturels²³⁴⁵. Nous formulons l'hypothèse selon laquelle les populations au Québec accordent une valeur aux BSE produits par le LSP, cette valeur variant selon les caractéristiques propres des individus. Cette valeur pourra être comparée aux impacts mesurés, au niveau des entreprises agricoles, de l'adoption de pratiques de gestion bénéfiques (PGB). En effet, l'adoption de ces pratiques, et, partant, la production de BSE, a des coûts et des bénéfices pour les entreprises agricoles. Il est donc important de pouvoir déterminer l'effet net de cette production⁶.

Objectifs :

- Finaliser les analyses technicoéconomiques des pratiques améliorées (objectif 1);
- Évaluer la valeur des biens et services écosystémiques du LSP et analyser les facteurs pouvant expliquer l'hétérogénéité de la valeur accordée par les individus aux BSE du LSP (objectif 2);

¹ Disponible au <https://www.millenniumassessment.org/en/index.html>.

² Dulude, A.M. (2017). « La chasse et la pêche au lac Saint-Pierre », disponible au http://belsp.uqtr.ca/id/eprint/1384/1/Dulude_chasse_%20p%C3%A0che_portrait_2017_A%20.pdf.

³ Simoneau, M. (2017). *Qualité de l'eau des tributaires du lac Saint-Pierre : évolution temporelle 1979-2014 et portrait récent 2012-2014*, Québec, ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, Direction générale du suivi de l'état de l'environnement, ISBN978-2-550-76229-4 (PDF), 54 p. + 13 ann. Disponible au <http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/eau/lac-st-pierre/qualite-eau-tributaires.pdf>.

⁴ He, J., T. Poder, J. Dupras et H. Enomana (2016). *La valeur économique de la pêche blanche et des services écosystémiques au lac Saint-Pierre : analyse coûts-avantages des stratégies d'adaptation aux changements climatiques*, Montréal, Université de Sherbrooke et Ouranos, 2017, [2016], 162 pages. Disponible au <http://belsp.uqtr.ca/id/eprint/686/>.

⁵ [Sans auteur] (2013). *Le lac Saint-Pierre : un joyau à restaurer*. Québec, ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs [MDDEFP], 28 pages. Disponible au <http://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/lac-st-pierre/doc-synthese.pdf>.

⁶ Belzile, L., A. Patry, A. Charles et A. Vanasse (2018). *Évaluation de la rentabilité des cultures de couverture à l'échelle de l'entreprise agricole*, rapport de recherche présenté au ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec, [s. l.], IRDA, 13 pages.

- Comparer la valeur accordée aux BSE du LSP aux coûts (privés et publics) de l'amélioration de la qualité de l'eau du LSP (objectif 3).

Méthodologie :

Des chiffriers Excel (budgets d'entreprises-types) permettant de faire une analyse technicoéconomique des effets de l'adoption des pratiques agroenvironnementales ont été construits au cours des deux premières années du projet. Les références économiques du Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec (CRAAQ) ont servi de base à la construction de ces budgets-types d'exploitations agricoles. Dans le cadre de la présente programmation de recherche, les données (nouvelles) collectées par l'axe agronomie et des discussions avec les différents chercheurs du Pôle seront utilisées pour affiner ces utilitaires et finaliser les analyses technicoéconomiques (objectif 1).

Une enquête sera réalisée auprès de la population du Québec pour une évaluation des bénéfices des BSE du LSP et des facteurs qui influencent leur valeur (objectif 2). Nous utiliserons la méthode des choix expérimentaux (Larue et al., 2017⁷; Birol, 2006⁸) tout en nous assurant de contrôler le biais hypothétique pouvant être présent dans ce type d'étude (Atozou et al., 2020⁹). Les données issues des travaux de l'axe environnement et faune seront utilisées pour construire les scénarios d'amélioration des BSE qui seront soumis à l'évaluation de la population québécoise. Les données de l'enquête seront analysées en utilisant des modèles statistiques et économétriques permettant une analyse des facteurs d'hétérogénéité de la valeur donnée au BSE du LSP (Martínez-Espiñeira, 2008¹⁰).

