

Synthèse et recommandations des recherches



du Pôle d'expertise multidisciplinaire en
gestion durable du littoral du lac Saint-Pierre



Ce rapport présente la synthèse des connaissances puis les recommandations des recherches scientifiques conduites dans le cadre du Pôle d'expertise en gestion durable du littoral du lac Saint-Pierre créé à l'initiative conjointe du ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation et du ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs. Le contenu de ce rapport n'engage que la responsabilité de ses auteurs et auteures. Pour de plus amples détails sur des recherches spécifiques, le lecteur ou la lectrice peut consulter le [rapport final de recherche 2019-2024](#).

Plus d'une centaine de personnes issues de la recherche, dont 25 chercheurs et chercheuses principaux ont contribué au contenu scientifique de ce rapport. Depuis 2019 et jusqu'à aujourd'hui, ces personnes ont collecté des échantillons d'eau, de sols, de microorganismes aquatiques et terrestres, évalué des populations de zooplanctons, de benthos, de poissons, d'insectes, d'oiseaux et de plantes, fait des expérimentations agronomiques, réalisé des entretiens avec des producteurs et productrices agricoles, prélevé et analysé des images à partir de drones et satellitaires, fait des budgets et des analyses économiques, lu plusieurs ouvrages de référence et surtout réfléchi, analysé les données puis rédigé. Finalement, ces personnes provenant de différentes disciplines et champs de recherche ont su travailler ensemble pour mieux comprendre l'agroécosystème du lac Saint-Pierre. Leurs noms apparaissent ci-dessous en ordre alphabétique.

Les chercheurs et chercheuses

Andrea Bertolo¹, Bérenger Bourgeois², Gilbert Cabana¹, Stéphane Campeau¹, Lota D. Tamini², Maurice Doyon², Valérie Fournier², Vincent Fugère¹, Valérie Gravel³, François Guillemette¹, Caroline Halde², Jessica Head³, Christophe Kinnard¹, Cynthia Kallenbach³, Christophe Kinnard¹, Nathalie Lewis⁴, Vincent Maire¹, Patrick Mundler², Monique Poulin², Shiv Prasher³, Raphaël Proulx¹, Zhiming Qi³, Marco Rodriguez¹, Alexandre Roy¹, Denis Roy³, Julie Ruiz¹, Laure Saulais², Philippe Seguin³, Anne Vanasse² et Christian von Sperber³.

Les professionnels et professionnelles

Théo Allart³, Stéphane Bergeron², Caroline Bérubé¹, Pierre-André Bordeleau¹, Annie Bregard², Anne-Marie Decelles¹, Jaskaran Dhiman³, Mélanie Dominique¹, Raphaël Duchesne-Pelletier², Amélie Dumarcher¹, Chantal Fournier¹, Samuel Gagné², Pascal Genest-Richard², Héloïse Henry², Mathieu Laflamme¹, Stéphanie Lavoie¹, Charles Martin¹, Mathieu Michaud¹, Élise Smedbol³, Laurianne Soucy², Maxime Tremblay¹ et Mathieu Vaillancourt².

Les étudiants et étudiantes ou stagiaires

Post-doctorat

Hada Damar¹, Luc Farly¹, Jim Félix-Faure¹, Noé Guiraud², Renata Mazzei¹, Azima Stevens², Ousmane Traoré², Chris Watson¹ et Jawad Ziyad¹.

Doctorat

Louis Astorg¹, Shahin Badesab¹, Aurélie Dumont¹, Roxanne Giguère Tremblay¹, Laurent Lamarque¹, Marie-Ange Moisan¹ et Fan Zhang³.

Maîtrise

Geneviève Berger¹, Amélie Alexandra Bergeron¹, Colline Chih², Maxime Clermont¹, Anthony de Roy¹, Daphney Dubé-Richard¹, Marie-Philippe Dufresne¹, Miriam Elsie Kuimi Tchana², Virginie Favreau¹, Corentin Flinois¹, Samuel Gagnon¹, Rachael Harman-Denhoed³, Philippe Leriche², Mario Loaiza Munoz¹, Léa-Marie Martin², Frédéric McCune², Mathieu Michaud¹, Claudia Nault¹, Palaniappan Ramanathan³, Antoine Sénéchal¹, Olivier Slupik² et Birkhoff Youjia Li³.

Baccalauréat

Savannah Bussière¹, Alexane Clerjon¹, James Deshaies¹, Louis Desrochers¹, Nathanaël Durocher¹, Virginie Favreau¹, Saylena Fay¹, Thomas Galdin¹, Sidonie Habert¹, Samuel Hazel-Guay¹, Blé Grâce Kiplé Wamaney¹, Loïc Kevin Kouatchet Ziem¹, Laiza de Carvalho Lima¹, David De Courville¹, Meghan Lamoureux¹, Thomas Lethead¹, Dave Mongrain¹, Kristof Mercier¹, Julianne Morin-Nolet¹, Camille Perrot¹, Roxanne Saint-Pierre¹, Steven Tessier¹ et Paul Tudes¹.

Les collaboratrices et collaborateurs externes aux universités

Philippe Brodeur⁵ et Christine Martineau⁶.

1. Université du Québec à Trois-Rivières
2. Université Laval
3. Université McGill
4. Université du Québec à Rimouski
5. Ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs
6. Ressources naturelles Canada

Référence bibliographique à citer:

Stéphane Campeau, Julie Ruiz, Bérenger Bourgeois, Hada Damar, Caroline Halde, Raphaël Proulx, Marco A. Rodriguez, Vincent Maire, Renata Mazzei, Mathieu Vaillancourt, Monique Poulin, Anne Vanasse, Philippe Seguin, Andrea Bertolo, Pierre-André Bordeleau, Annie Bregard, Gilbert Cabana, Lota D. Tamini, Anne-Marie Decelles, Maurice Doyon, Raphaël Duchesne-Pelletier, Valérie Fournier, Vincent Fugère, Valérie Gravel, François Guillemette, Jessica Head, Cynthia Kallenbach, Christophe Kinnard, Nathalie Lewis, Charles Martin, Patrick Mundler, Shiv Prasher, Zhiming Qi, Alexandre Roy, Maxime Tremblay et Chris Watson, 2023. Synthèse et recommandations des recherches du Pôle d'expertise multidisciplinaire en gestion durable du littoral du lac Saint-Pierre. Université du Québec à Trois-Rivières, Université Laval, Université Mc Gill, rapport déposé au ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation et au ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs, 143 p.+ annexes.

Nous reconnaissons que certaines personnes ne s'identifient ni au genre masculin ni au genre féminin de manière exclusive. Ce texte contient des citations et des appellations au masculin générique. Celles-ci doivent être interprétées comme inclusives de toute personne, indépendamment de son genre.



Certains droits réservés. Ce travail est mis à la disposition du public sous la Licence Creative Commons Attribution-Pas d'utilisation commerciale-Partage dans les mêmes conditions 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0 IGO; <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.fr>).

Selon les termes de cette licence, ce travail peut être copié, diffusé et adapté à des fins non commerciales, sous réserve de mention appropriée de la source. Si le travail est adapté, il doit être sous la même licence Creative Commons ou sous une licence équivalente.

Tout litige relatif à la présente licence ne pouvant être résolu à l'amiable sera réglé par voie de médiation et d'arbitrage tel que décrit à l'Article 8 de la licence, sauf indication contraire contenue dans le présent document. Les règles de médiation applicables seront celles de l'Organisation mondiale de la propriété intellectuelle (<http://www.wipo.int/amc/fr/mediation/rules>) et tout arbitrage sera mené conformément au Règlement d'arbitrage de la Commission des Nations Unies pour le droit commercial international (CNUDCI). Documents de tierce partie.

Les utilisateurs qui souhaitent réutiliser des matériels provenant de ce travail et qui sont attribués à un tiers, tels que des tableaux, des figures ou des images, ont la responsabilité de déterminer si l'autorisation est requise pour la réutilisation et d'obtenir la permission du détenteur des droits d'auteur. Le risque de demandes résultant de la violation d'un composant du travail détenu par une tierce partie incombe exclusivement à l'utilisateur.

PHOTOGRAPHIE DE COUVERTURE : Inondation à Saint-Barthélemy en 2019 (crédit : P.-A. Bordeleau, 2019).

Synthèse et recommandations des recherches



du Pôle d'expertise multidisciplinaire en
gestion durable du littoral du lac Saint-Pierre

Université du Québec à Trois-Rivières
Université Laval
Université Mc Gill
Trois-Rivières, Québec
Juin, 2024

Remerciements

Les chercheurs et chercheuses remercient très vivement tous les producteurs et productrices agricoles, ainsi que les professionnels et professionnelles des diverses organisations qui travaillent au pourtour du lac Saint-Pierre et qui ont participé aux travaux de recherche. Ces travaux ont également pu bénéficier des apports des membres de la table des partenaires et du comité consultatif du Pôle d'expertise multidisciplinaire en gestion durable du littoral du lac Saint-Pierre. Nous remercions également les interlocuteurs et interlocutrices du ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation (MAPAQ) et du ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs (MELCCFP) qui ont suivi ces travaux sans en orienter les résultats, et tout particulièrement Isabelle Drolet du MAPAQ pour son travail d'interface entre la recherche et le gouvernement.

Table des matières

01 Introduction	1
1.1 Le littoral du lac Saint-Pierre : un écosystème sous pression	2
1.2 Le Pôle d'expertise	4
1.3 Les dispositifs expérimentaux de recherche	5
1.4 Une crue printanière très variable : les impacts sur les activités de recherche	8
1.5 Des travaux socioéconomiques dans un contexte légal changeant	10
1.6 Le contenu de ce rapport	11
02 Les résultats des essais agronomiques	13
2.1 Les choix expérimentaux	14
2.2 La pratique culturale améliorée avec cultures de couverture — grandes parcelles	17
2.3 La pratique culturale améliorée avec cultures de couverture — petites parcelles	20
2.4 Les prairies — grandes parcelles	23
2.5 Les prairies — petites parcelles	24
2.6 Les bandes pérennes	26
2.7 Potentiel faunique des cultures de couverture, des prairies et des bandes pérennes	29
2.8 Travail de sol en grandes cultures	29
2.9 Les cultures alternatives — petites parcelles	30
2.10 La phytoprotection : insectes ravageurs du sol	32
03 Les impacts économiques et sociotechniques de l'adoption potentielle des cultures et pratiques testées par le Pôle	33
3.1 Le contexte socioéconomique de l'agriculture dans le littoral	35
3.2 Les impacts économiques pour les exploitations : une diminution de la marge brute à anticiper	37
3.3 Le potentiel d'adoption volontaire et les défis sociotechniques pour les producteurs et productrices	40
3.4 Des défis pour le conseil agricole dans l'accompagnement des changements de pratiques	44

04 Les impacts environnementaux des pratiques agricoles	47
4.1 Les masses d'eau du littoral	49
4.2 La qualité de l'eau	51
4.3 Les sols	55
4.4 Les écosystèmes aquatiques	59
4.5 Les écosystèmes terrestres	65
4.6 La synthèse des gradients environnementaux dans le littoral	68
4.7 Les disparités régionales des variables mesurées en grandes parcelles	71
4.8 Les espèces sentinelles de l'intégrité des écosystèmes de la plaine inondable	75
05 Les étages du littoral et la cohabitation agriculture-faune	79
5.1 La récurrence des niveaux maximums de crue depuis 50 ans	80
5.2 L'utilisation des terres dans le littoral	81
5.3 Le rendement des cultures dans le littoral	84
5.4 Les services écosystémiques dans le littoral	86
5.5 Un maximum de gains écosystémiques pour un minimum de pertes agronomiques	91
5.6 Les zones basses du littoral (<6,55 m) : un écosystème à réhabiliter	93
5.7 Les zones hautes du littoral (> 6,55 m) : une agriculture durable	96
5.8 Les ruisseaux tributaires du littoral : une meilleure protection des sols et des berges	97
06 Gouvernance et politiques publiques, des défis au cœur de la réhabilitation du lac Saint-Pierre	101
6.1 Le régime transitoire et ses impacts sur la gouvernance et pour la politique publique	102
6.2 La pertinence d'une intervention publique au lac Saint-Pierre : le consentement à payer de la population pour des changements de pratiques agricoles	106
6.3 Des scénarios économiques de changement dans l'utilisation des terres du littoral : supports au dialogue entre les acteurs	107
6.4 La gouvernance de la réhabilitation de plaines inondables : enseignements d'initiatives internationales	111
6.5 Les défis de la gouvernance au lac Saint-Pierre : des mécanismes clés qui peinent à émerger	113
6.6 Valoriser le foin du littoral : une étude de préfaisabilité	116
07 Les constats et recommandations	117
7.1 Les constats	118
7.2 Les recommandations et propositions	126
08 Suivis et pistes de recherche	133
Références	136
Annexes	144

Liste des figures

Figure 1.1 Localisation des secteurs d'échantillonnage prioritaires du Pôle pour les activités de recherche des axes agriculture et, environnement et faune.	6
Figure 1.2 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 le littoral du lac Saint-Pierre.	7
Figure 1.3 Niveaux d'eau historiques (1966-2021) et niveaux d'eau entre le 1 ^{er} mars et le 31 octobre de 2019 à 2022 enregistrés à la station de Sorel (m).	8
Figure 3.1 Superficie dans le littoral et % que cela représente sur le total de la superficie de chaque ferme	35
Figure 3.2 Marges brutes (\$/ha) du scénario de référence (SR) et des scénarios de pratiques améliorées (les acronymes utilisés sont ceux décrits dans le tableau 3.1).	39
Figure 3.3 Typologie des conseillers agricoles en fonction des déterminants de leurs pratiques professionnelles.	44
Figure 4.1 Image du satellite Sentinel-2 du 6 mai 2019 qui illustre les patrons d'écoulement présents dans le littoral au printemps. Les secteurs numérotés de 1 à 12 sont décrits dans le texte.	49
Figure 4.2 Distribution des valeurs de turbidité mesurées par images satellitaires (T-S2) le long du gradient d'utilisation des terres lors des crues printanières de 2019, 2020 et 2022.	51
Figure 4.3 État des sols dans le bassin versant de la rivière Brielle au printemps 2020 (Baie-du-Febvre) et suivi de la turbidité de l'eau et des matières en suspension dans cette rivière entre mars et mai 2020.	52
Figure 4.4 Turbidité au-dessus des sites du Pôle dans le littoral en fonction de la proportion de sols peu protégés dans la surface contributive en amont, au cours de la phase 1 de la crue (2019 à 2021).	53
Figure 4.5 Influence de l'usage des terres dans la zone littorale du lac Saint-Pierre et des phases de la crue en 2019 et 2022 sur les teneurs en nutriments dans l'eau mesurées en 2019 et 2022.	54
Figure 4.6 Moyenne et erreur standard du % de carbone organique du sol et de l'azote total du sol sur le gradient d'utilisation des terres.	56
Figure 4.7 Concentrations de glyphosate et d'acide aminométhylphosphonique (AMPA) détectées dans les échantillons de sol prélevés en 2021 dans les milieux naturels et prairies et les traitements des pratiques culturales conventionnelles et améliorées de maïs et de soya.	56
Figure 4.8 Influence de l'usage des terres sur la biomasse vivante.	57
Figure 4.9 Influence de l'usage des terres sur les fonctions écosystémiques.	58
Figure 4.10 Longueur totale des perchaudes de 2019 à 2022 selon l'utilisation du sol ou la capture dans le lac Saint-Pierre.	59
Figure 4.11 Relation entre la croissance moyenne journalière des perchaudes et la densité de zooplancton (2019, 2020 et 2022).	60
Figure 4.12 Éclosions totales d'invertébrés après 1 à 5 semaines d'incubation sous l'eau dans des contenants indépendants contenant les sols des parcelles du Pôle.	61
Figure 4.13 Résultats des expériences d'exposition des embryons de perchaude à deux types de sols (culture de soya et forêt) et trois niveaux d'exposition à la radiation solaire (pas d'UV, UV-A seulement, UV-A + UV-B).	62
Figure 4.14 Abondances des œufs de perchaude et de grand brochet en fonction des traitements.	63

Figure 4.15 Carte de fréquentation des effets des traitements sur les abondances des juvéniles et adultes des 23 espèces de poissons à l'étude.	64
Figure 4.16 Réponses fonctionnelles de la richesse en espèces d'oiseaux nicheurs (diversité spécifique) le long du gradient d'utilisation des terres.	65
Figure 4.17. Variation des valeurs centrales de quelques variables environnementales sur gradient d'utilisation des terres dans le littoral pendant les crues printanières de 2019 à 2022.	67
Figure 4.18 Modèle conceptuel et réponse espérée de l'intégrité écologique d'un milieu.	68
Figure 4.19 Diagramme de double projection (« biplot ») découlant de l'analyse en composantes principales bayésienne des 92 variables mesurées dans les parcelles du dispositif à grande échelle.	69
Figure 4.20 Positionnement des variables (A) et des usages des terres (B) le long de l'axe 1 de l'ACP, interprété comme l'indicateur composite de l'intégrité écologique.	70
Figure 4.21 Représentation des échelles géographiques du dispositif d'échantillonnage des sites en grandes parcelles du Pôle d'expertise.	72
Figure 4.22 La proportion de la variance correspond à l'hétérogénéité relative (RH) associée à la région d'étude dans le dispositif expérimental du Pôle.	73
Figure 5.1 Récurrence des niveaux maximums de crue dans le littoral du LSP dans le secteur de Pierreville.	81
Figure 5.2 Inventaire annuel des cultures d'Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC) pour 2021 dans le littoral du LSP.	82
Figure 5.3 Cumul des superficies selon l'utilisation des terres le long du gradient d'élévation entre le niveau de la crue qui est atteint chaque année (5,68 m à Sorel) et le niveau maximum atteint au cours des 50 dernières années (8,16 m).	83
Figure 5.4 Cumul des superficies selon l'utilisation des terres le long du gradient d'élévation pour chacun des secteurs du LSP.	83
Figure 5.5 Marge bénéficiaire cumulée des cultures selon l'élévation en 2021.	84
Figure 5.6 Marge bénéficiaire cumulée des cultures selon l'élévation en 2021, pour chacun des 10 secteurs du LSP.	85
Figure 5.7 Rendement du soya lors d'une crue moyenne (2020) selon l'élévation.	85
Figure 5.8 Valeurs de l'indice de qualité de l'habitat de reproduction (IQH) pour la perchaude dans le secteur de Saint-Barthélemy.	86
Figure 5.9 Total des superficies propices à la reproduction de la perchaude et IQH moyen selon l'élévation du littoral.	87
Figure 5.10 Nombre moyen d'années durant lesquelles l'habitat aurait été favorable à la reproduction du grand brochet en présence d'un couvert végétal adéquat (1965-2013) dans le secteur de Saint-Barthélemy.	87
Figure 5.11 Total des superficies propices à la reproduction du grand brochet et nombre moyen d'années durant lesquelles l'habitat aurait été favorable à la reproduction (1965-2013) selon l'élévation du littoral.	88
Figure 5.12 Productivité nette du biome en fonction de l'occupation des terres et l'élévation dans le littoral.	89
Figure 5.13 Richesse moyenne en espèces des oiseaux nicheurs (diversité spécifique) selon l'élévation dans le littoral.	90
Figure 5.14 Marge bénéficiaire cumulée (millions \$) des producteurs et productrices en fonction du type de culture en 2021, et les services écosystémiques reliés à la qualité de l'habitat de reproduction de la perchaude et du grand brochet, la productivité nette du biome et la qualité de l'habitat des oiseaux nicheurs.	92

Figure 5.15 Classification des champs du littoral selon l'élévation (exemple pour le secteur de la Rivière du Chicot).	94
Figure 5.16 Bandes pérennes de 4 m d'alpiste roseau dans les secteurs (de gauche à droite) de Baie-du-Febvre, Saint-Barthélemy, Pierreville et Île Dupas.	96
Figure 5.17 Cartographie des zones à risque d'érosion le long des cours d'eau.	98
Figure 6.1 Volonté à payer pour l'amélioration de la qualité de l'écosystème du lac Saint-Pierre à la suite de différents changements de pratiques agricoles.	106
Figure 6.2 Bilans économiques des différents scénarios étudiés.	109
Figure 6.3 Positionnement des différents scénarios pour le littoral en termes économiques (pour les agriculteurs et agricultrices) et environnementaux.	110
Figure 6.4 Un système de gouvernance dédié à la réhabilitation du lac Saint-Pierre.	116
Figure 7.1 Les recommandations et propositions pour une stratégie d'intervention.	126

Liste des tableaux

Tableau 2.1 Rendements et composition selon le type de prairie.	23
Tableau 3.1 Description des différents scénarios de rotation de cultures intégrant des pratiques culturales améliorées.	38
Tableau 3.2 Culture de couverture (CC): synthèse des principaux défis sociotechniques pour les producteurs et des initiatives susceptibles d'accompagner leur intégration tout au long des processus d'adoption.	42
Tableau 3.3 Bande pérenne : synthèse des principaux défis sociotechniques pour les producteurs et des initiatives susceptibles d'accompagner leur intégration tout au long des processus d'adoption.	43
Tableau 4.1 Espèces ombrelles-indicatrices des milieux naturels et clé-de-voûtes de la biodiversité dans les communautés d'abeilles, d'oiseaux nicheurs, d'orthoptères chanteurs, de poissons adultes et de plantes vasculaires dans la plaine inondable du lac Saint-Pierre (Québec, Canada).	77
Tableau 6.1 Les cinq scénarios étudiés.	108
Tableau 6.2 Synthèse des éléments participants au diagnostic de la gouvernance pour la réhabilitation du littoral du lac Saint-Pierre.	113

Vue aérienne du lac Saint-Pierre le 9 octobre 2020, image satellite Sentinel-2. Les bandes spectrales utilisées sont le bleu le vert et le rouge. Les teintes terrestres brunâtres dans les environnements agricoles permettent de distinguer les labours alors que les traînées blanchâtres dans l'eau, au nord du lac correspondent à des sédiments mis en suspensions suite à des pluies torrentielles (réalisation : P.-A. Bordeleau, 2023)





01

Introduction

1.1

Le littoral du lac Saint-Pierre : un écosystème sous pression

Le lac Saint-Pierre (LSP) est un élargissement du fleuve Saint-Laurent qui s'étend sur près de 30 km de long entre Sorel et Nicolet et 13 km de large. Il constitue le dernier bassin d'eau douce du fleuve Saint-Laurent en amont de l'estuaire fluvial. Il se distingue par sa topographie très plane, ce qui en fait **la plus importante plaine inondable en eau douce du Québec**. Le littoral, qui est la zone inondée en moyenne tous les deux ans, est un haut lieu de biodiversité composé de milieux humides et de terres cultivées. Les milieux humides ne couvrent plus que 10 % des Basses-terres du Saint-Laurent (Jobin et al., 2019). Les plus remarquables étendues de marais et de marécages sont celles de la plaine du LSP, qui représentent plus de 55 % de ces types de milieux humides dans la portion québécoise du Saint-Laurent (Jean et Létourneau, 2011). Lorsque survient la crue, ce territoire abrite une faune variée (sauvagine, poissons, invertébrés aquatiques, etc.) qui l'utilise pour la reproduction, la nidification et l'alimentation.

La faune du LSP et de ses rives comprend 40 espèces de mammifères, 288 espèces d'oiseaux résidents et migrateurs et 79 espèces de poissons (MDDEFP, 2013), ce qui fait du LSP un écosystème irremplaçable, faisant partie des réserves de biosphère désignées par l'UNESCO. Ce secteur est en fait la plus importante halte migratoire au Québec pour de nombreuses espèces de sauvagine et procure des habitats de nidification pour une grande variété d'oiseaux nicheurs. **Au printemps, le littoral constitue un habitat utilisé par une quarantaine d'espèces de poissons, dont le grand brochet (*Esox lucius*) et la perchaude (*Perca flavescens*).** Les deux espèces se reproduisent entre le début avril et le début mai, dans des milieux peu profonds (30 cm à 1 m d'eau) (de la Chenelière et al., 2014 ; Foubert et al., 2020). La perchaude a besoin d'un substrat végétal permettant aux rubans d'œufs de s'accrocher, soit par exemple des branches d'arbustes submergées, des tapis de végétaux morts ancrés sur le fond ou des tiges verticales submergées (TCRLSP, 2019). De 10 à 20 jours après la fraie, à la suite de l'éclosion des œufs, les larves demeurent en milieu peu profond et se nourrissent exclusivement de zooplancton (invertébrés aquatiques). Une analyse des crues printanières observées entre 1960 et 2014 a montré que, une année sur deux, la période de reproduction a eu lieu alors que le niveau d'eau était inférieur ou égal à la cote de niveau d'eau de 6,2 m, telle que mesurée à Sorel (TCRLSP, 2019). Les milieux naturels du littoral (marais et prairies humides) sont utilisés par les géniteurs alors que les secteurs exempts de végétation au printemps ou à densité végétale faible sont évités.

Les terres fertiles de la zone littorale sont cultivées depuis le 17^e siècle. Elles ont d'abord été utilisées pour la culture du blé, pour produire la farine. En raison de la concurrence venue de l'Ouest canadien avec l'arrivée du chemin de fer, les cultures se changèrent en pâturages au milieu du 19^e siècle. On alimentait ainsi l'industrie laitière naissante. En 1936, dans sa monographie de « la région du fleuve Saint-Laurent entre Québec et Montréal », le géographe Raoul Blanchard montre comment les abords du LSP sont connus de longue date pour l'abondance des cultures de foin, mais aussi pour la pêche, la chasse et la traque à la grenouille pratiquée dans les milieux humides (Blanchard, 1936). Au cours des dernières décennies, ces terres ont été reconverties graduellement **en productions annuelles de maïs (*Zea mays*) et de soya (*Glycine max*).** Près de 3 800 ha d'habitats fauniques (cultures pérennes et milieux naturels) ont été modifiés dans le littoral depuis 1950, principalement au profit des cultures annuelles (Jobin et Brodeur, 2023). Les cultures pérennes occupaient 80 % des terres cultivées en 1950 et moins de 10 % en 2016. Les cultures annuelles représentent aujourd'hui 86 % des terres cultivées qui occupent 5050 ha dans le littoral du LSP (Jobin et Brodeur, 2023).

L'augmentation de la proportion de superficies en cultures annuelles dans le littoral du LSP aurait contribué **au déclin de la population de perchaudes** (Magnan et al., 2017) et au déclin des populations d'oiseaux champêtres qui nichent dans les pâturages et les cultures fourragères (Drapeau et al., 2019). Le grand brochet est également en déclin depuis le début des années 2000 au LSP (Paquin et al., 2018), en raison de la diminution des habitats et de leur connectivité. Les pratiques culturales conventionnelles associées aux grandes cultures laissent peu de substrat végétal au printemps. Le sol ainsi dénudé limite la qualité des habitats de reproduction et d'alevinage de la perchaude et du grand brochet (de la Chenelière et al., 2014; Foubert et al., 2020; Paquin et Brodeur, 2021). Ce système de production augmente également les risques d'érosion des sols et détériore la qualité de l'eau. Enfin, le travail du sol aurait également un effet sur la biomasse d'invertébrés aquatiques, qui est une ressource essentielle à la croissance de plusieurs espèces de poissons (Farly et al., 2021). La production en invertébrés aquatiques serait de 2,6 à 10,8 fois inférieure dans les champs labourés comparativement aux prairies humides (Bendwell et Associés ltée, 1985; SOLÉCO Consultants inc., 1983).

Devant le déclin des populations de perchaudes, un **moratoire** de 5 ans sur les pêches sportive et commerciale a été instauré en 2012 au LSP, puis renouvelé en 2017 et en 2022. Selon Magnan et al. (2022), l'absence de rétablissement de la population depuis 2012 suggère que le milieu est détérioré et nécessite des mesures à large échelle pour restaurer la qualité des habitats. En 2019, la Table de concertation régionale du lac Saint-Pierre (TCRLSP) a émis des recommandations et a identifié les secteurs les plus propices à la restauration. En 2017, le gouvernement du Québec s'est doté d'une Stratégie d'intervention pour l'avenir du lac Saint-Pierre et y a investi plus de 14 M\$ (MELCC, 2022). Cette stratégie a notamment mené à la création du Pôle d'expertise multidisciplinaire en gestion durable du littoral du lac Saint-Pierre.



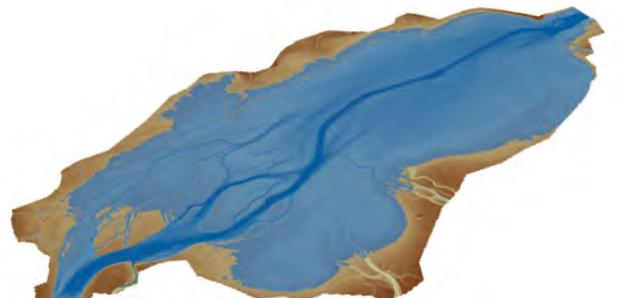
Crue annuelle



Crue 2 ans



Crue 20 ans



Crue 100 ans

*Simulations des crues au lac Saint-Pierre.
(Source : Lapointe, 1990; réalisation : P.-A. Bordeleau, 2019)*

1.2 Le Pôle d'expertise

Pour développer une agriculture durable et protéger le riche écosystème du LSP, le gouvernement du Québec annonçait en juillet 2018 la création du **Pôle d'expertise multidisciplinaire en gestion durable du littoral du lac Saint-Pierre** (ci-après le Pôle). Cet effort a été réalisé suivant une approche gouvernementale concertée entre trois ministères : le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation (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). Depuis 2022, les secteurs de la faune et des parcs relèvent du ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs.

Le Pôle a le 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 LSP et soutenant la restauration de milieux prioritaires. Il vise **trois objectifs** :

1. Développer des cultures et des pratiques agricoles adaptées au contexte particulier des grands littoraux cultivés du LSP et qui ont des incidences positives sur la qualité de son écosystème ;
2. Évaluer la performance et les impacts sociaux, économiques, environnementaux et fauniques des activités agricoles et des projets de restauration ;
3. À partir des résultats des recherches, proposer au gouvernement un mode de gestion agricole favorisant la mise en place d'une agriculture durable dans le littoral du LSP.

Trois axes ont été définis pour structurer les travaux de recherche :

- **L'axe agriculture** a pour objectif de développer des systèmes agronomiques performants spécifiques à la zone littorale du LSP ; d'adapter les pratiques agricoles suivantes au contexte de la zone littorale du LSP : cultures de couverture, plantes fourragères, cultures alternatives, phytoprotection et aménagement des bandes pérennes près des fossés de drainage ; de développer des systèmes et des pratiques culturales qui permettent la cohabitation de l'agriculture et de la faune au LSP.
- **L'axe environnement et faune** a pour objectif de mesurer l'influence des différentes cultures et pratiques culturales testées et des milieux naturels sur l'environnement et la faune du LSP ; d'évaluer le rôle des prairies humides naturelles et des milieux forestiers dans la dynamique du littoral du LSP ; de cartographier et caractériser la provenance des masses d'eau tributaires du LSP qui agissent sur la crue ; d'analyser la toxicité de l'eau et des sols en fonction des différents usages de la zone littorale.
- **L'axe socioéconomie** a pour objectif la compréhension des facteurs facilitant ou contraignant l'adoption, par les agriculteurs et agricultrices, des systèmes culturels et des pratiques agricoles testées par le Pôle, ainsi que les facteurs facilitant ou contraignant leur promotion par les intervenants qui les conseillent (conseillers et conseillères agricoles, organismes de bassin versant, municipalités régionales de comté) et par les politiques publiques ; l'évaluation des impacts économiques (coûts et bénéfices), tant individuels que collectifs, de ces nouvelles pratiques ; l'analyse de la cohérence des discours des organisations qui participent à la gestion durable du littoral et les défis à relever pour sa gestion collective, notamment en ce qui concerne la coordination et la gouvernance du LSP.

Entre 2018 et 2023, **plus d'une centaine de chercheurs et chercheuses, d'étudiants et d'étudiantes et de professionnels et professionnelles** ont travaillé en collaboration pour atteindre les objectifs du Pôle sous la coordination scientifique de trois universités : l'Université du Québec à Trois-Rivières (UQTR), l'Université Laval et l'Université McGill. Au cours de cette période, le Pôle a été dirigé par un comité directeur composé d'un représentant de chaque ministère et de chaque université. Une Table des partenaires, composée des intervenants régionaux et gouvernementaux directement concernés par la gestion durable du littoral du LSP, a soutenu le comité directeur du Pôle par sa connaissance des enjeux agricoles, socioéconomiques, fauniques et environnementaux du LSP.

Le développement de la **programmation de recherche** a fait l'objet d'un effort de concertation entre les chercheurs et chercheuses des trois universités. De plus, la programmation a bénéficié d'une

consultation avec les producteurs et productrices agricoles du littoral, de même qu'avec les organismes œuvrant dans la gestion du littoral du LSP lors d'ateliers de consultation avec le milieu. Après une phase dédiée à sa mise en œuvre (2018-2019), la programmation comptait 26 projets de recherche (**annexe 1A**) qui ont été réalisés entre 2019 et 2023. Au moment de publier ce rapport, cinq projets sont toujours en cours jusqu'en mars 2024. Plus de 25 producteurs et productrices agricoles, représentant 25 exploitations agricoles distinctes, ont participé aux travaux scientifiques par la mise à disposition de terres en culture et pour certains avec les équipes de recherche pour la réalisation d'opérations en champs. De plus, près d'une quarantaine de producteurs et productrices ont pris part aux différentes enquêtes socioéconomiques. Le présent document constitue une synthèse des résultats des différents projets des trois axes de recherche au cours de la période 2019-2023 qui ont mené à l'élaboration des constats et des recommandations présentés aux sections 6 et 7.



Sortie entre les chercheurs et chercheuses du Pôle pour découvrir la plaine d'inondation au début des travaux du Pôle (crédit: R. Proulx).

1.3 Les dispositifs expérimentaux de recherche

Les dispositifs expérimentaux associés à la culture et la fertilisation ont été possibles dans le littoral à la suite de l'obtention d'une autorisation ministérielle préalable, délivrée en vertu de la Loi sur la qualité de l'environnement, étant donné que la réglementation interdisait ces activités en littoral au moment de débiter les expérimentations.

Les travaux des **axes agriculture et environnement et faune** ont été menés dans le cadre de différents dispositifs expérimentaux. Le **dispositif à grande échelle** a permis d'implanter des systèmes culturels susceptibles de permettre la cohabitation de l'agriculture et de la faune au LSP. Ce dispositif a été implanté en grandes parcelles, c'est-à-dire que les parcelles étaient à l'échelle des champs des producteurs et productrices.

Afin de favoriser les interactions scientifiques, la mise en commun des résultats et le partage des connaissances, ce dispositif incluait quatre secteurs d'échantillonnage prioritaires autour du LSP : Saint-Barthélemy, Île Dupas, Baie-du-Febvre et Pierreville (**Figure 1.1**). Dans ces secteurs, des sites ont été sélectionnés afin d'obtenir un gradient d'utilisation des terres. Ce gradient représentait différents niveaux de perturbations allant de milieux naturels de conservation (prairies humides et forêt) aux cultures annuelles de maïs et de soya en pratique culturelle conventionnelle, en passant par une régie intégrant des

pratiques culturales améliorées avec des cultures de couverture en intercalaire dans le maïs (*ray-grass* annuel [*Lolium multiflorum* L.]) et le soya (blé d'automne [*Triticum aestivum*]) ainsi que des bandes herbacées pérennes de 4 m de large près des fossés de drainage. Le dispositif incluait également de nouvelles prairies d'alpiste roseau (*Phalaris arundinacea*) établies entre 2018 et 2022 et des vieilles prairies avec une composition en espèces variée établies depuis plusieurs années (≥ 7 ans). Ce dispositif visait ainsi à évaluer si la pratique culturale « améliorée » des cultures annuelles et si les systèmes de cultures pérennes comme les prairies, présentaient des conditions satisfaisantes pour les besoins écosystémiques par rapport à la pratique culturale conventionnelle. Au total, 45 champs et 19 milieux naturels ont été utilisés dans ce dispositif. **L'annexe 1B** présente plus en détail les sites expérimentaux. Cette approche méthodologique a également permis d'évaluer la réponse de différentes variables environnementales et fauniques le long d'un gradient d'utilisation des terres. L'analyse de chaque variable, le long du gradient, a permis de faire ressortir des tendances et de déterminer quels types d'utilisation du sol offrent les plus grands gains agricoles, environnementaux et fauniques. De plus, les travaux réalisés autour de ce dispositif ont permis de fournir des données et informations aux chercheurs et chercheuses de l'axe socio-économie et d'impliquer les producteurs et productrices agricoles dans les différents projets de cet axe.

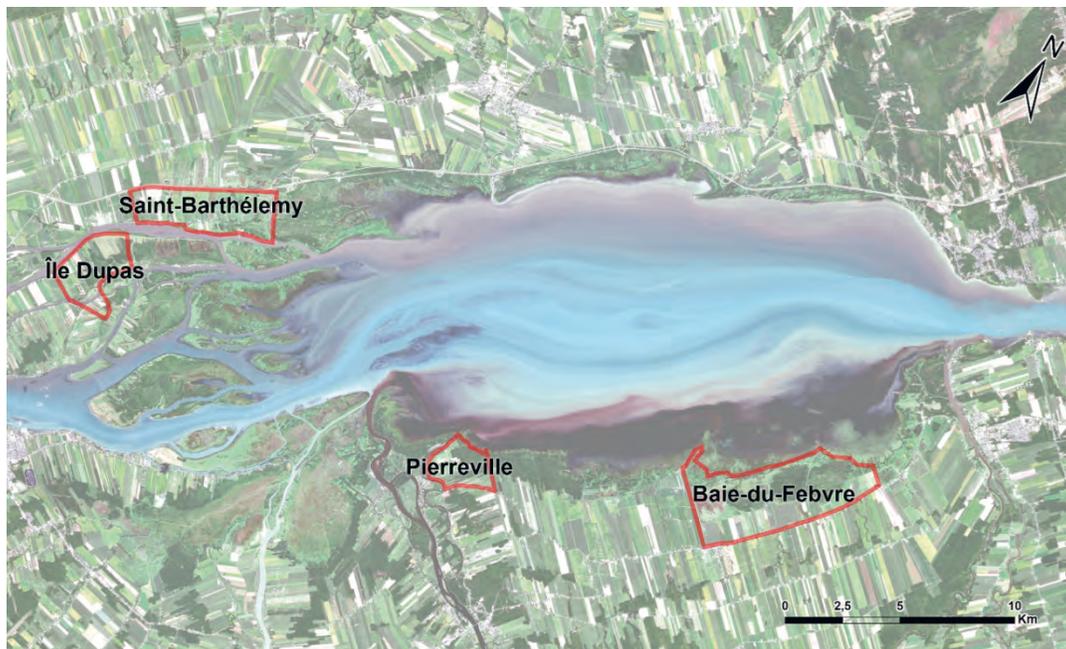


Figure 1.1

Localisation des secteurs d'échantillonnage prioritaires du Pôle pour les activités de recherche des axes agriculture et, environnement et faune.

À titre d'exemple, les réponses fictives d'une variable faunique (diversité de l'avifaune) et d'une variable agricole (rendement agricole) sont représentées à la **figure 1.2** pour deux secteurs (lignes pleine et pointillée) le long du gradient d'utilisation des terres.

Lors des années de faibles crues, en 2020 et 2021, des **sites alternatifs** ont été échantillonnés étant donné que plusieurs champs du dispositif à grande échelle de systèmes culturaux n'étaient pas inondés. Ces sites alternatifs étaient en aval des grandes parcelles, dans des fossés agricoles, en forêts encore inondées ainsi que dans le lac lui-même.

Des **dispositifs expérimentaux à petite échelle** ont également été mis en place afin de comparer différents traitements de cultures et pratiques agricoles en petites parcelles. Trois études visaient des cultures de couverture en intercalaire dans le maïs, le soya et en pleine saison. Trois autres études ont été réalisées sur les plantes fourragères afin d'évaluer différentes régies (nombre de récoltes et fertilisa-

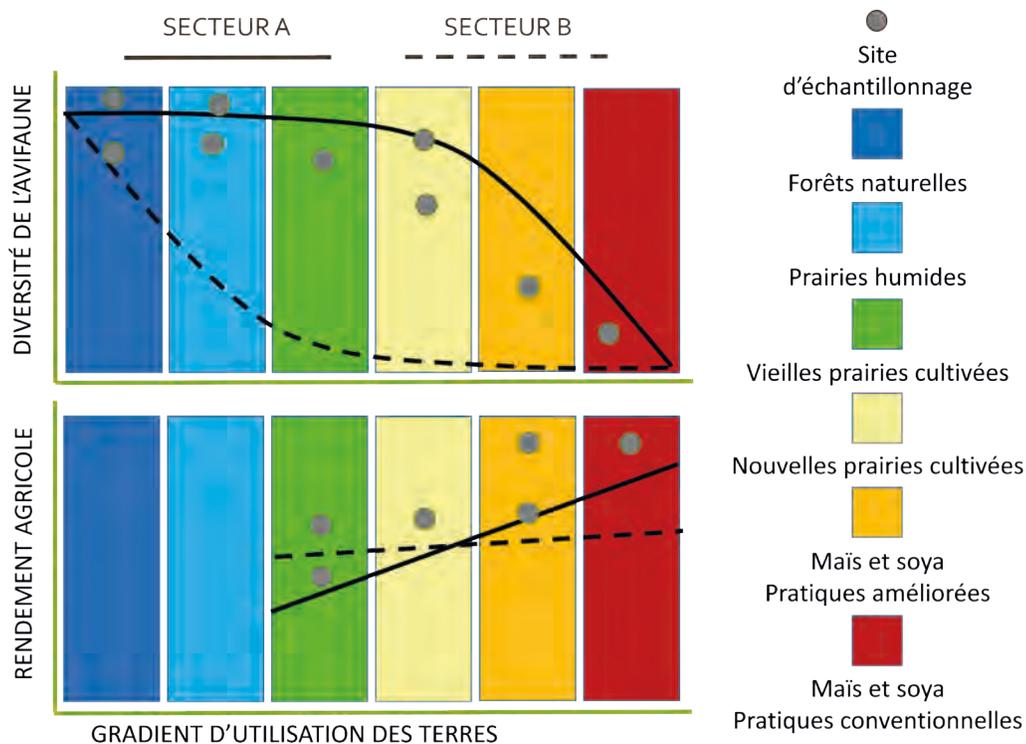


Figure 1.2

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 le littoral 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'utilisation des terres pour deux secteurs (ligne pleine et ligne pointillée).

tion azotée) sur différentes espèces de plantes fourragères, en deux zones d'élévation (haute et basse), puis différentes régions (nombre de récoltes et fertilisation azotée) de l'alpiste roseau en production et différents facteurs affectant l'établissement de l'alpiste roseau (présence de mauvaises herbes, taux de semis, et enrobage des semences avec de l'argile). Une étude a également permis d'évaluer la capacité d'implantation et d'adaptation de 28 espèces de cultures alternatives en deux zones d'élévation (haute et basse).

Finalement, un **dispositif à grande échelle spécifique aux bandes enherbées** a également été mis en place pour la réalisation de deux projets, l'un portant sur l'implantation de bandes enherbées de 2 m et 4 m aménagées le long des fossés de drainage et l'autre visant à vérifier l'impact de ces aménagements sur la qualité de l'eau et sur la sédimentation dans les fossés de drainage. Au total, 21 bandes d'alpiste roseau avec de l'avoine (*Avena sativa*) comme plante-abri ont été établies dans trois secteurs du littoral du LSP (Baie-du-Febvre, Yamachiche, Saint-Cuthbert). En complément à ces études, de petites parcelles ont également été instaurées pour évaluer les facteurs de succès d'établissement des bandes herbacées incluant la densité de semences d'alpiste roseau, des modes de travail du sol, le rôle des plantes-abri, l'utilisation de paillis et des espèces alternatives à l'alpiste roseau. Des inventaires dans les milieux naturels et dans des milieux perturbés ont également été réalisés en 2019 afin d'identifier les espèces (herbacées et arbustes) présentant un bon potentiel pour l'implantation de bandes végétalisées en zone littorale du LSP.