Finalement, une analyse coûts-bénéfices (Boardman et al., 2017¹¹; Trenholm et al., 2013¹²) permettra de comparer cette valeur aux coûts privés et publics de l'adoption de pratiques agroenvironnementales (objectif 3). Cette étape fera appel aux résultats des deux premières années de ce projet de recherche, ainsi qu'à ceux du projet intitulé *Analyse économique de différents scénarios d'occupation des sols de la zone inondable 0-2 ans* de P. Mundler.

Livrables :

Un rapport présentant :

- Une analyse technicoéconomique des pratiques agricoles améliorées proposées;

⁷ Larue, B., G.E. West, A. Singbo et L.D. Tamini (2017). "Risk Aversion and Willingness to Pay for Water Quality: The Case of Non-Farm Rural Residents", *Journal of Environmental Management*, 197, p. 296-304.

⁸ Birol, E., K. Karousakis, P. Koundouri (2006). "Using a Choice Experiment to Account for Preference Heterogeneity in Wetland Attributes: The Case of Cheimaditida Wetland in Greece", *Ecological Economics*, 60 (1), p. 145-156.

⁹ Atozou, B., L.D. Tamini, S. Bergeron et M. Doyon (2020). "Factors Explaining the Hypothetical Bias: How to Improve Models for Meta-analyses", *Journal of Agricultural and Resources Economics*, 45, p. 378-397.

¹⁰ Martínez-Espiñeira, R. (2006). "A Box-Cox Double-Hurdle Model of Wildlife Valuation: The Citizen's Perspective", *Ecological Economics*, 58 (1), p. 192-208.

¹¹ Boardman, A.E., D.H. Greenberg, A.R. Vining, D.L. Weimer (2017). *Cost-Benefit Analysis: Concepts and Practice*, Cambridge University Press, 520 pages.

¹² Trenholm, R., V. Lantz, R. Martínez-Espiñeira, S. Little (2013). "Cost-Benefit Analysis of Riparian Protection in an Eastern Canadian Watershed", *Journal of Environmental Management*, 116, p. 81-94.

- Une analyse détaillée de la valeur donnée par la population québécoise aux biens et services écosystémiques du LSP;
- Une analyse comparant les coûts de la fourniture des BSE du LSP à la valeur attribuée à ces BSE.

AGRICULTEURS ET CONSEILLERS FACE AUX CHANGEMENTS DES PRATIQUES AGRICOLES, QUELS POTENTIELS AU LAC SAINT-PIERRE?

JULIE RUIZ (UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À TROIS-RIVIÈRES)

Thème :

Les changements de pratiques agricoles dans le littoral du lac Saint-Pierre, analyse des défis sociotechniques

Principaux collaborateurs :

Aurélié Dumont (UQTR), Caroline Bérubé (UQAM), Mathieu Laflamme (UQTR) et Sidonie Habert (UQTR)

Contexte :

Pour un agriculteur, changer ses pratiques agricoles est un enjeu de taille. Selon les théories des changements de comportement¹, cela nécessite d'avoir conscience du problème et de croire aux solutions proposées (comme l'efficacité environnementale), d'avoir la capacité individuelle de changer (avoir confiance en soi, savoir gérer la prise de risque) et aussi d'avoir la capacité d'implanter de nouvelles pratiques (en ayant accès à la connaissance, à la machinerie, à la capacité financière). Plus encore, changer pour implanter des pratiques de gestion bénéfiques pour l'environnement pose de nombreux autres défis, par exemple aller à l'encontre de normes culturelles dominantes dans la communauté agricole et s'y afficher avec des pratiques différentes.

Pour être accompagnés dans ces changements de pratiques agricoles, les producteurs ont accès à diverses ressources, comme à des programmes d'aide financière ou à des conseils. Ces conseils peuvent provenir des voisins, des conseillers agricoles, de ressources disponibles en ligne, etc. Ils jouent un rôle important dans les changements de pratiques des producteurs². Pour autant, en ce qui concerne les changements de pratiques agricoles vers plus de durabilité environnementale, les conseillers agricoles ont fait l'objet de nettement moins de recherche que les producteurs.