1.4

Une crue printanière très variable : les impacts sur les activités de recherche

L'intensité des crues a été marquée par une grande variabilité au cours des travaux du Pôle (**figure 1.3**). Les niveaux atteints et la durée des crues ont été représentatifs de conditions extrêmes, avec une année près des maximums historiques (2019) et une autre près des minimums historiques (2021). La variabilité de l'intensité et de la durée de la crue est demeurée un élément critique au cours des années de recherche du Pôle. D'une part, pour que les dispositifs agricoles prévus à la programmation puissent être implantés, la crue devait être d'assez courte durée pour permettre une saison de croissance suffisamment longue pour les cultures. D'autre part, l'échantillonnage de plusieurs mesures environnementales, telles que l'abondance de zooplancton et des poissons, demandait que la hauteur et la durée de la crue soient assez importantes. Conséquemment, l'hétérogénéité des crues de 2019 à 2022 a eu des impacts sur la mise en place des essais agricoles et sur l'échantillonnage environnemental durant la crue à plusieurs égards selon que la hauteur et la durée de la crue étaient prononcées ou non. Il faut toutefois rappeler que la variabilité des crues du littoral constitue un phénomène propre à ce milieu hydrique. Cette variabilité façonne le fleuve et lui confère des caractéristiques uniques, notamment en termes de fonctions écologiques.

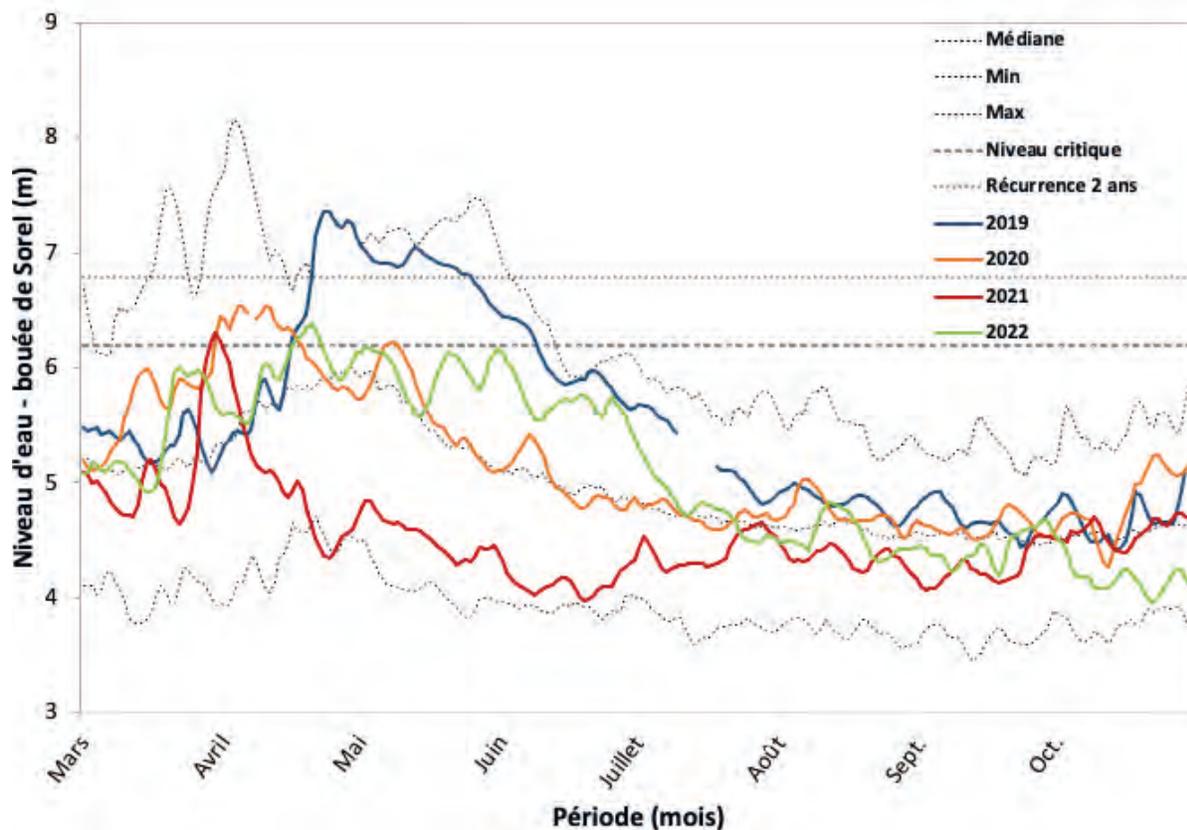


Figure 1.3

Niveaux d'eau historiques (1966-2021) et niveaux d'eau entre le 1^{er} mars et le 31 octobre de 2019 à 2022 enregistrés à la station de Sorel (m). Le niveau critique (6,2 m) correspond au niveau d'eau médian au moment du pic de la période de fraie de la perchaude entre 1960 et 2014 (TCRLSP, 2019). La récurrence deux ans (6,79 m à Sorel) correspond au niveau d'eau maximal atteint par l'inondation une année sur deux. Source : Données d'inventaire de la station de Sorel (15930), Gouvernement du Canada.

En **2019**, le niveau de la crue a été supérieur au maximum historique durant le mois de mai et est demeuré dans les champs pour une longue période. Cette situation a largement retardé les implantations agricoles prévues et a engendré plusieurs changements à la programmation de recherche. Par ailleurs, aucun champ de maïs n'a pu être semé cette saison et plusieurs traitements prévus ont été convertis en cultures de couverture de pleine saison. Du côté de l'axe environnement et faune, la durée prolongée de la présence d'eau dans les champs a permis la réalisation des échantillonnages prévus. Toutefois, comme les traitements du dispositif à grande échelle du Pôle n'étaient pas encore implantés au printemps 2019, les données prélevées par l'axe environnement et faune pendant la crue ne témoignent pas du gradient complet d'utilisation des terres du dispositif à grande échelle, mais plutôt d'un gradient partiel (sans pratique culturale améliorée), reflétant l'utilisation des terres de l'année précédente.

En **2020**, mis à part une augmentation hâtive des niveaux d'eau en avril, la crue était près de la médiane annuelle historique. La période pour laquelle le niveau d'eau était suffisamment élevé pour échantillonner les champs inondés a été de courte durée et est survenue rapidement. La pandémie de COVID-19 a de plus affecté les travaux de recherche du Pôle de plusieurs manières. Selon les projets, la crise sanitaire a occasionné des retards d'analyses, des changements dans les protocoles d'échantillonnage, des augmentations des coûts et l'abandon de certaines composantes des projets.

La crue de **2021** a été quasi inexistante mis à part une faible augmentation du niveau d'eau au début du mois d'avril. Le niveau est ensuite rapidement descendu pour se rapprocher des minimums historiques. Comme en 2020, l'échantillonnage des variables environnementales et fauniques dans l'eau n'a pu être réalisé dans les sites du dispositif à grande échelle du Pôle durant la crue et des chercheurs et chercheuses ont réalisé leurs échantillonnages dans des sites alternatifs. Ainsi, la crue médiane de 2020 et la faible crue de 2021 ont permis, dans une large mesure, de réaliser les traitements agronomiques prévus. Les activités de l'axe environnement et faune ont cependant été entravées étant donné la faible amplitude et la courte durée des crues, particulièrement en 2021.

La crue de **2022** a atteint un niveau maximum comparable au niveau médian historique. Le niveau d'eau est toutefois demeuré près du niveau critique jusqu'au début juillet. La période prolongée de la crue a profité aux chercheurs et chercheuses de l'axe environnement et faune qui ont donc pu déployer les échantillonnages prévus. Cependant, le retrait tardif de l'eau des champs a empêché l'implantation du maïs dans les sites expérimentaux du dispositif à grande échelle par l'axe agriculture.

En plus de la variabilité associée aux crues, des averses ponctuelles importantes, combinées à une problématique d'écoulement des eaux dans le secteur de Baie-du-Febvre, ont causé des inondations estivales aux sites expérimentaux de Baie-du-Febvre en août 2020 et juin 2021. Ces averses ont eu des impacts importants sur la réalisation des travaux et sur les résultats de recherche dans ce secteur.

Ces situations mettent en évidence les difficultés associées aux activités agricoles dans une plaine inondable et la complexité d'opérer une programmation de recherche dans un environnement comme le littoral du LSP. Cette variabilité des crues, qui est naturelle et intrinsèque au fleuve, sera évoquée et discutée tout au long de ce rapport.

1.5

Des travaux socioéconomiques dans un contexte légal changeant

L'axe socioéconomie a quant à lui mené des travaux à trois échelles sociales soit, à l'échelle des producteurs et productrices et des exploitations, à l'échelle de l'ensemble du littoral et à l'échelle de la province et de la politique publique. Ces travaux ont permis d'aller à la rencontre des producteurs et productrices et des divers acteurs du vaste territoire du littoral du LSP. Ils ont aussi donné lieu à d'importants échanges avec les chercheurs et chercheuses des axes agriculture et, environnement et faune.

Quand les travaux du Pôle ont débuté, le contexte sociopolitique était ambigu. Une politique gouvernementale¹ ainsi que divers règlements provinciaux interdisaient la culture des sols, la fertilisation et l'utilisation des pesticides dans les littoraux du Québec, mais les producteurs et productrices n'avaient jamais été confrontés à cette interdiction. Les travaux de recherche ont donc postulé que l'évolution des pratiques agricoles était susceptible d'être autant volontaire que réglementaire ; l'objectif étant d'obtenir des impacts les plus positifs possibles sur les écosystèmes. Puis, en mars 2022, soit pendant nos travaux et avant que les résultats du pôle ne soient connus, le Régime transitoire de gestion des zones littorales, des rives et du littoral² (ci-après Régime transitoire) est entré en vigueur. Celui-ci a levé l'interdiction de cultiver dans les littoraux dans la mesure où certaines nouvelles conditions étaient respectées. Le littoral du LSP fut directement concerné. Ce règlement est alors devenu un élément de contexte important des recherches de l'axe socioéconomie. En effet, il a placé certains changements de pratiques agricoles non plus comme des actions volontaires, mais comme des obligations pour les producteurs et productrices. Selon leur degré d'avancement, les travaux socioéconomiques ont pu plus ou moins intégrer ce nouveau contexte.

Transversalement, les travaux réalisés se déclinent comme suit :

- À l'échelle des parcelles, des producteurs et productrices et de leur exploitation : des analyses économiques ont permis d'évaluer les coûts et bénéfices financiers pour les producteurs et productrices à l'intégration de cultures et pratiques testées par les chercheurs et chercheuses en agronomie ; des enquêtes qualitatives ont permis de comprendre les rapports que les producteurs et productrices entretiennent avec les terres inondables, puis les défis sociotechniques et les freins et facilitateurs à l'adoption volontaire de ces mêmes cultures et pratiques agricoles. Les réactions des producteurs et productrices à la mise en place du Régime transitoire ont finalement été analysées ;
- À l'échelle du littoral : des analyses économiques ont évalué les coûts et bénéfices financiers, privés et publics, de scénarios d'utilisation des terres ; des enquêtes qualitatives se sont penchées sur les rôles du conseil agricole dans l'intégration par les producteurs et productrices des pratiques et cultures testées par le Pôle ; une analyse comparative de 10 cas de réhabilitation de plaine inondable à travers le monde a permis de tirer des enseignements et servi de base à un diagnostic des enjeux de gouvernance pour la réhabilitation environnementale du littoral du LSP ;
- À l'échelle de la province et de la politique publique : un questionnaire a permis d'évaluer le consentement à payer de la population québécoise pour une amélioration de la santé environnementale du LSP ; des enquêtes qualitatives se sont intéressées aux impacts de l'entrée en vigueur du Régime transitoire sur une offre d'indemnisation aux producteurs et productrices pour les coûts associés.

1. La politique de protection des rives, du littoral et des plaines inondables (chapitre Q-2, r. 35) prenait effet par transposition dans les schémas d'aménagement et de développement, puis dans les règlements d'urbanisme des municipalités locales par concordance. Elle a été abrogée en mars 2022.

2. Le nom officiel est Règlement concernant la mise en œuvre provisoire des modifications apportées par le chapitre 7 des lois de 2021 en matière de gestion des risques liés aux crues. Dans ce rapport, les expressions « Régime transitoire » ou « nouvelle réglementation » seront utilisées pour y faire référence.

1.6

Le contenu de ce rapport

Ce rapport est la synthèse des résultats des 26 projets de recherche menés au cours de la période 2019-2024 et de leur mise en commun par des analyses transversales. La **section 2** présente les résultats des essais agronomiques réalisés par les chercheurs et chercheuses de l'axe agriculture. Ces essais visaient à répondre à l'objectif 1 du Pôle qui était de développer des cultures et des pratiques agricoles adaptées au contexte particulier des grands littoraux cultivés du LSP. La **section 3** traite des impacts économiques et sociotechniques de l'adoption potentielle des cultures et pratiques testées par l'axe agriculture (objectif 2 du Pôle). La **section 4** présente les résultats de l'axe environnement et faune qui ont permis d'évaluer les impacts environnementaux et fauniques des activités agricoles (objectif 2 du Pôle). Dans la **section 5**, une analyse spatiale des résultats du Pôle selon le gradient d'élévation dans le littoral est proposée, accompagnée d'une hiérarchisation des champs en fonction de zones prioritaires de conservation. La **section 6** traite quant à elle de principaux enjeux de gouvernance dans le littoral du LSP. Enfin, la **section 7** présente les constats issus des recherches du Pôle et les recommandations qui en découlent (objectif 3 du Pôle).

Chaque section dresse la liste des chercheurs et chercheuses principaux qui y ont contribué directement par leurs travaux. Le lecteur ou la lectrice trouvera également dans ce texte des références mises en évidence en gras souligné. Il s'agit de références à des travaux de recherche réalisés dans le cadre du Pôle et consultables dans le rapport final 2019-2024. Ce rapport est disponible sur le [site web du Pôle](#) et fournit de plus amples détails sur chacun des projets de recherche et leurs résultats.

Clés de lecture

S **Synthèse** présentant les principaux résultats d'un projet de recherche. Pour plus de détails sur le projet : [rapport final 2019-2024](#).

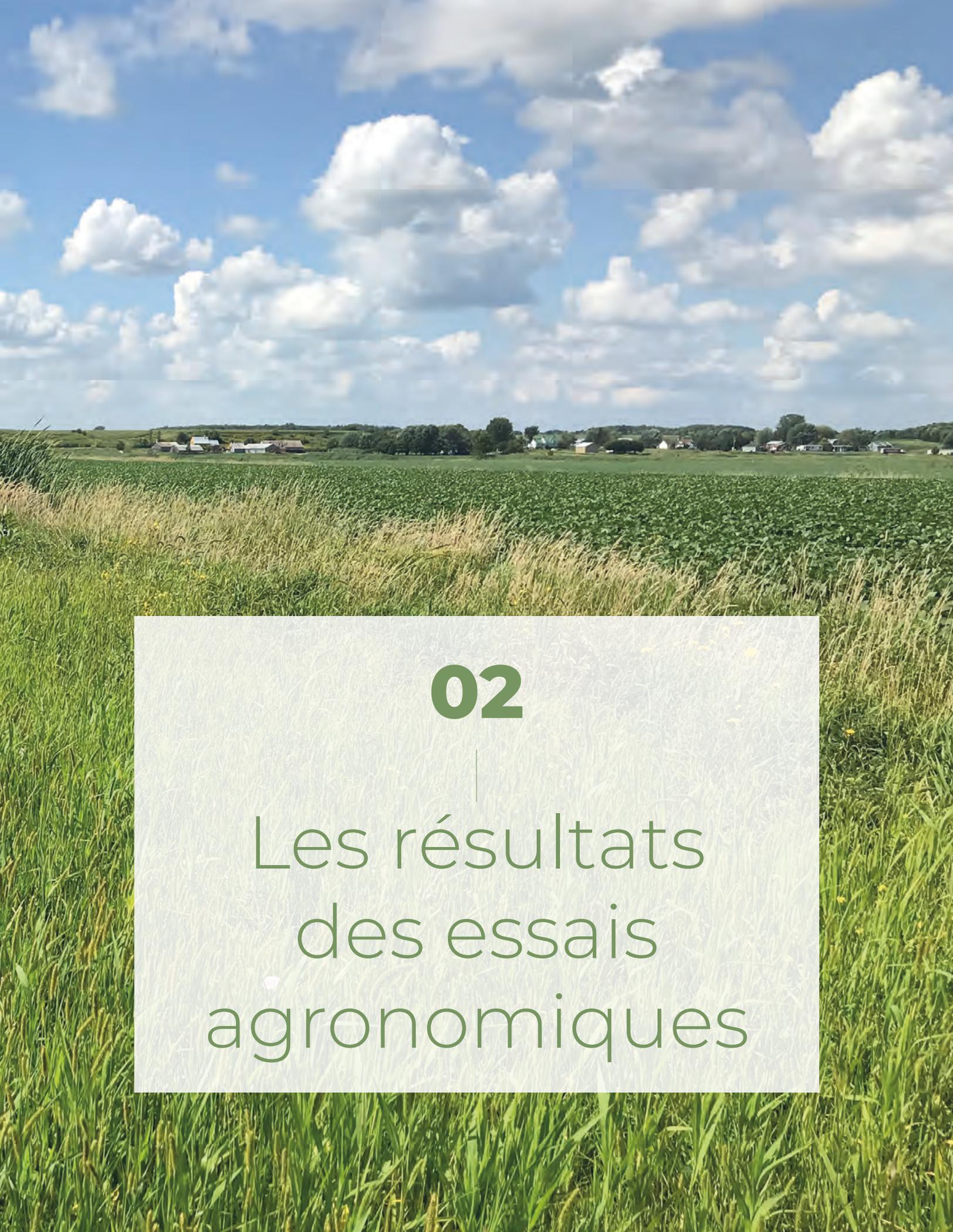
AT **Analyse transversale** de données de recherche produite spécifiquement pour le présent rapport. Le cas échéant, le lecteur trouvera des détails méthodologiques en annexe.

(Fugère et al., 2023)

Référence à un projet de recherche réalisé dans le cadre du Pôle et consultable dans le [rapport final 2019-2024](#).



Essai agronomique en grande parcelle avec bande pérenne (crédit : R.Proulx, 2019)



02

|
Les résultats
des essais
agronomiques

S

Les sections qui suivent présentent les principaux résultats agronomiques obtenus sur les implantations de cultures de couverture, de plantes fourragères, de cultures alternatives, sur les différents aménagements de bandes herbacées pérennes le long des fossés agricoles, sur les suivis effectués en phytoprotection et sur le travail du sol³. Ces différentes cultures et pratiques culturales qui ont été proposées et testées par l'axe agriculture représentent des solutions potentielles pour le développement d'une agriculture durable en zone littorale. Elles sont reconnues au Québec pour être des pratiques agroenvironnementales et de lutte intégrée en agriculture. Leurs effets agronomiques bénéfiques, environnementaux, fauniques et économiques en zone littorale étaient toutefois méconnus.

2.1 Les choix expérimentaux

Le choix des cultures et des pratiques culturales à l'étude s'appuie sur la revue de littérature sur la réhabilitation des plaines inondables cultivées réalisée par Bourgeois et al. (2019) au début des travaux du Pôle. Les différentes cultures et pratiques culturales visées sont également largement documentées dans un contexte agricole hors littoral. Les références des ouvrages consultés sont disponibles dans le document de Bourgeois et al. (2019) ainsi que dans le rapport 2019-2024 qui contient l'ensemble des références de chacun des projets de recherche. Cette section vise à faire ressortir les connaissances scientifiques qui justifient les choix expérimentaux de l'axe agriculture.

L'implantation de **cultures de couverture ou de cultures pérennes** (comme les prairies) permet de pallier les sols laissés à nu par la pratique culturale conventionnelle en grandes cultures. Par hypothèse, ces cultures pourraient avoir le potentiel de fournir un couvert végétal qui rencontre les caractéristiques recherchées pour créer des habitats fauniques de qualité pendant la crue. Par exemple, la situation souhaitée afin de créer des habitats propices à la fraie de la perchaude ou au grand brochet est d'avoir un couvert végétal dense avec une hauteur d'environ 50 cm à l'automne et au retrait de la crue au printemps. Des végétaux ayant des racines denses et profondes, ainsi que des tiges hautes, ramifiées et lignifiées sont les plus susceptibles de résister à la crue.

Les **cultures de couverture** sont des cultures non récoltées qui sont utilisées en agriculture pour leurs nombreux services écosystémiques liés à l'eau et au sol incluant l'augmentation de l'interception des ruissellements, de l'infiltration de l'eau, du contrôle de l'érosion, la réduction des pertes d'azote et de phosphore ainsi que le contrôle des mauvaises herbes et potentiellement la fourniture d'azote à la culture subséquente. Toutefois, les impacts positifs des cultures de couverture restent variables, augmentent généralement avec le temps, et dépendent des techniques de travail du sol ou des conditions climatiques.

3. Chercheurs et chercheuses principaux ayant menés des travaux de recherche pour cette section : Bérenger Bourgeois, Annie Bregard, Philippe Brodeur, Hada Damar, Valérie Gravel, Caroline Halde, Monique Poulin, Zhiming Qi, Philippe Séguin, Mathieu Vaillancourt et Anne Vanasse.

En climats tempérés, les cultures de couverture sont le plus souvent cultivées selon trois principaux systèmes : les systèmes en intercalaire dans lesquels la culture de couverture est semée en même temps que la culture principale, les systèmes en dérobée dans lesquels la culture de couverture est semée à la fin du cycle de la culture principale, ou juste après sa récolte et les systèmes de pleine saison dans lesquels au cours d'une saison de croissance entière, seule la culture de couverture est semée. Plus d'une trentaine de plantes appartenant à trois groupes principaux (graminées, légumineuses, et crucifères) sont classiquement cultivées comme culture de couverture en climat tempéré. Ces espèces diffèrent fortement en termes de tolérance environnementale : le ray-grass, le trèfle rouge (*Trifolium pratense*) et le trèfle Alsike (*Trifolium hybridum*) sont considérés comme plus tolérants aux crues, le seigle (*Secale cereale*) et le lin (*Linum usitatissimum*) ont des résidus persistants, le radis (*Raphanus sativus*) capture l'azote, et le seigle d'automne est une espèce à croissance rapide et tolérante au froid. Les traits fonctionnels des plantes déterminent le plus souvent les services écosystémiques qu'elles fournissent : les espèces au système racinaire dense et profond améliorent l'infiltration de l'eau et la rétention des nutriments, tandis que celles avec une biomasse aérienne élevée limitent plus efficacement le ruissellement de l'eau et le développement d'adventices. En ce sens, les mélanges d'espèces sont susceptibles de fournir une plus grande diversité de services écosystémiques.

L'implantation des **plantes fourragères** permettant un retour aux cultures pérennes dans les zones littorales du LSP était un autre mode d'occupation du sol à étudier davantage. En agriculture, les prairies sont surtout cultivées comme culture fourragère pérenne (pâtures, ensilage, foin), mais peuvent aussi être établies sous forme de bandes de végétation le long des cours d'eau et fossés agricoles pour limiter les pertes de sédiments et de contaminants.

Les cultures fourragères pérennes favorisent généralement le contrôle des adventices grâce à leur recouvrement dense, la fauche régulière et l'absence de travail du sol, défavorables notamment aux adventices annuelles. Diversifier les rotations culturales en alternant les cultures pérennes et les cultures annuelles peut donc promouvoir une réduction de l'utilisation d'herbicides. La composition en espèces fourragères (beaucoup d'études ayant été menées sur la luzerne [*Medicago sativa*]) et leur biomasse tout comme la fertilisation azotée et le type de travail du sol des cultures annuelles peuvent toutefois affecter l'efficacité du contrôle des adventices. L'impact positif des plantes fourragères sur la biodiversité terrestre est bien renseigné dans la littérature. Les cultures pérennes et bandes prairiales abritent généralement une plus grande diversité et abondance d'arthropodes, de pollinisateurs et d'oiseaux champêtres que les cultures annuelles, ce qui favorise le maintien de la biodiversité à l'échelle des paysages. La culture fourragère peut fortement bénéficier à la qualité de l'eau et des sols. Les rotations incluant cultures pérennes et annuelles, tout comme les bandes prairiales, réduisent les ruissellements de surface et augmentent l'infiltration de l'eau, favorisant ainsi la capture de sédiments, d'azote, de phosphore et de résidus de pesticides. Le contenu en carbone organique des sols et leur activité microbienne sont aussi généralement favorisés par la culture de prairies, ce qui peut limiter les risques d'érosion et les pertes de nutriments et bénéficier aux rendements des cultures annuelles subséquentes.

Environ 22 espèces sont communément cultivées comme plante fourragère au Québec, celles-ci étant le plus souvent implantées en mélange pour une durée de 2 à 7 ans. Différents degrés de tolérance environnementale et de performance agronomique caractérisent ces espèces, l'alpiste roseau et la fléole (*Phleum pratense*) étant considérés comme les plus tolérantes aux crues et au gel, respectivement. L'alpiste roseau est une graminée vivace tolérante aux crues qui pousse dans les terres basses et les milieux humides de l'Amérique du Nord, mais qui peut aussi tolérer la sécheresse estivale. En raison de la rigidité de ses tiges et de sa forte biomasse foliaire formant des tapis denses de végétation morte lors des crues printanières, l'alpiste roseau serait une plante potentielle pour la fraie de poissons.

Le choix des espèces fourragères est généralement conditionné par les contraintes environnementales, les pratiques agricoles, mais aussi leur valeur nutritionnelle. La qualité d'un fourrage dépend en effet du contenu énergétique, de la teneur en protéines, de la digestibilité et de l'appétence des espèces cultivées. En particulier, l'alpiste roseau, bien que très tolérant aux crues, peut parfois produire des fourrages de faible qualité, même si de nouveaux cultivars à faible teneur en alcaloïdes ont été développés.

Il était également d'intérêt d'explorer d'autres **cultures commerciales alternatives** au maïs et au soya. Vivaces ou annuelles, ces cultures testées, dites alternatives, avaient été choisies en raison de leurs différentes propriétés bénéfiques. Elles étaient regroupées dans les catégories des oléagineux, légumes, fines herbes, petits fruits, noix, légumineuses, céréales, plantes médicinales, ou cultures commerciales. En grande majorité, ces cultures ont été choisies, car elles étaient comestibles, alors que d'autres étaient médicinales ou représentaient un produit commercial (fibre, bois). Plusieurs étaient de plus utilisées en bandes végétalisées, pour la renaturalisation des sols, ou connues pour fournir des sources de nourriture ou des habitats propices à la biodiversité.

Les **bandes herbacées pérennes le long des fossés agricoles** étaient également un incontournable en termes de pratiques bénéfiques pour la biodiversité et la qualité de l'eau. Apparentées aux bandes végétalisées des cours d'eau, les bandes herbacées pérennes implantées le long des fossés peuvent fournir des services similaires. Parmi ceux-ci, les bandes herbacées pérennes vont augmenter la stabilité du sol, diminuer l'érosion en réduisant le ruissellement et augmentant l'infiltration des eaux de surface. Telles des bandes tampons entre les champs et les fossés, elles vont contribuer à la réduction des pesticides, promouvoir le recyclage des éléments nutritifs en absorbant l'azote soluble, retenir le phosphore dans la biomasse ou capter les sédiments. De plus, elles peuvent augmenter la biodiversité du milieu et ainsi potentiellement contribuer à la régulation des ravageurs et favoriser l'établissement de pollinisateurs. Établir des bandes herbacées pérennes le long des fossés occasionne cependant une perte des superficies agricoles, mais elles n'affectent généralement pas les rendements des cultures principales adjacentes.

Par ailleurs, l'implantation de nouvelles cultures ou pratiques agricoles dans le littoral du LSP devait aussi prendre en considération la **phytoprotection**. Il est en effet souhaitable de réduire l'utilisation de pesticides, sans toutefois créer un déséquilibre phytosanitaire potentiellement néfaste aux cultures. L'utilisation de semences traitées (néonicotinoïdes ou diamide) est remise en question au Québec.

Enfin, ne pas travailler le sol à l'automne et favoriser le **travail réduit du sol** est associé à une pratique agroenvironnementale bénéfique reconnue pour l'amélioration de la qualité de l'eau ainsi que la santé et la conservation des sols. Les méthodes de travail du sol influencent fortement les ruissellements d'eau ainsi que les pertes de sédiments et d'éléments nutritifs.

Plusieurs variables agronomiques des végétaux cultivés ont été mesurées par les chercheurs et chercheuses de l'axe agriculture : rendement, recouvrements par les cultures et les mauvaises herbes, hauteur et biomasses des composantes du couvert végétal à l'automne et au printemps, hauteur « Robel » à l'automne (une mesure qui combine la hauteur et la densité de la végétation), qualité des fourrages, etc. Ces données ont permis entre autres de vérifier non seulement la performance, mais aussi de vérifier le potentiel faunique des plantes.



Échantillonnage de données agronomiques (crédit : P. Magnan-Baril, 2019).

2.2

La pratique culturale améliorée avec cultures de couverture — grandes parcelles

Bref rappel méthodologique

Cette section compare les productions de maïs et de soya et les cultures de couverture des traitements du dispositif à grande échelle des systèmes culturaux suivants (**Vanasse, Bourgeois et al., 2023**) :

- champs de maïs avec pratique culturale conventionnelle ;
- champs de soya avec pratique culturale conventionnelle ;
- champs de maïs avec pratiques culturales améliorées : culture intercalaire de ray-grass annuel (implantée à 4-7 feuilles du maïs) et bandes de 4 m d'alpiste roseau et de ray-grass annuel comme plante abri implantées de chaque côté du champ près des lignes de fossé ;
- champs de soya avec pratiques culturales améliorées : culture intercalaire de blé d'automne (semé en prédéfoliation du soya) et bandes de 4 m d'alpiste roseau et de ray-grass annuel comme plante abri implantées de chaque côté du champ près des lignes de fossé (voir section sur les bandes pérennes).

On y retrouve également les résultats associés aux cultures de couverture de pleine saison de ray-grass annuel et de blé d'automne semées en remplacement du maïs en 2019 en raison de la crue tardive.

La portion des résultats obtenus sur les bandes herbacées pérennes implantées dans les champs des traitements de maïs et de soya est présentée dans la section spécifique aux bandes pérennes (section 2.6).

Résultats — Performance agronomique des cultures de maïs et de soya

Les rendements moyens obtenus avec les pratiques culturales conventionnelles et améliorées étaient similaires, tant pour le maïs que pour le soya, mais avec une certaine variabilité selon les années, les secteurs à l'étude et l'élévation.

Aucun champ de maïs n'a été semé en 2019, à cause de la crue tardive, ce qui équivaut à une perte de rendement importante. De bons rendements de maïs ont été obtenus tant en 2020 (moyenne de 9,0 t/ha) qu'en 2021 (10,5 t/ha) (**tableau 2A.1 de l'annexe 2A**). Le ray-grass annuel établi en culture intercalaire n'a pas affecté le rendement du maïs et favorise même la portance de la moissonneuse-batteuse. Pour le soya, le rendement moyen (2,4 t/ha) était le plus faible en 2019, en raison de la crue prolongée qui a obligé les producteurs et productrices à semer tardivement et du gel hâtif à l'automne alors que les rendements de 2020 (2,8 t/ha) et de 2021 (3,3 t/ha) étaient supérieurs en raison des dates de semis plus hâtives. Il faut noter que les rendements de 2021 se comparent aux rendements obtenus hors de la zone littorale. Pour certains champs en pratiques culturales améliorées, le battage pouvait toutefois s'avérer difficile en raison de la présence du blé d'automne, dont la hauteur était similaire à celle des premières gousses de soya les plus près du sol. Lors d'ajout de bandes herbacées, il est à noter que la diminution de la superficie cultivée induit une baisse de rendement indirecte.

L'analyse des rendements selon différentes élévations à l'intérieur des champs a montré une corrélation significative seulement pour le soya en 2020, avec des rendements plus faibles dans les zones basses, soit celles qui sont plus souvent ou plus longtemps inondées.

Résultats — Performance agronomique des cultures de couverture intercalaires dans les cultures de maïs et de soya

Les cultures de couverture intercalaires de ray-grass annuel dans le maïs et de blé d'automne dans le soya se sont bien établies. Les recouvrements ont été évalués visuellement dans des quadrats, peu de temps avant la première gelée mortelle. Une bonne couverture de sol a été mesurée à l'automne pour le ray-grass (moyenne de 34 %, maximum de 72 %) et pour le blé d'automne (moyenne de 42 %, maximum de 62 %). Il est important de mentionner que le ray-grass aura tendance à être concentré sur les deux entre-rangs qui ont été semés au semoir en ligne entre les rangs de maïs, alors que le blé d'automne semé à la volée aura une répartition plus aléatoire.

Les biomasses aériennes automnales des cultures intercalaires ont varié grandement selon les sites et les secteurs, mais aucune différence significative n'a été détectée entre les deux espèces étudiées. Les rendements moyens de 2020 et 2021 ont été respectivement de 425 kg MS/ha et de 630 kg MS/ha pour le ray-grass et de 615 kg MS/ha et 570 kg MS/ha pour le blé d'automne. Les biomasses de ray-grass les plus élevées (près de 1 000 kg MS/ha) ont été obtenues dans les secteurs de l'Île Dupas, de Baie-du-Febvre ou de Saint-Barthélemy, selon les années. Le blé d'automne intercalaire s'est bien établi même si le semis a été fait à la volée et que cette technique est connue pour engendrer des taux de levée incertains ; les biomasses étant plus variables avec un minimum et un maximum de 388 et 1243 kg MS/ha en 2020 et de 389 et 684 kg MS/ha en 2021. La hauteur mesurée en fin de saison était plus élevée pour le ray-grass (moyenne de 52 cm) que pour le blé d'automne (29 cm). Le ray-grass avait des tiges avec des tiges érigées en fin de saison alors que le blé d'automne formait un couvert plus bas moins lignifié. Ces deux graminées possèdent un système racinaire relativement dense et fibreux.

Pour le ray-grass en intercalaire, le fait de le semer dans des sillons plutôt qu'à la volée a favorisé un bon établissement, mais la production de biomasse dépend entre autres du développement du feuillage du maïs lors du semis et de la compétition des plantes adventices. Si le feuillage du maïs est trop développé lors du semis et qu'il recouvre trop rapidement les entre-rangs, il nuira au développement du ray-grass. Si un champ présente une population élevée de plantes adventices, le ray-grass ne sera pas compétitif et pourra moins se développer (Bourgeois et al. 2019). D'autres espèces (comme les légumineuses) pourraient aussi être semées en combinaison avec le ray-grass, mais cela n'a pas été étudié dans le cadre de la présente recherche.

Pour le blé d'automne en intercalaire, l'enjeu demeure de synchroniser le semis à la volée avec les précipitations pour favoriser la germination, et ce, avant que le soya ne perde ses feuilles (à 10-20 % de défoliation) et sans nuire au battage. Un semis fait trop hâtivement ou à des taux de semis trop élevés, conjugués avec un automne pluvieux, peut mener à une biomasse et à une hauteur de blé d'automne qui nuisent au battage du soya.

En effet, le fait d'avoir des tiges de ray-grass d'une certaine hauteur à l'automne semble être un atout potentiel pour l'habitat faunique et cela ne nuit pas aux opérations de récolte puisque les épis de maïs se situent au-dessus des plants de ray-grass. De plus, le couvert de ray-grass a amélioré la portance de la batteuse, ce qui est un atout pour les producteurs et productrices. Pour le blé d'automne, il en est tout autrement. Même si la hauteur du blé est plus faible, ce dernier se trouve au même niveau que les premières gousses de soya, ce qui peut nuire aux travaux de récolte, augmenter le temps de battage et affecter la qualité des grains (si le feuillage du blé tache les grains).

Résultats — Performance agronomique des cultures de couverture de pleine saison

En 2019, les champs de ray-grass annuel et de blé d'automne semés en cultures de couverture de pleine saison en remplacement du maïs ont produit de bons rendements en biomasse en fin de saison (ray-grass annuel, moyenne de 4 500 kg MS/ha ; blé d'automne, moyenne de 3 400 kg MS/ha). La hauteur Robel du ray-grass annuel (35 cm) était plus élevée que celle du blé d'automne (19 cm). Les mesures prélevées au printemps confirment la présence de résidus qui ont le potentiel à la fois de réduire l'érosion des sols en comparaison avec un sol nu et de procurer un habitat faunique pour la fraie du poisson. Considérant le potentiel environnemental et faunique des cultures de couverture en pleine saison, différentes possibilités de valorisation de cette biomasse végétale seraient à évaluer (fauche, biométhanisation).

Dans un contexte de cultures de couverture de pleine saison établie lors de crue tardive, il serait aussi envisageable d'établir des mélanges d'espèces, par exemple, un mélange de blé d'automne (ou de seigle d'automne) et de vesce velue (*Vicia villosa*) ou un mélange avoine/vesce velue/lin (voir projet de cultures de couverture en petites parcelles à la section 2.3) ou encore un mélange fauchable de sorgho-soudan (*Sorghum bicolor x drummondii*) et de vesce velue. Dans le présent projet, seules des graminées ont été semées afin de ne pas influencer à la hausse les teneurs en azote du sol provenant de légumineuses, mais aussi pour s'assurer d'obtenir un couvert dense à l'automne et au printemps dans un contexte de cohabitation agriculture-faune.



Essai agronomique en grande parcelle à Baie-du-Fevbre (crédit : P. Magnan-Baril, 2019)

2.3

La pratique culturale améliorée avec cultures de couverture — petites parcelles

Cultures de couverture intercalaires dans le maïs

Bref rappel méthodologique

Deux essais distincts de cultures de couverture implantées en intercalaire dans le maïs (simultanément au semis de la culture principale) ont été effectués sur un site à Baie-du-Febvre en 2020 et en 2021 ([Halde et al., 2023](#)). Les différentes espèces de cultures de couverture testées étaient : ray-grass annuel, mélange de ray-grass annuel et de trèfle incarnat (*Trifolium incarnatum* L. cv non spécifié [ordinaire]); mélange à trois espèces, composé de ray-grass annuel, vesce velue (*Vicia villosa* Roth cv non spécifié [ordinaire]) et de lin (*Linum usitatissimum* L. cv Bethune) en 2020 et de ray-grass annuel, vesce velue et radis fourrager (*Raphanus sativus* L. cv non spécifié [ordinaire]) en 2021.

Les cultures de couverture ont été implantées selon deux espacements entre les rangs de maïs : 76 cm (espacement conventionnel) et 152 cm (corridor solaire). L'ensoleillement réduit entre les rangs d'une production de maïs peut limiter le développement de cultures de couverture intercalaires. Pour contrer le manque de lumière, un espacement plus grand des entre-rangs peut permettre d'obtenir une meilleure croissance des cultures de couverture grâce à l'optimisation de l'utilisation du rayonnement solaire selon le concept d'un système cultural en corridor solaire.

Résultats

Les deux essais réalisés annuellement ont été traités distinctement au niveau des analyses statistiques. Des différences au niveau de l'établissement et de la croissance des cultures de couverture ont toutefois été relevées. En considérant la moyenne de tous les traitements d'espèces et d'espacements, la moyenne de recouvrement était 2,2 fois supérieure en 2021 (66 %) comparativement à 2020 (29 %) (**tableau 2A.4 de l'annexe 2A**). Il en va de même pour la biomasse aérienne automnale, qui fut 2,4 fois plus élevée en 2021 qu'en 2020 (2 045 par rapport à 850 kg MS/ha).

Toutes les espèces semées seules ou en mélanges se sont établies, mais avec des performances variables selon les années. Les mélanges de trois espèces ont été les plus performants pour le recouvrement et la production de biomasse aérienne pour chacune des deux années. En 2020, la hauteur Robel du mélange était de 31 cm, soit plus haut que les autres traitements (10 cm en moyenne), alors qu'en 2021, la hauteur totale était de 89 cm, similaire au mélange de ray-grass et trèfle incarnat. Toutefois, le mélange incluant le lin ne pourrait pas être recommandé étant donné que les plants de lin pourraient rendre difficile le battage du maïs. La résistance des résidus de cultures à l'hiver et à la crue n'a pas été mesurée directement dans ce projet.

L'espacement de 152 cm entre les rangs de maïs a permis de doubler en 2020 et de tripler en 2021 la biomasse des cultures de couverture par rapport à l'espacement de 76 cm. La biomasse des plantes adventices était aussi plus élevée à 152 cm qu'à 76 cm, et ce, pour les deux années de l'étude. Chaque année, les rendements de maïs obtenus avec l'espacement de 152 cm ont été inférieurs de 31 % à ceux obtenus avec un espacement de 76 cm. Autant pour l'essai de 2020 que celui de 2021, les cultures intercalaires n'ont pas eu d'effet sur le rendement de la culture comparativement au témoin sans cultures de couverture.

Cultures de couverture intercalaires dans le soya

Bref rappel méthodologique

Un essai testant différentes cultures intercalaires dans le soya (simultanément au semis de la culture principale) a été effectué en 2021 et 2022, à deux sites situés à Baie-du-Febvre (Site BAIE06) et à Saint-Barthélemy (Site BART14) ([Halde et al., 2023](#)). Les quatre espèces testées étaient : lotier corniculé (*Lotus corniculatus* L.), mélilot jaune (*Melilotus officinalis* L.), trèfle blanc nain (*Trifolium repens* L.) et vesce velue (*Vicia villosa* Roth). Elles ont été semées en même temps que le soya.

Résultats

En 2021, le développement des cultures de couverture, des plantes adventices et du soya a été très différent d'un site à l'autre. En 2022, les deux sites ont eu des résultats similaires de cultures de couvertures et de plantes adventices, mais les rendements du soya obtenus ont été très différents.

Parmi les cultures de couverture testées, le mélilot jaune (de 1 123 à 5 411 kg MS ha⁻¹) à 4 années/sites et la vesce velue (de 1 723 à 1 959 kg MS ha⁻¹) à 3 années/sites ont produit des biomasses élevées, la vesce velue n'ayant pas performé à BART14 en 2021. Toutefois, la végétation trop haute nuit à la récolte du soya ce qui rend difficile de recommander ces espèces. En 2021, le lotier corniculé (625 kg MS ha⁻¹ en moyenne) et le trèfle blanc (293 kg MS ha⁻¹ en moyenne) ont produit peu de biomasse aux deux sites alors qu'en 2022, chacun (lotier corniculé : 1 185 kg MS ha⁻¹ ; trèfle blanc : 1 157 kg MS ha⁻¹, en moyenne) a atteint le seuil souhaité de biomasse produite (biomasse supérieure à 1 000 kg MS ha⁻¹, seuil au-delà duquel on peut envisager un effet possible des cultures de couverture sur le sol et la culture commerciale) (**tableau 2A.4 de l'annexe 2A**). Après 4 années/sites, les résultats montrent que le lotier corniculé et le trèfle blanc sont des espèces à recommander comme cultures intercalaires se développant plus près du sol et présentant moins de risque de nuire à la récolte du soya. En fin de saisons, les hauteurs du lotier corniculé et du trèfle blanc étaient inférieures à 21 cm alors que celles du mélilot jaune et de la vesce velue étaient entre 30 et 40 cm. La résistance des résidus de cultures à l'hiver et à la crue n'a pas été mesurée directement dans ce projet.

En 2021, le mélilot jaune et la vesce velue ont exercé une répression des plantes adventices sur le site BAIE06 qui en était très infesté avec un recouvrement 11,5 fois moins élevé (3,7 %) de mauvaises herbes par rapport au témoin (42,5 %). Aux autres années/sites, toutes les cultures de couvertures ont montré une certaine répression des plantes adventices (en moyenne 2,9 fois moins de recouvrement de mauvaises herbes), mais ces sites étaient peu enherbés (en moyenne 15 % du sol couvert en mauvaises herbes dans les témoins) ce qui ne permet pas d'y affirmer cet effet.

Au site BAIE06, les rendements en soya ont été de 1,75 t ha⁻¹ en 2021 et de 1,39 t ha⁻¹ en 2022. Au site BART14, en opposition à un rendement ayant atteint le potentiel dans le secteur en 2021 (3,14 t ha⁻¹), le rendement de 2022 a été très bas (0,64 t ha⁻¹). Aucun effet spécifique des cultures de couverture sur le soya n'a été observé, bien que les rendements aient été peu élevés chaque année au site BAIE06 et très bas en 2022 au site BART14. Pour ce dernier, ce résultat s'expliquerait en raison d'un travail de sol effectué avec un motoculteur motorisé dans des conditions d'humidité élevée ayant pu nuire à la bonne germination du soya, d'un semis tardif et d'une infestation de pucerons en cours de saison.

À titre indicatif, dans le cas où des herbicides seraient utilisés pour limiter la concurrence exercée par les plantes adventices avant l'implantation des cultures de couverture, l'enjeu pour l'établissement de cultures de couverture intercalaires est d'intervenir dans une fenêtre relativement courte, soit une période brève durant laquelle le soya est assez développé pour ne pas être compétitionné par les cultures de couverture, mais aussi que le soya n'est pas trop développé en hauteur (afin de permettre le passage du semoir en ligne sans abimer les plants de soya). Le stade de la culture visé pour une intervention phytosanitaire se situe au stade 2-3 feuilles trifoliées du soya.

Cultures de couverture de pleine saison

Bref rappel méthodologique

Des cultures de couverture de pleine saison (en l'absence d'une culture principale) ont été évaluées (**Halde et al., 2023**). Celles-ci pourraient être envisagées sur les terres cultivées du littoral, dans le contexte d'une crue printanière prolongée qui rendrait impossible le semis de cultures commerciales. Les essais ont été menés sur deux années (2019 et 2020) sur deux sites à Baie-du-Febvre (BAIE06) et à Saint-Barthélemy (BART14). Les espèces testées étaient : ray-grass vivace (*Lolium perenne* L. cv Mathilde), seigle d'automne (*Secale cereale* L. cv Gauthier ; SA), mélange de seigle d'automne et de trèfle rouge (*Trifolium pratense* L. cv Merviot), mélange de seigle d'automne et de vesce velue et un mélange d'avoine, de vesce velue et de lin. Chaque parcelle a été divisée en deux : désherbée à la main (dont les résultats ne sont pas détaillés dans ce rapport) et non désherbée.

Résultats

En moyenne sur les 2 sites et les 2 années, le pourcentage de recouvrement par les cultures de couverture et la biomasse de cultures de couverture étaient respectivement 1,37 (55,6 vs 40,6 %) et 1,41 (1968 vs 1392 kg MS ha⁻¹) fois plus élevés dans des parcelles désherbées par rapport à des parcelles non désherbées.

Les résultats des parcelles non désherbées ont permis de constater que parmi les espèces testées, le mélange avoine/vesce velue/lin a presque toujours mené à une biomasse significativement plus élevée (2 428 à 4 949 kg MS ha⁻¹ par rapport à 0 à 2 589 kg MS ha⁻¹ pour les autres cultures de couverture) (**tableau 2A.4 de l'annexe 2A**). De même, le mélange avoine/vesce velue/lin présentait les hauteurs et hauteurs Robel (cultures de couverture + plantes adventices) à l'automne les plus élevées, comprises entre 48 et 76 cm par rapport à 4 à 49 cm pour les autres cultures de couvertures. Le ray-grass vivace et le mélange avoine/vesce velue/lin ont exercé une réduction des mauvaises herbes avec à l'automne de 1,2 et de 2,6 fois moins de recouvrement par les adventices respectivement.

La résistance des résidus de cultures à l'hiver et à la crue a été mesurée dans ce projet. Seules les tiges de lin du mélange avoine/vesce velue/lin étaient encore debout à chacun des sites et à chaque année après la décrue.

Il faut s'interroger, cependant, à savoir si l'avoine et le lin auront produit des graines qui pourraient se transformer en plantes adventices l'année suivante et si les tiges de lin pourraient causer des difficultés lors du travail du sol, au printemps.



Essais agronomiques de mélilot en intercalaire dans le soya (gauche), d'un mélange ray-grass, radis et vesce velue (centre) et de ray-grass (droite) en intercalaire dans le maïs (avec espacement d'entre-rangs de 152 cm (60 pouces)) (crédit : C. Halde, 2021).

2.4

Les prairies — grandes parcelles

Bref rappel méthodologique

Cette section présente les principaux résultats obtenus dans le dispositif à grande échelle de systèmes culturaux pour les champs de prairies (Seguin et al., 2023) :

- champs de nouvelles prairies d’alpeste roseau établies entre 2018 et 2022 (2 champs établis en 2018 avant les travaux du Pôle et les autres champs, établis avec de l’avoine comme plante-abri en 2019, 2020 et 2021) ;
- champs de vieilles prairies avec une composition en espèces variées établies depuis plusieurs années (> 5 ans).

Résultats de la performance agronomique des prairies

Les nouvelles prairies d’alpeste roseau semées en 2019, 2020, et 2021 se sont toutes mal établies (**tableau 2A.2, annexe 2A**). L’établissement des nouvelles prairies d’alpeste roseau dans le littoral du LSP est un réel défi, même quand l’avoine est utilisée en plante-abri, à cause de la compétition exercée par les densités très élevées de plantes adventices présentes en zone littorale. L’établissement dépend donc des banques de graines intrinsèques aux différents sites, mais aussi de la qualité du semis liée aux différents types de semoirs et au type de sol. Il est important de noter qu’aucun herbicide ne fut utilisé lors des semis pour des raisons techniques et logistiques. Une utilisation d’herbicides appropriée ou l’utilisation d’une stratégie intégrée, incluant un bon travail du sol, une amélioration de qualité des semis (par ex.: par une augmentation des taux de semis ou l’utilisation de semoirs autres que Brillion), une meilleure régie de fauche spécifique à la lutte aux plantes adventices, ou le désherbage mécanique auraient probablement réduit la présence de plantes adventices et auraient contribué à augmenter la présence d’alpeste roseau et son succès d’implantation.

Les rendements des différents types de prairies (vieilles, nouvelles semées en 2018, nouvelles semées avec avoine en 2019, 2020 et 2021) n’étaient pas statistiquement différents. La moyenne des rendements fut de 4,4 t MS/ha pour les vieilles prairies, de 4,7 t MS/ha pour les nouvelles prairies établies avec de l’avoine en 2019/2020/2021 et de 7,1 t MS/ha pour les nouvelles prairies établies en 2018 (**tableau 2.1**). De très grandes différences dans le rendement des mêmes types de prairies ont été observées entre les secteurs à cause de différences entre les périodes de la crue, qui ont affecté le nombre de coupes possibles. Les rendements observés pour les nouvelles prairies d’alpeste roseau semées en 2018 ont été supérieurs à la moyenne provinciale pour les dix dernières années (à savoir 5,4 t MS/ha). Ces données montrent que lorsqu’elles sont bien établies, des prairies d’alpeste roseau dans la zone du littoral du LSP peuvent donner des rendements comparables ou supérieurs à la moyenne provinciale. En fin de saison, les biomasses résiduelles et la hauteur de la végétation étaient très variables, car elles dépendaient du nombre de coupes et, surtout, de la date de la dernière coupe. En général, presque toutes les prairies sont demeurées sous une hauteur Robel de 50 cm, qui est souvent considérée comme un bon seuil indicateur d’habitat faunique.

Tableau. 2.1.

Rendements et composition selon le type de prairie.

Vieilles prairies	Nouvelles prairies	Prairies de 2018
4,4 t MS ha ⁻¹	4,7 t MS ha ⁻¹	7,1 t MS ha ⁻¹
30—35 % fléole des prés et alpeste roseau	30—60 % avoine (plante abri)	80 % alpeste roseau

La composition botanique des différents types de prairies était très variable. Dans les prairies semées en 2018, la contribution au rendement de l’alpiste roseau était environ de 80 %, tandis que les vieilles prairies étaient dominées par des espèces qui ont généralement une faible valeur nutritive et une faible appétence (par ex. : glycérie, chiendent, carex). Dans ces prairies, l’alpiste roseau et la fléole des prés ont contribué seulement à 30-35 % du rendement pour les trois années. Dans les nouvelles prairies établies en 2019 et 2021, l’avoine (plante-abri) représentait environ 60 % du rendement total et 30 % en 2020. Le reste de la biomasse était surtout constitué de plantes adventices.

Des différences de valeur nutritive du fourrage ont été observées chaque année entre les différents types de prairies. Cependant, la valeur nutritive du fourrage était faible de façon générale, et insuffisante pour subvenir aux besoins de vaches laitières en lactation. En effet, les teneurs en fibres NDF et ADF étaient souvent supérieures à 55 % et 35 %, respectivement. Cela étant dit, la valeur nutritive du fourrage était souvent plus élevée pour les nouvelles prairies établies en 2018 et dominées par l’alpiste roseau, mais demeurait inférieure aux besoins de vaches laitières en lactation.

2.5 Les prairies — petites parcelles

Bref rappel méthodologique

Trois études sur les plantes fourragères ont été réalisées en petites parcelles afin d’évaluer différents traitements ([Seguin et al., 2023](#)) :

1. de régie (nombre de récoltes et fertilisation azotée) et d’espèces des plantes fourragères (semées seules ou en mélange complexe) ;
2. de régie (nombre de récoltes et fertilisation azotée) de l’alpiste roseau implanté depuis 2018 ;
3. de techniques d’implantation (taux de semis, enrobage de semences avec de l’argile) de l’alpiste roseau.

L’étude 1 comprenait deux types de dispositifs implantés dans un même champ, soit un dispositif en zone basse (cote de niveau d’eau <6,2 m) et un autre dispositif en zone haute (entre 6,2 et 6,8 m) afin de les comparer. Les études 1 et 3 se sont déroulées dans les secteurs de Baie-du-Fèvre et de Saint-Barthélemy et les sites de l’étude 2 étaient situés à Saint-Barthélemy et à Maskinongé (**tableau 2A.5, annexe 2A**).

Résultats

Dans la plupart des dispositifs expérimentaux, l’implantation des espèces fourragères fut extrêmement difficile compte tenu d’une multitude de facteurs, incluant une forte pression de plantes adventices, une sécheresse à la suite des semis, des sols lourds et argileux sur certains sites pour lesquels un semoir de type Brillon est inapproprié et des épisodes d’accumulation d’eau à la suite d’importantes précipitations au cours de l’été (au site de Baie-du-Fèvre). La survie des plants qui se sont établis malgré les conditions difficiles lors de l’implantation fut également limitée par le dépôt dans les parcelles de résidus végétaux et/ou de sédiments lors du retrait des eaux au printemps. Ces dépôts n’étaient pas observés dans l’ensemble des champs : ils étaient souvent malheureusement limités à la zone d’expérimentation.

Dans les dispositifs de l’étude 1 établis en 2019 et en 2020, le mélange complexe (alpiste roseau, féтуque rouge [2020], fléole des prés, vulpin des prés, brome inerme, lotier corniculé et avoine en plante-abri) a donné les meilleurs résultats en matière d’implantation, de rendement et de survie à l’hiver et à la crue. Parmi les espèces du mélange complexe, le lotier corniculé fut l’espèce qui eut la meilleure implantation et survie. Le lotier corniculé semble être une espèce qui a un bon potentiel pour le littoral du LSP et son évaluation devrait être poursuivie.

Dans le dispositif expérimental de l'étude 2 utilisant deux prairies bien établies en 2018, composé d'alpiste roseau, les rendements annuels totaux (au stade début d'épiaison) étaient en moyenne de 6 974 kg MS/ha pour les régies à deux récoltes et de 2 600 kg MS/ha pour les régies à une seule récolte. Les prairies d'alpiste roseau bien implantées peuvent donc produire, avec une régie à deux récoltes et une fertilisation azotée après la première récolte, des rendements comparables et même supérieurs à la moyenne provinciale. Des régies moins intensives (une récolte) ont produit une biomasse résiduelle en fin de saison et des hauteurs et auteurs Robel de la végétation qui étaient supérieures à celles observées pour des régies plus intensives (deux récoltes). Une régie à une récolte avec fertilisation azotée a produit une biomasse ayant une hauteur Robel de 70 cm, comparée à 59 cm pour une régie à une récolte sans fertilisation azotée et à seulement 22 cm pour des régies à deux récoltes. Des régies plus intensives favorisent donc la production fourragère en saison, tandis que des régies moins intensives maximisent la biomasse résiduelle observée à l'automne. Cette biomasse résiduelle représente un habitat potentiel pouvant être utilisé durant la crue au printemps par les populations de poissons qui effectuent leur ponte dans le littoral du LSP (voir section 2.7). Il ne semble toutefois pas possible de maximiser les rendements en fourrages pour les besoins agricoles (en faisant deux récoltes) tout en répondant aux besoins de la faune (à savoir la perchaude).

L'enrobage avec de l'argile des semences d'alpiste roseau et l'augmentation du taux de semis de l'alpiste au-delà du taux présentement recommandé (c'est-à-dire 11 kg ha⁻¹) n'ont pas eu d'impact sur le succès de son implantation, sur un site lors d'une année d'expérimentation (2021).

Dans les trois études, la valeur nutritive des fourrages était souvent inférieure à ce qui est considéré comme acceptable pour une utilisation en alimentation animale. Des utilisations alternatives des fourrages produits dans le littoral du LSP (comme pour la litière et les bioproduits) devraient être considérées.



Essais de plantes fourragères en petites parcelles (crédit : P. Seguin, 2019).

2.6

Les bandes pérennes

Dispositif à grande échelle de systèmes culturaux

Bref rappel méthodologique

Dans le cadre de pratiques culturales améliorées, dans les champs où ont été testées des cultures intercalaires de ray-grass annuel dans le maïs ou de blé d'automne dans le soya, dès 2019, des bandes de 4 m de largeur d'alpiste roseau et de ray-grass annuel comme plante abri ont été implantées de chaque côté des champs, près des lignes de fossés (**Vanasse, Bourgeois et al., 2023**).

Résultats

Les bandes d'alpiste roseau et de ray-grass ont été bien établies pour 6 sites sur 8. Ces bandes, ayant été semées en 2019, ont pu être suivies sur trois ans (2020, 2021 et 2022). Les résultats permettent de constater des gains importants de biomasse entre l'année 2 après l'implantation et l'année 3 : une biomasse de 2,5 à 4,8 fois plus élevée en 2021 qu'en 2020 pour les bandes des secteurs les mieux établies. La production de biomasse moyenne des bandes était de 2 687 kg MS/ha après trois ans, mais les données révèlent une très grande variabilité entre les quatre secteurs étudiés, allant de 187 kg MS/ha pour le site de Baie-du-Febvre à 6 106 kg MS/ha pour le site de l'Île Dupas. Les valeurs minimums et maximums mesurées en 2022 étaient de 274 à 6430 kg MS/ha. Les données de recouvrement automnal ont suivi les mêmes tendances que celles de la biomasse.

En moyenne, pour toutes les bandes, les valeurs de recouvrement sont passées de 23 % en 2020 à 42 % en 2021. Les recouvrements ont varié entre les secteurs. En 2022, ils ont atteint des valeurs maximales dans les bandes des secteurs de Saint-Barthélemy (1 champ), de Pierreville et de l'Île Dupas, entre 47 à 92 %, alors que certaines bandes présentaient des couverts plus faibles (entre 9 et 30 %) à Saint-Barthélemy (1 champ) et à Baie-du-Febvre. Enfin, dans ces mêmes groupes, les bandes les mieux établies ont atteint une hauteur Robel en 2022 de 81 à 97 cm et celles avec des couverts plus faibles, de 15 à 52 cm.

Les secteurs où les champs expérimentaux avaient plus de plantes adventices étaient ceux où le succès d'établissement des bandes était le plus faible. De plus, les biomasses annuelles faibles, notamment à Baie-du-Febvre, peut aussi s'expliquer par le type de sol très argileux, qui a rendu difficile le travail du sol avant l'implantation des bandes et un mauvais contact sol-semences. Ainsi, une faible pression de mauvaises herbes et une texture du sol plus légère, propice à un lit de semences adéquat, sont des facteurs qui favorisent un meilleur établissement. Ces bandes d'alpiste roseau de 4 m établies près des fossés agricoles ont un rôle à jouer dans la protection contre l'érosion du sol en plus d'avoir un potentiel d'habitat faunique pour la perchaude ou les autres espèces.



Bandes pérennes aux pourtours des grandes parcelles d'essais (crédit : A. Vanasse, 2019).

Dispositif à grande échelle de bandes pérennes herbacées

Bref rappel méthodologique

Dans le dispositif dédié uniquement aux bandes pérennes ([Poulin et al., 2023](#)), des bandes herbacées ont été établies en 2020 dans trois secteurs (Baie-du-Febvre, Yamachiche, Saint-Cuthbert). Pour chaque secteur, des bandes étaient établies de part et d'autre de deux fossés agricoles, l'un bordé de bandes de 2 m de largeur et l'autre, de bandes de 4 m. Celles-ci étaient semées avec un mélange d'alpiste roseau et d'avoine en plante-abri. L'établissement de la végétation a été suivi sur quatre ans, de 2020 à 2023, ce qui inclut l'année d'implantation (2020). Ce dispositif servait notamment à étudier l'effet de la largeur des bandes d'alpiste sur la réduction de la sédimentation dans les fossés de drainage, en comparaison à un fossé témoin sans bande étudié pour chacun des trois secteurs ([Qi et al., 2023](#)). Les données de végétation de ce dispositif ont quant à elles été combinées avec celles des bandes du dispositif à grande échelle de systèmes cultureux afin de mieux comprendre l'établissement des bandes d'alpiste à l'échelle de la plaine inondable. De plus, un échantillonnage orienté sur la recherche d'œufs de poisson (perchaude et brochet) a été réalisé au printemps 2022 dans quelques bandes herbacées comprises dans ces deux dispositifs (voir section 2.7).

Résultats — Bandes pérennes herbacées

À l'an quatre de leur établissement (automne 2022 pour les bandes du dispositif de systèmes cultureux et automne 2023 pour les bandes du dispositif de bandes pérennes herbacées), les bandes d'alpiste roseau ont produit une biomasse moyenne de 4 666 kg MS/ha. Le recouvrement moyen de l'alpiste dans ces bandes était plutôt élevé, soit de 55 %. Il est à noter que cette productivité était plus grande (5 078 g MS/ha ; 62 % des parcelles) si l'alpiste s'était implanté dès la première année que s'il ne s'était pas établi et avait nécessité un resemis complet à l'an deux (3 910 kg MS/ha ; 38 % des parcelles).

La biomasse des plantes adventices diminuait d'année en année, jusqu'à atteindre une biomasse moyenne de 530 kg MS/ha à l'an quatre, avec un recouvrement moyen de 30 %.

La productivité des bandes semées variait entre les différents secteurs. Après quatre ans, elle était maximale dans le secteur de Saint-Cuthbert (6 141 kg MS/ha) et minimale dans le secteur de Baie-du-Febvre Est (1 179 kg MS/ha). Les secteurs présentant le plus de plantes adventices étaient ceux où le succès d'établissement des bandes était le plus faible.

L'établissement des bandes d'alpiste roseau étant très variable entre les champs d'un même secteur, voire entre les différentes élévations le long d'un même fossé, les bandes d'alpiste semées selon la méthodologie utilisée dans ces dispositifs ne constituent pas une pratique de revégétalisation pouvant être appliquée uniformément à tous les champs de la zone littorale. Il est toutefois possible d'affirmer que malgré une croissance lente, l'alpiste finit généralement par s'établir et offrir une biomasse importante dans la plupart des sites étudiés.

Le succès d'implantation des bandes des deux dispositifs était lié à trois facteurs principaux, le premier étant la date de la première pluie après le semis, qui explique 62 % des succès d'établissement. Si l'alpiste et la plante-abri étaient semés moins de trois jours avant une pluie de plus de 3 mm, le taux de succès d'implantation était de 94 %. Si toutefois la première pluie arrivait plus tard, d'autres facteurs entraient alors en jeu. Un taux de succès assez élevé (82 %) pouvait encore être obtenu si les quadrats étaient caractérisés à la fois par un faible contenu en argile (<21 %) et une position plus élevée (>6 m). Inversement, un haut taux d'échec était observé pour les quadrats ayant soit un contenu en argile plus élevé (23 % de succès), soit une plus faible élévation (17 % de succès).

Globalement, le rôle des bandes pérennes sur la rétention des sédiments a été montré dans le dispositif à grande échelle spécifique aux bandes pérennes. En moyenne, aux trois sites, les bandes herbacées ont permis de réduire significativement la sédimentation dans les six fossés. L'accumulation moyenne de sédiments dans les fossés avec des bandes de 2 et de 4 m était réduite de 21,4 et 29,3 % respectivement, par rapport aux fossés témoins sans bande herbacée (voir [Qi et al., 2023](#)). La différence entre les bandes de 2 m et de 4 m était non significative. Il est à noter qu'une grande variation était observée entre les sites et les années.

Autres essais de bandes pérennes herbacées à petite échelle

En complément aux deux études à grande échelle, des essais en champs (à petite échelle) sur la diversification des bandes herbacées ont été réalisés, en vue d'explorer des alternatives à l'alpiste roseau. Des essais en laboratoire ont également été réalisés, cette fois afin de tester la productivité et la tolérance à la crue de quatre espèces (*Alopecurus pratensis* L., *Phalaris arundinacea* L., *Asclepias incarnata* L. et *Melilotus officinalis* [L.] Lam.) en monocultures et en mélanges à 2, 3 ou 4 espèces (**Poulin et al., 2023**).

Par ailleurs, un inventaire de la flore a également été fait en 2019 afin de connaître la végétation du littoral du LSP, et d'explorer le rôle de la durée des crues et de l'intensification des cultures annuelles dans le paysage sur cette flore. Au cours de cet inventaire, 125 milieux naturels et semi-naturels dans des paysages contrastés le long d'un gradient d'utilisation des terres ont été échantillonnés. Ces milieux étaient des friches, des prairies humides et des marais, dont le paysage immédiat (1 km²) présentait un couvert faible (<5 %), intermédiaire (20-35 %) ou élevé (>60 %) de cultures annuelles. Le temps de résidence de l'eau a aussi été obtenu pour chacun des sites pour les années 2019 et 2020 pour évaluer la résistance des plantes à la crue.

Enfin, un second inventaire de la flore a été fait en 2021 sur des sites propices à la ponte pour la perchaude et le brochet. Ces sites avaient préalablement été identifiés en 2019 par le MELCCFP.

Résultats — Essais de bandes herbacées diversifiées en champs et en laboratoire

L'établissement de bandes herbacées diversifiées, en guise de solution de rechange à des bandes d'alpiste roseau, nécessite davantage de recherche afin de constituer des mélanges capables de s'établir rapidement et d'offrir une bonne biomasse. Ces essais ont tout de même permis de conclure que, malgré une croissance importante des plantes adventices, il était possible d'établir certaines espèces herbacées pérennes à partir de semis, soit *Agrostis gigantea*, *Asclepias incarnata*, *Elymus virginicus*, *Lotus corniculatus*, *Panicum virgatum* et *Poa palustris*.

L'expérience en serre a montré que l'alpiste semble plus productif lorsqu'il est implanté en mélange de trois espèces. La biomasse aérienne et la biomasse souterraine des différents traitements d'espèces étaient réduites respectivement de 60 % et 64 % en conditions de crue, comparativement aux conditions de capacité au champ.

Résultats — Inventaires de la flore

Globalement, les analyses des plantes répertoriées en 2019 indiquent un impact du temps de résidence de l'eau sur les communautés végétales des habitats naturels et semi-naturels du littoral du LSP, mais un effet plus ténu de l'intensification agricole sur cette flore. Ces efforts ont également permis de cibler des espèces herbacées et arbustives ayant un bon potentiel d'établissement le long des fossés agricoles de la zone littorale (**Poulin et al., 2023**).

La végétation inventoriée dans les sites naturels où des œufs de poissons avaient été trouvés lors de la crue printanière de 2019 était similaire à celle des friches et à celle des prairies humides du littoral du LSP. L'alpiste est abondant sur ces sites, mais il reste néanmoins difficile de cerner les caractères propres à la végétation qui favorisent la ponte.

Enfin, les inventaires ont permis de constater que la présence de l'alpiste au LSP se concentrait dans les milieux plus secs. Dans les friches et les prairies humides, l'alpiste se retrouvait respectivement dans 81 et 76 % des parcelles inventoriées, pour des recouvrements moyens de 45 et 53 %, lorsque présent. En contrepartie, il était beaucoup moins fréquent et présentait un recouvrement négligeable dans les marais (présence détectée dans seulement 15 % des parcelles inventoriées pour un recouvrement moyen de 7 %, lorsque présent).

2.7

Potentiel faunique des cultures de couverture, des prairies et des bandes pérennes

Les recherches d'œufs ont été effectuées seulement dans les deux dispositifs en grandes parcelles, soit celui pour les systèmes culturaux (voir **Rodriguez et al. 2023**) et celui spécifique aux bandes pérennes le long des fossés (Paquin et Brodeur, 2021). Aucune recherche d'œufs n'était prévue dans les dispositifs expérimentaux établis en petites parcelles.

Dans les échantillonnages effectués dans les bandes d'alpiste bien établies le long des fossés, une ponte de perchaude a été trouvée à Yamachiche et un œuf de grand brochet a été retrouvé à Pierreville. Cela confirme le potentiel des bandes d'alpiste bien établies pour la reproduction de ces espèces, notamment en raison de la densité et la rigidité de sa biomasse et de son caractère pérenne.

Dans les échantillonnages effectués dans les cultures de couverture, aucun œuf de poisson n'a été trouvé dans les cultures en intercalaire. Toutefois, le blé d'automne implanté comme culture de couverture en dérobé (en remplacement du maïs en 2019) représente un bon potentiel pour la reproduction. Cette plante offre une végétation dense bien enracinée avec de longues feuilles, dans laquelle il y a eu des captures d'œufs de poissons.

De la recherche d'œufs de poissons a également été effectuée dans de nombreuses prairies naturelles et cultivées et des œufs de brochets et de perchaudes ont été trouvés dans des nouvelles et des vieilles prairies ainsi que dans des prairies naturelles, ce qui confirme que la biomasse résiduelle des prairies bien implantées peut être utilisée par les poissons pour la ponte, si le couvert végétal est suffisamment haut.

2.8

Travail de sol en grandes cultures

Bref rappel méthodologique

Une étude exploratoire a été réalisée dans un champ à Saint-Barthélemy afin de comparer deux types de travail de sol sur les rendements d'un système de rotation de maïs et soya :

- travail du sol à l'automne (labour) et au printemps (déchaumeuse) ;
- travail du sol uniquement au printemps (déchaumeuse).

Résultats

La comparaison des travaux de sol a montré que les rendements de maïs mesurés à l'automne 2020 n'étaient pas significativement différents entre le travail effectué à l'automne 2019 (8,69 t ha⁻¹) et le travail effectué uniquement au printemps 2020 (9,05 t ha⁻¹). En 2021, les rendements de soya ont été identiques, soit 2,90 t ha⁻¹ pour le travail effectué à l'automne 2020 et 2,89 t ha⁻¹ pour le travail effectué au printemps 2021. Bien que cette comparaison n'ait été effectuée que dans un champ sur 2 années, ces résultats montrent qu'un travail printanier peut être suffisant pour obtenir de bons rendements.

2.9

Les cultures alternatives — petites parcelles

Bref rappel méthodologique

Des essais en petites parcelles ont été réalisés de 2019 à 2021 afin de tester si des cultures alternatives seraient bien adaptées au littoral du LSP (**Gravel et al., 2023a**). Au total, 28 espèces d'arbustes, herbacées vivaces et annuelles offrant différentes possibilités d'usage (grains, fruits, plantes aromatiques ou médicinales) ont été évaluées dans deux types de dispositifs implantés dans un même champ, soit un dispositif en zone basse (cote de niveau d'eau <6,2 m) et un autre dispositif en zone haute (entre 6,2 et 6,8 m) (**tableau 2A.6 de l'annexe 2A**).

Résultats — Année 2019

Dans chacun des deux dispositifs, un total de 14 espèces de cultures alternatives a été évalué : camerise (*Lonicera caerulea*), noisetier américain (*Corylus americana*), sureau blanc (*Sambucus racemosa*), aronie à fruits noirs (*Aronia melanocarpa*), asclépiade incarnate (*Asclepias incarnata*), fougère à l'autruche (*Matteuccia struthiopteris*), menthe du Canada (*Mentha canadensis*), livèche (*Levisticum officinale*), ciboulette (*Allium schoenoprasum*), kale (*Brassica oleracea* var. *acephala*), bourrache (*Borago officinalis*), tournesol (*Helianthus annuus*), courge (*Cucurbita pepo*) et persil (*Petroselinum crispum*). Malgré des dates de semis et de plantation tardives (juillet — août 2019), la plupart des espèces se sont bien implantées. À la fin de la saison de croissance, la majorité des espèces pérennes (aronie à fruits noirs, camerise, fougère-à-l'autruche, sureau blanc, ciboulette et noisetier américain) avaient un taux de survie de plus de 80 %. À la suite de la crue printanière de 2020 toutefois, aucune biomasse résiduelle n'était présente dans les parcelles implantées en 2019. De plus, aucune des espèces arbustives pérennes n'a survécu à la crue printanière de 2020, malgré un bon taux d'implantation (entre 85 et 100 %). Les herbacées pérennes ont eu un meilleur taux de survie à la crue, variant entre 3 et 53 %.

Résultats — Année 2020

Dans deux nouveaux dispositifs, un total de 24 espèces ou variétés a été évalué : saule arbustif (*Salix purpurea*), camerise (*Lonicera caerulea*), sureau blanc (*Sambucus racemosa*), aronie à fruits noirs (*Aronia melanocarpa*), asclépiade incarnate (*Asclepias incarnata*), fougère-à-l'autruche (*Matteuccia struthiopteris*), menthe du Canada (*Mentha canadensis*), ciboulette (*Allium schoenoprasum*), foin d'odeur (*Anthoxanthum odoratum*), bourrache (*Borago officinalis*), tournesol (*Helianthus annuus* var. *Hornet*), courge d'été (*Cucurbita pepo*), courge d'hiver (*Cucurbita maxima*), sarrasin (*Fagopyrum esculentum* var. *Mancan* et *Manisoba*), caméline (*Camelina sativa*), lin (*Linum usitatissimum* var. *CDC Bethune*), pois jaune (*Pisum sativum* var. *CDC Amarillo*), haricot (*Phaseolus vulgaris* var. *Black bean*, *Cranberry*, *Red kidney bean*, *Small red*, *Pinto* et *Navy*).

De fortes précipitations reçues durant la saison de croissance combinées à un mauvais drainage du champ expérimental ont causé des conditions de saturation en eau dans les parcelles en zone basse. Comme seulement la caméline et le lin ont survécu à ces conditions dans cette zone, ces deux espèces semblent être les plus intéressantes. À la suite de la crue printanière de 2021, comme l'année précédente, il n'y avait aucune biomasse résiduelle dans les parcelles implantées en 2020.

Résultats — Année 2021

Deux nouveaux dispositifs ont permis d'implanter un total de huit espèces ou variétés : bourrache (*Borago officinalis*), tournesol (*Helianthus annuus* var. Hornet), sarrasin (*Fagopyrum esculentum* var. Mancan et Manisoba), mélange caméline (*Camelina sativa*) et pois jaune (*Pisum sativum* var. CDC Amarillo), haricot (*Phaseolus vulgaris* var. Pinto et Navy) et panic érigé.

Les fortes précipitations reçues durant la fin du mois de juin et le mauvais drainage du champ expérimental ont causé une accumulation d'eau dans les parcelles cette fois dans les zones haute et basse. La zone basse est restée submergée (+ 30 cm d'eau) durant approximativement 22 jours, alors que la zone haute est restée submergée approximativement sept jours. Aucune des plantes en zone basse n'a survécu.

Comme le lin et la caméline semblaient donner des résultats intéressants en 2020, un essai additionnel a été implanté en 2021 afin d'évaluer différentes dates de semis (19 mai 2021 et 2 juin 2021), ainsi que différents taux de semis (pour le lin : 50 kg/ha et 70 kg/ha ; pour la caméline : 4 kg/ha et 8 kg/ha). Contrairement à 2020, seulement le lin semé en zone haute a survécu à l'accumulation d'eau qui a eu lieu pendant la saison de croissance. Aucune différence significative de rendement n'a été observée en fonction des différents taux et dates de semis.

De façon générale, les résidus de biomasse post-récolte des cultures alternatives implantées ne semblaient pas suffisants pour offrir une bonne couverture du sol pendant la crue printanière 2022 ou pour offrir un habitat pour la reproduction du poisson, leur hauteur Robel à l'automne étant le plus souvent inférieure à 50 cm.

En conclusion de ces essais, malgré le fait que plusieurs résultats sur les cultures alternatives sont non concluants en raison de difficultés rencontrées sur le terrain, les espèces pérennes qui ont montré un certain potentiel d'adaptation au contexte du littoral sont : le saule, la menthe, la ciboulette, le foin d'odeur et l'asclépiade. Il pourrait être d'intérêt d'évaluer l'adaptation de ces espèces au contexte du littoral dans des champs ayant des conditions de meilleur drainage.

Essais agronomiques de cultures alternatives en septembre 2019 (crédits : C. Chih, 2019 (photo du haut); V. Gravel, 2019 (photo du bas)).



2.10

La phytoprotection : insectes ravageurs du sol (grandes parcelles)

Bref rappel méthodologique

Des suivis phytosanitaires des ravageurs du semis dans les grandes parcelles du dispositif de systèmes culturaux ont été effectués en 2019, 2020 et 2021 selon le protocole du Réseau d'avertissements phytosanitaires (**Gravel et al., 2023b**). Les taxons identifiés au cours des trois années sur l'ensemble des sites échantillonnés sont :

- ver fil-de-fer (VFF) (Coleoptera: Elatridae) : *Hypnoidus abbreviatus*, *Agriotes sp.*, *Melatonus sp.*, *Limosinus sp.*, *Aeolus sp.*, *Hemicrepidius sp.* ;
- ver blanc (Coleoptera: Scarabaeidae) : *Dalopius sp.*, *Phyllophaga anxia*, *Popillia japonica* ;
- larves et pupes de la mouche des semis (Diptera: Anthomyiidae) : *Delia platura*.

Résultats

L'évaluation de la présence des insectes ravageurs du sol dans les champs de maïs, de soya et de prairies a mis en évidence que le niveau de risque pour les cultures dans la zone littorale du LSP était faible. L'ensemble des données montrent un niveau d'abondance du VFF et du ver blanc bien en dessous des seuils économiques d'intervention du Réseau d'avertissements phytosanitaires (**tableau 2A.3, annexe 2A**). Il n'y a pas de seuil d'intervention d'établi pour la mouche du semis au Québec, mais les comptes ont été considérés relativement bas.

Au cours des trois années, il existait une certaine hétérogénéité au niveau de la composition des espèces pour chacune des régions. En 2020, les suivis effectués ont permis plus spécifiquement d'observer une différence au niveau des cultures. Pour le maïs et le soya, *D. platura* constitue l'espèce majoritairement dépistée avec 52 et 69 % des captures et *Hypnoidus abbreviatus* et *Agriotes sp.*, représentaient les deuxièmes et troisièmes espèces les plus abondantes respectivement. Au niveau des prairies, *Dalopius sp.* (31 %) a été l'espèce la plus souvent dépistée suivit de *Agriotes sp.* (25 %) et de *Melatonus sp.* (19 %).

Les différentes textures de sol ont eu un effet sur les espèces de ravageurs du semis en 2020 et en 2021. *D. platura* a été plus souvent dépisté dans les sols argileux, les loams et loams sableux, *Dalopius sp.* dans le limon argileux sableux, *Agriotes sp.* dans les loams argileux, *Melatonus sp.* dans les sols de limon argileux sableux et les loam et enfin *H. abbreviatus* dans les sols loam sableux.

Les crues récurrentes peuvent potentiellement affecter l'établissement des populations des ravageurs du sol dans les champs agricoles du littoral du LSP. La présence d'eau au printemps pourrait nuire à la migration des larves dans le sol et ralentir le réchauffement du sol pouvant ainsi affecter le cycle de vie des ravageurs du sol. Ainsi, il pourrait y avoir une certaine variation dans les populations non seulement selon la texture du sol, mais aussi selon la fréquence des crues, la durée des crues et la date de fin de la décrue. Dans tous les cas, les faibles populations de ravageurs du semis observés dans le cadre de cette étude, remettent en question l'utilisation de semences traitées dans les champs situés dans le littoral du LSP.



Suivi des insectes ravageurs du sol (crédit : V. Gravel, 2019).

03

Les impacts
économiques et
sociotechniques de
l'adoption potentielle
des cultures et
pratiques testées par
le Pôle

S

Une des demandes formulées tant par le gouvernement que par divers organismes impliqués dans la gestion du LSP à l'égard des travaux de recherche du Pôle était d'évaluer les impacts économiques des cultures et des pratiques agricoles testées par les chercheurs et chercheuses de l'axe agriculture (section 2)⁴. Les termes « **pratiques améliorées** » (PA) sont utilisés dans cette section pour désigner les pratiques notamment testées par les chercheurs et chercheuses en agronomie comme les cultures de couverture (intercalaire, dérobée ou de pleine saison), une gestion raisonnée des fertilisants et des pesticides, la culture de prairies ou de cultures alternatives, et l'implantation de bandes pérennes herbacées en bordure des cours d'eau et fossés. L'emploi de ce terme ne fait pas systématiquement référence à l'ensemble de ces pratiques dans cette section.

À l'échelle de chaque exploitation, les PA peuvent impliquer des coûts supplémentaires pour les producteurs et productrices agricoles en nécessitant par exemple l'achat de semences pour des cultures de couverture ou, dans d'autres cas, procurer des bénéfices économiques différents par rapport aux ventes de produits agricoles. Toutes ces modifications dans les systèmes agricoles peuvent également nécessiter l'acquisition de compétences techniques et agronomiques nouvelles pour les producteurs et productrices, entraîner des changements dans l'organisation du travail sur l'exploitation, nécessiter l'achat de machineries agricoles ou encore venir bousculer des normes culturelles ancrées dans les manières de faire actuelles des producteurs et productrices. Autrement dit, elles peuvent aussi avoir des impacts sociotechniques pour les producteurs et productrices. Et pour faire face à une partie de ces impacts, les producteurs et productrices peuvent être accompagnés par des conseillers et conseillères agricoles.

Dans le cadre d'une partie des travaux socioéconomiques, des recherches se sont ainsi attardées à comprendre les réalités de la gestion des cultures dans le littoral du LSP par les producteurs et productrices. Elles ont évalué les effets que pourrait avoir l'introduction de PA en termes de coûts et bénéfices financiers au niveau des exploitations agricoles. Puis, les défis sociotechniques à l'intégration de certaines PA ont été documentés, de même que les défis que poserait un accompagnement par les conseillers et conseillères agricoles pour ces changements de pratiques. Dans les sections suivantes, les résultats principaux de ces travaux de recherche sont présentés.



Champs de maïs après l'inondation ; crédit photo : R. Proulx.

4. Chercheurs principaux ayant menés des travaux de recherche pour cette section : Julie Ruiz et Lota Diabo Tamini

3.1

Le contexte socioéconomique de l'agriculture dans le littoral

Sur les 28 631 ha de terres situés dans le littoral du LSP, l'agriculture occupe quelque 5 050 ha⁵, soit un peu plus de 17,5 % du littoral (**Mundler et Guiraud, 2023**). Selon les données fournies par le MAPAQ (entreprises enregistrées), ce sont 191 entreprises qui cultivent au moins 1 ha dans le littoral. La situation de ces entreprises agricoles qui cultivent dans le littoral varie grandement.

Quelques données

La **figure 3.1** met en perspective le nombre d'hectares cultivés par chacune de ces entreprises agricoles et le pourcentage que la superficie dans le littoral représente en % de la superficie totale cultivée par l'entreprise agricole. Chaque point représente donc une des 191 entreprises agricoles cultivant dans le littoral. La moitié des entreprises agricoles (50,2 %) ont moins de 20 hectares dans le littoral représentant moins de 20 % de leur superficie. On constate aussi un groupe de 14 entreprises agricoles (en bleu) qui cultivent plus de 100 hectares dans le littoral, représentant entre 20 et 60 % de leur superficie. Enfin, on constate l'existence d'un petit groupe d'entreprises agricoles (8 entreprises agricoles, en vert) cultivant moins de 50 ha dans le littoral, mais dont les superficies dans le littoral dépassent 60 % de leur superficie totale.

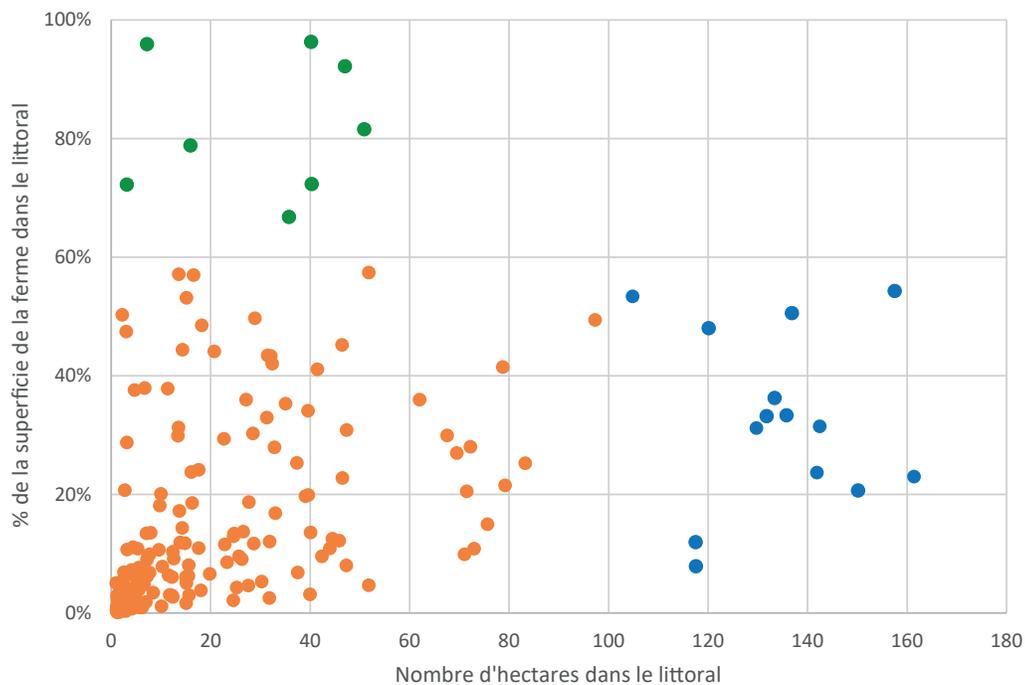


Figure 3.1

Superficie dans le littoral et % que cela représente sur le total de la superficie de chaque ferme
Source : MAPAQ.

5. Ce chiffre correspond à une moyenne sur les 5 dernières années selon la base de données des parcelles et productions agricoles déclarées (BDPPAD) de la Financière Agricole Du Québec (FADQ) de 2015 à 2019 inclus. La surface la plus petite est de 5 040 ha en 2018 et la plus grande est de 5 101 ha en 2017. Quelques hectares pourraient manquer à ces superficies parce que non cultivés ou n'ayant jamais été assurés. À cette surface, il faut ajouter 455 ha de pâturages qui appartiennent à un organisme de conservation sur l'Île-du-Moine qui a engagé une démarche collective pour la mise en place de bonnes pratiques agricoles favorisant la sauvegarde des insectivores aériens.

À l'échelle des parcelles, les situations sont encore plus hétérogènes. Dans certains cas, seul un bout de champ est concerné, dans d'autres c'est l'entièreté de la parcelle. La topographie au sein des parcelles elles-mêmes joue sur la façon dont la crue va impacter la culture, mais aussi à partir de quel niveau de crue la parcelle est inondée. Enfin, en fonction de la géométrie des parcelles, l'implantation de bandes pérennes peut réduire considérablement la partie cultivable au point de rendre la culture impossible ou peu intéressante.

Cette forte hétérogénéité des situations agricoles dans le littoral signifie bien entendu que l'incidence pour les exploitations de tout changement d'usage ou de pratiques spécifique au littoral entraînera des conséquences fort différentes selon les exploitations. Ces situations ont également amené les chercheurs et chercheuses à interroger les producteurs et productrices sur la manière dont ils adaptent leurs pratiques agricoles dans les terres du littoral.

Cultiver un littoral, est-ce différent ? Les rapports des producteurs et productrices aux terres inondables

Cultiver un territoire qui fait régulièrement face à des crues, comme le littoral du LSP, s'avère un environnement pour le moins singulier pour la pratique de l'agriculture. Comment les producteurs et productrices vivent-ils et s'adaptent-ils aux crues dans le littoral du LSP ? Cette question a conduit à interroger une quarantaine de producteurs et productrices agricoles du littoral (**Ruiz et al., 2023a**).