Enfin, force est de constater que la plaine inondable du lac Saint-Pierre (LSP) constitue un contexte particulier. La récurrence des inondations et les incertitudes concernant leur ampleur future dans un contexte de changement climatique, leurs rôles et impacts sur l'agriculture par le passé, la présence d'ouvrages de protection sont autant de caractéristiques locales susceptibles d'influencer les pratiques agricoles actuelles et donc l'ampleur des changements vers des pratiques affichant une plus grande écoresponsabilité.

¹ Armitage, C.J. et M. Conner (2001). "Efficacy of the Theory of Planned Behaviour: A Meta-Analytic Review", *British Journal of Social Psychology*, 40, 4, p. 471-499; Wilson, R.S., D.A. Schlea, C.M.W. Boles et T.M. Redder (2018), "Using Models of Farmer Behavior to Inform Eutrophication Policy in the Great Lakes", *Water Research*, 139, p. 38-46.

² Cross, M. et J. Franks (2007). "Farmer's and Advisor's Attitudes Towards the Environmental Stewardship Scheme", *Journal of Farm Management*, 13, 1, p. 7-68.

Objectifs :

En s'intéressant aux pratiques agricoles proposées par le Pôle dans l'axe agriculture, ce projet vise à comprendre et à anticiper leurs potentiels d'adoption par les producteurs par une compréhension des défis sociotechniques de leur mise en place en entreprise. Pour cela, il se déploie autour d'un premier volet, (A), qui s'intéresse aux producteurs agricoles, et d'un second volet, (B), qui met l'accent sur les conseillers agricoles accompagnant les producteurs du LSP (agronomes et autres professionnels).

Les questions de recherche suivantes guident le volet A (sur les producteurs) :

- Comment les producteurs vivent-ils et s'adaptent-ils aux inondations dans un contexte de changement climatique?
- Quels éléments facilitateurs ou quelles barrières anticipent-ils au moment d'implanter les pratiques agricoles proposées par l'axe agriculture dans leur entreprise?
- Quel est le potentiel d'adoption de ces pratiques? À quels facteurs ce potentiel est-il lié et pour qui existe-t-il?

Les questions de recherche suivantes guident le volet B (sur les conseillers) :

- Quelles sont les pratiques actuelles des conseillers pour soutenir des pratiques agricoles durables chez les agriculteurs dans le contexte du LSP?
- Quels sont les facteurs qui influencent ces pratiques et comment interagissent-ils aux dires des conseillers?
- Qu'est-ce qui, dans l'avenir, pourrait aider les conseillers agricoles à stimuler des changements de pratiques agricoles dans le littoral?

Méthodologie :

Toutes les pratiques, cultures et aménagements agroenvironnementaux proposées par l'axe agriculture sont documentés dans notre recherche, selon les intérêts et préoccupations des participants.

Méthodologie du volet A :

- Recrutement des participants et entretiens;
- Analyse des résultats.

Méthodologie du volet B :

- Analyse des entretiens individuels avec les conseillers;
- Organisation d'ateliers d'échange avec les conseillers agricoles destinés à identifier des outils aidant pour accompagner des changements de pratiques dans le littoral.

Livrables :

- Analyse des facteurs facilitateurs et contraignants pour l'implantation des pratiques agricoles proposées aux producteurs par le Pôle et propositions de pistes d'actions;
- Portrait des facteurs facilitateurs et contraignants pour les conseillers agricoles qui accompagnent les producteurs vers des pratiques agricoles durables dans le littoral;
- Prototype d'outil(s) d'accompagnement des producteurs dans des changements de pratiques agricoles tels que définis par les conseillers.

- Revues de littérature sur les sujets suivants : 1) Exploration des enjeux de la gestion collective de l'écosystème du LSP : enjeux sociopolitiques d'acteurs; 2) Adoption des pratiques de gestion bénéfiques par les agriculteurs (cultures de couverture et bandes pérennes élargies); 3) Agriculteurs et vulnérabilité aux risques d'inondation; 4) conseillers agricoles et environnement.

ANALYSE ÉCONOMIQUE DE DIFFÉRENTS SCÉNARIOS D'OCCUPATION DES SOLS DE LA ZONE INONDABLE 0-2 ANS

PATRICK MUNDLER (UNIVERSITÉ LAVAL)

Thème : Coûts-bénéfices de scénarios d'occupation des sols

Principal collaborateur :

Noé Guiraud (U. Laval)

Contexte :

Cultiver la zone inondable 0-2 ans reste un défi chaque année pour les agriculteurs, qui doivent attendre le retrait de l'eau pour effectuer diverses opérations. Mais les agriculteurs ne sont pas les seuls acteurs concernés. Par exemple, les municipalités ont des dépenses d'entretien des fossés, la Financière agricole vient certaines années compléter le manque à gagner pour les agriculteurs, etc.

Dans ce contexte, notre projet vise à appréhender, à l'échelle de toute la zone inondable 0-2 ans, quels seraient les coûts et bénéfices globaux de divers scénarios d'occupation des sols du point de vue économique. Les scénarios qui sont étudiés sont issus à la fois de discussions avec les divers partenaires du Pôle et des travaux des autres axes du Pôle. Ils alimenteront les trois objectifs du Pôle : développer des pratiques agricoles adaptées au contexte du lac Saint-Pierre (LSP), évaluer la performance et les impacts de ces pratiques et proposer un mode de gestion durable.

Objectifs :

Notre objectif est d'évaluer les coûts et bénéfices, privés et publics, de différents scénarios d'occupation des sols à l'échelle de la zone littorale du LSP. Nous nous situons à une échelle « méso », c'est-à-dire territoriale.

Méthodologie :

Notre travail se réalise en trois étapes :

1. Collecter les données nécessaires à l'établissement des scénarios : définition précise du périmètre étudié; rendements moyens des cultures; prix de vente des produits; coûts d'exploitation; dépenses moyennes liées aux programmes de la Financière agricole; dépenses d'entretien des cours d'eau; valeur des terres; etc. Cette récolte de données s'est appuyée à la fois sur la documentation pertinente et sur des entretiens avec certains partenaires.
2. Établir le scénario « initial », c'est-à-dire la mesure des coûts et bénéfices économiques de la situation actuelle. Ce scénario a été confronté aux connaissances des différentes équipes du Pôle, ainsi qu'à celles de certains des partenaires, afin de l'ajuster au mieux.
3. Établir divers scénarios sur la base des connaissances produites par les autres axes du Pôle, ainsi que sur la base des attentes de certains partenaires.

À la fin du projet, nous prévoyons présenter les scénarios et en discuter avec les chercheurs des autres axes du Pôle et avec les partenaires lors de la tenue de groupes de discussion régionaux. Nous ne sommes pas en mesure de préciser comment pourront être organisés les ateliers de restitution et de discussion avec les partenaires dans les quatre régions. Les modalités d'organisation de cette dernière activité dépendront de l'évolution de la situation sanitaire.

Notre projet se termine à la fin du mois d'avril 2021. D'ici cette date, tous les scénarios seront réalisés et le modèle permettant de calculer leurs incidences économiques sera opérationnel. Le chercheur principal pourra se rendre disponible jusqu'en janvier 2022 pour présenter les scénarios.

Livrables :

- Les scénarios seront livrés d'ici la fin du mois d'avril 2021;
- Ateliers de présentation des scénarios adaptés dans le respect des mesures sanitaires.

IMPACT DU DESIGN DES POLITIQUES ET DE LA STRUCTURE DE L'INFORMATION PRÉSENTÉE SUR L'ACCEPTABILITÉ DE NOUVELLES PRATIQUES AGRONOMIQUES PAR LES AGRICULTEURS DE LA ZONE LITTORALE DU LAC SAINT-PIERRE

MAURICE DOYON (UNIVERSITÉ LAVAL)

Thème :

Tester si différentes structures d'information améliorent le niveau d'acceptabilité et d'adhésion des agriculteurs concernés

Principaux collaborateurs :

Stéphane Bergeron (U. Laval), Lota D. Tamini (U. Laval) et Laure Saulais (U. Laval)

Contexte :

Certaines pratiques agricoles en zone inondable ou plus généralement dans le littoral du lac Saint-Pierre génèrent des externalités négatives sur les biens et services écosystémiques. Les résultats des recherches réalisées au cours des dernières années par les chercheurs des autres axes du Pôle permettent de mieux cerner des pratiques culturelles susceptibles de réduire les externalités négatives. De plus, en combinant à cette information les scénarios d'occupation du sol de l'équipe de P. Mundler et des coûts des pratiques de l'équipe de L.D. Tamini, il est possible d'obtenir un portrait global des pratiques qui auront l'impact marginal le plus important en regard des coûts sur la quantité et sur la qualité des biens et services écosystémiques. Une fois cette information disponible, l'adhésion des producteurs à la modification de leurs pratiques agronomiques n'est toutefois pas acquise.