L'analyse des enquêtes montre que les crues imposent leur rythme au travail agricole en différant le travail des sols et les dates de semis, ou en y apportant des débris parfois très importants qui compliquent notamment la pratique du semis direct. La gestion des mauvaises herbes, de l'humidité des sols et le caractère imprévisible des crues rendent la culture des céréales plus difficile aux yeux des producteurs et productrices. Ceux qui cultivent du foin soulignent davantage sa mauvaise qualité à cause des crues et de l'humidité des sols. Les producteurs et productrices désignent cette culture comme du « foin de grenouille », car elle est caractérisée par une odeur d'humidité qui rendrait le foin peu appétant pour les vaches et que les producteurs et productrices considèrent comme moins nutritif pour les animaux.

Pour autant, les producteurs et productrices ne vivent pas tous leurs terres inondables de la même manière. Trois principales manières de percevoir ces terres et les crues ont été mises en évidence. Dans la première, les terres du littoral sont perçues par les producteurs et productrices comme de bonnes terres auxquelles il faut s'adapter et la crue comme procurant des bénéfices. Dans la seconde, les terres du littoral ne sont ni les meilleures ni les pires et les crues sont vues comme une fatalité. Enfin, dans la troisième, les terres inondables sont des sources de problèmes face auxquels il y a peu de choses à faire et les crues sont avant tout vues comme des contraintes par les producteurs et productrices.

Faits intéressants de ces analyses, les différentes manières de percevoir les terres inondables et les crues ne sont pas associées aux pratiques agricoles ou aux caractéristiques socioéconomiques des exploitations et des agriculteurs et agricultrices. Par exemple, aucun lien n'a pu être établi entre les perceptions des terres inondables et des crues et le fait de posséder plus de superficies cultivées dans le littoral ou une plus grande proportion de superficies cultivées dans le littoral.

De plus, quelle que soit la manière dont les producteurs et productrices perçoivent leurs terres inondables, ils n'ajustent que minimalement leurs pratiques agricoles dans leurs terres du littoral par rapport à leurs pratiques dans les terres hors littoral. Sur les 41 producteurs et productrices rencontrés lors des enquêtes, seuls deux avaient un système cultural différent dans le littoral alors que la majorité adoptait des stratégies d'ajustements mineures par rapport à leurs pratiques hors littoral. Ces stratégies consistent à modifier les cultivars ou les cultures prévues par ceux ayant une plus courte saison de croissance lors des crues (ex. : soya à la place du maïs), à retarder les travaux aux champs ou encore à effectuer des travaux pour améliorer l'égouttement des terres (nivellement, drainage, nettoyage des fossés). Ainsi, il apparaît que **la gestion des terres inondables n'est pas tant pensée en fonction de leurs caractéristiques biophysiques et écologiques, mais davantage guidée par le système d'exploitation dans lequel elles s'insèrent.**

3.2

Les impacts économiques pour les exploitations : une diminution de la marge brute à anticiper

Les travaux de recherche se sont attardés à évaluer l'effet de l'adoption des PA sur la rentabilité économique des entreprises en grande culture (**Tamini et al., 2023**). Cette spécialisation est la plus répandue parmi les entreprises agricoles qui cultivent le littoral du LSP. Une budgétisation partielle a permis d'analyser l'impact de l'adoption de PA sur la santé financière des entreprises agricoles.

L'approche par budgétisation partielle prend en compte les postes de coûts et de revenus qui changent entre un scénario de référence et un autre scénario (Tamini, 2008 ; Tigner, 2018). Elle a été réalisée en utilisant des budgets-type d'entreprises pour fournir une approximation générale des impacts de l'adoption de PA sur la rentabilité économique des entreprises.

Le scénario de référence : des rotations maïs et soya impactées par les crues

Dans le cadre des travaux de recherche réalisés, le scénario de référence correspond à une rotation sur une période de 12 ans de maïs et soya. Ce scénario considère notamment que chaque 4 ans une crue tardive de forte amplitude mène à une diminution des superficies cultivées en zone littorale, à une diminution des rendements agricoles et à l'impossibilité pour les producteurs et productrices d'avoir accès à l'assurance récolte (ASREC) de la Financière agricole du Québec (FADQ) du fait d'une date de semis tardive⁶. Les calculs des coûts et revenus ont pris appui sur des données moyennes du Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec (CRAAQ), ajustées pour tenir compte du contexte spécifique du LSP en intégrant les données collectées lors des expérimentations en grandes parcelles des chercheurs et chercheuses en agronomie. Les résultats montrent une marge brute moyenne de 710 \$/ha pour ce scénario de référence.

Des scénarios avec les « pratiques améliorées »

Différents scénarios ont été simulés en intégrant des types de cultures de couverture, des prairies et des bandes pérennes herbacées (**tableau 3.1**). En outre, considérant une exploitation en grande culture comme référence, les scénarios ont été construits avec diverses hypothèses dont les principales sont :

- le producteur ou la productrice fait effectuer les travaux de récolte à forfait pour les prairies et le ray-grass lorsque celui-ci est semé comme culture fourragère ;
- un prestataire réalise à forfait les semis de culture de couverture pour le blé d'automne et le ray-grass ;
- des bandes pérennes herbacées d'alpiste roseau et de ray-grass en plante-abri de 4 m. sont établies une fois le long des fossés agricoles pour les scénarios avec des cultures annuelles. Elles ne sont pas récoltées et occupent 5 % de la surface par ha ;
- lorsqu'une culture donnée est admissible au programme ASREC, l'agriculteur y est inscrit et peut recevoir des indemnités sauf pour les années de fortes crues.

6. La fréquence retenue se base sur la carte des crues historiques pour ce qui est du 4 ans de crues majeures et d'une enquête auprès des producteurs des productrices faite par l'UPA dans le cadre de leur collecte des données pour le portait des pratiques agricoles 2022. Le choix a enfin été validé par les chercheurs et chercheuses du Pôle.

Tableau 3.1

Description des différents scénarios de rotation de cultures intégrant des pratiques culturales améliorées

Scénarios	Description
I M(RG)_S(BA)	Rotation maïs / soya; Cultures de couverture en intercalaire de ray-grass dans le maïs (M(RG)) et de blé d'automne dans le soya (S(BA)); Bandes herbacées pérennes le long des fossés agricoles. Lors de l'inondation tardive et de forte amplitude (tous les 4 ans), les superficies cultivables sont diminuées de 8%, celles-ci sont semées avec du S(BA), le rendement du soya diminue de 25% et l'entreprise agricole ne reçoit pas d'indemnisation de l'ASREC.
II M(RG)_S(BA)_M(RG)_RG	Rotation maïs / soya; Cultures de couverture en intercalaire de ray-grass dans le maïs (M(RG)) et de blé d'automne dans le soya (S(BA)); Bandes herbacées pérennes le long des fossés agricoles. Lors de l'inondation tardive et de forte amplitude (tous les 4 ans), les superficies cultivables sont diminuées de 8%, celles-ci sont semées avec du ray-grass (RG) plutôt que du soya. Le RG est récolté à forfait puisqu'il s'agit d'un fourrage.
III M(RG)_S(BA)_M(RG)_BA	Rotation maïs / soya; Cultures de couverture en intercalaire de ray-grass dans le maïs (M(RG)) et de blé d'automne dans le soya (S(BA)); Bandes herbacées pérennes le long des fossés agricoles. Lors de l'inondation tardive et de forte amplitude (tous les 4 ans), les superficies cultivables sont diminuées de 8%, celles-ci sont semées avec du blé d'automne (BA) sans récolte (+charges herbage pour préparer le sol) plutôt que du soya.
IV -1 M(RG)_S(BA)_M(RG)_S(L)	Rotation maïs / soya. Cultures de couverture en intercalaire de ray-grass dans le maïs (M(RG)), de blé d'automne (S(BA)) ou de lotier (S(L)) dans le soya; Bandes herbacées pérennes le long des fossés agricoles. Lors de l'inondation tardive et de forte amplitude (tous les 4 ans), les superficies cultivables sont diminuées de 8%, celles-ci sont semées avec du S(L), le rendement du soya diminue de 25% et l'entreprise agricole ne reçoit pas d'indemnisation de l'ASREC.
IV -2 M(RG)_S(L)_M(RG)_S(L)	Rotation maïs / soya. Cultures de couverture en intercalaire de ray-grass dans le maïs (M(RG)) et de lotier dans le soya (S(L)); Bandes herbacées pérennes le long des fossés agricoles. Lors de l'inondation tardive et de forte amplitude (tous les 4 ans), les superficies cultivables sont diminuées de 8%, celles-ci sont semées avec du S(L), le rendement du soya diminue de 25% et l'entreprise agricole ne reçoit pas d'indemnisation de l'ASREC.
V -1 M(RG)_S(L)_P	Rotation maïs / soya et 4 ans de prairies (P) avec charges de récolte à forfait. Cultures de couverture en intercalaire de ray-grass dans le maïs (M(RG)) et de lotier dans le soya (S(L)); Bandes herbacées pérennes le long des fossés agricoles. Lors de l'inondation tardive et de forte amplitude (tous les 4 ans), il n'y a pas d'impact lorsque le champ est en P, mais lorsqu'il est semé avec une culture annuelle, les superficies cultivables sont diminuées de 8%, celles-ci sont semées avec du S(L), le rendement du soya diminue de 25% et l'entreprise agricole ne reçoit pas d'indemnisation de l'ASREC.
V -2 M(RG)_S(.)_P	Rotation maïs / soya et 4 ans de prairies (P) avec charges de récolte à forfait; Cultures de couverture en intercalaire de ray-grass dans le maïs (M(RG)) et aucune dans le soya (S(.)); Bandes herbacées pérennes le long des fossés agricoles. Lors de l'inondation tardive et de forte amplitude (tous les 4 ans), il n'y a pas d'impact lorsque le champ est en P, mais lorsqu'il est semé avec une culture annuelle, les superficies cultivables sont diminuées de 8%, celles-ci sont semées avec du S(.), le rendement du soya diminue de 25% et l'entreprise agricole ne reçoit pas d'indemnisation de l'ASREC.
VI Prairies	Rotation de prairies (P) sur 4 ans. Aucune bande herbacée pérenne le long des fossés agricoles. Lors de l'inondation tardive et de forte amplitude (tous les 4 ans), il n'y a pas d'impact ni sur les superficies cultivables, ni sur le rendement.

La comparaison des marges brutes du scénario de référence avec les scénarios incluant des PA montre que l'impact des PA sur les entreprises agricoles est toujours négatif (figure 3.2). Le scénario de référence est celui ayant la marge la plus élevée (710 \$/ha) et le scénario simulant une prairie exploitée sur 4 années est celui ayant la marge la plus faible (scénario VI : 283 \$/ha). Les scénarios simulant diverses cultures de couverture avec comme culture principale du maïs et du soya sont ceux présentant les impacts négatifs les moins importants (scénario IV : 660 ou 634 \$/ha ; scénario II 620 \$/ha).

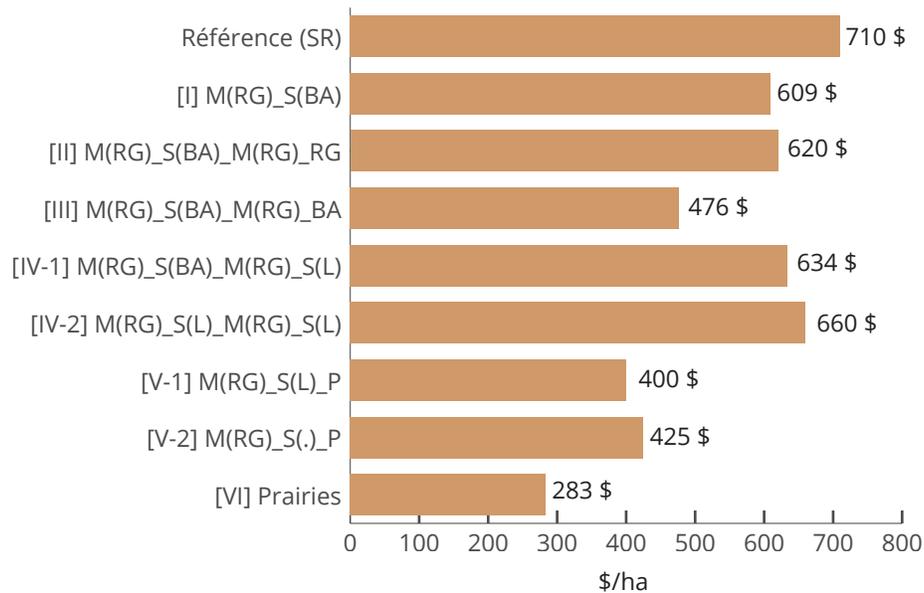


Figure 3.2

Marges brutes (\$/ha) du scénario de référence (SR) et des scénarios de pratiques améliorées (les acronymes utilisés sont ceux décrits dans le tableau 3.1).

Les analyses des budgets partiels révèlent une réduction des coûts pour chacun des scénarios de PA, lorsque comparés au scénario de référence. Cependant, ces réductions de coûts ne compensent pas les baisses des revenus des principales productions, ainsi que les coûts nets des cultures de couverture et des bandes pérennes⁷. Les coûts nets des cultures de couverture ont un impact négatif plus important sur la marge brute des différents scénarios que ceux des bandes pérennes. Soulignons toutefois que ces analyses n'ont pas pris en compte les bénéfices à moyen et long termes apportés par les cultures de couverture sur la santé et la fertilité du sol ; ce qui pourrait entraîner une amélioration des marges.

7. Des analyses de sensibilités faisant varier les superficies cultivées, les rendements et les prix ont également été réalisées pour les différents scénarios.

3.3

Le potentiel d'adoption volontaire et les défis sociotechniques pour les producteurs et productrices

Adopter les PA testées par les chercheurs et chercheuses en agronomie du Pôle ne serait donc pas sans conséquence économique pour les producteurs et productrices agricoles. En outre, l'adoption n'est pas un état qui se produit du jour au lendemain pour un producteur. Adopter des PA et les intégrer dans les systèmes culturaux existants est au contraire un processus (Pannel et al. 2006 ; Dumont et al. 2023). À travers ce processus d'adoption, le producteur ou la productrice résiste puis prend conscience d'un problème. Il développe sa confiance dans les solutions proposées, il accepte de prendre un risque et pour cela il a besoin d'acquérir des connaissances, de maîtriser la machinerie, ainsi que de nouvelles techniques agronomiques et d'avoir accès à des ressources financières ; pour ne citer que quelques défis liés au processus d'adoption d'une nouvelle pratique agricole.

Des enquêtes ont été conduites auprès de 41 producteurs et productrices qui cultivent le littoral du LSP afin de cerner le potentiel d'adoption volontaire de certaines PA. Pour cela, les analyses ont cherché à comprendre à quel stade d'un processus d'adoption les producteurs et productrices se situent et à identifier les freins et les facilitateurs aux différents stades ([Ruiz et al. 2023a](#)). Ces travaux de recherche ont été réalisés avant la mise en place du régime transitoire. Ils se sont donc inscrits dans une perspective d'adoption volontaire de PA par les producteurs et productrices. Les résultats permettent de saisir où se situaient les producteurs et productrices avant la nouvelle réglementation.

Les pratiques améliorées : des potentiels d'adoption volontaires variables selon les systèmes d'exploitation

D'abord, le potentiel d'adoption volontaire des producteurs et productrices s'est avéré très variable selon les PA concernées et grandement dépendant de la manière dont le producteur ou la productrice raisonne son système d'exploitation (spécialisation, régie, objectifs et perspectives, sensibilités individuelles) et des problèmes agronomiques qui sont visibles sur l'exploitation. Les cultures de couverture constituaient les PA qui présentaient le plus grand potentiel d'adoption pour les producteurs et productrices en grande culture. Parmi ces producteurs et productrices, quelques-uns avaient déjà intégré des cultures de couverture dans leur système cultural, plusieurs réalisaient des essais au champ tandis que d'autres planifiaient un essai, convaincus de l'intérêt de cette PA. Mais, d'autres producteurs et productrices pesaient encore les avantages et les inconvénients de cette PA pour leur système et attendaient de voir des résultats concrets chez les autres ou à travers des essais agronomiques.

Les bandes pérennes enherbées présentaient quant à elles un potentiel d'adoption si elles pouvaient être laissées naturelles, sans ensemencement initial. Même si un moins grand nombre de producteurs et de productrices enquêtés affichaient un intérêt pour cette PA comparativement aux cultures de couverture, elle touchait autant des producteurs et productrices en production végétale qu'animale. Comparativement aux cultures de couverture, une proportion plus grande des producteurs et productrices était résistante à l'idée d'implanter des bandes pérennes ; une pratique qui résonne avec des pertes de terres cultivées et la réglementation environnementale sur les bandes végétalisées.

Les prairies n'étaient pas envisageables pour les producteurs et productrices qui n'en faisaient pas au moment des enquêtes. Cette culture n'était envisageable que par les producteurs et productrices en production animale, bien que jugée difficile à implanter dans le littoral. L'absence de machineries appropriées sur l'entreprise agricole, les revenus agricoles moindres que le foin procure, les implications de cette culture sur l'organisation du travail étaient autant de motifs relevés par les producteurs et productrices en productions végétales qui étaient réfractaires. Surtout, cette culture renvoie à un modèle agricole qui résonne avec le passé, avec un travail difficile que leurs parents ou qu'eux-mêmes

faisaient avant d'abandonner la production laitière. Elle vient alors bousculer l'identité d'un métier où les progrès accomplis riment avec l'abandon des prairies.

Des freins et des facilitateurs pour l'intégration volontaire des pratiques améliorées mieux compris

Dans un contexte où l'adoption des PA aurait été volontaire, l'analyse a aussi permis de **comprendre en détail les processus de changement de pratiques des producteurs et productrices vers l'intégration (1) des cultures de couvertures et (2) des bandes pérennes enherbées**. Toutes les étapes par lesquelles les producteurs et productrices passent pour intégrer ces deux PA ont été documentées. Ces analyses montrent les défis cognitifs, comportementaux et affectifs pour l'intégration de ces deux pratiques, soulignant ainsi que changer des pratiques agricoles est un processus qui demande des efforts individuels importants. Pour ces deux pratiques, les freins et facilitateurs qui agissent sur ces processus sont également mieux compris, et ce, depuis le moment où un producteur est résistant à l'idée d'intégrer ces PA jusqu'au moment où il les intègre dans son système cultural. Les freins et les facilitateurs évoluent au cours des processus de changement et varient selon les types de PA. Il ressort également que les producteurs et productrices sont davantage soutenus dans les stades avancés du changement grâce au conseil agricole et aux aides financières gouvernementales ; mais ils le sont peu dans les premiers stades. Ces compréhensions des processus d'intégration de PA ont permis de cibler des pistes d'action qui pourraient être déployées de manière complémentaire pour soutenir les producteurs et productrices agricoles à toutes les étapes des processus de changement de pratiques. Les **tableaux 3.2 et 3.3** dressent des synthèses des principaux résultats pour les cultures de couverture et les bandes pérennes.

Une communauté agricole polarisée

De manière plus globale, les analyses ont mis en évidence **une communauté agricole polarisée avant l'entrée en vigueur du régime transitoire**. D'une part, des producteurs et productrices dans une posture de refus ou d'hésitations profondes face à des changements de pratiques témoignent qu'ils se sentent stigmatisés comme étant les seuls responsables du problème environnemental au LSP ou vivent un sentiment d'injustice par rapport aux producteurs et productrices hors littoral, situés en amont dans les bassins versants et qui ne subissent pas les mêmes pressions, mais dont les pratiques impactent le littoral. Pour ce groupe de producteurs et productrices, les enjeux des changements des pratiques ne sont pas à chercher dans les défis sociotechniques de l'adoption d'une pratique, ils sont liés à des enjeux de gouvernance (voir section 6). D'autre part, des producteurs et productrices bien avancés dans le changement vers l'intégration de PA ont accepté l'idée de changer leurs pratiques, se renseignent, se documentent voire se font accompagner pour opérationnaliser l'essai d'une nouvelle pratique. Mais comme il est présenté dans la section 6, la mise en place du régime transitoire est venue bouleverser ce portrait initial de la communauté agricole qui suggérait un engagement d'une partie de la communauté agricole vers une réhabilitation environnementale du littoral.



Champs du littoral en juillet 2021 ; crédit photo : R. Duchesne-Pelletier.

Tableau 3.2

Culture de couverture (CC): synthèse des principaux défis sociotechniques pour les producteurs et des initiatives susceptibles d'accompagner leur intégration tout au long des processus d'adoption (adapté de Ruiz et al., 2023a).

Stade du processus d'adoption	Principaux défis sociotechniques	Pistes d'action suggérées pour accompagner les producteurs		
Résistance	CC en littoral non envisagées : sentiment de menaces et d'accusation par rapport aux enjeux environnementaux ou sentiment d'injustice face aux producteurs hors littoral.	A) Aider les producteurs à repérer par eux-mêmes les problèmes de dégradation des sols dans leurs champs.		
Ambivalence	Intérêt général pour la santé des sols. Reconnaissance de problème de dégradation des sols sur l'exploitation. CC perçues comme ayant plus d'inconvénients que de bénéfiques. Voir des succès pour être convaincu des bénéfiques.		Si A) alors B) Journées de démonstration organisées par les conseillers agricoles. Rendre visible les essais des voisins.	
Déclic	Reconnaissance des bénéfices des CC pour les sols. Reconnaissance des spécificités des terres du littoral. Intention de planifier un essai à moyen terme.			C) Valoriser localement les « champions » des CC.
Préparation	Désir de faire un essai de CC. Clarification des objectifs recherchés pour l'exploitation. Prise de connaissances des défis techniques, financiers et logistiques par les voisins ou via les essais du Pôle. Construction de son itinéraire technique. Anticipation des défis possibles. Validation des bénéfices agronomiques et environnementaux des CC. Planification concrète de l'essai.			D) Encourager l'apprentissage en groupe de pairs.
Opérationnalisation	Investissement individuel dans un essai de CC : contact du conseiller et maintien des liens avec les voisins pour le démarrage et le suivi de l'essai, développement de la maîtrise technique des CC, développement de la confiance du producteur dans sa capacité à réussir, importance de résultats significatifs et visuels par rapport aux objectifs recherchés.			
Intégration	Intégration des CC : achat d'une nouvelle machinerie, autonomie du producteur dans l'itinéraire technique, connaissances fines des conditions environnementales et des alternatives possibles en cas de problèmes d'implantation, confiance pour gérer les imprévus et s'adapter. Risque d'abandon en cas de difficultés répétées.			E) Conseil agronomique, soutien financier.

Tableau 3.3

Bande pérenne : synthèse des principaux défis sociotechniques pour les producteurs et des initiatives susceptibles d'accompagner leur intégration tout au long des processus d'adoption (adapté de Ruiz et al., 2023a).

Stade du processus d'adoption	Principaux défis sociotechniques	Pistes d'action suggérées pour accompagner les producteurs
Résistance	Bande pérenne non envisagée : sentiment de menaces et d'accusation par rapport aux enjeux environnementaux ou sentiment d'injustice face aux producteurs hors littoral, sentiment d'injustice par rapport aux obligations réglementaires d'avoir des bandes riveraines.	
Ambivalence	Volonté de mieux respecter la réglementation sur les bandes riveraines à des endroits problématiques hors littoral mais ne veulent pas que des bandes en littoral génèrent des coûts supplémentaires s'ils sont les seuls à en faire. Perception dominante des inconvénients : mauvaises herbes, attrait pour la sauvagine, perte de terres en culture, limite l'écoulement de l'eau, entretien.	A) Projet collectif engageant les producteurs à l'échelle des bassins versants pour la mise en place de bandes pérennes.
Décliv	Volonté de diminuer l'impact environnemental des pratiques agricoles sur le lac. Incertitudes quant aux bénéfices environnementaux des bandes et importance de pouvoir être certain de ces bénéfices (effets positifs démontrés d'une bande plus large sur les problèmes d'érosion). Intention possible de laisser une bande aux abords d'un champ.	B) Soutien personnalisé : délimitation physique des bandes aux abords des champs (i.e. piquetage), conseils sur les problèmes d'érosion, l'implantation et la gestion de la végétation. C) Journée d'échange sur le terrain : permettre aux producteurs de voir des essais de bandes différentes et d'échanger avec d'autres producteurs et des experts sur leurs bénéfices et contraintes. D) Projet collectif d'implantation de bandes qui met en valeur les producteurs déjà engagés.
Préparation	Clarification des objectifs recherchés par l'implantation d'une bande. Nécessité de pouvoir entretenir la bande. Localisation d'un champ sur lequel un problème est visible. Intention de laisser ou d'aménager une bande à court ou moyen terme. Avoir des modèles de bandes qui démontrent un taux de survie des espèces et leur maintien à court ou moyen terme.	E) Soutiens technique et financier qui permettent aux producteurs de s'engager progressivement dans l'implantation de bandes selon les problèmes qu'ils jugent important.
Opérationnalisation	Essai d'une bande sur un champ avec du soutien technique pour l'implantation ou une opportunité financière permettant de limiter les coûts d'implantation. Suivis des bénéfices et évaluation du temps de gestion. Importance de résultats significatifs et visuels par rapport aux objectifs recherchés. Risque d'abandon si l'essai ne répond pas aux objectifs.	F) Apport de connaissances quant aux défis de la gestion des mauvaises herbes et des moyens de contrôle de la végétation.
Intégration	Intégration de bandes pérennes: reconnaissance des bénéfices agronomiques et environnementaux, acquisition d'une nouvelle machinerie, connaissance des espèces végétales présentes dans les bandes, réalisation de suivi de l'état des bandes, entretien mécanique, sensibilité environnementale plus forte.	G) Aide d'un organisme local pour l'entretien des bandes.

3.4 Des défis pour le conseil agricole dans l'accompagnement des changements de pratiques

Les conseillers et conseillères agricoles sont reconnus pour leurs impacts sur l'évolution des pratiques agricoles sur les exploitations. Les rôles des pratiques professionnelles des conseillers et conseillères agricoles dans l'intégration des PA par les producteurs et productrices ont été analysés. La notion de « conseiller agricole » désigne ici des personnes qui ont des liens avec les producteurs et productrices dans le cadre de leur pratique professionnelle et qui influencent ou tentent d'influencer de manière consciente, directement ou indirectement, l'intégration de PA sur les exploitations. Elle englobe les agronomes-conseils, mais aussi d'autres professionnels et professionnelles, autant que des conseillers et conseillères dits de première et de deuxième ligne. Trente conseillers et conseillères travaillant dans des organisations publiques, privées ou parapubliques, liés ou non liés à la vente d'intrants agricoles ont été rencontrés (Ruiz et al. 2023b). Les résultats mettent en évidence plusieurs limites du conseil agricole dans l'accompagnement des changements de pratiques des producteurs et productrices et offrent des pistes d'actions⁸ pour en dépasser certaines.

Des rôles limités dans l'adoption des pratiques améliorées

Cinq types de conseillers et conseillères qui se distinguent selon leurs pratiques professionnelles et leurs déterminants ont été mis en évidence (figure 3.3). Au total, ces conseillers et conseillères jouent 12 rôles distincts dans l'intégration des PA par les producteurs et productrices par exemple, disséminateur et vulgarisateur de PA quand le producteur ou la productrice le demande, disséminateur et vulgarisateur des exigences environnementales, promoteur des programmes gouvernementaux, facilitateur de projets territoriaux. Surtout, il apparaît que **les conseillers et conseillères, en tant qu'individu et professionnel, sont prêts à jouer un rôle actif dans la réhabilitation du littoral en aidant à l'intégration des PA. En revanche, le système dans lequel ils se trouvent limite fortement leur possibilité de jouer un tel rôle.**

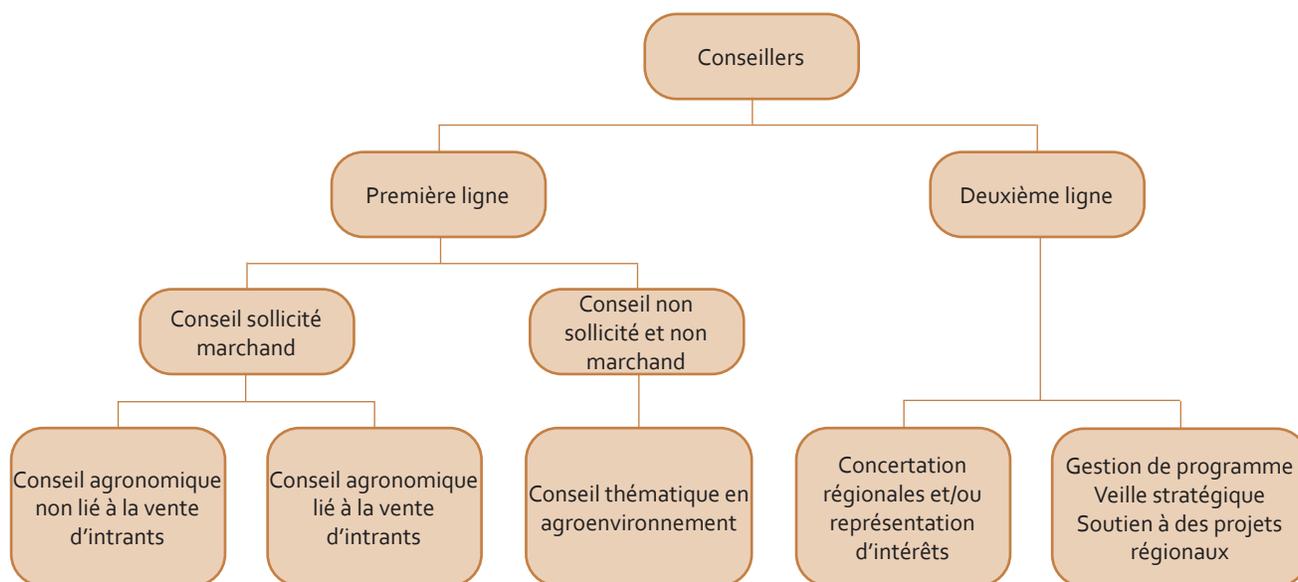


Figure 3.3

Typologie des conseillers agricoles en fonction des déterminants de leurs pratiques professionnelles.

8. Ces pistes ont été jugées porteuses par les conseillers agricoles lorsqu'elles leur ont été présentées.

Ainsi, **les conseillers et conseillères de première ligne placés dans une relation marchande avec les producteurs et productrices agricoles, qu'ils soient liés ou non liés à la vente d'intrants, stimulent peu l'intégration de PA dans les systèmes d'exploitation, car ils soutiennent essentiellement cette intégration une fois que le producteur ou la productrice a pris la décision de changer ses pratiques.** Cela fait en sorte que ces conseillers et conseillères agissent surtout en fin de processus d'adoption pour les producteurs et productrices, et non tout au long de ce processus. Trois facteurs se renforcent mutuellement pour expliquer cette situation :

- les relations marchandes dans lesquelles les conseillers et conseillères sont placés : leur intervention doit être rentable pour le producteur ou la productrice. Le producteur ou la productrice envisage donc difficilement de demander un conseil payant quand il ne croit pas à l'intérêt d'une nouvelle pratique agricole pour son système d'exploitation ;
- les normes professionnelles qui structurent leur métier : établir un lien de confiance avec le producteur ou la productrice, avoir son « lot de clients », assurer la rentabilité de l'entreprise, etc., font en sorte que les conseillers et conseillères répondent à la demande des producteurs et productrices ;
- la préférence des producteurs et productrices pour les rendements à court terme et la solution facile n'incitent pas les conseillers et conseillères à prendre des risques.

Ces travaux ont aussi mis en évidence une nouvelle forme de conseil de première ligne, gratuit et spécialisé en agroenvironnement, qui se structure progressivement. Ces conseillers et conseillères agissent en amont des décisions de changement des producteurs et productrices pour les inciter à intégrer des PA. Les effets de leurs pratiques professionnelles sont toutefois limités parce que ces conseillers et conseillères sont encore peu nombreux et qu'ils souffrent d'une absence de crédibilité et de légitimité du fait des représentations entretenues par le monde agricole à l'égard de leurs organisations⁹. De plus, leur mode de financement les dessert, puisqu'il leur impose de présenter des diagnostics préétablis qui n'ont pas été sollicités par les producteurs et productrices, ce qui limite donc fortement la possibilité pour ces conseillers et conseillères de se mettre dans une position de co-construction avec les producteurs et productrices.

Finalement, le conseil de deuxième ligne joue deux rôles principaux dans l'intégration des PA sur les exploitations, soit celui de facilitateur dans les projets territoriaux et d'intermédiaire entre les diverses organisations de conseils. Ces rôles importants de liant territorial ne sont en revanche pas présents dans les régions où les relations interorganisationnelles sont peu développées ; ce qui a été rapporté dans plusieurs endroits aux pourtours du LSP.

Un besoin de connaissances sur les pratiques améliorées adaptées au littoral

Pour les conseillers et conseillères concernés par le LSP, le littoral est sur le plan agronomique « un monde à part ». **S'ils connaissent globalement la problématique environnementale du littoral, ils admettent aussi manquer de connaissances quant aux PA adaptées aux conditions du littoral et à leurs bénéfices environnementaux.** Or, pour délivrer un conseil, le conseiller doit se sentir en confiance avec la pratique qu'il va recommander c'est-à-dire, croire en ses bénéfices environnementaux, en sa faisabilité et sa rentabilité agronomique et avoir le sentiment de maîtriser suffisamment la technique. Développer une plate-forme de partage des résultats des essais agronomiques réalisés dans le littoral accessible à tous les conseillers et conseillères constituerait un moyen de développer les expertises des conseillers et conseillères quant aux PA adaptées au littoral.

9. Ces organisations sont par exemple perçues comme militantes en environnement

La domination du conseil directif et individualisé

Le métier des conseillers et conseillères de première ligne est très largement dominé par des techniques de conseil directif et individualisé, à l'entreprise agricole ou par téléphone. Cette technique est appréciée par les producteurs et productrices et renforcée par le système dans lequel se trouvent les conseillers et conseillères. Or, **la place prise par le conseil directif et individualisé rend aussi plus difficile le développement de techniques de conseil d'accompagnement en groupe qui sont pourtant identifiées comme permettant d'accélérer l'intégration des pratiques agroenvironnementales par les producteurs et productrices et d'agir en amont de leurs décisions de changement.** Soutenir et stimuler des pratiques de conseils de groupe gratuites qui favorisent un apprentissage par les pairs pour les producteurs et productrices apparaît alors comme une piste de solution prometteuse pour maximiser les rôles du conseil agricole.

Le défi des relations interorganisationnelles

De nombreuses tensions et concurrences sont également apparues entre les divers organismes qui jouent un rôle de conseil auprès des producteurs et productrices. Elles prennent la forme de concurrences pour les financements et pour la clientèle, ou de tensions autour de la neutralité des conseils. Pourtant, les différentes formes de conseils sont loin d'être étanches les une des autres comme en témoignent les parcours professionnels de certains conseillers et conseillères qui changent de type d'organisations au cours de leur carrière. En outre, quand des relations interorganisationnelles existent sur un territoire, ces tensions sont largement apaisées et des alliances sont créées pour coordonner les actions des uns et des autres dans des projets de réhabilitation environnementale en milieu agricole. Soutenir des tables d'échange en agroenvironnement dans les régions pour réunir les conseillers et conseillères des diverses organisations apparaît alors comme une des autres pistes de solutions qui permettrait de maximiser le rôle du conseil agricole dans la réhabilitation du littoral.



Faire de l'agriculture à l'île Dupas (crédit : P. Genest-Richard, 2022).



04

Les impacts
environnementaux
des pratiques
agricoles

Cette section présente les résultats de l'**axe environnement et faune**¹⁰. Cet axe était constitué de 11 équipes de recherche de l'Université du Québec à Trois-Rivières et de l'Université McGill. L'objectif général de cet axe était de mesurer l'impact du gradient d'utilisation des terres, des forêts naturelles aux pratiques culturales conventionnelles, sur les écosystèmes aquatiques et terrestres du littoral. Les indicateurs utilisés étaient reliés à l'écoulement des masses d'eau, à la qualité de l'eau et des sols (turbidité, sédiments en suspension, nutriments, matière organique dissoute et pesticides), aux écosystèmes aquatiques (bactéries, propagules de zooplancton et de plantes, zooplancton dans la colonne d'eau, œufs et larves de poissons, poissons juvéniles et adultes), aux écosystèmes terrestres (sols, plantes, insectes, oiseaux et ADN environnemental) et à la séquestration et aux flux de carbone et d'azote. Près de 100 variables environnementales et fauniques ont été mesurées dans le cadre des projets réalisés par les chercheurs et chercheuses de cet axe. Les mesures ont été effectuées de 2019 à 2022, particulièrement au cours des crues printanières, mais également au cours de l'été et de l'automne pour certaines variables. Ces travaux visaient à évaluer quel type d'activités agricoles peuvent être réalisées dans le littoral, tout en permettant la réhabilitation des services écosystémiques en général et le rétablissement des populations de perchaude en particulier.



Collecte de données environnementales dans la plaine d'inondation ; crédit photo : G. Cabana.

10. Chercheurs et chercheuses principaux ayant menés des travaux de recherche pour cette section : Andrea Bertolo, Gilbert Cabana, Stéphane Campeau, Vincent Fugère, Valérie Fournier, François Guillemette, Jessica Head, Cynthia Kallenbach, Christophe Kinnard, Vincent Maire, Renata Mazzei, Raphaël Proulx, Marco A. Rodriguez, Alexandre Roy, Shiv Prasher et Chris Watson

4.1 Les masses d'eau du littoral

Le LSP est composé de différentes masses d'eau qui s'écoulent en parallèle. La masse d'eau principale provient du **lac Ontario** et s'écoule au centre, en suivant notamment le chenal de navigation (**figure 4.1**). Elle est généralement peu turbide et de couleur verdâtre. Au nord, la masse d'eau principale provient de la rivière des Outaouais et dans une moindre mesure de la rivière L'Assomption. Elle est de couleur brunâtre et davantage turbide au printemps. Finalement, les masses d'eau provenant des rivières Richelieu, Yamaska et Saint-François s'écoulent au sud. Elles ont des caractéristiques variables, les deux premières étant davantage turbides au printemps, alors que la Saint-François est moins turbide, bien que colorée en raison du carbone organique dissous provenant entre autres des sols forestiers.

L'écoulement de l'eau dans le littoral lui-même est toutefois peu influencé par ces grandes masses d'eau (**Campeau et al., 2023**). Lors de la **première phase de la crue**, qui débute en mars, le littoral est d'abord inondé par l'eau provenant des quelque 150 ruisseaux qui se déversent directement dans le littoral du LSP. Cette eau est très turbide (200-1000 FNU¹¹) en raison principalement de l'érosion des sols agricoles et des berges en amont. Ces cours d'eau ont un régime torrentiel pendant la fonte, particulièrement si elle est accompagnée de précipitations. Le réseau hydrographique en amont du littoral est donc majoritairement responsable de la forte turbidité dans la plaine en début de crue. Des turbidités élevées sont également mesurées pendant la fonte dans les rivières Bayonne (296 FNU) et Chicot (155 FNU). La **deuxième phase de la crue** est caractérisée par la hausse du niveau du fleuve qui entre

11. Unité de turbidité. Une eau claire est à 0 FNU, alors qu'une eau très turbide (opaque) est à 1000 FNU.



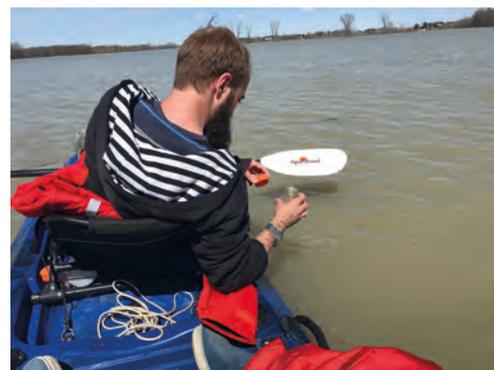
Figure 4.1

Image du satellite Sentinel-2 du 6 mai 2019 qui illustre les patrons d'écoulement présents dans le littoral au printemps. Les secteurs numérotés de 1 à 12 sont décrits dans le texte.

lentement dans le littoral en passant par certains ruisseaux et qui provoque par le fait même des inversions de courant dans ces derniers. Les eaux turbides provenant des ruisseaux sont alors prisonnières de la plaine, dans laquelle se développe un bouchon vaseux très turbide, particulièrement dans le secteur ouest de Baie-du-Febvre. Cependant, là où il y a intrusion des eaux du fleuve dans la plaine, la turbidité baisse drastiquement. C'est le cas notamment dans le secteur est de Saint-Barthélemy et le secteur est de Baie-du-Febvre. Cette phase entraîne une diminution de la turbidité de l'eau (30 – 70 FNU) dans ces secteurs du littoral. La **troisième phase**, qui peut s'étendre de la fin avril au début juin, est marquée par la décrue du fleuve et la vidange de la plaine, ce qui se traduit par une légère augmentation de la turbidité dans la plaine (50 – 120 FNU) due au mouvement de l'eau qui s'évacue.

Ainsi, les caractéristiques des masses d'eau présentes dans le littoral vont varier d'un secteur à l'autre, en fonction des phases de la crue et de l'origine de l'eau. Le secteur de **Saint-Barthélemy** présente les patrons d'écoulement les plus complexes. À l'ouest de la montée Saint-Laurent (**figure 4.1, secteur 1**), la plaine est principalement influencée par les ruisseaux qui drainent les terres agricoles au nord de l'autoroute 40, mais aussi possiblement par les rivières Chicot et Bayonne, surtout lors des crues importantes. Entre la montée Saint-Laurent et la rivière Maskinongé (**secteur 2**), la plaine baigne dans les eaux turbides provenant des ruisseaux agricoles. Toutefois, au cours de la phase 2 de la crue, l'eau du fleuve pénètre en partie dans la plaine par certains ruisseaux. Au cours de cette phase, un écoulement en direction de l'est s'établit dans ce secteur. La rivière Maskinongé bloque toutefois complètement cet écoulement. Les eaux turbides issues de ce secteur sont repoussées plus au large du LSP par la rivière Maskinongé, qui est colorée, mais qui a une faible turbidité (**secteur 3**). La baie de Maskinongé est ainsi en partie protégée des eaux turbides du secteur de Saint-Barthélemy.

À **l'île Dupas**, le haut des terres est turbide au printemps en raison du ruissellement des terres agricoles (**secteur 4**). Les zones plus basses sont en revanche nettement moins turbides puisqu'elles sont inondées par la crue du fleuve (masse d'eau de la rivière des Outaouais). Le secteur de **Pierreville** présente le patron d'écoulement le plus simple. Les parcelles du Pôle sont situées sur une pointe qui ne reçoit les eaux d'aucun ruisseau (**secteur 5**). Ces parcelles sont entièrement inondées par les eaux de la rivière Saint-François, qui ont une faible turbidité (comparable à la rivière Maskinongé). Les eaux de la rivière Saint-François longent ensuite l'ensemble de la rive sud du LSP, repoussant les eaux de la Richelieu et de la Yamaska vers le large, qui n'exercent ainsi aucune influence sur le littoral de ce secteur (**secteur 6**). Dans le secteur ouest de **Baie-du-Febvre**, les eaux de la Saint-François inondent les terrains de la Défense nationale, mais ont peu d'impact sur les parcelles agricoles. La confrontation entre les eaux turbides provenant des ruisseaux et les eaux peu turbides de la Saint-François s'effectue précisément à la limite entre les terrains de la Défense nationale et les parcelles agricoles, qui sont très turbides (**secteur 7**). Cependant, dans le secteur est de Baie-du-Febvre, les eaux peu turbides de la Saint-François inondent en partie les terres agricoles au cours de la deuxième phase de la crue (**secteur 8**). Certains secteurs endigués, qui ne reçoivent pas d'eau des ruisseaux, sont moins turbides et favorisent l'activité photosynthétique par les organismes phytoplanctoniques situés à la base de la chaîne alimentaire (**secteur 9**). Les secteurs du littoral à l'est de la **rivière du Loup** (**secteur 10**) et à l'est de la Yamachiche (**secteur 11**) sont influencés par la turbidité élevée de ces rivières au printemps. Finalement, le secteur de la **Baie Saint-François** semble baigné essentiellement dans les eaux turbides de la rivière Yamaska (**secteur 12**).



Collecte de données sur la qualité de l'eau dans le littoral ; crédit photo : S. Campeau.

4.2 La qualité de l'eau

La qualité de l'eau a été mesurée à la fois dans le littoral et dans les ruisseaux qui se déversent directement dans le littoral. La **turbidité** de l'eau a fait l'objet d'une attention particulière puisqu'elle a le potentiel d'affecter directement les écosystèmes aquatiques (pénétration de la lumière, mobilité des espèces, alimentation et respiration de certains organismes aquatiques) et qu'elle est corrélée, dans le cadre de cette étude, avec plusieurs autres variables telles que la concentration des sédiments en suspension et en phosphore (**Campeau et al., 2023**). Dans le littoral, la turbidité de l'eau à un point donné est la résultante de l'effet combiné : 1) des propriétés des eaux de fonte provenant des ruisseaux en amont du littoral ; 2) de la remise en suspension des sédiments par le vent et le courant dans le littoral ; et 3) des propriétés des masses d'eau du fleuve et de ses principaux tributaires. Ainsi, la turbidité de l'eau est très variable dans le littoral au printemps. Elle est minimale (10 à 40 FNU) à l'embouchure des rivières possédant de grands massifs forestiers (Maskinongé et Saint-François), et maximale à la fonte des neiges dans les ruisseaux agricoles (> 1000 FNU). Dans le littoral, la turbidité est variable selon la provenance de l'eau ; de 10 à 40 FNU dans le secteur de Pierreville à plus de 300 FNU à l'embouchure des ruisseaux agricoles de Baie-du-Febvre et de Saint-Barthélemy.

Malgré cette variabilité, les résultats du Pôle indiquent que le gradient d'utilisation des terres dans le littoral du LSP explique 26 % de la variance dans la turbidité de l'eau, alors que les différences entre les quatre secteurs du Pôle expliquent 30 % de la variance (**Roy et al., 2023**). Les pratiques culturales conventionnelles et améliorées dans le littoral ont des valeurs de turbidité sept fois supérieures à ce qui a été mesuré dans les milieux forestiers (**figure 4.2**). La turbidité élevée au-dessus des cultures de maïs et de soya est essentiellement liée à la faible couverture végétale au sol au printemps. Il n'y a pas de différence significative dans les turbidités observées au-dessus des parcelles en pratiques culturales conventionnelles et celles en pratiques culturales améliorées.

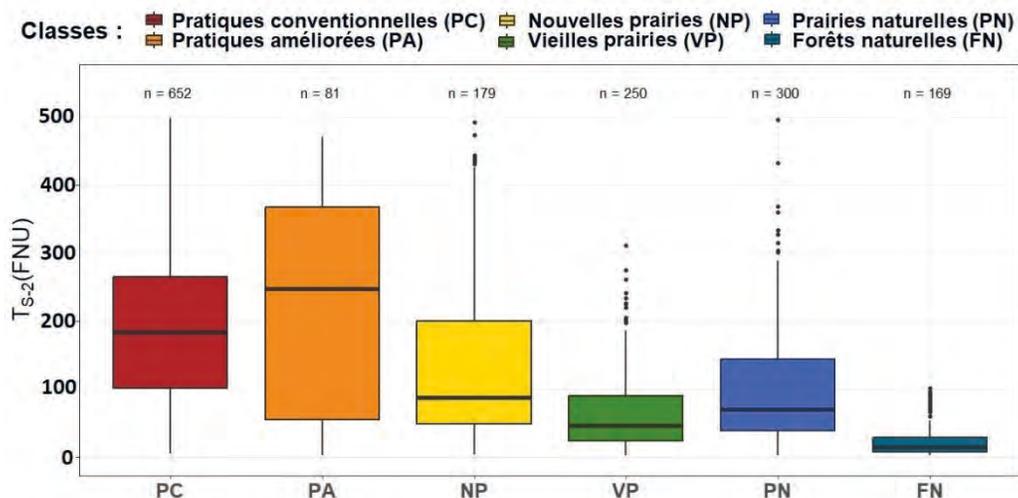


Figure 4.2

Distribution des valeurs de turbidité mesurées par images satellitaires (T-S2) le long du gradient d'utilisation des terres lors des crues printanières de 2019, 2020 et 2022. Les données printanières de turbidité sont comparées avec l'utilisation des terres de l'année précédente (Roy et al., 2023).

Bien que l'utilisation des terres dans le littoral ait un impact sur la turbidité, les résultats du Pôle indiquent que les deux tiers de la turbidité sont en fait induits par l'érosion des sols et des berges dans les ruisseaux agricoles tributaires du littoral (**Campeau et al., 2023**). La cartographie de l'**état des sols agricoles** au printemps dans les bassins versants des ruisseaux démontre que près de la moitié des superficies cartographiées entre 2019 et 2021 étaient occupées par des sols agricoles peu protégés contre l'érosion hydrique au printemps (**figure 4.3**). Ces surfaces incluent les sols travaillés à l'automne et laissés à nu l'hiver, le soya et le maïs ensilage, ces deux dernières cultures laissant très peu de résidus au sol au printemps.

Turbidité de la rivière Brielle au printemps 2020 et état des sols dans son bassin versant

Sols peu protégés contre l'érosion **48%**
Sols nus, soya, maïs ensilage

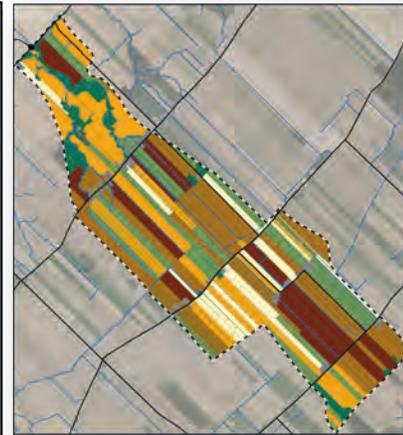
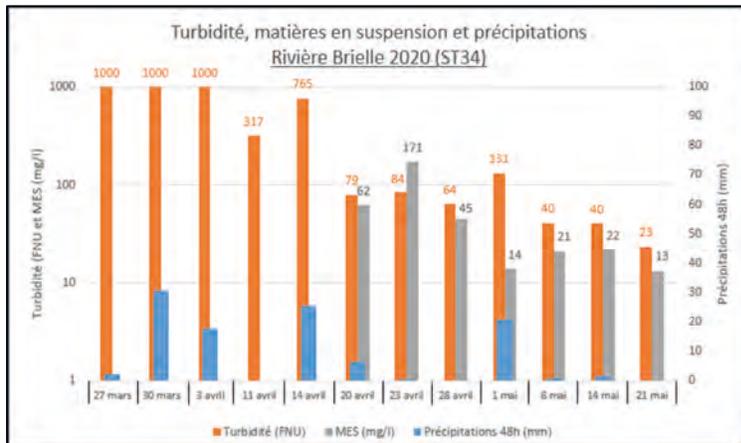
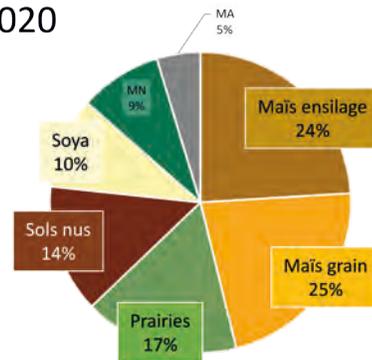


Figure 4.3

État des sols dans le bassin versant de la rivière Brielle au printemps 2020 (Baie-du-Febvre) et suivi de la turbidité de l'eau et des matières en suspension dans cette rivière entre mars et mai 2020 (Campeau et al., 2023). MN : milieux naturels ; MA : milieux anthropiques.

Les bassins versants des ruisseaux qui regroupent les plus grandes superficies de sols laissés à nu où ayant peu de résidus de culture au printemps sont associés en aval aux zones du littoral qui enregistrent les données de turbidité les plus élevées pendant la crue (**figure 4.4**). On observe que lorsque la proportion des sols peu protégés dépasse 35 % dans le bassin versant d'un ruisseau, la turbidité dans le littoral en aval dépasse les 100 FNU au début de la crue printanière. Ces résultats suggèrent ainsi qu'afin d'éviter des niveaux de turbidité extrêmes dans le littoral, il est souhaitable qu'au moins 65 % des surfaces des bassins versants des ruisseaux soient constituées de sols adéquatement protégés. Cette protection peut être apportée de différentes façons, incluant des milieux naturels, des bandes végétalisées, des prairies et des cultures de couverture bien implantées en grandes cultures.

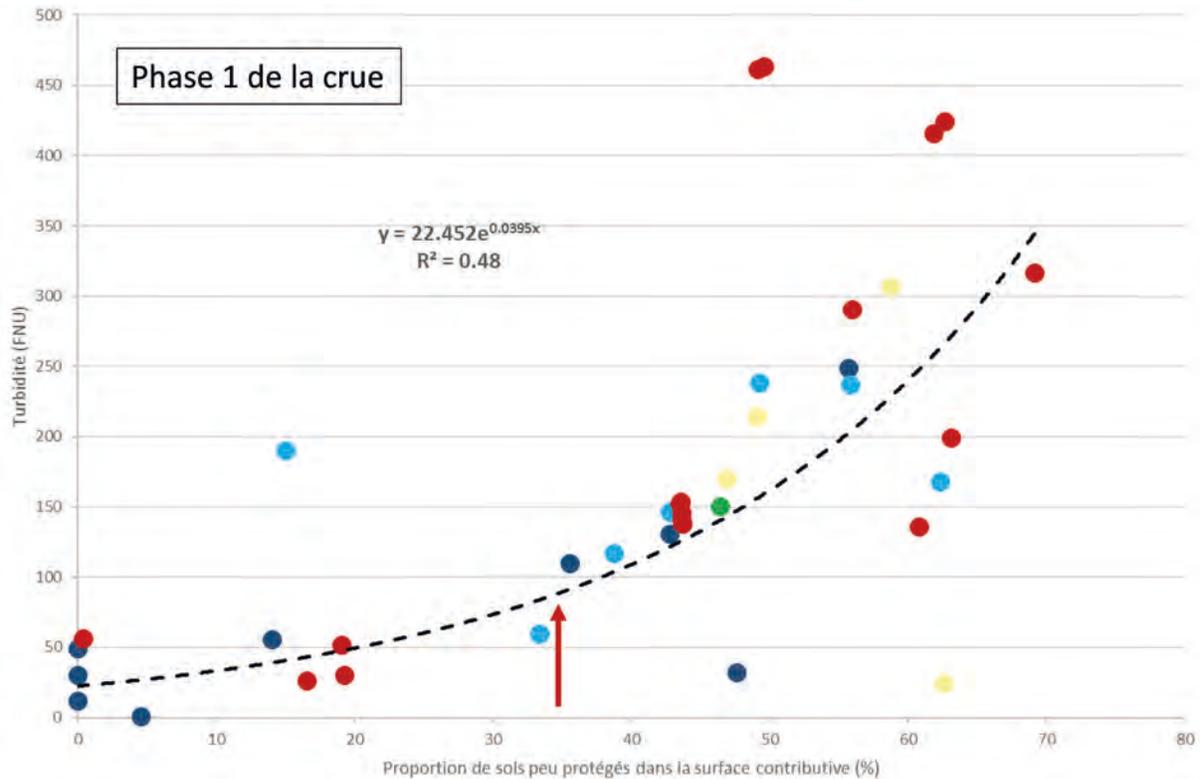


Figure 4.4

Turbidité au-dessus des sites du Pôle dans le littoral en fonction de la proportion de sols peu protégés dans la surface contributive en amont, au cours de la phase 1 de la crue (2019 à 2021). Ces surfaces incluent les sols travaillés à l'automne et laissés à nu l'hiver, le soya et le maïs ensilage, ces deux dernières cultures laissant très peu de résidus au sol au printemps. La flèche rouge indique le seuil de 35 %, à partir duquel la turbidité augmente très rapidement. La couleur des points est associée au gradient d'utilisation des terres dans le littoral, des forêts (bleu foncé) aux pratiques culturales conventionnelles (rouge). Voir l'Annexe 1B pour le détail (Campeau et al., 2023).

Outre la turbidité, les **concentrations en nutriments** (phosphore et azote) et en **matière organique dissoute** ont également été mesurées dans l'eau du littoral (**Guillemette et al., 2023**). De fortes concentrations d'azote et de phosphore ont été mesurées au-dessus des grandes cultures et des nouvelles prairies (**figure 4.5**). En fait, ces tendances concordent bien avec les fortes valeurs de nutriments observées dans le sol. Ces observations suggèrent que les sols agricoles qui sont amendés durant l'année qui précède la crue retiennent une quantité importante de nutriments l'hiver avant d'être relargués dans la colonne d'eau en période de crue. Elles suggèrent également que les améliorations au champ (pratique culturale améliorée) n'ont peu ou pas d'impact marqué sur les concentrations en éléments nutritifs au printemps. L'agriculture présente ainsi un impact important au niveau de la qualité de l'eau en enrichissant le milieu aquatique ; la présence de lits de cyanobactéries dans les fossés agricoles à la fin des crues de 2020 et 2021 représente une manifestation de cet effet. La **biomasse phytoplanctonique**, à la base de la chaîne alimentaire aquatique, avait en revanche de faibles niveaux de concentration en général et était plus élevée dans les vieilles prairies que dans les grandes cultures ou les sites forestiers.

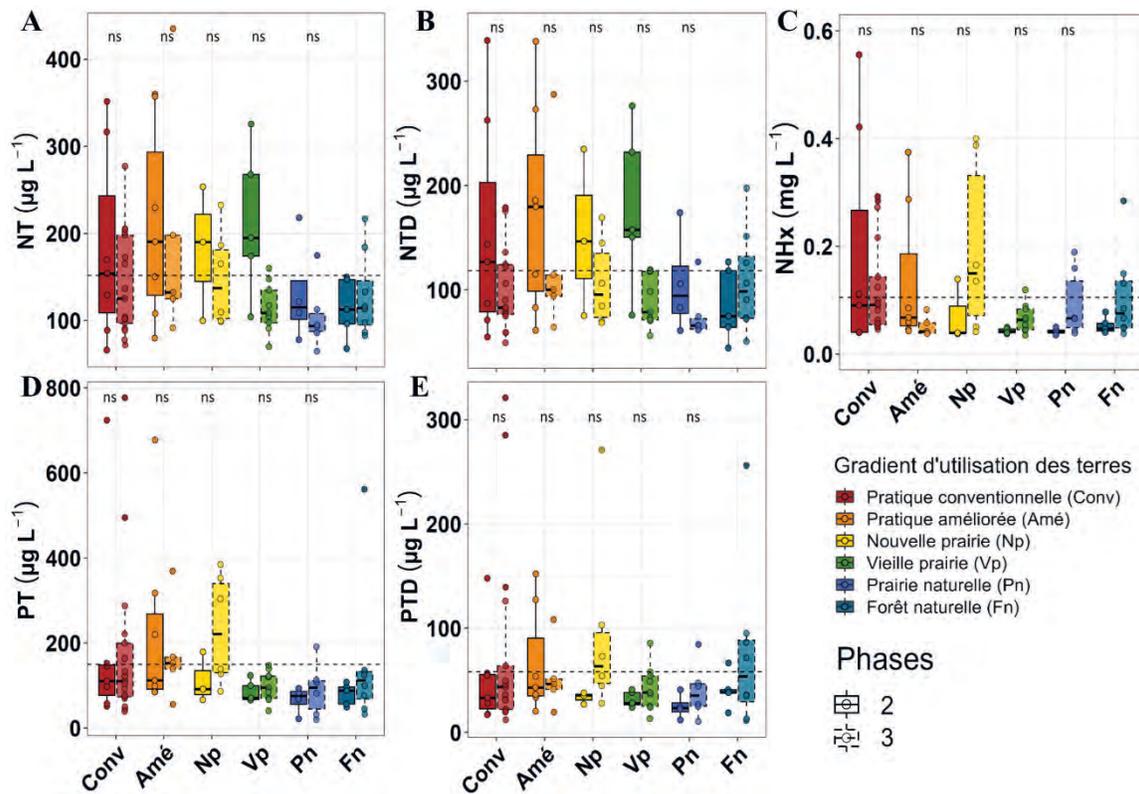


Figure 4.5

Influence de l'usage des terres dans la zone littorale du lac Saint-Pierre et des phases de la crue en 2019 et 2022 sur les teneurs en nutriments dans l'eau mesurées en 2019 et 2022 (A) azote total NT ($\mu\text{g L}^{-1}$); (B) azote total dissous NTD ($\mu\text{g L}^{-1}$); (C) ammonium (NH_4) + ammoniac (NH_3 ; mg L^{-1}); (D) phosphore total PT ($\mu\text{g L}^{-1}$); (E) phosphore total dissous PTD ($\mu\text{g L}^{-1}$). Les bordures pleines et pointillées indiquent les phases 2 et 3 de la crue, respectivement (Guillemette et al., 2023)

En début de crue, l'élévation rapide du niveau d'eau en provenance des tributaires (phase 1) et du fleuve (phase 2) achemine une **matière organique dissoute** (MOD) ayant une composition plutôt homogène à travers le littoral et relativement pauvre en carbone organique dissous. La phase initiale de la crue est caractérisée par le transport de matière organique humique, aromatique et d'origine terrestre vers la plaine d'inondation. La charge en composés humiques en début de crue en provenance des tributaires semble occasionner un mélange plus homogène dans la composition de la MOD dans le littoral. La phase 3 de la crue (correspondant à la décrue du fleuve) diminue la signature humique de la MOD et favorise davantage la contribution des communautés microbiennes et la présence de composés protéiques. Cette phase correspond également à une augmentation du temps de résidence de l'eau lors des années où la décrue était prolongée. Ce phénomène contribue au processus de lixiviation de la matière organique des sols et au relargage du carbone vers la colonne d'eau. Les sources protéiques et labiles de la MOD issue des sols agricoles de la plaine sont plus susceptibles d'être biodisponibles pour les communautés bactériennes alors que la MOD humique et aromatique relarguée des milieux naturels est plus récalcitrante à la dégradation. Ces conditions hydrologiques semblent contribuer à la distinction de la composition moléculaire de la MOD entre les sites forestiers, les prairies et les milieux agricoles. Cette dissociation entre les phases de la crue est un constat important. L'intensité et la longueur des crues au LSP pourraient en effet réguler la concentration et la composition de la MOD dans le littoral et dicter le pool de carbone qui sera transporté vers le fleuve Saint-Laurent lors de la décrue. Elle indique aussi que plus la crue sera longue, plus l'usage local des terres des années précédentes exercera une influence sur la qualité de l'eau au printemps suivant.

4.3 Les sols

Les sols du littoral ont été analysés pour mesurer les éléments nutritifs, le stock de carbone organique, les activités enzymatiques microbiennes et les teneurs en pesticides. De plus, la séquestration et les flux de carbone du sol ont été analysés en tenant compte de la biomasse présente dans le sol et la végétation.

Le **carbone (C) organique total** du sol (**figure 4.6**) était systématiquement plus élevé dans les systèmes naturels (prairie naturelle et forêt), diminuant avec l'intensité des perturbations (**Kallenbach et al., 2023**). La grande variabilité du C total à travers les secteurs du littoral est également probablement fonction de la texture du sol. Le C du sol augmente généralement avec le pourcentage d'argile, améliorant la protection du carbone organique dans les agrégats du sol et attaché aux surfaces minérales. Malgré l'hétérogénéité à travers les secteurs du littoral et au sein d'une même parcelle agricole, les **nitrate**s et les **orthophosphates** augmentaient et l'**ammonium** diminuait avec les perturbations tout au long de la saison de croissance. Typiquement, les grandes cultures ont de très faibles concentrations d'ammonium en raison des taux de nitrification rapides. D'autre part, les **activités enzymatiques** extracellulaires microbiennes du sol étaient les plus élevées dans les forêts et les prairies naturelles. Les apports de lignine dans l'écosystème forestier sont généralement plus élevés que ceux des prairies et des plantes agricoles et l'on s'attend donc à voir des activités enzymatiques oxydatives plus élevées dans la forêt. Globalement, il n'y avait pas de différence significative entre les types de pratiques culturales (conventionnelle et améliorée) en ce qui concerne les éléments nutritifs du sol, le carbone ou les activités enzymatiques, sauf pour le nitrate du sol qui était plus faible en pratique culturale améliorée en juin 2022. En outre, la vieille prairie ressemblait davantage aux forêts et aux prairies naturelles qu'aux autres sites agricoles en ce qui concerne les éléments nutritifs et les activités enzymatiques.

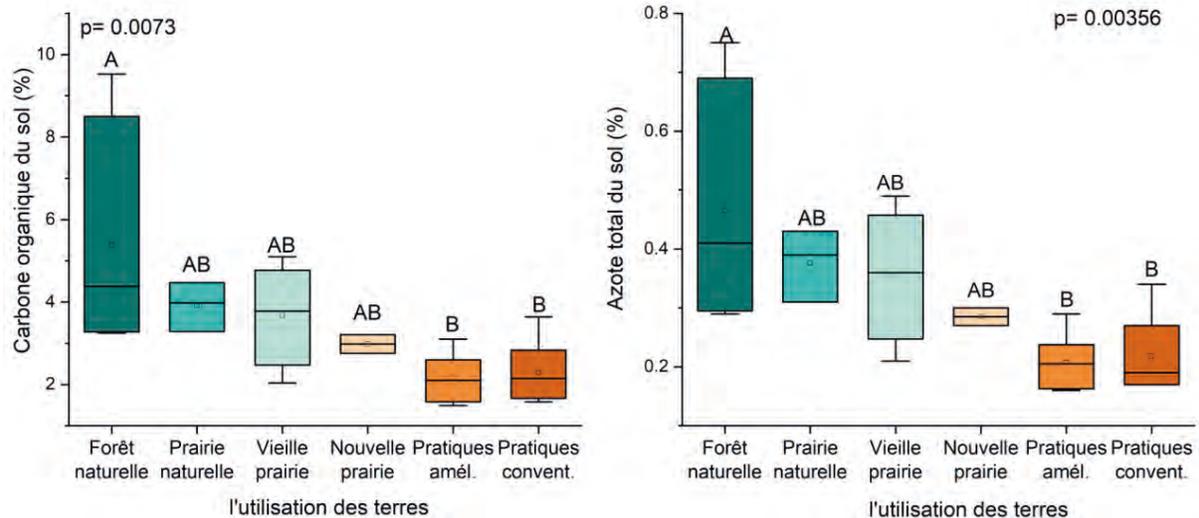


Figure 4.6

Moyenne et erreur standard du % de carbone organique du sol et de l'azote total du sol sur le gradient d'utilisation des terres. Les différences significatives sont indiquées par des lettres différentes (Kallenbach et al., 2023).

Dans les sols du littoral, des **insecticides** (néonicotinoïdes : clothianidine et thiaméthoxame) et des **herbicides** (glyphosate et son métabolite l'acide aminométhylphosphonique [AMPA]) ont été mesurés à différentes profondeurs (Prasher et al., 2023). Les concentrations étaient nettement plus élevées dans les cultures annuelles que dans les autres milieux. Aucune différence significative dans les concentrations de glyphosate, d'AMPA et de clothianidine n'a été observée entre les échantillons de sols prélevés dans les traitements de pratiques culturales conventionnelles et améliorées de maïs et de soya (figure 4.7). Les concentrations moyennes de glyphosate et de clothianidine étaient inférieures à la limite de détection pour les milieux naturels et les prairies ; la présence d'AMPA n'a pas été détectée dans les milieux naturels. Les concentrations moyennes de thiaméthoxame étaient inférieures à la limite de détection pour tous les types d'utilisation des sols.

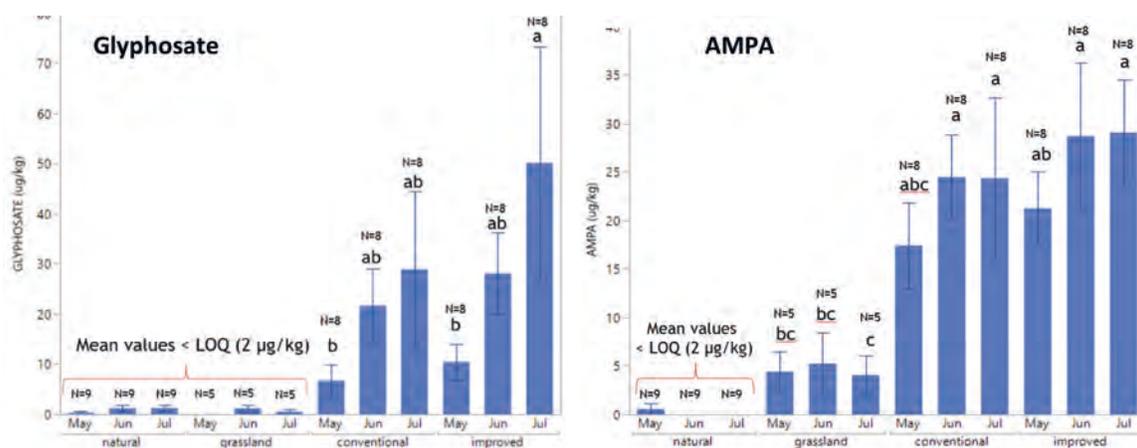


Figure 4.7

Concentrations de glyphosate et d'acide aminométhylphosphonique (AMPA) détectées dans les échantillons de sol prélevés en 2021 dans les milieux naturels et prairies et les traitements des pratiques culturales conventionnelles et améliorées de maïs et de soya. Les colonnes affichant les mêmes lettres représentent des valeurs qui ne diffèrent pas significativement les unes des autres ($\alpha = 0,05$). Les barres d'erreur représentent l'écart-type (Prasher et al., 2023).

En ce qui concerne **la séquestration et les flux de carbone**, l'usage des terres dans le littoral a modifié la biomasse vivante en place au sein du sol (Maire et al., 2023). En général, plus l'intensité des perturbations augmente, moins les sols accumulent de la biomasse racinaire, microbienne et d'ADN (figure 4.8). Les forêts contenaient ainsi 15 fois plus de racines, 2,5 fois plus de biomasse d'ADN et 4,8 fois plus de biomasse par surface de sol que la pratique culturale conventionnelle. De plus, lorsque l'intensité des perturbations diminue, le système est davantage en mesure de capter le CO₂ et le CH₄ de l'atmosphère (4 à 10 fois plus selon le gaz en forêt comparativement aux pratiques culturales conventionnelles), d'y limiter leur retour ainsi que celui de l'azote sous forme de N₂O (2 à 5 fois moins), notamment en favorisant une plus forte régulation des températures et des nutriments (3 à 5 fois plus). Les différences les plus fortes se produisaient lors du passage des cultures annuelles aux prairies et lors du passage d'une végétation herbacée à une végétation arborée (figure 4.9). L'incorporation des pratiques agroenvironnementales (pratique culturale améliorée) n'a provoqué aucune amélioration à cet égard entre 2020-2022 par rapport aux pratiques culturales conventionnelles. Ainsi, plus l'intensité de perturbation des terres augmente, moins la productivité nette du biome (différence entre importation et exportation de carbone organique et inorganique), le potentiel de nourrir la chaîne trophique par la méthanotrophie, la capacité à limiter la variation de l'azote minéral du sol et les flux de N₂O vers l'atmosphère ainsi que la capacité tampon de la température du sol étaient élevés. Dans le contexte des travaux réalisés, la pratique culturale améliorée n'a pas été associée à une différence significative par rapport à la pratique culturale conventionnelle et ainsi aucun bénéfice sur le cycle du carbone ne peut être tiré des pratiques agroenvironnementales mises en place. Le temps d'observation de trois ans n'est sans doute pas assez long pour observer des changements sur le cycle du carbone, ou alors les pratiques agroenvironnementales utilisées ne sont peut-être pas adaptées à un contexte de crue.

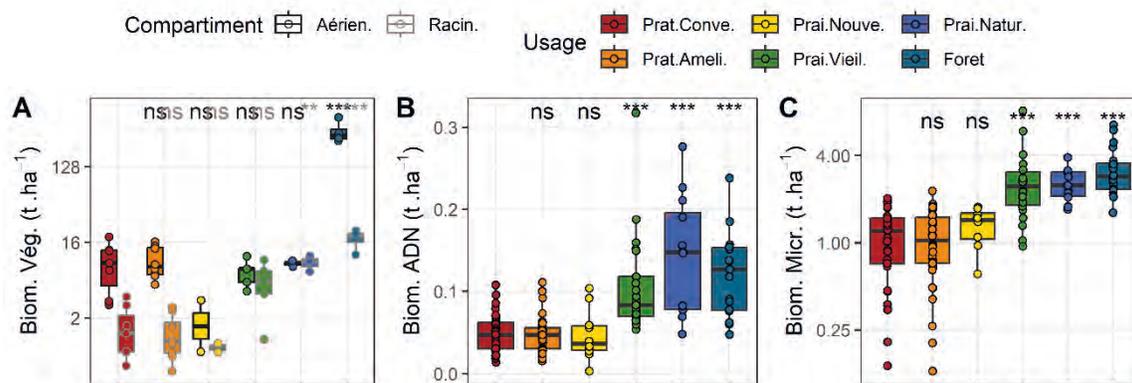


Figure 4.8

Influence de l'usage des terres sur la biomasse vivante. (A) Biomasse végétale aérienne et racinaire sur 25 cm de profondeur mesurée en 2021 ; (B) Biomasse d'ADN du sol extraite sur cinq dates entre 2019-2021 (C) Biomasse microbienne mesurée par fumigation-extraction sur cinq dates entre 2019-2022. L'ADN extrait comprend aussi bien du matériel végétal, animal et microbien (Maire et al., 2023).

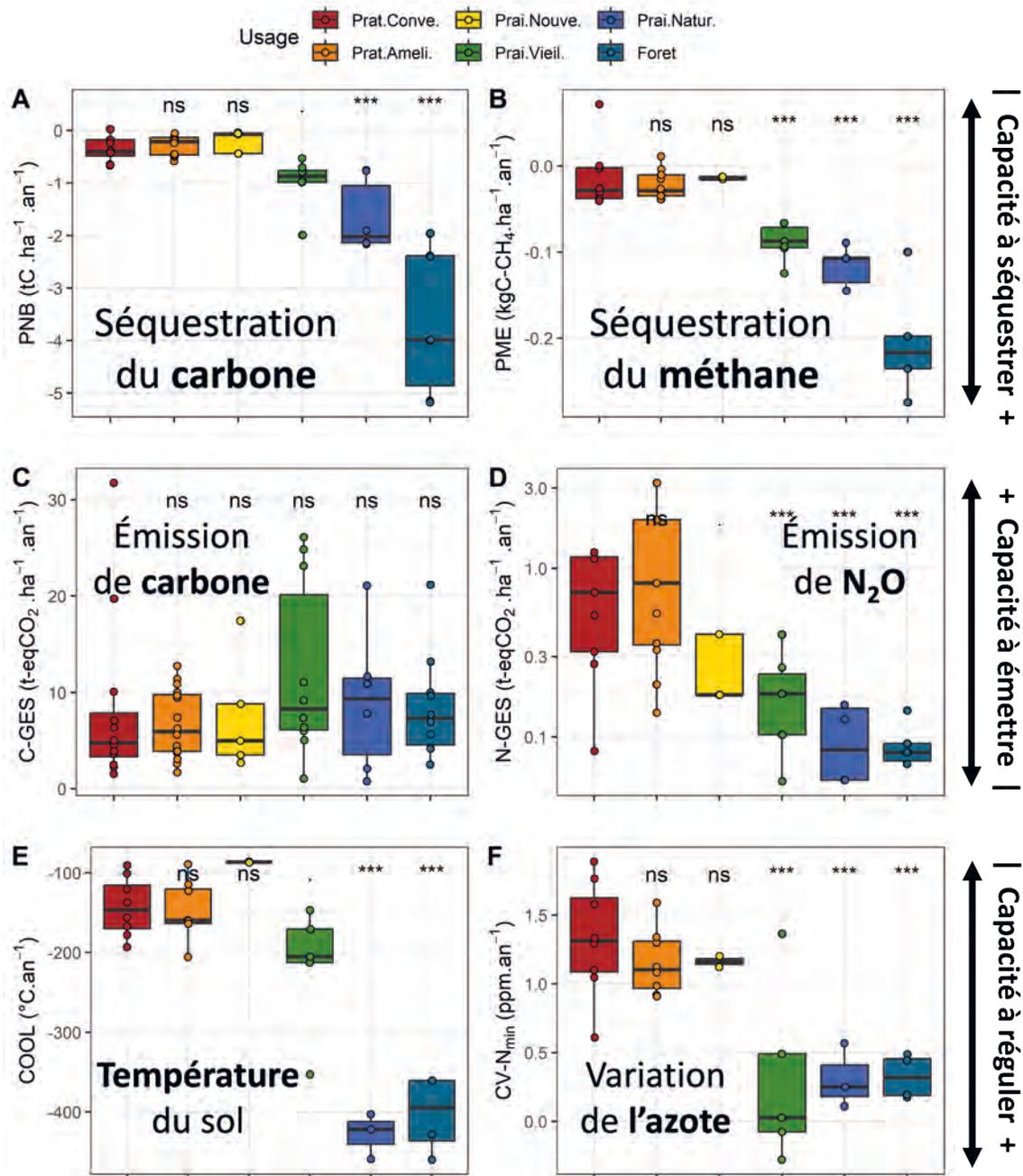


Figure 4.9

Influence de l'usage des terres sur les fonctions écosystémiques. (A) La productivité nette du biome (qui considère les exportations du système et les émissions aquatiques de C en considérant une crue de 50 jours); (B) Le potentiel annuel d'acquisition de C par méthanotrophie; (C) L'émission annuelle des GES du sol vers l'atmosphère issus des gaz CO_2 et CH_4 ; (D) L'émission annuelle des GES du sol vers l'atmosphère issue du gaz N_2O (en considérant 10 jours de pic d'émission); (E) Le rafraîchissement annuel apporté par la végétation au sol; (F) La variation annuelle de l'azote minéral (sous forme de coefficient de variation). Les panneaux A et B expriment la capacité à séquestrer/enlever du C de l'atmosphère dans le système et ont une valeur < 0 si plus de C sort de l'atmosphère que du sol. Les panneaux C et D expriment la capacité à émettre des GES du système vers l'atmosphère. Les panneaux E et F expriment la capacité à réguler la température et les nutriments (Maire et al., 2023).

4.4 Les écosystèmes aquatiques

Au cours des crues de 2019 à 2022, les composantes des écosystèmes aquatiques ont été analysées sur les sites du Pôle, dont l'abondance et la taille du zooplancton, la biodiversité et le taux d'éclosion des invertébrés benthiques, l'abondance des œufs de perchaude et de grand brochet, l'abondance et la croissance des larves de perchaudes, et finalement l'abondance des poissons juvéniles et adultes. Il faut toutefois noter que cette portion de l'étude fut grandement affectée par la variabilité des crues. À titre d'exemple, en raison des faibles crues en 2020 et 2021, les larves de perchaudes ne furent pas exposées aux différents traitements agronomiques durant ces deux années, les planches agricoles étant exondées.

En 2019 et 2022, les plus longues crues ont permis aux perchaudes de commencer leur développement sur la plaine d'inondation. Pour ces deux années, les taux de croissance ainsi que l'abondance du zooplancton étaient extrêmement variables spatialement (Cabana et al., 2023). En ce qui concerne la croissance et la condition physiologique des **larves de perchaudes**, aucune différence significative ne fut observée le long du gradient d'utilisation des terres (figure 4.10). La croissance semble plutôt variée en fonction de l'importance de la crue. Les taux de croissance étaient plus élevés au cours des années de fortes crues (2019 et 2022) dans la plaine d'inondation que durant les années de faibles crues (2020 et 2021). Il semble également que les taux de croissance des larves de perchaudes soient reliés à la densité du zooplancton (figure 4.11). Les fortes densités de zooplancton étaient attribuables aux fortes densités de copépodes, spécialement aux premiers stades des cyclopoïdes. Ces copépodes sont reconnus pour leur capacité de survie suite au retrait des eaux, permettant ainsi une recolonisation rapide durant la crue printanière l'année suivante. Les copépodes sont aussi moins affectés que les cladocères par la matière argileuse fine en suspension et sont donc potentiellement mieux adaptés à la mosaïque présente dans les plaines inondables anthropisées. Ces résultats suggèrent ainsi que la quantité de nourriture disponible aux perchaudes est un facteur limitant leur croissance. Il est toutefois possible que la croissance des poissons et celle des populations de zooplancton ne soient pas reliées de façon causale, mais plutôt par un effet similaire relié à la température. Lors des années de fortes crues, la température de l'eau dans le littoral augmente au cours des semaines, favorisant la croissance du zooplancton et des larves. Il semble également qu'il y ait une forte variabilité entre les secteurs du LSP. Les densités de différents groupes de zooplancton étaient par exemple plus fortes à l'Île Dupas, quelle que soit l'utilisation du sol, que dans les autres secteurs.

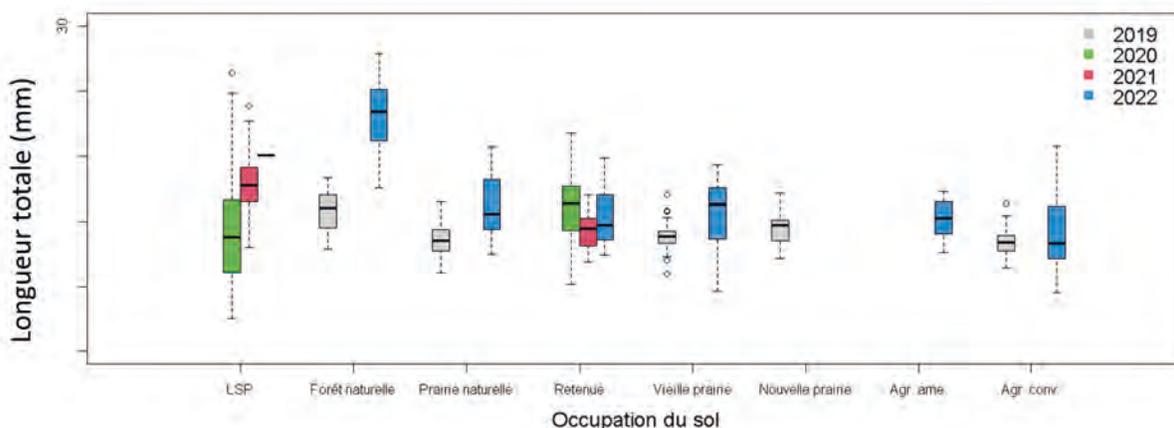


Figure 4.10

Longueur totale des perchaudes de 2019 à 2022 selon l'utilisation du sol ou la capture dans le lac Saint-Pierre. Les analyses de variance pour les sites suivant le protocole du Pôle n'ont pas démontré d'effets significatifs de l'utilisation du sol. (Retenué : zone endiguée ; Agr. ame. : pratiques culturales améliorées ; Agr. conv. : pratiques culturales conventionnelles) (Cabana et al., 2023).

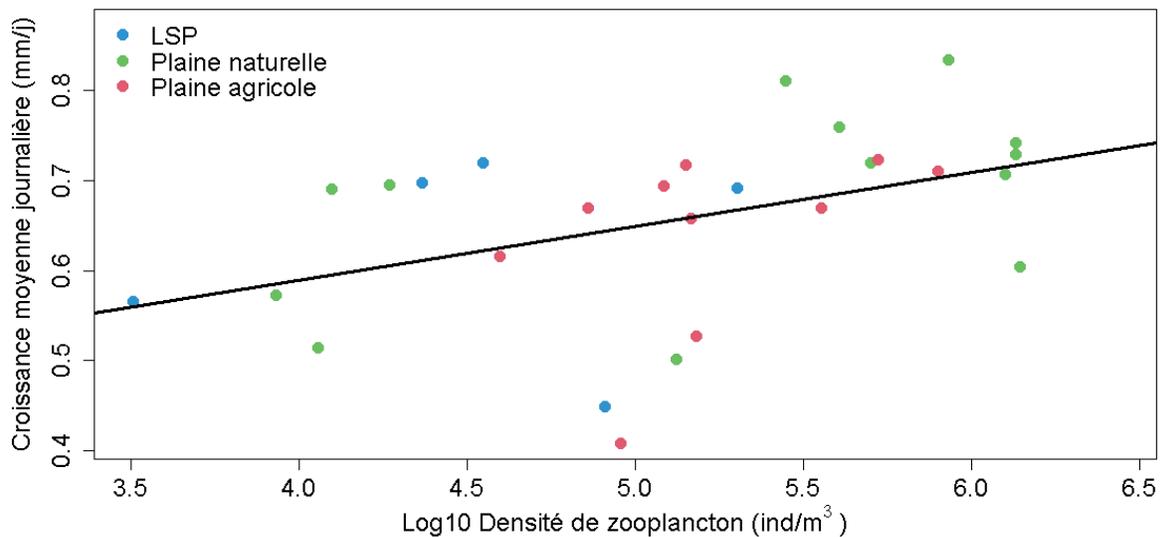


Figure 4.11

Relation entre la croissance moyenne journalière des perchaudes et la densité de zooplancton (2019, 2020 et 2022) (Cabana et al., 2023).

À partir d'échantillons de sol provenant des sites du Pôle incubés dans de l'eau du fleuve, la biodiversité et le taux d'éclosion des communautés de différents taxons **d'invertébrés benthiques** ont été analysés (Bertolo et al., 2023). Les Ostracodes et Rotifères étaient les taxons dominants. Les résultats démontrent que les sols issus de l'agriculture (pratique culturale conventionnelle ou améliorée de cultures annuelles) avaient significativement moins d'organismes que les sols récoltés en forêt (figure 4.12). On observe également que les prairies cultivées ont tendance à abriter moins d'organismes par rapport aux milieux naturels. De plus, les résultats des essais écotoxicologiques montrent que, non seulement les banques d'œufs des sols utilisés par les pratiques culturales conventionnelles sont plus pauvres que celles de sols plus naturels, mais que ces mêmes sols ont un potentiel de toxicité qui a des effets biologiques non négligeables sur les stades sensibles d'une espèce clé comme la perchaude. D'autres résultats, issus d'un bioessai comparant la croissance d'embryons exposés à des sols cultivés en soya et des sols forestiers à différents niveaux de radiation solaire, suggèrent qu'en l'absence d'UV (causée par exemple par l'ombrage ou la turbidité), il y a un décalage temporel (un retard) entre les courbes de croissance des embryons de perchaude exposés aux sols des champs de soya par rapport aux sols forestiers (figure 4.13). Une explication potentielle de ce résultat pourrait être liée à la photo-dégradation des contaminants en présence de radiation UV, bien que les résultats sur les concentrations de contaminants à la fin de l'expérience ne semblent pas supporter clairement ce point.



Capture de perchaude et de grand brochet dans le littoral lors des collectes de données ; crédit photo : P. Brodeur.