Objectifs :

Notre objectif est de tester de façon exploratoire (compte tenu de la limite du nombre potentiel de participants) quels sont les éléments qui permettent d'améliorer l'adhésion des agriculteurs à des pratiques culturelles qui améliorent la quantité et la qualité des biens et services écosystémiques, relativement au statu quo. Les travaux de ce projet conduiront à énoncer des instructions en lien avec le design des politiques et sur la manière de structurer l'information agronomique, environnementale et économique pour maximiser l'adoption des mesures ayant des incidences positives sur la qualité de l'écosystème du lac Saint-Pierre (LSP) par les producteurs agricoles concernés.

Méthodologie :

La méthodologie va utiliser différents éléments de l'économie comportementale, comme la théorie des perspectives et les *nudges*, pour construire des traitements d'information et en vérifier l'impact sur l'acceptabilité de nouvelles pratiques agronomiques.

Plus spécifiquement, les différents résultats agronomiques et environnementaux sur, notamment, le design des politiques agroenvironnementales, seront compilés et réarrangés en scénarios. La caractéristique essentielle et désirée de ces scénarios, qui seront testés auprès des producteurs, est qu'ils devront modifier le comportement des agriculteurs de manière prévisible, sans toutefois modifier significativement leurs incitations économiques

et sans forcer ni restreindre leurs choix. Ces scénarios seront soumis aux chercheurs des autres axes pour vérification. Ensuite, des prétests permettront les ajustements finaux avant l'utilisation des scénarios auprès des producteurs agricoles concernés.

Livrables :

Rapport et fiches de vulgarisation, ainsi que présentations académiques et publications. Le projet instruira les instances décisionnelles sur le design des politiques et sur la manière de structurer l'information agronomique, environnementale et économique afin de maximiser l'adoption de mesures ayant des incidences positives sur la qualité de l'écosystème du LSP par les agriculteurs concernés. Il permettra également d'identifier des variables clefs associées à l'acceptabilité des PGB par les agriculteurs.

RÉUSSIR À TRAVAILLER ENSEMBLE POUR LA RÉHABILITATION DE GRANDS ÉCOSYSTÈMES : LES SITUATIONS INITIALES COMPTENT- ELLES?

NATHALIE LEWIS (UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À RIMOUSKI)

Thème :

La gestion intégrée d'un écosystème (lac Saint-Pierre) : enjeux d'acteurs

Principaux collaborateurs :

Amélie Dumarcher (UQTR) et Julie Ruiz (UQTR)

Contexte :

Le Gouvernement du Québec affiche depuis plusieurs années son désir d'une gestion durable du littoral du lac Saint-Pierre (LSP). Ce dernier est une zone de plusieurs milliers d'hectares, à cheval sur plusieurs MRC, municipalités, organismes de bassins versants, directions régionales des ministères provinciaux, divers organismes privés, une table de concertation régionale et de multiples propriétés privées. Mettre en place une gestion durable du littoral impose une coordination minimale des actions de chacun de ces acteurs et, donc, une collaboration. Le littoral est à cet égard représentatif des défis que pose la gestion de l'environnement face aux multiples enjeux sectoriels et territoriaux des acteurs du territoire.

Ailleurs dans le monde, certaines expériences de réhabilitation de grands écosystèmes ont réussi alors que d'autres peinent à passer à l'action concrète¹. Divers travaux ont mis en évidence que de multiples facteurs jouent sur la capacité des acteurs à travailler ensemble vers un objectif commun, et ce, une fois que les acteurs se sont minimalement entendus pour participer à cet objectif commun². Dans le cas de petits territoires, des travaux suggèrent également que certaines situations initiales pourraient être plus propices que d'autres à l'existence même des initiatives concertées³. Les grands territoires, comme le littoral du LSP, sont par contre associés à des niveaux de complexité supérieurs qui se caractérisent par plus d'acteurs, plus d'intérêts divergents, plus des responsabilités fragmentaires, plus de tensions et de conflits passés, un problème environnemental plus complexe à comprendre, des solutions souvent plus nombreuses, etc.⁴