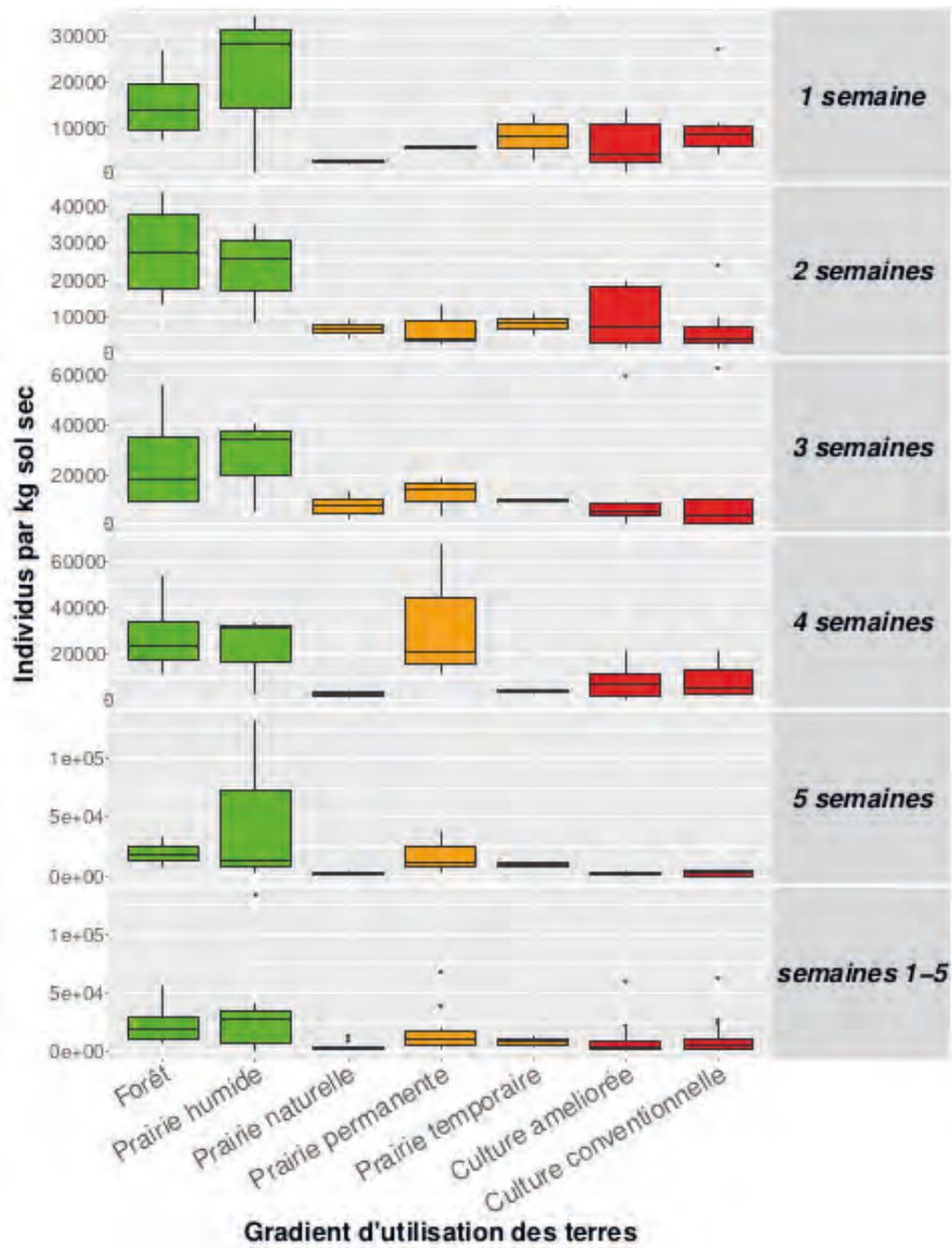


Figure 4.12

Éclosions totales d'invertébrés après 1 à 5 semaines d'incubation sous l'eau dans des contenants indépendants contenant les sols des parcelles du Pôle. Les sols ont tous été récoltés en septembre 2020. Prairie permanente et prairie temporaire réfèrent à des champs de vieilles et nouvelles prairies cultivées. Les prairies humides sont des marais. (Bertolo et al., 2023).

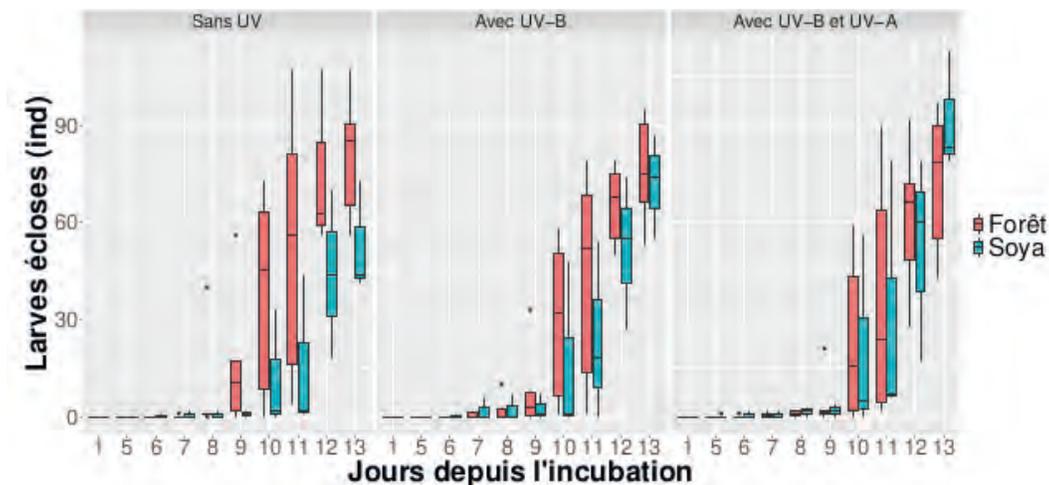


Figure 4.13

Résultats des expériences d'exposition des embryons de perchaude à deux types de sols (culture de soya et forêt) et trois niveaux d'exposition à la radiation solaire (pas d'UV, UV-A seulement, UV-A + UV-B) (Bertolo et al., 2023).

Les échantillons de sols forestiers et cultivés en soya ont également été utilisés pour des **tests écotoxicologiques sur les poissons (Head et al., 2023)**. Un bioessai a permis d'évaluer les effets de l'eau conditionnée par les sédiments du littoral du LSP sur le développement et la survie des stades précoces de vie (SPV) du poisson-zèbre (*Danio rerio*). L'expression globale des gènes transcriptomiques chez les SPV de la perchaude a également été mesurée. Les niveaux de pesticides dans les sédiments de la zone littorale du LSP étaient en dessous des seuils attendus susceptibles de causer des effets sur les poissons. Les pesticides (notamment S-Métolachlore, Clothianidine, Imazéthapyre, et Thiaméthoxame) ont en revanche été détectés plus fréquemment et à des niveaux plus élevés dans les échantillons d'eau qui ont été en contact avec les sédiments agricoles de la zone littorale du LSP que dans les échantillons d'eau du lac lui-même. Ceci suggère un transfert de certains pesticides des champs agricoles vers l'eau.

Les sédiments prélevés dans les champs agricoles inondés avaient une toxicité faible chez les poissons-zèbres aux stades précoces de vie. Les sédiments d'un des champs de soya ont toutefois été associés avec une éclosion précoce et une mortalité élevée dans les larves de poissons-zèbres, mais cet effet peut avoir été exacerbé par un faible niveau d'oxygène dissous. Les résultats du séquençage d'ARN de perchaude suggèrent en outre que les expositions aux sédiments contaminés et aux ondes UV ont eu un effet minime sur les larves de perchaude.

Plusieurs espèces de poissons utilisent la zone littorale du LSP pour la reproduction, la croissance des jeunes de l'année et comme lieu de refuge ou d'alimentation. Ce groupe de poissons comprend des espèces d'intérêt pour la pêche, comme la perchaude et le grand brochet ainsi que de plus petites espèces-proies, comme les cyprinidés, qui sont consommées par les poissons piscivores. Il était important de documenter l'importance relative des différents habitats naturels et agricoles pour les quatre étapes du cycle de vie (œuf, larve, juvénile et adulte) des poissons qui utilisent la zone littorale. Selon les résultats du Pôle, **l'abondance des œufs de poissons** est nettement plus élevée dans les milieux naturels et les vieilles prairies que dans les autres milieux (Rodriguez et al., 2023). En effet, on décèle un contraste marqué entre les traitements agricoles (régie conventionnelle et pratiques améliorées) et les prairies et milieux naturels (figure 4.14). Les champs de cultures de couverture (blé d'automne ou ray-grass annuel) de pleine saison implantés en 2019 en remplacement du maïs ont des valeurs légèrement plus élevées que celles des pratiques culturales conventionnelles. Aucun œuf n'a été trouvé dans les plants de cultures de couverture implantées en intercalaire (traitements améliorés).

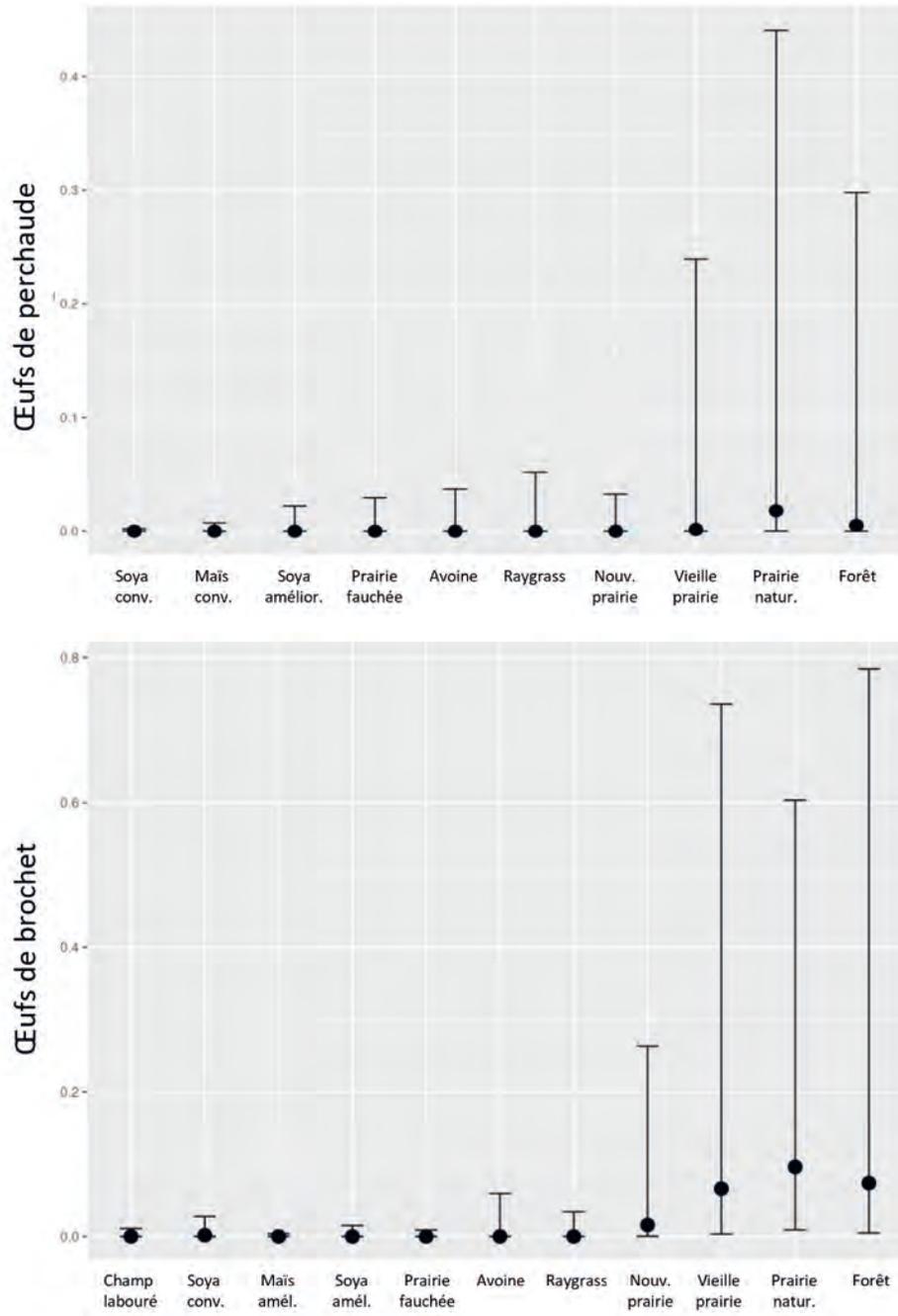


Figure 4.14

Abondances des œufs de perchaude et de grand brochet en fonction des traitements. Les traitements sont ordonnés de gauche à droite selon un gradient allant des pratiques culturales conventionnelles aux cultures de couverture, puis aux prairies agricoles et finalement aux milieux naturels. Les graphiques montrent la moyenne (cercle) et les intervalles de crédibilité à 90 % (ligne verticale) (Rodriguez et al., 2023).

Parmi les **23 espèces de poissons** juvéniles et adultes identifiés dans le littoral, quatre espèces sont dominantes : la perchaude (*Perca flavescens*), la barbotte brune (*Ameiurus nebulosus*), le méné jaune (*Luxilus chrysocephalus*) et le méné d'argent de l'Est (*Notropis heterodon*). Il existe un gradient décroissant d'impacts sur les abondances de différentes étapes de vie des poissons, du sol à nu labouré et des cultures de maïs et de soya, à une extrémité du gradient, aux milieux naturels et vieilles prairies, à l'autre extrémité (**figure 4.15**). L'importance du couvert végétal présent dans le milieu lors de la crue printanière semble être associée au gradient d'utilisation des terres observé. Ce couvert est plus important dans les milieux moins impactés, soit les milieux naturels et les vieilles prairies, que dans tous les autres traitements. Il est également plus important dans les cultures de couverture (particulièrement en pleine saison) et dans les nouvelles prairies que dans les pratiques culturales conventionnelles. Les pratiques culturales conventionnelles sont fortement associées à de faibles abondances de poissons juvéniles et adultes. Le couvert végétal peut favoriser les poissons par le biais de plusieurs mécanismes, tant directs qu'indirects. Le couvert peut, entre autres, fournir aux poissons-proies un refuge contre la prédation ; abriter des organismes aquatiques consommés par les poissons ; fournir un apport trophique allochtone dans le cas des plantes émergentes et de la forêt ; stabiliser le substrat et réduire l'influence des vents et des courants, incluant la resuspension de sédiments et fournir un support pour les œufs des espèces phytophiles, comme la perchaude.

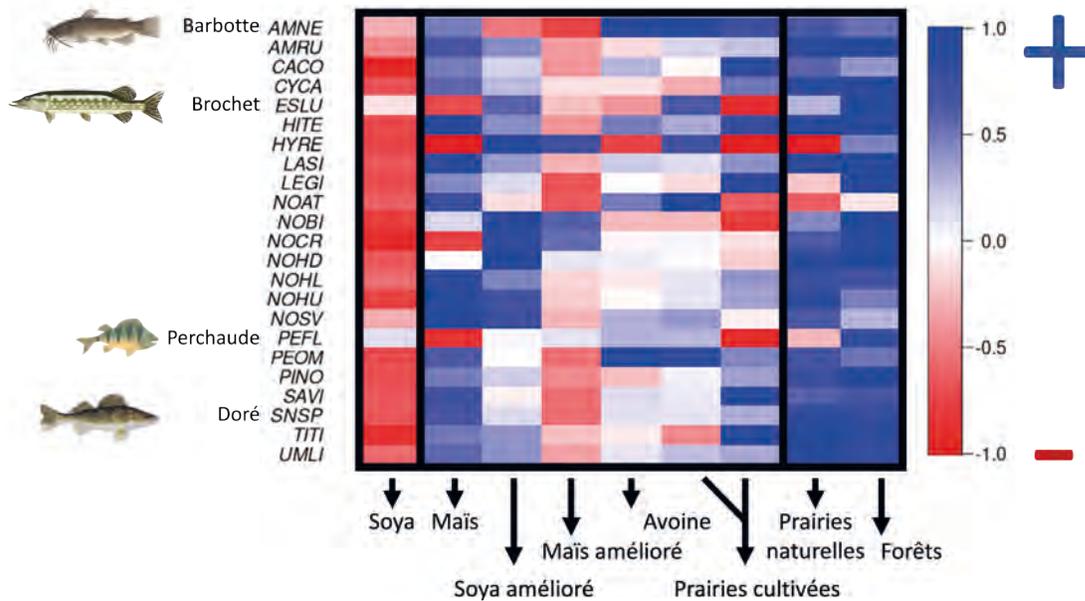


Figure 4.15

Carte de fréquentation des effets des traitements sur les abondances des juvéniles et adultes des 23 espèces de poissons à l'étude. Les traitements sont ordonnés de gauche à droite selon un gradient allant des pratiques culturales conventionnelles aux cultures de couverture, puis aux prairies agricoles et finalement aux milieux naturels. Les effets reflètent la magnitude des déviations par rapport à la moyenne globale. L'intensité des couleurs reflète le seuil de couverture de l'intervalle de crédibilité qui suffit à exclure la valeur de zéro. Les effets positifs sont montrés en bleu ; les effets négatifs, en rouge (Rodriguez et al., 2023).

La notion de portée de la dépendance spatiale fournit un élément de réflexion important. Par exemple, pour les communautés de poissons juvéniles et adultes, la **portée spatiale** est fort probablement de moins de 2,5 km : cela implique que les zones de conservation ou de restauration auront un effet assez local sur les communautés. La présence d'une zone de conservation pourrait donc ne pas avoir un effet de mitigation sur les impacts (ex. : pêches ; dégradation de l'habitat) ayant lieu à quelques km de cette zone.

4.5 Les écosystèmes terrestres

En ce qui concerne les oiseaux, les résultats préliminaires d'une analyse des observations eBird sur les berges du LSP depuis 1980 suggèrent un déclin marqué de certaines espèces (ex. : Canard Pilet [*Anas acuta*], Butor d'Amérique [*Botaurus lentiginosus*], Sturnelle des prés [*Sturnella neglecta*], Bécassine de Wilson [*Gallinago delicata*]) et l'augmentation d'autres espèces (ex. : Pygargue à tête blanche [*Haliaeetus leucocephalus*], Corneille d'Amérique [*Corvus brachyrhynchos*], Bruant chanteur [*Melospiza melodia*]). De façon plus spécifique, les résultats en ce qui concerne les **oiseaux nicheurs** indiquent que la fréquence des espèces de milieux humides au cours des 40 dernières années est passée du double au simple, soit de 40 observations à 20 observations pour 100 feuillets d'observation (**Proulx et al., 2023**). La réponse des oiseaux nicheurs le long du gradient d'utilisation des terres montre une perte rapide d'espèces dans les systèmes en grandes cultures (maïs et soya). La courbe de réponse passe d'environ 6-7 espèces en moyenne dans les milieux naturels et les vieilles prairies (12-14 espèces au total) à 2 espèces en moyenne dans les grandes cultures de maïs ou soya (6 espèces au total), soit un déclin de -50 %. Par ailleurs, la richesse en espèces moyenne est fortement conditionnée par le pourcentage de cultures annuelles dans le paysage autour du site (**figure 4.16**). La richesse en espèces d'oiseaux est maximale lorsque moins de 65 % du paysage est en grandes cultures (pratiques culturales conventionnelles et améliorées de maïs ou soya).

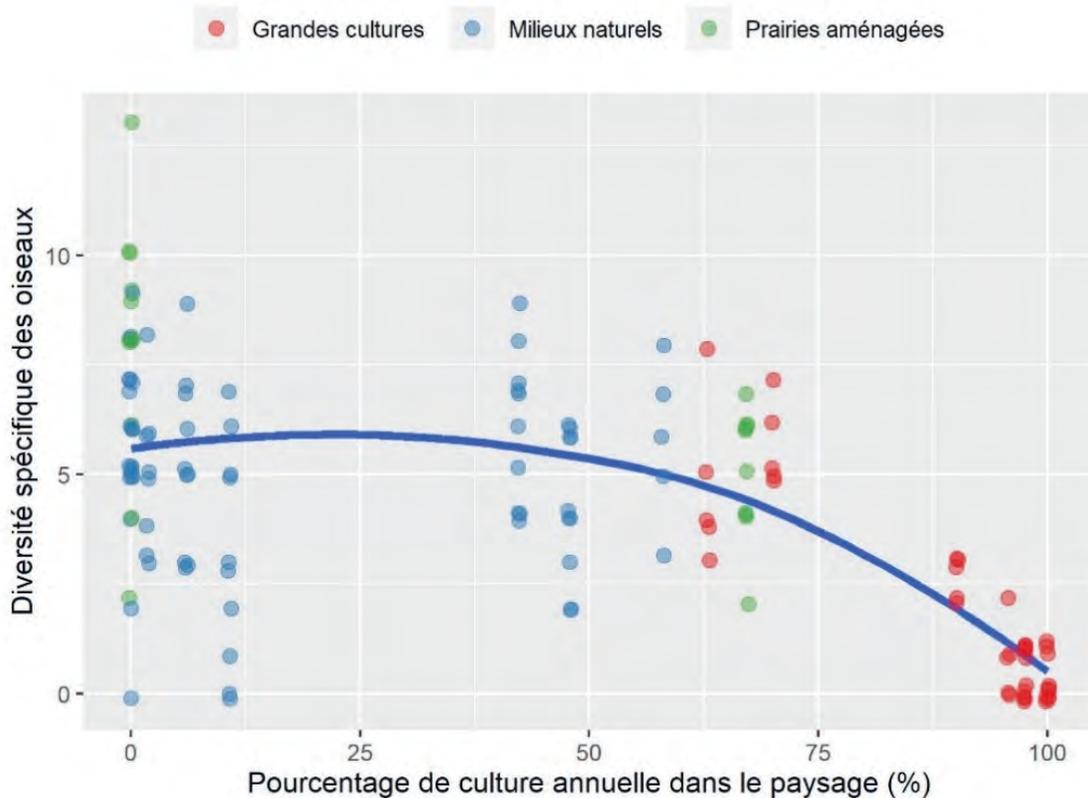


Figure 4.16

Réponses fonctionnelles de la richesse en espèces d'oiseaux nicheurs (diversité spécifique) le long du gradient d'utilisation des terres. Chaque point représente un segment audio de 3 minutes. Le graphique illustre l'influence du pourcentage de cultures annuelles dans un rayon de 100 m autour du point d'écoute sur la richesse en espèces. Les prairies aménagées correspondent respectivement aux vieilles et nouvelles prairies cultivées. La richesse en espèces des oiseaux chute quand le pourcentage de culture annuelle dans le paysage passe au-dessus de 65 % (Proulx et al., 2023).

La réponse des **insectes chanteurs** le long du gradient d'utilisation des terres montre également une perte d'espèces dans les systèmes en grandes cultures, mais moins prononcée que chez les oiseaux nicheurs (**Fournier et al., 2023**). Néanmoins, la courbe de réponse passe d'environ 4-5 espèces en moyenne dans les milieux naturels et les vieilles prairies (6-8 espèces au total) à 3 espèces en moyenne dans les grandes cultures de maïs ou soya (4 espèces au total), soit un déclin de -40 %. Cependant, la richesse en espèces est fortement conditionnée par la hauteur de la végétation au site d'échantillonnage. La courbe de réponse suggère que la richesse en espèces d'insectes chanteurs est maximale lorsque la végétation à la fin du mois d'août atteint 1 m de hauteur. Dans le projet à petite échelle sur les cultures de couverture (section 2.3), le traitement composé de trois espèces (avoine, vesce velue, lin) se démarque favorablement avec des probabilités d'occupation, exprimées en pourcentage, de 13,6 % et 18,5 % pour les traitements désherbé et enherbé, respectivement.

Ainsi, les résultats du Pôle suggèrent que les champs en grandes cultures de maïs ou soya sont associés à un déclin de -50 % des espèces d'oiseaux et -40 % des espèces d'insectes en comparaison des milieux naturels et prairies aménagées. Chez les oiseaux nicheurs, la proportion de cultures annuelles dans le paysage est un fort prédicteur de la richesse en espèces et de la diversité acoustique. Chez les insectes chanteurs, la richesse en espèces et la diversité acoustique des communautés sont affectées par la hauteur de la végétation en fin d'été.

Concernant les **pollinisateurs** inventoriés dans le littoral, un total de 85 espèces d'abeilles et 41 espèces de syrphes ont été identifiés (**Fournier et al., 2023**). Les marges des champs contiennent une meilleure disponibilité florale et attirent plus d'individus et d'espèces d'abeilles que les milieux naturels. Les abeilles ont été quatre fois plus nombreuses et deux fois plus diversifiées en 2020 qu'en 2019, suggérant un effet de mortalité due aux crues prolongées. La conservation et la valorisation des marges de champs sont essentielles pour la gestion durable de l'agriculture au LSP. Les ressources florales qui y sont présentes sont importantes pour les insectes pollinisateurs.

Finalement, le séquençage de l'**ADN environnemental** d'échantillons de sol montre que l'utilisation du territoire affecte grandement les communautés de microorganismes du sol, de même que les communautés animales présentes sur les parcelles lorsque celles-ci s'inondent au printemps (**Fugère et al., 2023**). Les milieux naturels et les champs de maïs-soya représentent deux extrêmes qui diffèrent dans la structure de leur communauté, alors que les prairies montrent une composition intermédiaire entre ces deux usages. Ce patron était visible particulièrement dans la composition des trois groupes de microorganismes du sol (bactéries, protistes, champignons) et du zooplancton crustacé.

En somme, la majorité des indicateurs mesurés par l'axe environnement et faune montrent que le gradient d'utilisation des terres, allant des forêts naturelles d'une part aux pratiques culturales conventionnelles d'autre part, a un impact important sur la qualité de l'eau et des sols du littoral et sur l'intégrité des écosystèmes aquatiques et terrestres. Les sites en grandes cultures annuelles présentent les conditions les plus dégradées et les moins propices au rétablissement des écosystèmes en général et au rétablissement des populations de perchaude et de grand brochet en particulier. De plus, on observe une chute rapide et drastique des bénéfiques environnementaux et fauniques entre les cultures annuelles (pratiques culturales conventionnelles ou améliorées) et les nouvelles prairies d'une part, et les vieilles prairies, les prairies naturelles et les forêts d'autre part. Cette tendance est observable pour un grand nombre de variables environnementales et fauniques, dont quelques exemples sont illustrés à la **figure 4.17**.

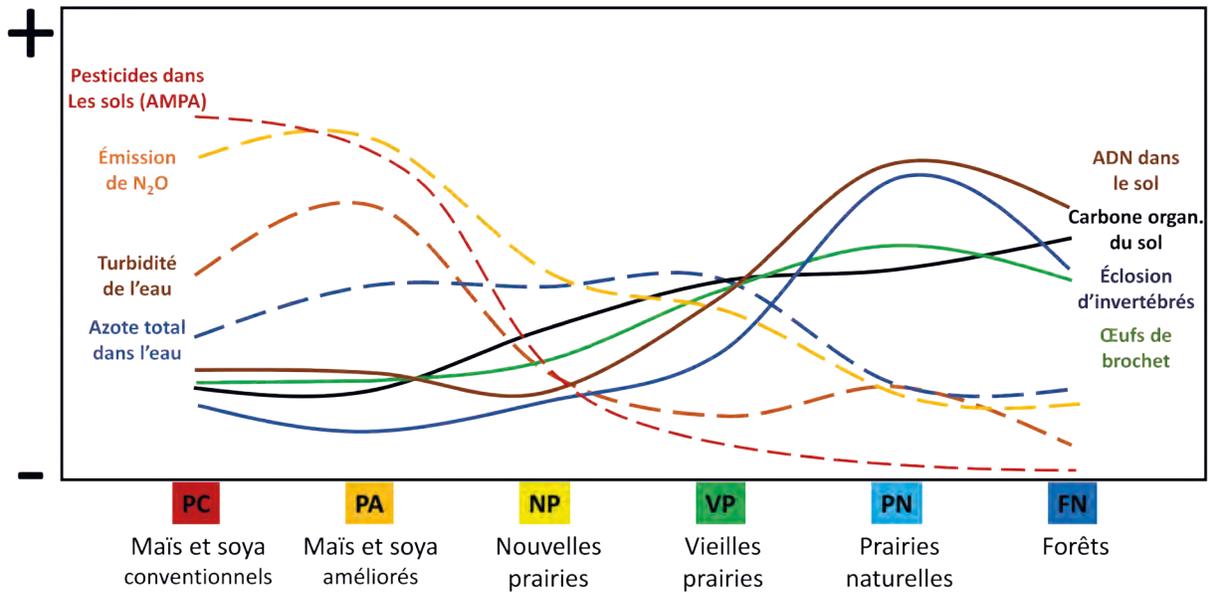


Figure 4.17.

Variation des valeurs centrales de quelques variables environnementales sur gradient d'utilisation des terres dans le littoral pendant les crues printanières de 2019 à 2022. Les valeurs en ordonnée sont relatives à chaque variable, le but étant ici d'illustrer les tendances générales observées le long du gradient d'utilisation des terres. Les données d'origines peuvent être consultées dans le rapport final du Pôle d'expertise (2023). Les lignes pointillées représentent des paramètres nocifs pour l'environnement alors que les lignes pleines sont associées à des conditions favorables pour la biodiversité et le milieu naturel.



Échantillonnage des pollinisateurs.
Crédit photo : R. Proulx.

4.6

La synthèse des gradients environnementaux dans le littoral

La préservation de l'intégrité écologique de la plaine inondable du LSP et la qualité de ses habitats repose sur la mise en place de plans de gestion durables et adaptés (Bourgeois et al., 2019), ce qui nécessite l'évaluation de l'effet de l'usage des terres sur l'environnement et la faune. L'intégrité écologique peut être définie comme « le degré dans laquelle les composants physiques, chimiques et biologiques (y compris la composition, la structure et les processus) d'un écosystème et leurs relations sont présents, fonctionnent et sont maintenus proches d'une condition de référence peu perturbée » (Schallenberg et al., 2011). L'utilisation des indicateurs qui intègrent des informations provenant de multiples dimensions de l'écosystème (Borja et al., 2008) serait ainsi pertinente pour étudier la relation entre un gradient de perturbation anthropique et l'intégrité écologique d'un milieu (Clapcott et al., 2012, Truchy et al., 2022). L'évaluation de l'état des zones humides face aux perturbations anthropiques devient plus efficace lorsqu'on utilise une combinaison de plusieurs indicateurs physiques, chimiques et biologiques (Sims, Zhang et al., 2013). Un modèle conceptuel proposé par Davies et Jackson (2006) pour les écosystèmes aquatiques décrit comment les conditions biologiques se dégradent en réponse à un gradient de stress croissant (**figure 4.18**, schéma de gauche) sans se prononcer sur la forme exacte de la courbe décrivant ce déclin. Une connaissance précise de la forme de cette courbe est importante, car potentiellement elle permettrait de déterminer des niveaux du gradient où l'intégrité écologique est rapidement modifiée.

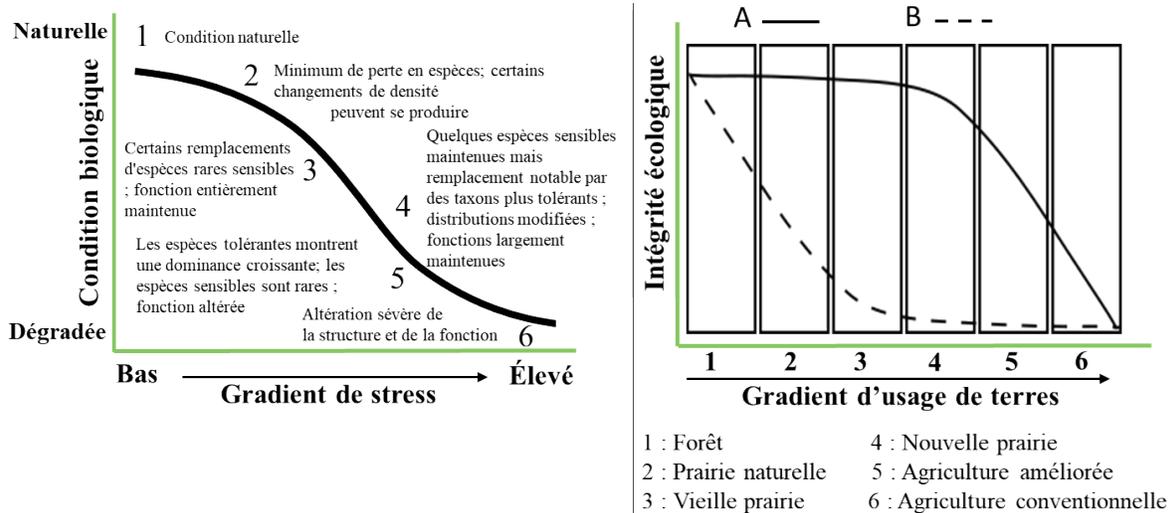


Figure 4.18

Modèle conceptuel et réponse espérée de l'intégrité écologique d'un milieu. Schéma de gauche : Modèle conceptuel décrivant les étapes de changement d'une condition biologique le long d'un gradient de stress croissant (Davies, Jackson et al., 2006). Schéma de droite : Réponse espérée de l'intégrité écologique d'un milieu (ensemble d'indicateurs) le long d'un gradient d'utilisation des terres (perturbations anthropiques croissantes). Les courbes illustrent deux formes des réponses potentielles des indicateurs aux changements induits par les perturbations anthropiques. La courbe A fournit un signal d'avertissement tardif et ne montre une réponse manifeste que lorsque les perturbations deviennent fortes. La courbe B montre une réponse initiale rapide qui ralentit lorsque les perturbations deviennent fortes.

L'objectif principal de cette synthèse était d'évaluer l'impact de l'usage des terres sur l'intégrité écologique de la plaine inondable du LSP en utilisant un indicateur écosystémique composite¹². Cet indicateur composite est une combinaison linéaire de variables ou indicateurs (mesurées dans les parcelles du dispositif à grande échelle de systèmes cultureux par les différents projets du Pôle) issue d'une analyse en composantes principales probabiliste. La prédiction de départ était que l'intégrité écologique de la plaine inondable, représentée par un indicateur composite, diminuerait le long du gradient d'utilisation des terres. De façon plus générale, on visait à caractériser la forme de la courbe de réponse (**figure 4.18**, schéma de droite).

Résultats

Une analyse en composantes principales bayésienne (ACPB; Oba et al., 2003) a permis de synthétiser 92 variables d'origine (**Annexe 3A.1**) en deux composantes (PC1, PC2) (**figure 4.19**) et d'identifier les variables les plus fortement corrélées avec chaque composante. La PC1 (52 % de la variance totale) a été retenue comme indicateur composite de l'intégrité écologique opposant les six usages des terres avec une forte dominance des variables « Sol ». Les milieux naturels étaient caractérisés par des capacités élevées de capture du carbone atmosphérique (sous forme de CO₂ et de CH₄) et de stockage dans le sol (sous forme de biomasses racinaire, microbienne et de matières organiques des sols) (**figure 4.20A**). Le syndrome inverse a été constaté en milieux agricoles en plus d'une capacité élevée de perdre de l'azote par dénitrification. La présence des œufs de grand brochet était plus importante dans les milieux en végétation pérenne, tandis que la diversité des insectes pollinisateurs était plus grande dans les milieux cultivés annuellement. L'indicateur composite PC1 a dévoilé un déclin curviligne dans l'intégrité écologique le long du gradient d'utilisation des terres (**figure 4.20B**). Les deux milieux naturels possédaient des valeurs très similaires à une extrémité du gradient tandis que les milieux les plus perturbés étaient à l'autre extrémité du gradient et ne se distinguaient pas entre eux. Le milieu de vieille prairie présentait

12. Chercheurs principaux ayant menés des travaux de recherche pour cette section : Marco A. Rodríguez, Hada Damar et Vincent Maire.

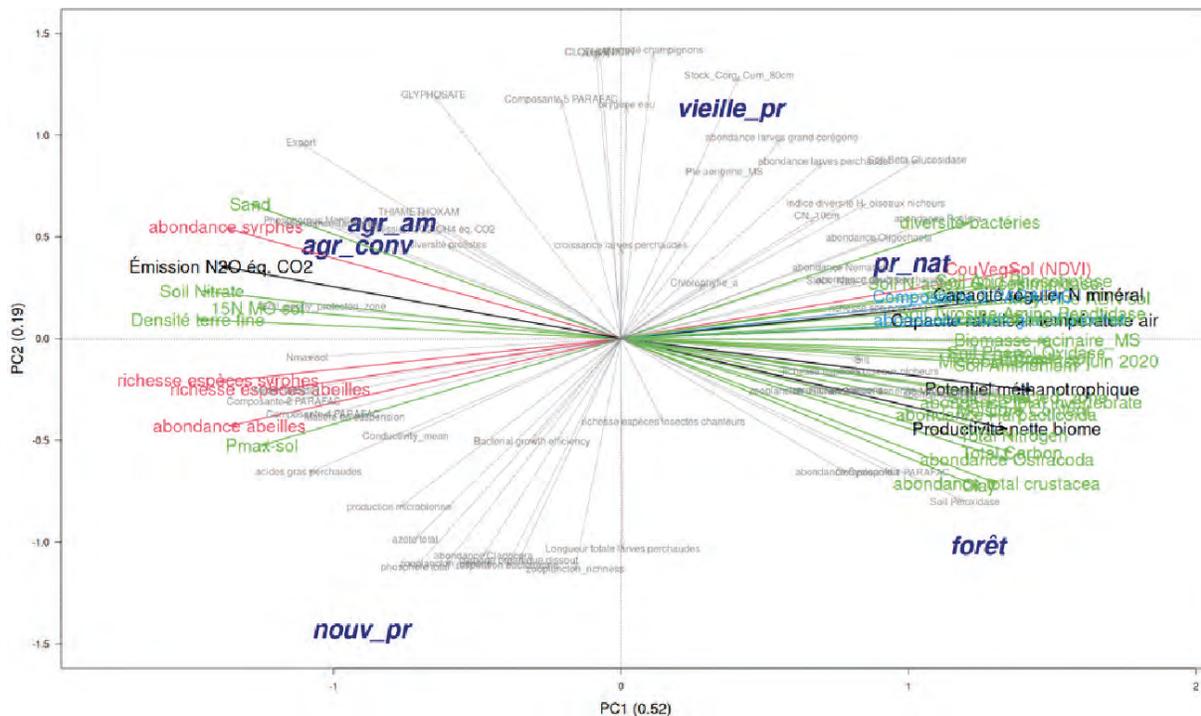


Figure 4.19

Diagramme de double projection (« biplot ») découlant de l'analyse en composantes principales bayésienne des 92 variables mesurées dans les parcelles du dispositif à grande échelle (Annexe 3A.1). Les usages des terres sont représentés en bleu ; les variables sont codées selon leur appartenance aux catégories Air (noir), Eau (bleu), Sol (vert), Terre (rouge).

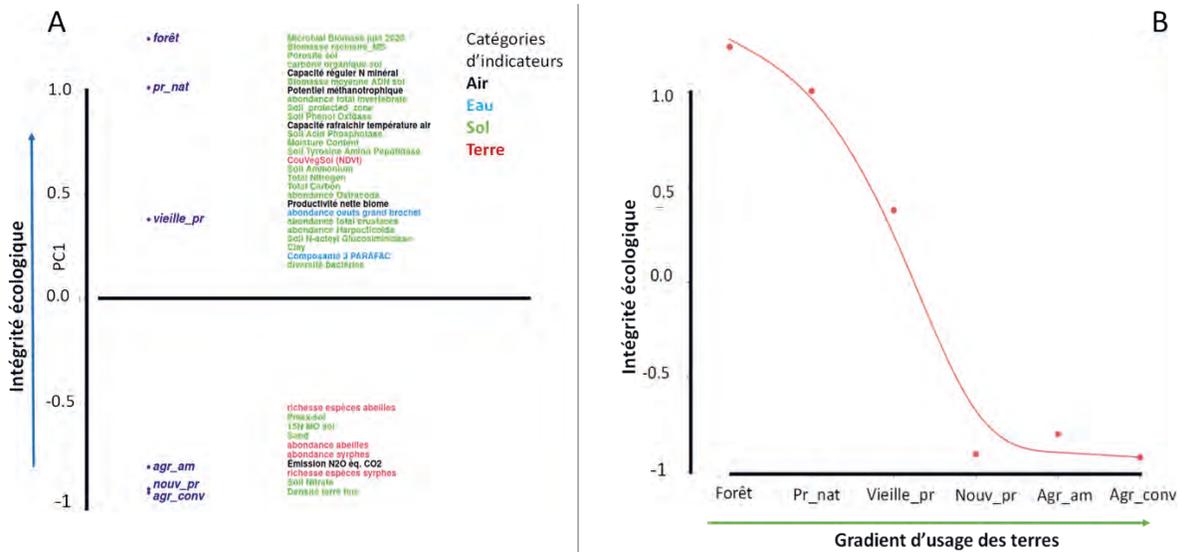


Figure 4.20

Positionnement des variables (A) et des usages des terres (B) le long de l'axe 1 de l'ACP, interprété comme l'indicateur composite de l'intégrité écologique. Pr_nat : prairie naturelle, vieille_pr : vieille prairie, agr_am : pratique culturale améliorée, agr_conv : pratique culturale conventionnelle. Les variables sont présentées en détail à l'Annexe 3A.1. Les couleurs dénotent le regroupement des indicateurs par catégorie.

une valeur intermédiaire entre les milieux naturels et les milieux agricoles. Les prairies nouvellement établies, les pratiques culturales améliorées et les pratiques culturales conventionnelles étaient toutes associées avec de faibles valeurs de l'intégrité écologique.

Discussion

Le gradient dévoilé par l'indicateur composite PC1 semble être cohérent avec l'hypothèse de départ (Oba et al., 2003 ; **figure 4.18**, Schéma de gauche). L'intégrité écologique décline le long du gradient d'utilisation des terres. Le déclin de l'intégrité écologique était fortement corrélé avec la dégradation des sols et de la capacité à réguler les flux écosystémiques. Les milieux en végétation pérenne ont une meilleure régulation des flux écosystémiques (Levine, Teal et al., 2011), un sol plus riche en matière organique (Crews, Carton et al., 2018, Schweizer, Fischer et al., 2017), une meilleure rétention des nutriments, en particulier les nitrates (Crews, Carton et al., 2018), que les milieux cultivés annuellement (Foley et al., 2005). Une forte intensité de perturbation anthropique, comme celle générée par l'agriculture, est généralement la principale cause des émissions de gaz à effet de serre (carbone, méthane et oxyde nitreux) du système alimentaire (Vermeulen, Campbell et al., 2012) et du déclin de la biodiversité locale dans de nombreux écosystèmes (De Baan, Alkemade et al., 2013). Alors que la présence des œufs de grand brochet était plus grande dans les milieux naturels et les vieilles prairies, la diversité des insectes pollinisateurs, utilisée souvent comme un indicateur d'intégrité écologique, était plus importante dans les milieux agricoles, suggérant une plus grande disponibilité de ressources florales en bordure des champs pouvant servir d'habitat de refuge pour les pollinisateurs (O'Connor et al., 2019). Ainsi, l'utilisation unique des données des communautés biologiques pour évaluer les impacts des perturbations anthropiques à l'échelle de l'écosystème constitue un défi (Clapcott et al., 2012, Truchy et al., 2022). Les organismes vivants peuvent montrer une sensibilité variable à l'utilisation des terres (Clapcott et al., 2012, Truchy et al., 2022). Des études suggèrent que l'adoption des pratiques culturales améliorées ou agroenvironnementales (ex. : végétation permanente en bordure de champ, cultures de couvertures, réduction d'intrants chimiques), ainsi que des cultures pérennes (prairies) pourrait constituer une alternative aux pratiques culturales conventionnelles visant à préserver l'intégrité écologique des

milieux cultivés et la biodiversité (ex. : Wezel et al., 2014). Toutefois, la présente étude n'a pas détecté des tendances dans l'intégrité écologique parmi les milieux agricoles, qui montraient des niveaux de perturbations comparables. Les pratiques culturales conventionnelles nécessitent un travail annuel (l'utilisation de fertilisants, travail du sol et semis), tout comme les pratiques culturales améliorées et les prairies établies en 2019 et 2020 (échec d'établissement à chaque année). Les pratiques culturales améliorées en culture d'alternance maïs-soya avec couverture intercalaire et bande végétalisée d'alpiste n'ont pas permis d'augmenter l'intégrité écologique en comparaison aux pratiques culturales conventionnelles. Cependant, les cultures de couverture commencent à influencer la santé du sol plusieurs années après leur adoption (Wood, Bowman et al., 2021). L'apparition des bénéfices écologiques des pratiques culturales améliorées pourrait alors nécessiter plus d'années que la durée des projets entamés dans le cadre du Pôle.

En conclusion, les usages des terres permettant une pérennité de la végétation sur plusieurs dizaines d'années soutiennent l'intégrité écologique de la plaine inondable du LSP. La préservation des milieux naturels et, en deuxième instance, la priorisation des cultures pérennes telles que les prairies pourraient faire partie des plans de gestion du LSP. Les indicateurs des flux écosystémiques, de la terre et du sol semblent mieux intégrer les impacts anthropiques dans le temps et l'espace que les indicateurs aquatiques. Ceci découle probablement de la forte variation spatio-temporelle des eaux de crue. Notre approche intégratrice a permis de fournir une vision globale de comment l'intégrité écologique d'un milieu diminue le long du gradient d'utilisation de terres.



Champs inondés dans le littoral. Crédit photo : P.-A. Bordeleau.