Objectifs :

Pour contribuer à alimenter les réflexions gouvernementales en vue de la mise en place d'une gestion durable du littoral du LSP, ce projet propose d'analyser les situations initiales qui, ailleurs dans le monde, ont contribué à la mise en place de larges initiatives concertées de réhabilitation des écosystèmes. Notre objectif est de comprendre les contextes initiaux,

¹ Moss, T. et J. Monstadt (2008). *Restoring Floodplains in Europe*, London, IWA Publishing, 355 pages.

² Pahl-Wostl, C. (2006). "The Importance of Social Learning in Restoring the Multifunctionality of Rivers and Floodplains", *Ecology and Society*, 11, 1, article 10.

³ Babin, N., N.D. Mullendore et L.S. Prokopy (2016). "Using Social Criteria to Select Watersheds for Non-Point Source Agricultural Pollution Abatement Projects", *Land Use Policy*, 55, p. 327-333.

⁴ Heikkilä, T. et A.K. Gerlak (2005). "The Formation of Large-scale Collaborative Resource Management Institutions: Clarifying the Roles of Stakeholders, Science, and Institutions", *Policy Studies Journal*, 33, 4, p. 583-612.

les processus et les forces motrices qui influencent la mise en place d'initiatives collaboratives visant la réhabilitation de grands écosystèmes impliquant de multiples acteurs hétérogènes. Pour cela, nous analysons l'assemblage des contextes, des processus et des forces motrices dans un minimum de six cas de réhabilitation concertée de grands écosystèmes à travers le monde. Les cas ont été choisis volontairement en Amérique du Nord et en Europe, de manière à rester dans des contextes de gestion relativement comparables à celui du Québec, et desquels des enseignements peuvent être tirés pour le littoral du LSP.

Méthodologie :

Au cours de la prochaine année, les travaux permettront de finaliser l'analyse des six cas de réhabilitation d'écosystèmes sur de grands territoires en Amérique du Nord et en Europe qui ont été sélectionnés. Pour le moment, les cas documentés pour l'Amérique du Nord sont localisés aux États-Unis : la baie Chesapeake, les Everglades, la baie de San Francisco et la rivière Columbia. Pour l'Europe, il s'agit de cas de réhabilitation de plaines inondables : la rivière Parrett (Angleterre), la plaine de la Bassée le long de la Seine (France) et le secteur de Lenzen le long de l'Elbe (Allemagne). Il se pourrait que des cas supplémentaires s'ajoutent si leur documentation le permet. L'analyse s'appuie sur une documentation scientifique faisant état des diverses expérimentations et rétroactions de projets en cours ou terminés. Cette analyse permettra de repérer les contextes, les forces motrices et les processus qui ont permis la formation d'une initiative collaborative de réhabilitation des écosystèmes sur de grands territoires. Finalement, nous examinons aussi la possibilité de présenter les résultats de nos travaux aux acteurs du LSP pour explorer avec eux les freins et les éléments facilitateurs à la mise en place d'une initiative collaborative pour le littoral du LSP.

Livrables :

- Cadre d'analyse des situations initiales influençant la mise en place d'initiatives collaboratives visant la réhabilitation de grands écosystèmes associant de multiples acteurs hétérogènes;
- Analyse d'au minimum six cas de réhabilitation de grands écosystèmes dans les pays industrialisés;
- Enseignements sur les conditions et facteurs qui influencent la mise en place de telles initiatives.

Les chercheurs du Pôle tiennent à remercier chaleureusement l'ensemble des partenaires et les producteurs agricoles qui partagent régulièrement avec eux leur connaissance du littoral du lac Saint-Pierre et qui contribuent ainsi au développement de la recherche scientifique.

Puisqu'ils sont soumis aux aléas climatiques, certains éléments de la programmation de recherche pourraient être ajustés au cours de l'année.

POUR EN SAVOIR PLUS

Consultez le site Web au
www.polelsp.ca

POUR NOUS JOINDRE

Écrivez à l'adresse
liaison.polelsp@uqtr.ca