4.7

Les disparités régionales des variables mesurées en grandes parcelles

AT

L'objectif de cette section est d'évaluer l'échelle d'organisation de différents groupes de variables biotiques, abiotiques et agronomiques dans les milieux aquatique et terrestre de la plaine inondable du LSP, afin d'évaluer la proportion de la variation totale dans les données qui est associée aux différences entre les régions d'étude¹³. Une forte proportion signifie que les régions autour du LSP se comportent de manière contrastée (c.-à-d., forte importance de l'échelle régionale). À l'inverse, une faible proportion signifie que la variabilité dans les données se trouve plutôt à l'échelle locale ; c'est-à-dire entre les parcelles ou les champs d'une même région d'étude (c.-à-d., forte importance de l'échelle locale). L'échelle d'organisation de cette hétérogénéité exerce une influence importante sur les approches de gestion

13. Chercheurs et chercheuses principaux ayant menés des travaux de recherche pour cette section : Hada Damar, Renata Mazzei, Valérie Fournier, Andrea Bertolo, Stéphane Campeau, François Guillemette, Vincent Fugère, Cynthia Kallenbach, Vincent Maire, Philippe Séguin, Shiv Prasher, Anne Vanasse, Marco A. Rodriguez et Raphaël Proulx

qui pourront être déployées. Par exemple, si l'hétérogénéité est essentiellement locale, cela implique que l'échelle de gestion appropriée est celle de la parcelle ou de l'entreprise agricole. En contrepartie, si l'hétérogénéité est essentiellement régionale, cela implique que des modes de gestion différenciés et adaptés aux différents contextes doivent être mis en place. Il se pourrait également que différents groupes de variables soient structurés à différentes échelles d'observation.

Le plan d'expérience pour le projet **à grande échelle de systèmes cultureux était structuré sur quatre échelles géographiques** : i) l'ensemble de la plaine inondable, ii) la région d'étude, iii) la parcelle ou le champ, et iv) le gradient d'élévation à l'intérieur d'un champ (**figure 4.21**). Ce dispositif d'échantillonnage a été utilisé par douze des projets du Pôle d'expertise (**Bertolo, Fournier, Campeau, Guillemette, Fugère, Kallenbach, Maire, Séguin, Prasher, Vanasse, Rodriguez et Proulx, 2023**). Quatre régions d'étude ont été ciblées, soit Pierreville et Baie-du-Febvre sur la rive sud du LSP, ainsi que Saint-Barthélemy et l'Île Dupas sur la rive nord. Dans chaque région, des variables ont été mesurées à plusieurs sites et à plusieurs reprises, parfois avec ou sans réplication. Les méthodes utilisées pour chaque projet et chaque variable sont décrites dans le rapport final du Pôle d'expertise.

Les analyses ont considéré un total de 113 variables et ont été réalisées sur les données brutes (**annexe 3A.2**). Chaque mesure de chaque variable était associée à un site unique, ainsi qu'à l'une des quatre régions d'étude. Les variables ont été classées en trois groupes de processus (agronomique, abiotique, biotique), ainsi qu'en fonction du milieu échantillonné (aquatique, terrestre).

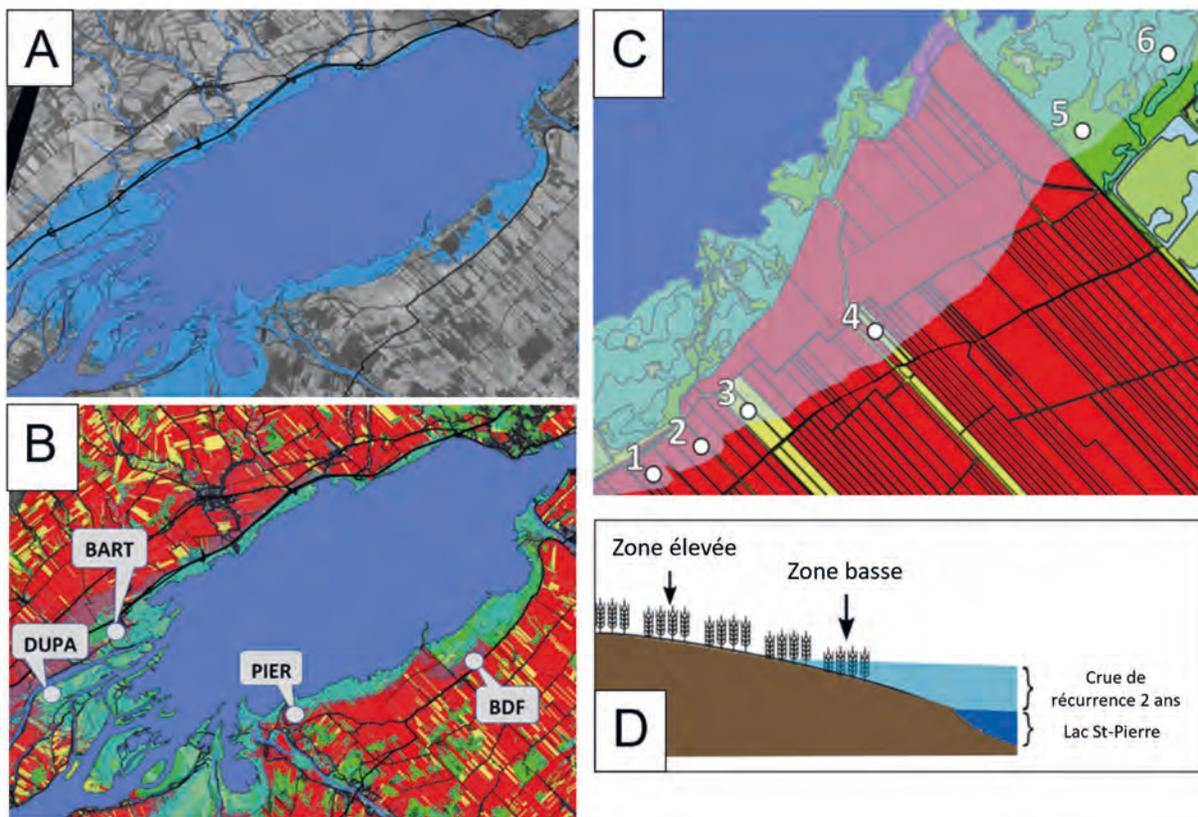


Figure 4.21

Représentation des échelles géographiques du dispositif d'échantillonnage des sites en grandes parcelles du Pôle d'expertise : A) l'ensemble de la plaine inondable, B) la région d'étude, C) la parcelle ou le champ, et D) le gradient d'élévation à l'intérieur d'un champ. Les étiquettes du panneau B identifient les quatre régions d'étude ciblées : BDF (Baie-du-Febvre), PIER (Pierreville), BART (Saint-Barthélemy) et DUPA (Île Dupas). Les numéros du panneau C identifient les sites (parcelles ou champs) à l'intérieur d'une région d'étude.

Résultats

Les variables biotiques, tant en milieux aquatiques que terrestres, montrent peu de différences interrégions (par exemple entre les secteurs de l'île Dupas et Pierreville), ce qui suggère une forte variation à l'échelle locale (**figure 4.22**). Ces variables biotiques correspondent majoritairement aux inventaires de biodiversité pour les abeilles, les syrphes, les oiseaux nicheurs, les orthoptères chanteurs, les poissons, les zooplanctons, les champignons et les protistes. Il est bien connu que les mesures de biodiversité sont sensibles à l'utilisation du territoire. Or, le dispositif expérimental du Pôle visait à maximiser les contrastes environnementaux au sein d'une même région. Les sites étaient par conséquent répartis le long d'un gradient d'utilisation des terres s'échelonnant des milieux naturels (prairies humides et forêts) aux champs en grandes cultures (maïs et soya).

À l'inverse, les variables abiotiques montrent de forts contrastes entre les différentes régions du LSP (Hétérogénéité relative [HR] > 0.25 ; **figure 4.22**). Les variables dont le HR est supérieur à 0.25 sont majoritairement associées à la physicochimie du sol (ex. : % sable, % argile, pH, Fe, Al, C, P, N) et de l'eau (ex. : turbidité, conductivité, O₂, pH, Chla, C, N, P).

Enfin, les variables agronomiques dont l'indice HR est inférieur à 0.25 sont majoritairement associées à l'établissement des prairies fourragères. En comparaison, les variables de rendement associées aux cultures intercalaires et bandes enherbées montraient de plus fortes différences interrégions (HR > .25 ; **figure 4.22**). Les variables de rendement agronomique pour le maïs et le soya présentent des valeurs près du seuil de 0.25.

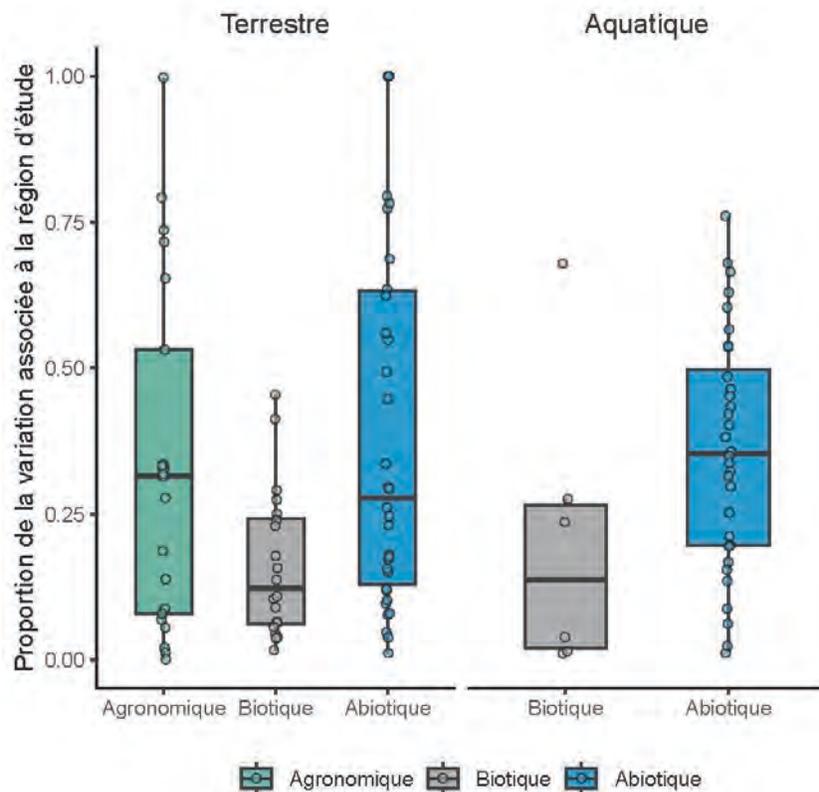


Figure 4.22

La proportion de la variance correspond à l'hétérogénéité relative (RH) associée à la région d'étude dans le dispositif expérimental du Pôle. Chacune des 113 variables analysées est représentée par un point. Ces variables ont été regroupées selon le type de processus (environnemental-biotique, n=26 ; environnemental-abiotique, n=66 ; agronomique, n=21), ainsi que le type de milieu (aquatique, n=38 ; terrestre, n=75). Une valeur de HR supérieure à 0.25 est considérée élevée et suggère un fort contraste interrégions.

Discussion

La conservation du patrimoine faunique et floristique de la plaine inondable du LSP semble plutôt s'appuyer sur des conditions locales associées à l'utilisation des terres. Par exemple, plusieurs projets du Pôle ont montré que les champs de cultures annuelles (ex. maïs et de soya) étaient associés à un déclin marqué des populations de zooplancton, de poissons, d'insectes et d'oiseaux. Les analyses réalisées ici appuient ce fort contraste intrarégions dans les conditions associées à la biodiversité aquatique et terrestre. Ainsi cela implique que les modes de gestion de la biodiversité devraient être adaptés aux réalités locales.

À l'inverse, chaque région de la plaine inondable du LSP est caractérisée par des conditions édaphiques et hydrodynamiques qui lui sont propres. Par exemple, l'analyse des données montre que le pourcentage d'argile dans les sols de Baie-Du-Febvre est largement supérieur à celui retrouvé dans les trois autres régions. Alors que la région de Pierreville est inondée via le débordement de la rivière Saint-François à son embouchure avec le fleuve St-Laurent, l'île Dupas est inondée par le refoulement du fleuve dans les ruisseaux du Marais noir et de la Petite baie. Ainsi, les processus d'érosion et de déposition des alluvions diffèrent d'une région d'étude à l'autre. Les analyses réalisées ici appuient ce fort contraste interrégions dans les conditions associées à la qualité des sols et de l'eau.

Les variables associées aux rendements agronomiques dans les grandes cultures de maïs et soya montrent également de fortes disparités régionales. Par exemple, le succès d'établissement des bandes enherbées et la croissance des cultures intercalaires ont grandement varié entre les régions. Les rendements en maïs ont également varié de 7 t ha⁻¹ à St-Barthélémy jusqu'à 11 t ha⁻¹ à Pierreville en 2020, et de 7.5 t ha⁻¹ à Baie-Du-Febvre jusqu'à 14 t ha⁻¹ à Pierreville en 2021. Ces résultats sont cohérents avec le fait que les rendements agronomiques dépendent en partie des conditions édaphiques et hydrodynamiques de chaque région.

Les résultats de la présente étude-synthèse suggèrent que les initiatives de conservation et de réhabilitation des écosystèmes de la plaine inondable du LSP peuvent avoir des bénéfices immédiats pour la biodiversité terrestre et aquatique. En effet, ces variables répondent à des échelles infrarégionales d'aménagement du territoire. **Les initiatives de conservation et de réhabilitation pour le maintien de la biodiversité vont de la protection des milieux naturels, aux aménagements fauniques, en passant par des dispositions favorisant une utilisation moins intensive de la plaine inondable du LSP, telle que l'implantation de prairies.** En contrepartie, les enjeux de gestion de la qualité des sols et de l'eau reposent sur une stratégie d'aménagement suprarégionale, qui dépasse largement les frontières de la plaine inondable du LSP. **Cette stratégie d'aménagement doit notamment considérer les enjeux associés à l'utilisation de fertilisants et de pesticides, le travail mécanique du sol, ainsi que l'utilisation du territoire en amont des tributaires de la plaine inondable du LSP.**

4.8

Les espèces sentinelles de l'intégrité des écosystèmes de la plaine inondable

AT

Les concepts d'espèce ingénieure, d'espèce ombrelle et d'espèce clé-de-voûte sont souvent utilisés pour décrire des espèces essentielles au maintien de la biodiversité et du fonctionnement des écosystèmes. Une espèce ingénieure est une espèce dont la présence modifie de manière significative l'environnement physique ou biologique de l'écosystème dans lequel elle vit (Jones et al., 1994). Une espèce ombrelle-indicatrice est choisie pour représenter les caractéristiques d'une catégorie d'environnement, car sa protection est reconnue pour assurer également celle d'autres espèces qui dépendent du même écosystème (Simberloff, 1988). Enfin, une espèce clé-de-voûte peut réguler la densité d'autres espèces ou moduler les interactions entre elles, contribuant ainsi à l'équilibre écologique de l'écosystème (Power et al., 1996). La disparition d'une espèce ingénieure, ombrelle ou clé-de-voûte de l'écosystème peut entraîner un déséquilibre ou une perte de diversité biologique. La présence d'une espèce ombrelle-indicatrice renseigne sur l'intégrité écologique d'un type d'environnement, alors que l'espèce clé-de-voûte a un impact disproportionnellement positif ou négatif sur la biodiversité des communautés.

Les espèces ombrelles-indicatrices sont des espèces qui montrent une préférence systématique pour une catégorie d'environnement (Carignan et Villard, 2002). Par exemple, on s'y intéressera pour évaluer l'impact des activités humaines sur différents écosystèmes (c.-à-d., perte d'espèces indicatrices), ou le succès d'activités de conservation et de réhabilitation des milieux naturels (c.-à-d., maintien ou gain d'espèces indicatrices) (McGeoch, 1998). Une espèce ombrelle-indicatrice est suffisamment abondante pour être détectable, tout en étant fidèle à une catégorie d'environnement plutôt qu'à une autre. P. Legendre et son équipe ont développé des outils statistiques, dont l'indice « IndVal », qui permettent d'identifier ces espèces (DeCaceres & Legendre, 2009).

R. Paine a été le premier à définir l'espèce clé-de-voûte comme une espèce qui exerce un effet disproportionné sur son écosystème par rapport à son abondance (Paine, 1969). Cette espèce influence la diversité biologique et l'équilibre écologique de son environnement en régulant les populations, ou en fournissant des ressources importantes à d'autres espèces. La suppression d'une espèce clé-de-voûte peut donc entraîner des effets en cascade sur les autres organismes, pouvant même conduire à l'effondrement de l'écosystème. Paine illustra le concept en retirant expérimentalement une espèce d'étoile de mer prédatrice, *Pisaster ochraceus*, d'un écosystème intertidal marin. L'écosystème se retrouva subéquemment dominé par les moules et la diversité biologique de l'écosystème chuta drastiquement (Paine, 1969).

Une décennie plus tard, M. Power réévalue le concept et propose l'indice d'impact communautaire (CI) afin de formaliser l'influence que peut avoir une espèce clé-de-voûte sur le fonctionnement de l'écosystème (Power et al., 1996). Le fonctionnement de l'écosystème est ici évalué à l'échelle de la communauté et correspond, par exemple, à la biomasse d'organismes ou à la richesse en espèces. Une espèce clé-de-voûte doit avoir une CI > 1 ou CI < -1 pour que son impact soit considéré comme étant significatif (Avolio et al., 2019). Une valeur supérieure à 1 signifie que l'espèce a un impact disproportionnellement positif sur le fonctionnement de l'écosystème, alors qu'une valeur inférieure à -1 signifie un impact négatif.

L'objectif de ce travail synthèse¹⁴ est d'identifier les espèces ombrelles-indicatrices et clé-de-voûte au sein des communautés d'oiseaux, d'abeilles, d'orthoptères, de poissons et de plantes vasculaires du LSP. La plaine inondable du LSP sert de voie migratoire et de refuge à une grande diversité d'organismes aquatiques et terrestres. Une fois identifiées, ces espèces pourront être utilisées dans le cadre de projets visant à évaluer l'état de l'écosystème et les retombées des efforts de réhabilitation.

14. Chercheurs et chercheuses principaux ayant mené des travaux de recherche pour cette section : Raphaël Proulx, Chris Watson, Renata Mazzei, Valérie Fournier, Olivier Slupik, Marco A. Rodriguez, Bérenger Bourgeois, Monique Poulin

Les espèces ombrelles-indicatrices et clé-de-voûte ont été identifiées en s'appuyant sur les recensements réalisés par le Pôle. La méthode développée par DeCaceres et Legendre (DeCaceres & Legendre, 2009 ; DeCaceres et al., 2010) a été utilisée afin d'identifier les espèces ombrelles-indicatrices (**annexe 3A.3**). La méthode proposée par Avolio et al. (2019) a été utilisée afin d'identifier les espèces clé-de-voûte.

Résultats

Les analyses ont identifié quatre espèces ombrelles-indicatrices des milieux naturels et cinq espèces clé-de-voûte en support à la biodiversité, dont deux sont aussi des espèces indicatrices. À celles-ci s'ajoutent trois espèces clé-de-voûte avec un impact disproportionnellement négatif sur la biodiversité des communautés (**tableau 4.1**). Cinq espèces sentinelles se démarquent, soit le pioui de l'Est (*Contopus virens*) et la paruline jaune (*Setophaga petechia*) chez les oiseaux, la scuddérie à ailes oblongues (*Libellula incesta*) chez les orthoptères, la perchaude chez les poissons, ainsi que le bident feuillu (*bidens frondosa*) chez les plantes vasculaires. Les autres espèces sont soit des espèces clé-de-voûte avec un impact négatif (ex. : némobie de caroline (*Megaceryle alcyon*), bruants chanteur (*Emberiza schoeniclus*) et des prés (*Emberiza pratensis*)), soit des espèces dont l'effet n'est pas généralisé entre les années (ex. : abeille modeste masquée (*Hylaeus modestus*) et abeille à sueur boréale (*Lasioglossum tenax*) ; **tableau 4.1**).

Discussion

Le pioui de l'Est et la paruline jaune sont parmi les dix espèces d'oiseaux nicheurs les plus communes dans la plaine inondable du LSP. Elles ont été identifiées à la fois en tant qu'espèces clé-de-voûte et ombrelles-indicatrices des milieux naturels et/ou prairies fourragères. Les deux espèces sont des insectivores qui se retrouvent majoritairement en milieux boisés et de bocage. Ce groupe d'espèces est d'ailleurs en déclin de -59 % depuis 1970 au Canada (NABCI, 2019). Leur chant est facile à reconnaître, ce qui en fait des espèces sentinelles idéales. Deux espèces de bruant du genre *Emberiza* ont été identifiées comme espèces clé-de-voûte, mais dont l'impact sur la biodiversité est négatif. Ces espèces généralistes se nourrissent majoritairement de graines et utilisent une diversité d'habitats, allant des prairies et des zones agricoles aux forêts, en passant par les zones humides et les broussailles.

Chez les orthoptères, la scuddérie à ailes oblongues a été identifiée comme espèce ombrelle-indicatrice des milieux naturels et de prairies fourragères en 2019 et 2020. L'espèce se nourrit principalement de plantes herbacées et arbustives. Elle affectionne les milieux humides et une position en hauteur dans la végétation. Les œufs sont pondus dans le sol et peuvent y rester plusieurs années avant d'éclore. Le chant de la scuddérie à ailes oblongues est caractéristique et facile à détecter lorsque l'espèce est présente. En contrepartie, la némobie de caroline a été identifiée comme espèce clé-de-voûte avec un impact négatif. Cette espèce généraliste s'alimente d'une diversité de ressources au sol (graines, œufs, insectes, végétation morte, champignons). Elle domine les communautés d'orthoptères en s'appropriant l'espace et les ressources.

Les analyses ont identifié la perchaude en tant qu'espèce clé-de-voûte dans les deux campagnes de terrain (2019 et 2020). C'était aussi l'espèce la plus communément retrouvée dans les inventaires de poissons en période de crue. Au printemps, les perchaudes adultes utilisent la plaine inondable du LSP pour y pondre leurs œufs. Le rôle crucial de la perchaude pour le fonctionnement des écosystèmes lacustres a maintes fois été rapporté dans la littérature. Il est d'ailleurs intéressant de souligner que sa proche cousine, la perche commune (*Perca fluviatilis*), a déjà été reconnue espèce clé-de-voûte dans d'autres systèmes d'étude en Europe (Power et al., 1996).

Enfin, les analyses ont permis d'identifier plusieurs espèces ombrelles-indicatrices chez les plantes vasculaires, mais aucune espèce clé-de-voûte. Parmi celles-ci, le bident feuillu a été ciblé pour un ensemble de raisons : i) l'espèce est une annuelle, plutôt commune et facile à identifier, ii) l'espèce est facultative des milieux humides, iii) l'espèce est native de l'Amérique du Nord et impliquée dans le soutien aux pollinisateurs.

Tableau 4.1

Espèces ombrelles-indicatrices des milieux naturels et clé-de-voûtes de la biodiversité dans les communautés d'abeilles, d'oiseaux nicheurs, d'orthoptères chanteurs, de poissons adultes et de plantes vasculaires dans la plaine inondable du lac Saint-Pierre (Québec, Canada). Des analyses distinctes ont été réalisées pour chaque groupe taxonomique et chaque année d'inventaire.

Taxa	Année	Nb. sites	Nb. espèces	Espèce ombrelle-indicatrice des milieux naturels	Espèce clé-de-voûte de la biodiversité (impact positif en gras)
Abeilles	2019	17	86	Aucune	Abeille modeste masquée (<i>Hylaeus modestus</i>)
	2020	19	76	Aucune	Abeille à sueur boréale (<i>Lasioglossum tenax</i>)
Oiseaux	2019	17	66	Pioui de l'Est (<i>Contopus virens</i>)	Paruline jaune (<i>Setophaga petechia</i>) Bruant chanteur (<i>Emberiza schoeniclus</i>)
	2020	21	80	Paruline jaune ² (<i>Setophaga petechia</i>)	Pioui de l'Est (<i>Contopus virens</i>) Bruant des prés (<i>Emberiza pratensis</i>)
Orthoptères	2019	17	14	Scuddérie à ailes oblongues ² (<i>Amblycorypha oblongifolia</i>)	Némobie de caroline (<i>Eunemobius carolinus</i>)
	2020	21	14	Scuddérie à ailes oblongues (<i>Amblycorypha oblongifolia</i>)	Némobie de caroline (<i>Eunemobius carolinus</i>)
Poissons	2019	22	13	Aucune	Perchaude (<i>Perca flavescens</i>)
	2020	22	23	Aucune	Perchaude (<i>Perca flavescens</i>)
Plantes	2019	125	289	Bident feuillu ¹ (<i>bidens frondosa</i>)	Aucune

1. L'analyse a identifié un total de 8 espèces ombrelles indicatrices de milieux naturels (< 5% du paysage en cultures annuelles) dans les inventaires de plantes vasculaires.

2. La Paruline jaune et la Scuddérie à ailes oblongues sont associées à la fois aux milieux naturels et aux cultures (prairies) fourragères.

En plus de la Perchaude qui fait déjà l'objet d'une attention particulière, il est recommandé de mettre en place un système de surveillance pour trois autres espèces sentinelles au LSP : le pioui de l'Est, la scuddérie à ailes oblongues, et le bident feuillu. L'extirpation ou un déclin continu de l'abondance de ces espèces indiquerait une perte d'intégrité de l'écosystème de la plaine inondable du LSP. À l'inverse, l'arrivée de ces espèces, ou une augmentation de leurs abondances suggèreraient que les activités de conservation et de réhabilitation des écosystèmes donnent des résultats probants.



Vue aérienne par drone du lac et du littoral à Baie-du-Febvre.
Crédit photo : P.-A. Bordeleau

An aerial photograph showing a coastal landscape. In the background, a large blue body of water stretches across the horizon under a clear blue sky with a few clouds. In the middle ground, there is a dense forest of trees with autumn-colored foliage. In the foreground, there are several large, rectangular, light-colored areas that appear to be agricultural fields or ponds, separated by narrow paths or roads. The overall scene depicts a mix of natural and agricultural environments.

05

Les étages du littoral et la cohabitation agriculture-faune

Un des constats du Pôle est que les cultures annuelles dans les zones les plus fréquemment inondées du littoral sont difficilement compatibles avec les conditions nécessaires à la réhabilitation des écosystèmes en général et le rétablissement des populations de perchaude en particulier. Ce constat met en lumière la difficulté de la cohabitation agriculture-faune dans le littoral du LSP et les défis qui en découlent en ce qui concerne l'aménagement de ce territoire. La question a alors émergé à savoir s'il existe un seuil en deçà duquel la reconversion des cultures annuelles, en végétation pérenne, cultivée ou non, peut apporter un maximum de gains écosystémiques pour un minimum de pertes agronomiques¹⁵. À l'inverse, au-delà de ce seuil, la reconversion des terres apporterait moins de bénéfices environnementaux, permettant le maintien des cultures annuelles en pratique culturale améliorée. L'existence de ce seuil, ou de plusieurs seuils éventuels, fut testée en combinant l'analyse de données spatiales (modèle numérique de terrain, utilisation des terres), des données historiques de niveaux d'eau et certains résultats des trois axes du Pôle, dont une évaluation du rendement agronomique et économique moyen des cultures à l'échelle du littoral et les données relatives à certains services écosystémiques.

5.1 La récurrence des niveaux maximums de crue depuis 50 ans

Dès le début des travaux du Pôle, le besoin d'obtenir une cartographie quotidienne précise des secteurs inondés pendant la crue fut manifeste. À partir des données bathymétriques et des données LiDAR disponibles, un **modèle numérique de terrain** (MNT) unifié a été développé, permettant de modéliser les niveaux d'eau et de cartographier les secteurs inondés chaque jour dans le littoral du LSP. Le modèle utilise le niveau d'eau mesuré à Sorel afin de cartographier les surfaces inondées dans le littoral, en tenant compte de la pente entre Sorel et Port-Saint-François. La méthodologie utilisée est présentée à l'**annexe 4A**. D'autre part, les données historiques des niveaux d'eau à Sorel de 1970 à 2020 ont été utilisées afin d'extraire le **niveau d'eau maximum** atteint au printemps de chaque année au cours de cette période. Les déciles ont été calculés à partir de la distribution de ces niveaux maximums de crue. Le niveau de la crue qui est atteint chaque année depuis 50 ans est de 5,68 m à Sorel. Le neuvième décile se situe à 5,86 m, ce niveau maximum étant atteint 9 années sur 10. Le cinquième décile (médiane) est à 6,55 m. À l'autre extrémité du gradient, le niveau maximum qui ne fut atteint qu'une seule fois depuis 50 ans est de 8,16 m.

Le modèle numérique de niveau d'eau a été utilisé afin de cartographier l'étendue de chaque décile le long du littoral. Le niveau de base utilisé est l'altitude 4,9 m à Sorel, qui représente le niveau de l'eau médian de 1970 à 2020. La **figure 5.1** illustre la répartition des déciles de 5,68 m à 8,16 m dans le secteur de Pierreville. Il est intéressant de constater que le décile (6,78 m) qui est près de la cote officielle de la récurrence 2 ans (6,79 m) n'est atteint que 40 % des années depuis 50 ans. La récurrence 2 ans fut établie à l'origine à partir d'une série temporelle de 1930 à 1981. Il semble donc y avoir un décalage

15. Chercheurs et chercheuses principaux ayant menés des travaux de recherche pour cette section : Stéphane Campeau, Pierre-André Bordeleau, Charles Martin, Vincent Maire, Patrick Mundler, Bérenger Bourgeois et Raphaël Proulx.

entre la cote officielle et la récurrence de 2 ans établie à partir d'une série plus récente. La médiane des hauts niveaux d'eau serait plutôt aujourd'hui à 6,55 m à Sorel, soit 24 cm en deçà de la cote 2 ans. Sur le terrain, cette différence de 24 cm en élévation peut correspondre à une vaste surface (en vert foncé sur la [figure 5.1](#)).

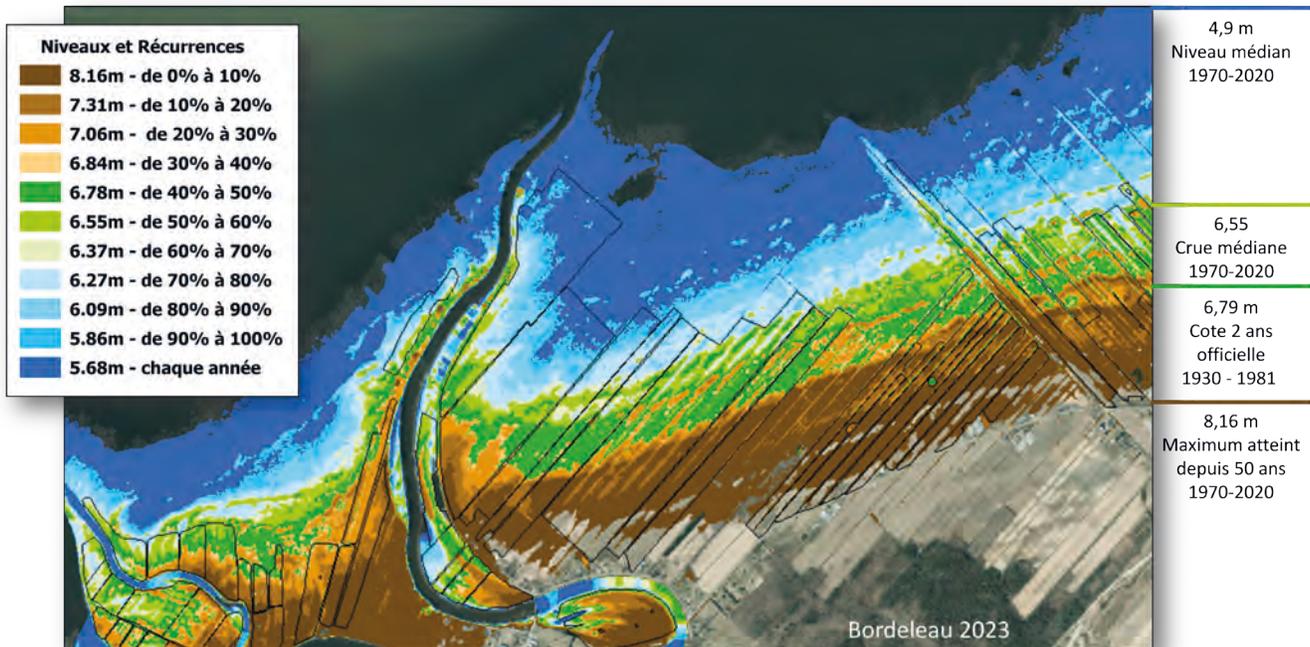


Figure 5.1

Récurrence des niveaux maximums de crue dans le littoral du LSP dans le secteur de Pierreville. Les déciles ont été calculés à partir des données historiques des niveaux d'eau à Sorel de 1970 à 2020. La couverture complète du littoral du lac Saint-Pierre est disponible dans la géodatabase accompagnant ce rapport.

5.2

L'utilisation des terres dans le littoral

Les surfaces agricoles occupent aujourd'hui 5022 ha dans le littoral du LSP. Ces cultures représentent 0,3 % des surfaces agricoles du Québec. Selon Jobin et Brodeur (2023), près de 3 800 ha d'habitats fauniques (cultures pérennes et milieux naturels) ont été modifiés dans le littoral depuis 1950, principalement au profit des cultures annuelles. Dans le cadre des travaux du Pôle, l'utilisation des terres dans le littoral a été cartographiée à partir des données de l'inventaire annuel des cultures d'Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC) pour 2021 ([figure 5.2](#)). Le littoral a été segmenté en 10 secteurs, en fonction de la provenance de l'eau ([Campeau et al., 2023](#)). La [figure 5.3](#) présente le cumul des superficies selon l'utilisation des terres le long du gradient d'élévation entre le niveau de la crue qui est atteint chaque année (5,68 m à Sorel) et le niveau maximum atteint au cours des 50 dernières années (8,16 m). La [figure 5.4](#) présente les mêmes résultats, mais segmentés pour chacun des 10 secteurs du littoral. Cette figure permet d'apprécier l'importance relative de chacun des secteurs. L'archipel des îles de Berthier, la Baie Lavallière et le secteur de Baie-du-Febvre comportent de grandes surfaces encore naturelles. Le secteur de Saint-Barthélemy (Chicot) affiche en revanche les plus grandes surfaces en cultures annuelles. En comparant ce secteur avec les trois mentionnés précédemment pour une même élévation, il est possible de constater que ce secteur présente un déficit important en milieux naturels.

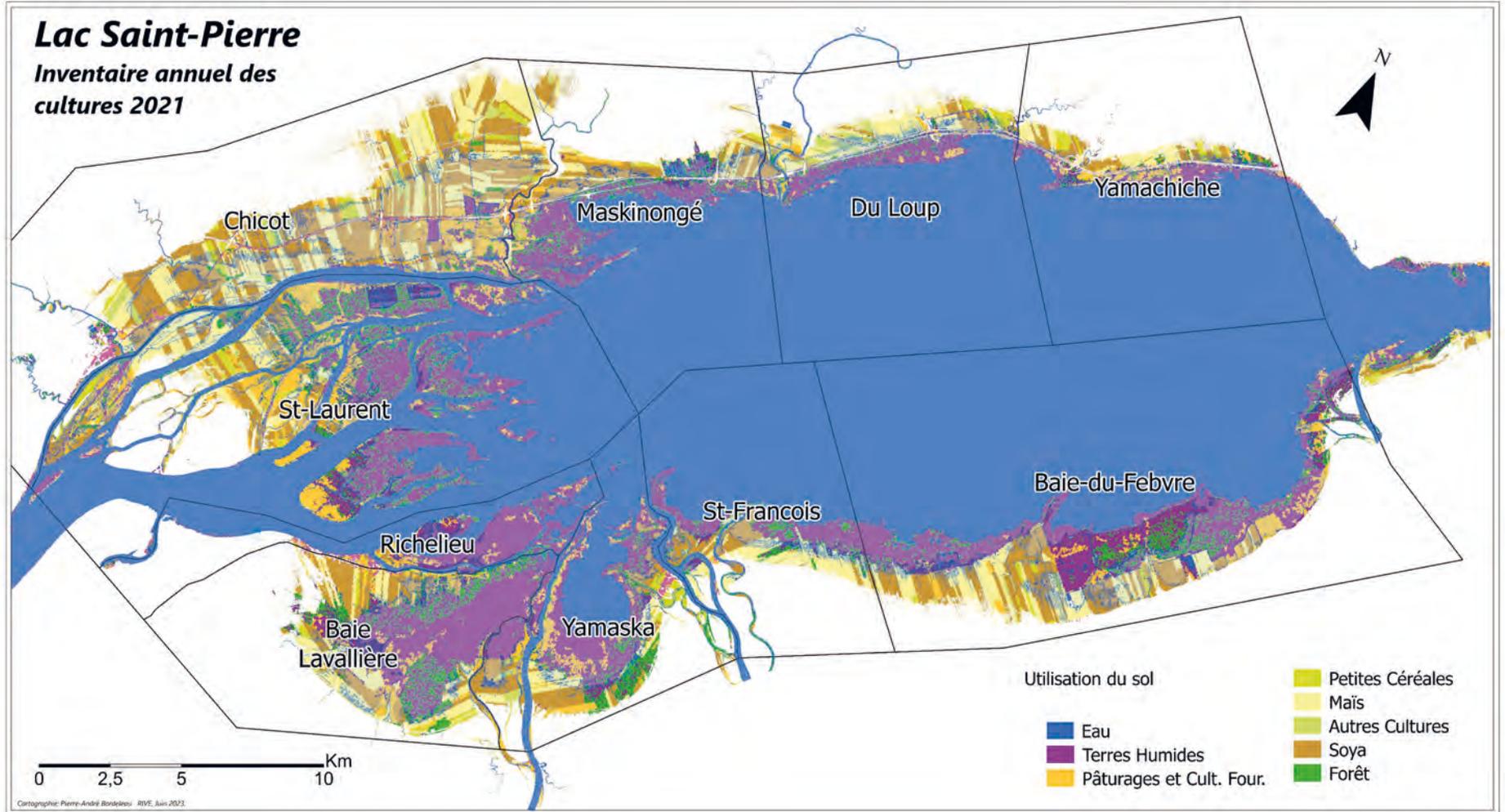


Figure 5.2

Inventaire annuel des cultures d'Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC) pour 2021 dans le littoral du LSP. Le lac est ici divisé en 10 secteurs, en fonction de l'origine principale de la masse d'eau dans le littoral.

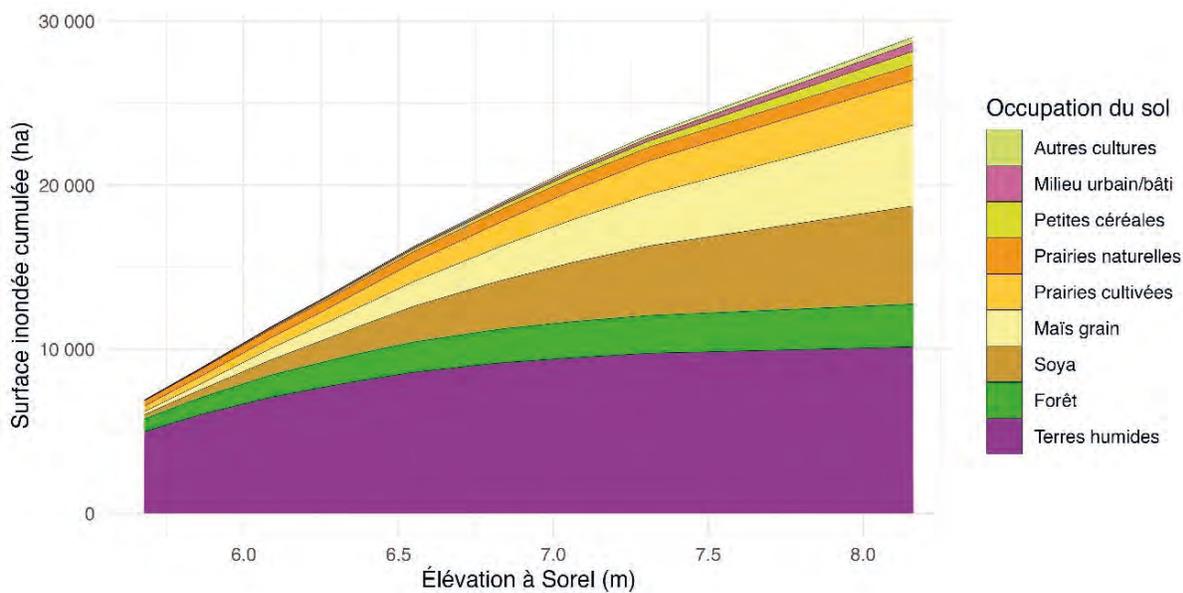


Figure 5.3

Cumul des superficies selon l'utilisation des terres le long du gradient d'élévation entre le niveau de la crue qui est atteint chaque année (5,68 m à Sorel) et le niveau maximum atteint au cours des 50 dernières années (8,16 m)

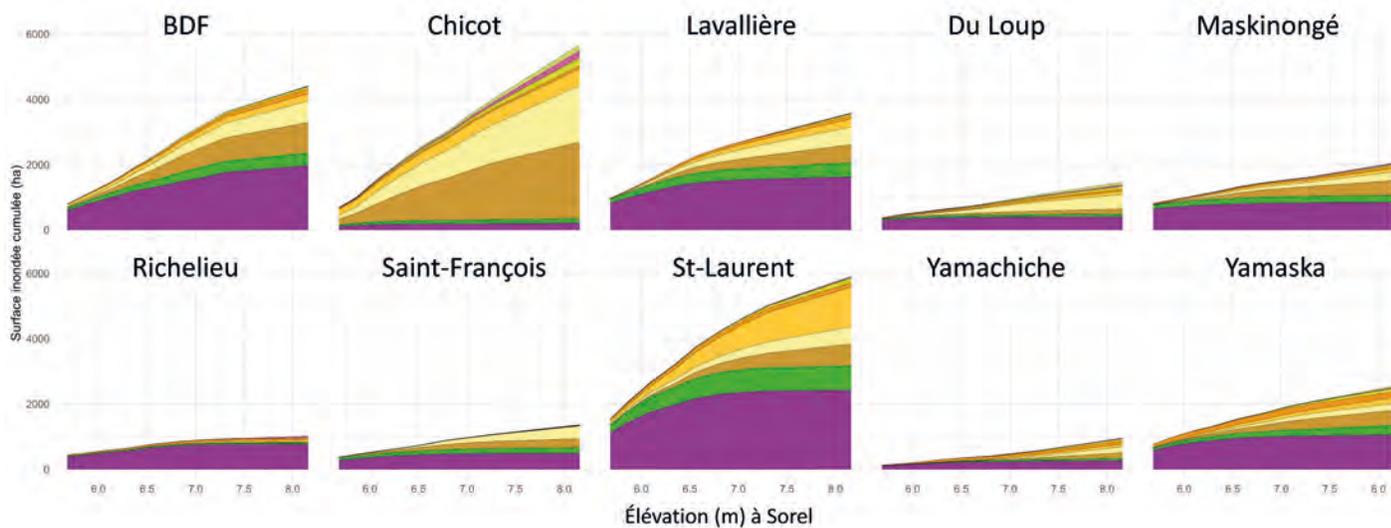


Figure 5.4

Cumul des superficies selon l'utilisation des terres le long du gradient d'élévation pour chacun des secteurs du LSP (voir Figure 5.2). La légende des couleurs est la même qu'à la Figure 5.3.

5.3

Le rendement des cultures dans le littoral

Les données du bilan économique produit par **Mundler et Guiraud (2023)** ont été utilisées afin d'évaluer la marge bénéficiaire cumulée des cultures dans le littoral en fonction de l'élévation en 2021, soit une année de faible crue (**figure 5.5**). Le calcul de ces auteurs et auteures ne prend pas en compte des valeurs de rendement mesurées selon différents niveaux d'élévation, mais bien une valeur moyenne obtenue à l'échelle du littoral. Les données utilisées ne considèrent que la marge bénéficiaire du bilan privé, avant impôt. Elles présentent en quelque sorte le meilleur scénario, puisque les marges sont plus faibles les années de forte crue. La **figure 5.5** permet de constater que les marges bénéficiaires cumulées sont faibles dans les zones les plus basses. La comparaison de ces données en fonction des différents secteurs du LSP permet également de constater que les marges sont relativement faibles dans les zones basses de tous les secteurs, les courbes ayant une forme concave jusqu'au niveau 6,27 m, pour ensuite augmenter de façon rapide (**figure 5.6**). Un secteur fait exception, soit celui de Saint-Barthélemy (Chicot), où les marges bénéficiaires augmentent beaucoup plus rapidement. Ces données mettent en évidence une fois de plus le fait que ce secteur a largement empiété sur les milieux humides, au profit des cultures annuelles. Les résultats de **Vanasse, Bourgeois et al., (2023)** démontrent que le rendement des cultures peut varier selon l'élévation, en fonction du temps de résidence de l'eau dans le littoral. Dans le cas d'une crue moyenne (2020), le rendement en soya dans les zones cultivées les plus basses peut être de moitié inférieur au rendement des zones plus élevées (**figure 5.7**). Lors des années de faible crue (2021), cette relation disparaît et il n'y a plus de différence significative dans le rendement selon l'élévation. Le cas du maïs est particulier, puisque le maïs n'est tout simplement pas cultivé dans les zones les plus basses lors des crues moyennes ou de fortes amplitudes.

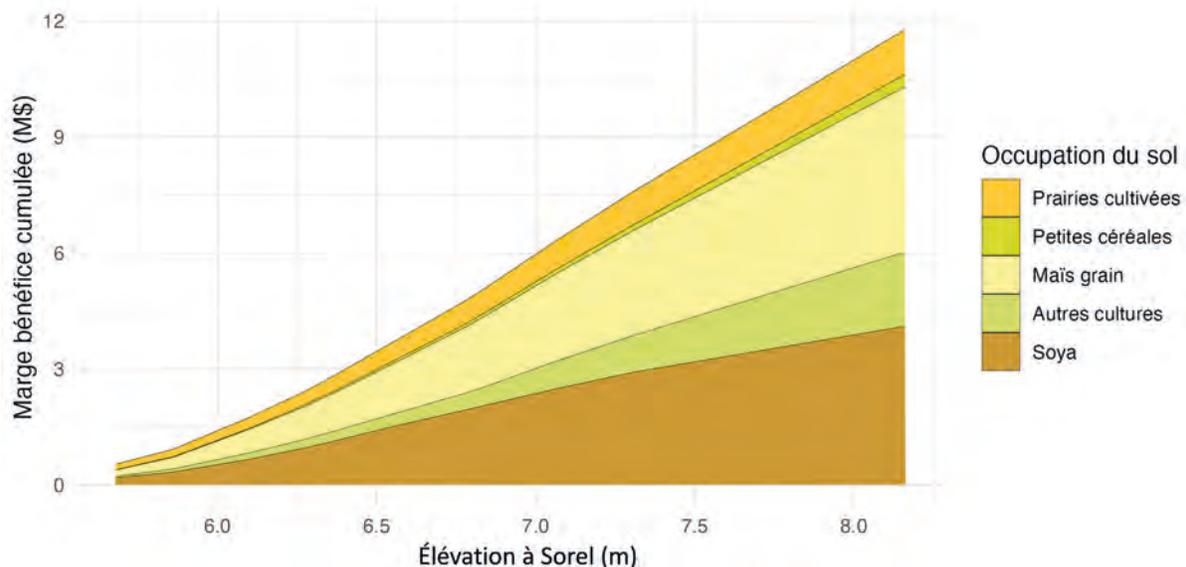


Figure 5.5

Marge bénéficiaire cumulée des cultures selon l'élévation en 2021. Le calcul est basé sur les données de Mundler et Guiraud (2023) et l'inventaire des cultures d'AAC en 2021. Les données utilisées ne considèrent que la marge bénéficiaire du bilan privé, avant impôt.

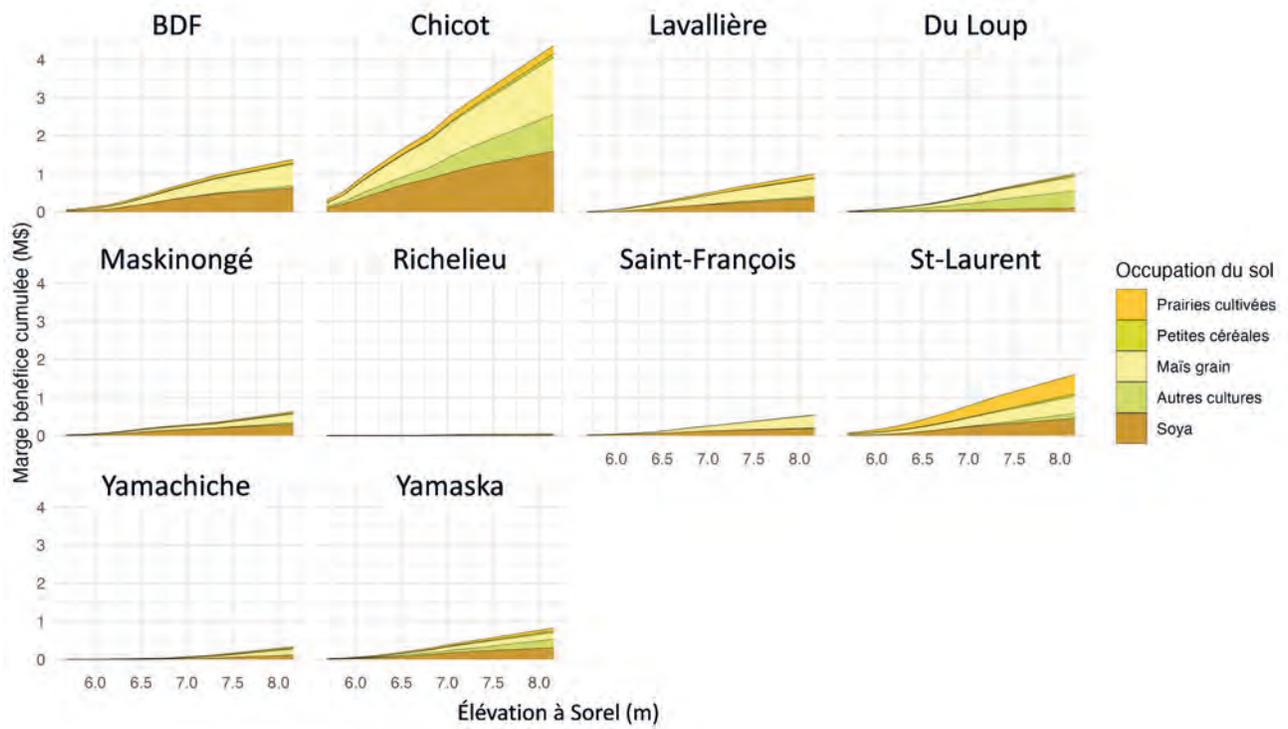


Figure 5.6

Marge bénéficiaire cumulée des cultures selon l'élévation en 2021, pour chacun des 10 secteurs du LSP (voir Figure 5.2). Le calcul est basé sur les données de Mundler et Guiraud (2023) et l'inventaire des cultures d'AAC en 2021. Les données utilisées ne considèrent que la marge bénéficiaire du bilan privé, avant impôt.

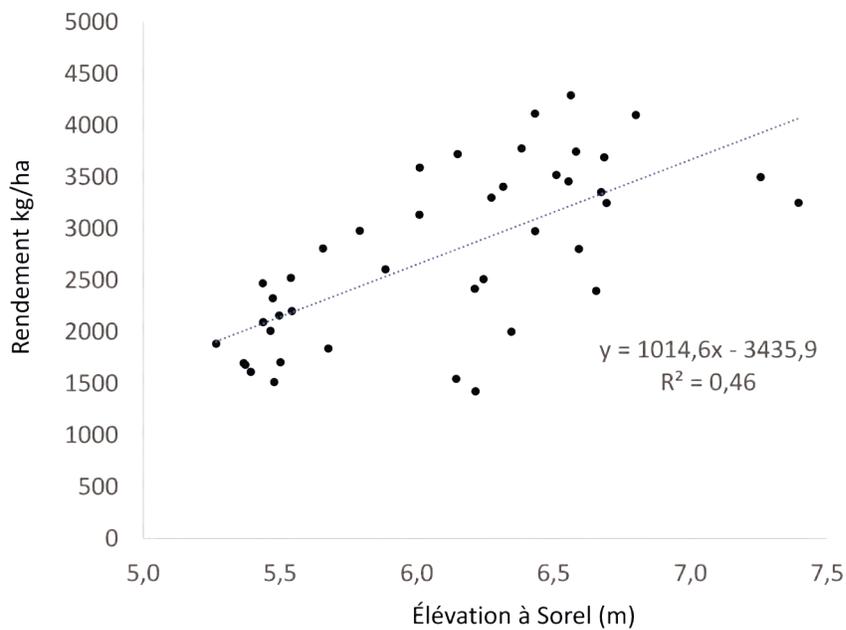


Figure 5.7

Rendement du soya lors d'une crue moyenne (2020) selon l'élévation. D'après les résultats de Vanasse, Bourgeois et al., (2023).

5.4

Les services écosystémiques dans le littoral

Un indice de qualité de l'habitat de reproduction (IQH) pour la **perchaude**, dont la valeur varie de 0 à 1, a été modélisé à l'échelle de la plaine inondable (TCRLSP, 2019) à partir du modèle prédictif probabiliste élaboré par Mingelbier et col. (2005). L'indice tient compte de la profondeur de l'eau, du type de substrat et de la vitesse du courant (**figure 5.8**). L'indice prend également en compte l'historique des crues observées au cours de la période 1960-2014 et reflète donc la probabilité qu'un habitat donné ait une profondeur adéquate au cours de la période de fraie de la perchaude. Le total des superficies propices à la reproduction de la perchaude, en présence d'un substrat végétal adéquat et l'IQH moyen ont été calculés pour chaque décile du littoral (**figure 5.9**). L'IQH moyen diminue rapidement jusqu'au niveau 6,27 m, puis diminue progressivement jusqu'à 6,84 m. Dans le cas du **grand brochet**, la cartographie réalisée (**figure 5.10**) est fonction du nombre moyen d'années durant lesquelles l'habitat aurait été favorable à la reproduction du grand brochet en présence d'un couvert végétal adéquat, entre 1965 et 2013 (Foubert, 2018). Le total des superficies propices à la reproduction du grand brochet et le nombre moyen d'années durant lesquelles l'habitat aurait été favorable à la reproduction ont été calculés pour chaque décile du littoral (**figure 5.11**). La comparaison de ces données suggère que l'habitat le plus propice à la reproduction du grand brochet est plus bas dans le littoral, alors que la perchaude semble pouvoir remonter plus haut dans le paysage lorsque la crue est importante, ce qui représente un défi supplémentaire en termes d'aménagement du territoire.

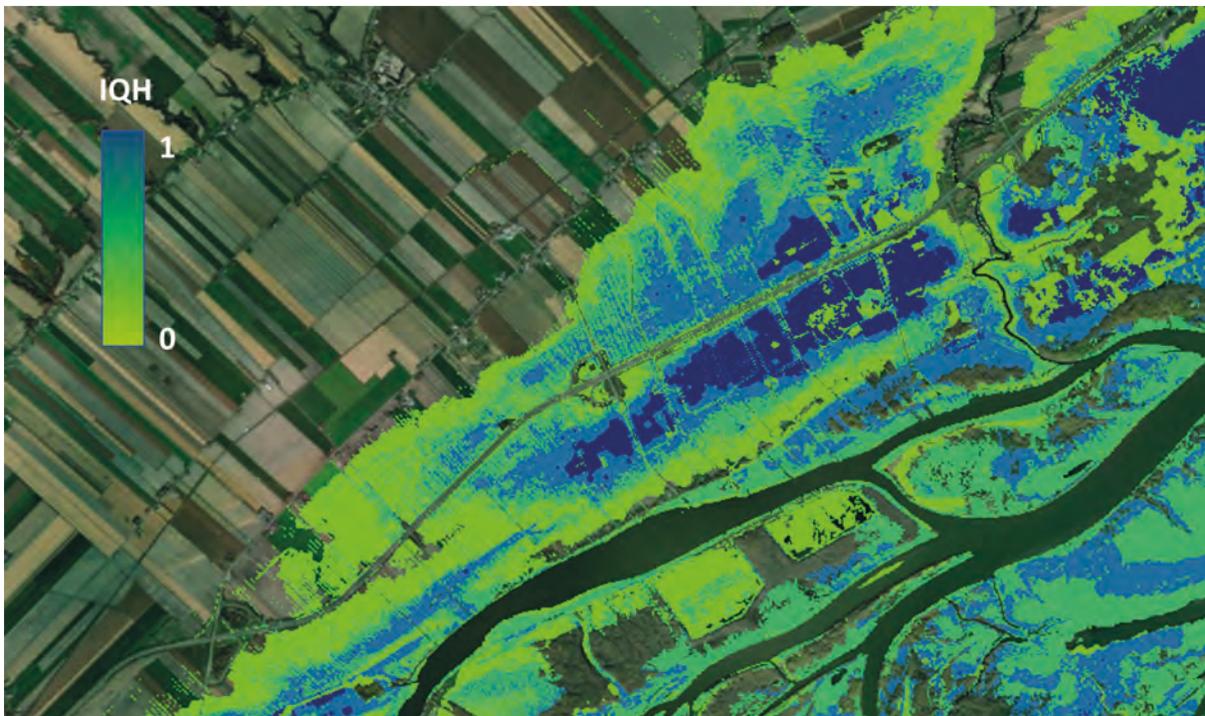


Figure 5.8

Valeurs de l'indice de qualité de l'habitat de reproduction (IQH) pour la perchaude dans le secteur de Saint-Barthélemy. Plus les valeurs tendent vers 1, plus les habitats sont favorables à la reproduction de la perchaude (d'après TCRLSP, 2019). La couverture complète du littoral du lac Saint-Pierre est disponible dans la géodatabase accompagnant ce rapport.

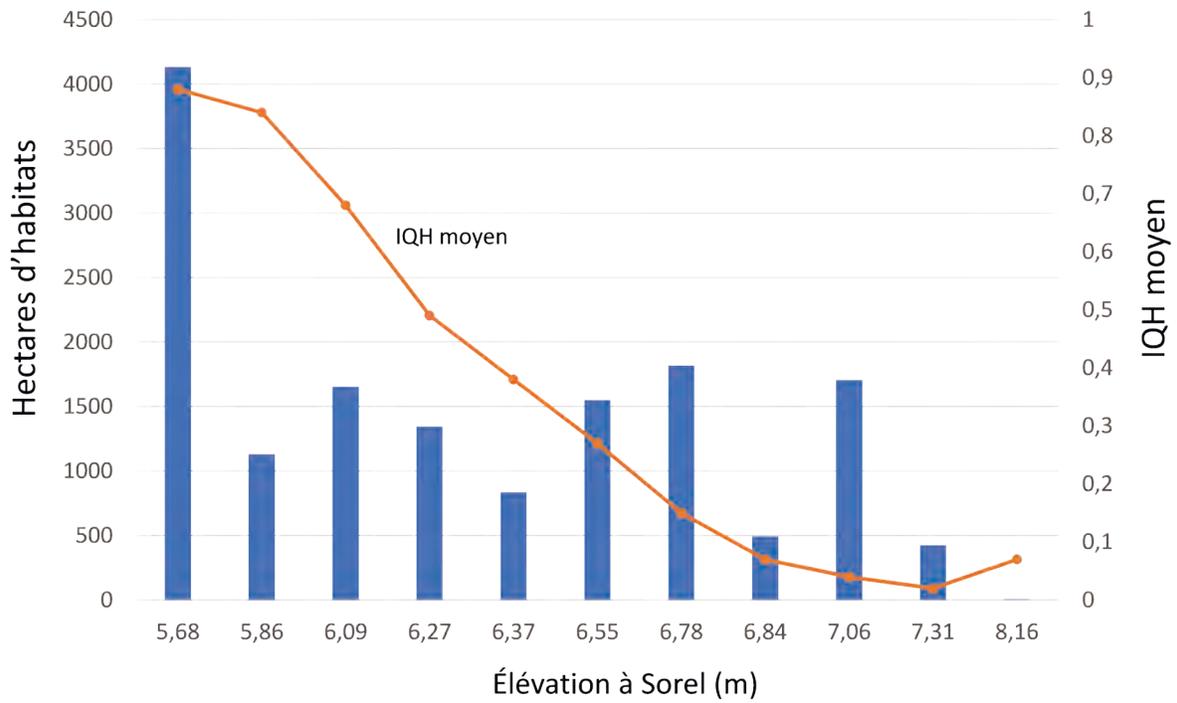


Figure 5.9 Total des superficies propices à la reproduction de la perchaude et IQH moyen selon l'élévation du littoral.

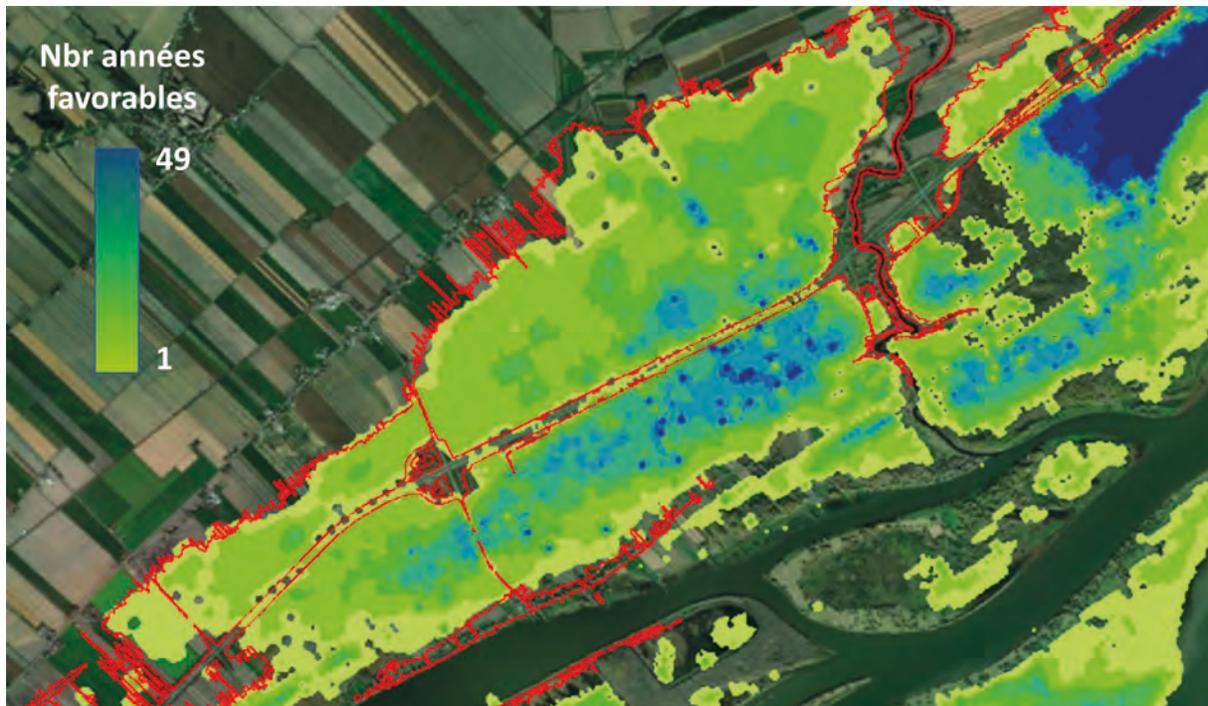


Figure 5.10 Nombre moyen d'années durant lesquelles l'habitat aurait été favorable à la reproduction du grand brochet en présence d'un couvert végétal adéquat (1965-2013) dans le secteur de Saint-Barthélemy (d'après Foubert, 2018). La couverture complète du littoral du lac Saint-Pierre est disponible dans la géodatabase accompagnant ce rapport.

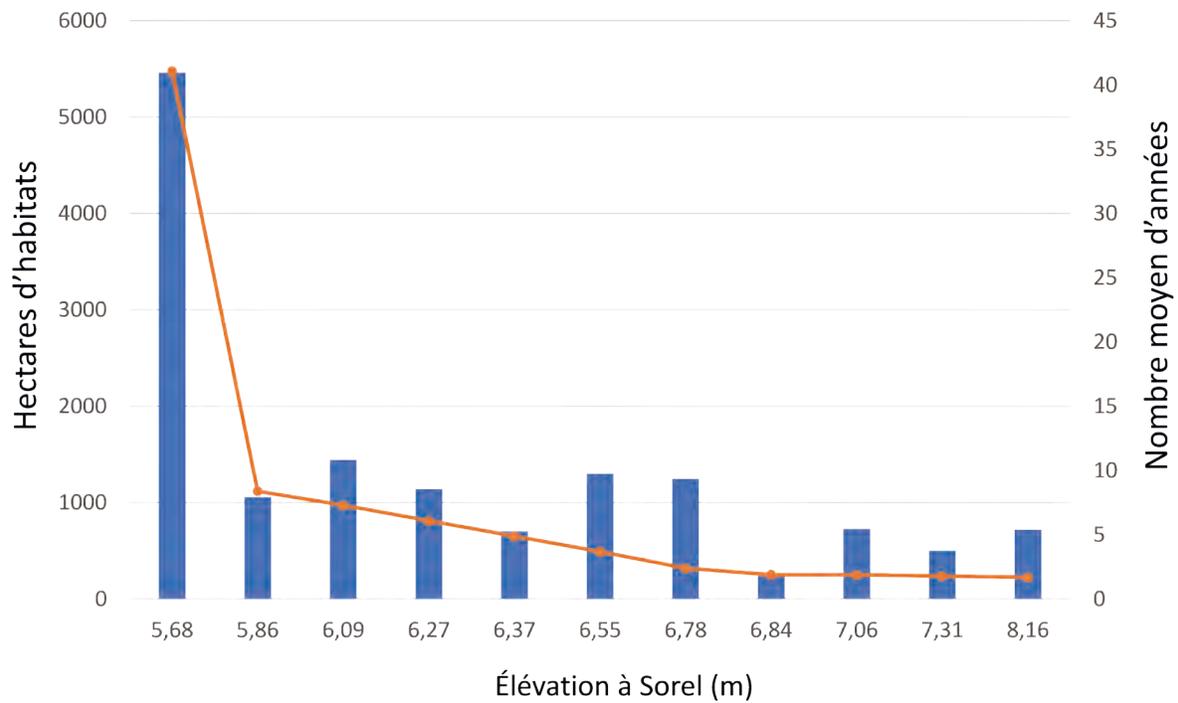


Figure 5.11

Total des superficies propices à la reproduction du grand brochet et nombre moyen d'années durant lesquelles l'habitat aurait été favorable à la reproduction (1965-2013) selon l'élévation du littoral (d'après Foubert, 2018).



*Vue aérienne par drone dans la région de Pierreville en avril 2019.
Crédit photo : P.-A. Bordeleau*

À partir des données de **Maire et al., (2023)**, la **productivité nette du biome** (différence entre import et export de carbone organique et inorganique) a été calculée pour chaque décile du littoral (**figure 5.12**), en cumulant les flux et les changements de biomasse à l'échelle de l'année incluant les flux durant les périodes inondées et exondées. Les milieux humides des zones basses du littoral capturent ainsi plus de 10 000 tonnes de carbone par année autour du LSP. Le cumul du carbone séquestré augmente rapidement jusqu'à une altitude de 6,55 m (21 000 tonnes). La séquestration du carbone augmente ensuite moins rapidement pour les élévations supérieures. Ce calcul est basé sur l'occupation du sol en 2021. La séquestration pourrait être supérieure dans un contexte où les milieux naturels occuperaient une plus grande surface dans le littoral. Une simulation, dans laquelle les cultures de maïs et de soya sont converties en prairies naturelles jusqu'à une élévation de 6,55 m, indique que la séquestration du carbone pourrait atteindre 26 000 tonnes annuellement sous cette élévation.

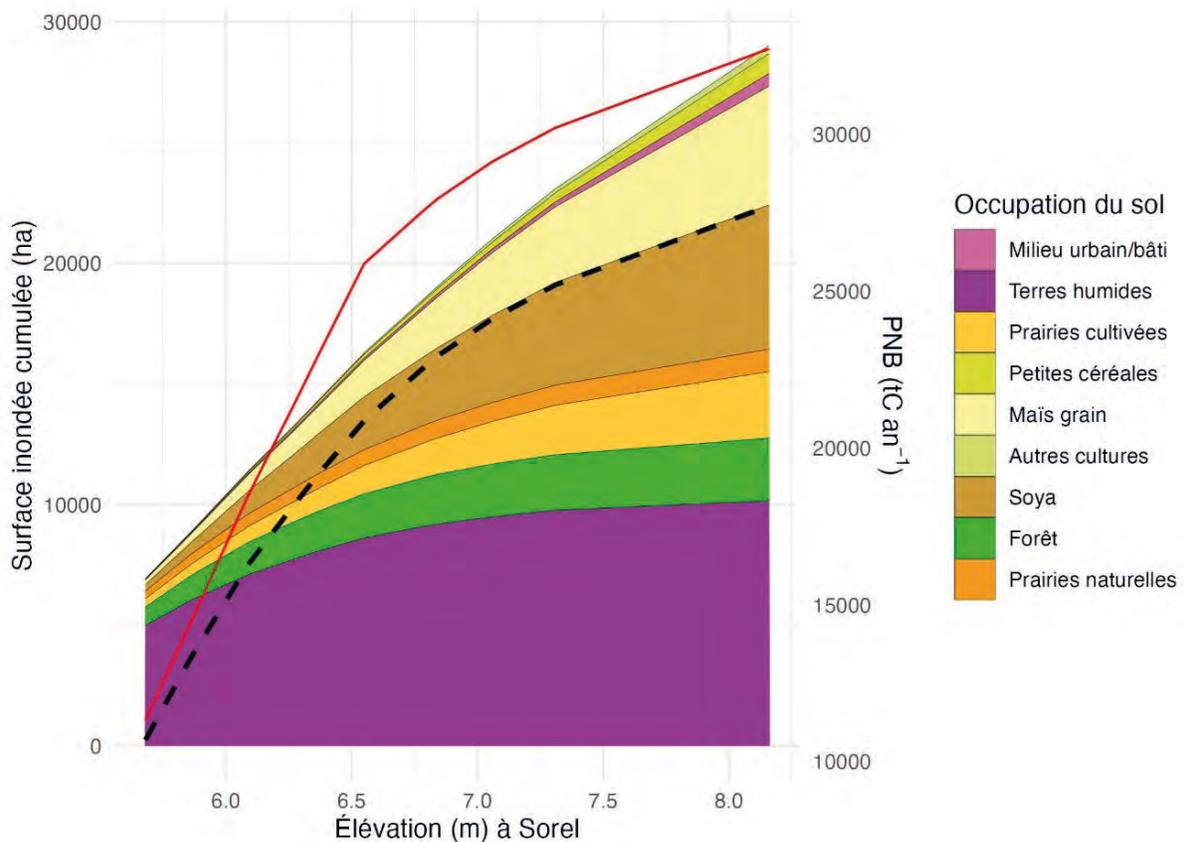


Figure 5.12

Productivité nette du biome en fonction de l'occupation des terres et l'élévation dans le littoral (d'après Maire et al., 2023). La ligne noire pointillée indique le bilan cumulé dans le littoral en fonction de l'occupation des terres en 2021. La ligne rouge indique le bilan cumulé selon une simulation dans laquelle les cultures de maïs et de soya sont converties en prairies naturelles jusqu'à une élévation de 6,55 m. L'unité utilisée indique la productivité nette du biome (PNB) en tonnes de carbone par année, soit la différence entre import et export de carbone organique et inorganique.

Finalement, la richesse en espèces des **oiseaux nicheurs** (diversité spécifique) a été estimée pour chaque tranche du littoral à partir des résultats de **Proulx et al., (2023)**. Cette donnée a été calculée à partir d'une matrice de 200 000 points distribués aléatoirement dans le littoral. Afin de prendre en considération la structure du paysage, une analyse de l'utilisation du territoire a été réalisée dans une zone tampon d'un rayon de 100 m autour de chaque point. À l'intérieur de ces zones, les proportions (%) du territoire en milieux naturels (prairies humides et forêts) et en grande culture (maïs et soya) ont été calculées sur la base des données de l'inventaire annuel des cultures (AAC, 2021). Le modèle de **Proulx et al., (2023)** a ensuite été utilisé afin d'estimer la diversité spécifique des oiseaux nicheurs pour chaque point, et la valeur moyenne pour chaque tranche du littoral (**figure 5.13**). Ces données indiquent que la diversité en oiseaux est plus élevée dans les zones basses du littoral, étant donné la plus faible proportion des surfaces en grandes cultures. La diversité chute rapidement jusqu'à l'élévation 6,37 m, pour ensuite fluctuer. Tout comme dans le cas de la productivité du biome, la diversité est dépendante de l'occupation des terres. La chute de diversité le long du littoral pourrait ainsi être atténuée par une réduction des superficies en cultures annuelles.

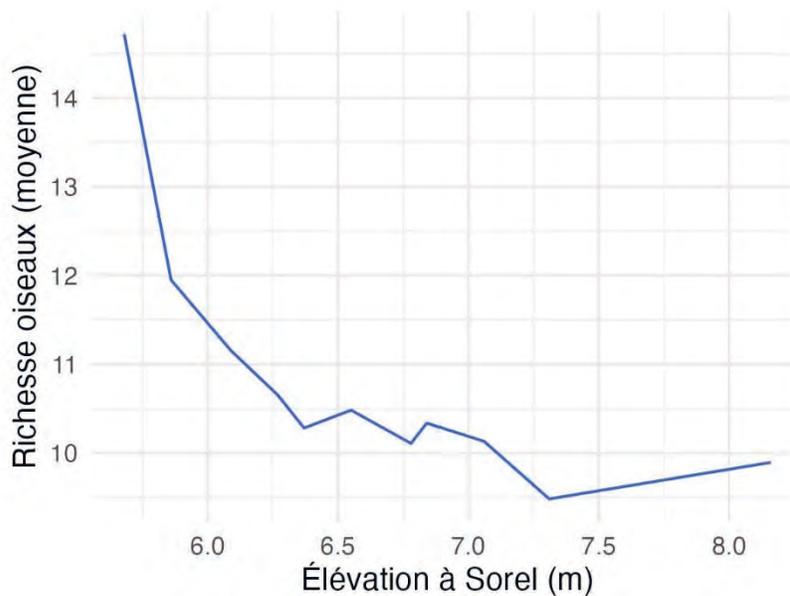


Figure 5.13

Richesse moyenne en espèces des oiseaux nicheurs (diversité spécifique) selon l'élévation dans le littoral (d'après Proulx et al., 2023).

5.5

Un maximum de gains écosystémiques pour un minimum de pertes agronomiques

La **figure 5.14** combine les différents résultats présentés précédemment le long du gradient d'élévation du littoral, soit d'une part le cumul des marges bénéficiaires des producteurs et productrices, et d'autre part les services écosystémiques reliés à la qualité de l'habitat de reproduction de la perchaude et du grand brochet, la productivité nette du biome et la diversité spécifique des oiseaux nicheurs. Cette dernière variable fut convertie en indice de qualité de l'habitat des oiseaux nicheurs, afin d'être en mesure de cumuler les surfaces le long du gradient du littoral. Cette figure permet de constater que le cumul des services écosystémiques est rapide dans les zones les plus basses du littoral, pour ensuite plafonner dans les zones plus élevées. À l'inverse, la marge bénéficiaire des producteurs et productrices est faible dans les zones basses, puis s'accroît rapidement dans les zones plus élevées. La question ici était d'évaluer s'il existe un seuil sous lequel il serait souhaitable de maximiser les services écosystémiques. **Le seuil le plus significatif semble être situé à une élévation de 6,55 m**, qui correspond à la médiane des niveaux maximums atteints par les crues depuis 50 ans. Le cumul des surfaces propices à la reproduction de la perchaude et du grand brochet diminue au-delà de ce seuil. Des seuils moins marqués, avec des taux de changement moins contrastés, sont également visibles aux niveaux 6,27 m et 6,78 m. Le seuil de 6,27 m est comparable au niveau 6,2 m identifié par l'étude de la TCRLSP (2019), qui révélait qu'une année sur deux les événements de fraie ont eu lieu alors que le niveau d'eau était inférieur ou égal à 6,2 m à Sorel. Le seuil 6,55 m est comparable au seuil de 6,6 m identifié pour le maintien des aires de nidification du canard barboteur. L'archipel du LSP constitue en effet l'un des sites majeurs de reproduction de canards barboteurs du Québec méridional et la moitié des sites propices au maintien des aires de nidification se trouve approximativement sous la cote de niveau d'eau de 6,6 m à Sorel (ECCC, 2016). Le niveau 6,78 m est quant à lui très près de la cote officielle de récurrence 2 ans (6,79 m). Ces données suggèrent qu'entre 6,27 m et 6,79 m, on assiste à une transition dans l'étagement du littoral, entre les milieux naturels les plus productifs d'un point de vue écosystémique, vers les milieux agricoles les plus productifs dans les zones plus élevées. Les propositions qui suivent seront basées sur ce constat.



*Vue aérienne par drone de l'Île Dupas en avril 2019.
Crédit photo : P.-A. Bordeleau*

Synthèse

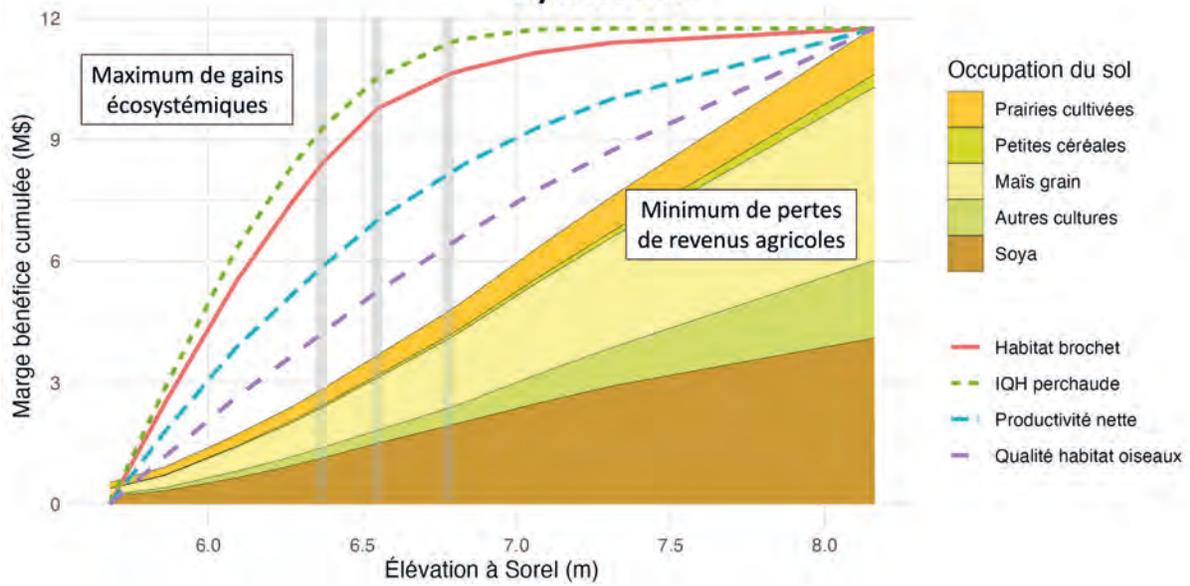


Figure 5.14

Marge bénéficiaire cumulée (millions \$) des producteurs et productrices en fonction du type de culture en 2021, et les services écosystémiques reliés à la qualité de l'habitat de reproduction de la perchaude et du grand brochet, la productivité nette du biome et la qualité de l'habitat des oiseaux nicheurs. Le graphique présente les valeurs cumulées le long du gradient d'élévation dans le littoral, entre le niveau de la crue qui est atteint chaque année (5,68 m à Sorel) et le niveau maximum atteint au cours des 50 dernières années (8,16 m). Les lignes grises indiquent les trois principaux seuils identifiés sur les courbes cumulées, le plus marqué correspondant à l'élévation 6,55 m (5e décile). Dans le cas des variables écosystémiques, l'axe vertical est relatif à chaque variable et a été ajusté pour atteindre le maximum à l'extrémité du gradient.



Vue aérienne de la rive nord du lac Saint-Pierre.
Crédit photo : J. Ruiz, 2015

5.6

Les zones basses du littoral (<6,55 m) : un écosystème à réhabiliter

La synthèse des résultats du Pôle met en évidence le fait que les zones basses du littoral sont à la fois les plus productives d'un point de vue écosystémique et les moins productives d'un point de vue agronomique, particulièrement les années de moyennes et fortes crues. La **culture du soya** pose un problème particulier à cet égard. Le soya, même en pratique culturale améliorée, est en effet la culture la plus dommageable pour l'écosystème, étant donné, entre autres, le peu de végétation présent au sol le printemps suivant. Or le soya est la culture privilégiée dans les zones les plus fréquemment inondées. Lors des années où la crue est de forte amplitude et de longue durée (ex. : 2019), les cultures de soya couvrent en fait la majorité des surfaces en grandes cultures du littoral. D'autre part, les rendements dans le soya dans les zones les plus basses, et donc plus fréquemment inondées peuvent être réduits de moitié par rapport aux zones plus élevées lors des crues importantes. Ainsi, il semble que d'une part les champs de soya soient les moins appropriés pour les besoins écosystémiques, et que d'autre part ils offrent les moins bons rendements d'un point de vue agronomique dans les zones les plus fréquemment inondées.

De plus, les essais effectués par le Pôle en ce qui concerne la possibilité de produire des **cultures alternatives** dans le littoral ont démontré qu'en zone basse élévation (≤ 6 m), aucune espèce arbustive n'a survécu malgré la faible crue printanière de 2021 (**Gravel et al., 2023a**). En zone haute élévation (> 6 m), le taux de survie des espèces arbustives suite au retrait de l'eau en 2021 a été nettement supérieur avec 95 % de survie. En outre, il est également plus difficile d'implanter des **bandes végétalisées** d'alpiste roseau dans les zones basses. Selon les résultats du Pôle, le temps de résidence de l'eau moyen pour les quadrats où l'alpiste fut bien établi était de 10 jours, alors qu'il était de 27 jours en moyenne pour les quadrats associés à un échec d'établissement lors de la première année (**Poulin et al., 2023**). Cela dit, une fois bien implantées à la suite de sursemis ou de resemis, ces bandes d'alpiste ont tout de même démontré leur intérêt pour la reproduction de la perchaude. De plus, selon les résultats du Pôle, le **comblement des fossés** peut être significativement ralenti dans le littoral grâce à l'implantation à grande échelle de bandes herbacées pérennes en bordure de fossés (2 ou 4 m de largeur ; **Qi et al., 2023**). Les sédiments provenant de l'amont et le déplacement latéral des masses d'eau du littoral, combinés à une grande variabilité des crues et des précipitations, contribuent toutefois à une grande variabilité intersites. Enfin, les zones basses du littoral procurent de nombreux **services écosystémiques**, en lien notamment avec la qualité des habitats de reproduction pour les poissons, la densité du zooplancton, la séquestration du carbone et la diversité des oiseaux nicheurs.

En tenant compte des seuils identifiés précédemment et du parcellaire (position et superficie des champs agricoles) présent dans le littoral, une **classification des champs** est proposée (**figure 5.15**). Selon cette classification, les champs dont la superficie se situe majoritairement (>50 %) sous le niveau 6,27 m à Sorel font partie de la Classe 1, qui est prioritaire puisque la conversion de ces champs procurerait un maximum de services écosystémiques. La Classe 2 inclut les champs majoritairement sous le niveau 6,37 m, et la Classe 3 majoritairement sous le niveau 6,55 m. Les cotes de récurrence ne sont pas rectilignes sur le terrain, elles ont une forme complexe qui varie selon la microtopographie. Une stratégie d'intervention qui ne tiendrait compte que d'une cote de récurrence aurait peu de sens et mènerait à des aberrations lorsque confrontée à la réalité du terrain. L'avantage de la classification proposée est qu'elle ne tient pas uniquement compte de la récurrence des crues, mais également de la structure des parcelles agricoles. Ainsi, les champs de chacune des trois premières classes peuvent être considérés dans leur intégralité, étant donné qu'il y a une certaine uniformité dans la récurrence des crues à l'intérieur d'un même champ. Conséquemment, les classes 1 à 3 se prêtent bien à une conversion complète, par exemple lors du passage d'une culture annuelle à une culture pérenne, ou lors d'une acquisition à des fins de conservation.

La Classe 4 doit être abordée différemment. Les champs de cette classe ont seulement une petite partie ou une **extrémité de champs** qui se situe dans les zones basses, soit sous le niveau 6,55 m. Le reste du champ est dans la zone haute (voir section 5.8).

Les chercheurs et chercheuses du Pôle sont donc d'avis que les zones basses du littoral doivent en priorité être occupées par de la **végétation pérenne**. Dans les champs des classes 1 à 3, celle-ci peut prendre différentes formes, par exemple des forêts naturelles ou des marécages, des prairies naturelles, des prairies cultivées (avec une seule coupe et sans intrants), de la sylviculture, ou toute autre forme de culture permettant le maintien d'une végétation permanente de plus de 50 cm de hauteur, d'une densité suffisante et n'utilisant pas d'intrants agricoles. Dans les champs de la Classe 4, il est proposé que les extrémités situées en zone basse soient occupées par des bandes pérennes élargies. Différentes autres options pourraient être envisagées pour l'aménagement de ces extrémités, telles que des cultures pérennes semées, de la sylviculture pour la captation du carbone, ou simplement de la végétation naturelle. Enfin, la diversité du paysage semble être souhaitable, puisque celle-ci favorise une plus grande biodiversité, telle que le démontrent les résultats du Pôle en ce qui concerne les oiseaux nicheurs et les abeilles.

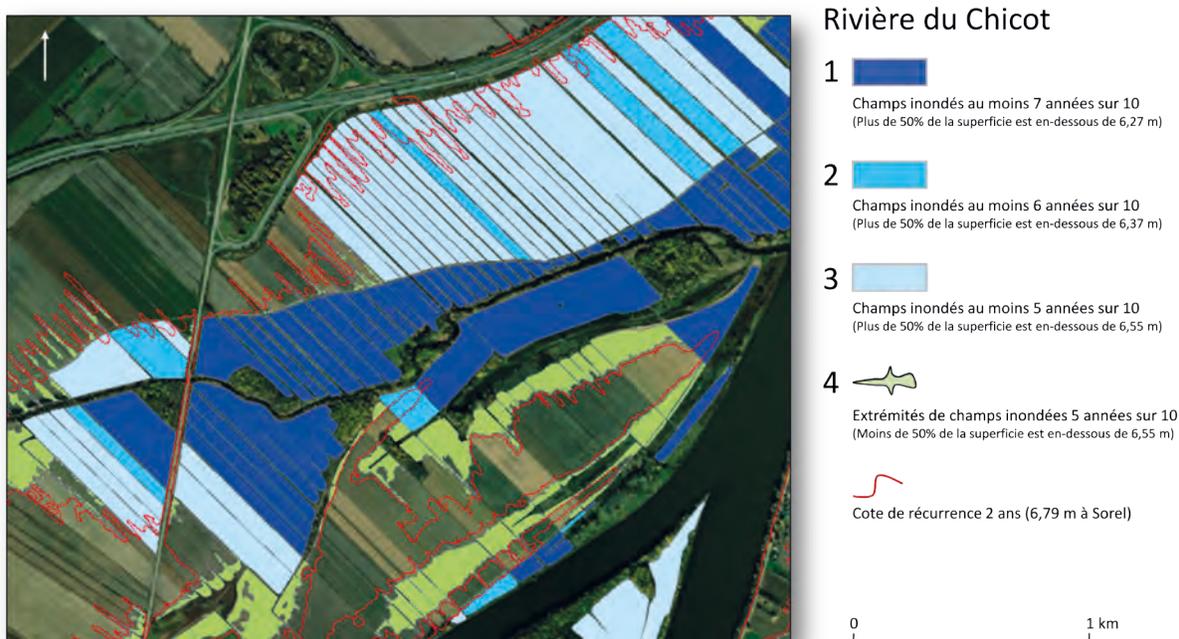


Figure 5.15

Classification des champs du littoral selon l'élévation (exemple pour le secteur de la Rivière du Chicot). Les limites de champs ont été extraites de la Base de données des parcelles et productions agricoles déclarées de la Financière agricole du Québec (2021). Certains champs ne sont pas inclus dans cette base.

Il est proposé que cette classification serve de guide pour la réhabilitation du littoral. La **figure 5.15** présente un extrait de cette classification dans le secteur de la rivière du Chicot à Saint-Cuthbert. Cette figure met clairement en évidence le fait que les champs situés de part et d'autre de la rivière, de la route 138 jusqu'au fleuve, font partie de la Classe 1 et devraient être prioritaires dans les efforts de conversion, et ceux situés plus au nord de la route 138 font partie des Classes 2 et 3. Ces derniers pourraient être prioritaires dans une deuxième vague de conversion ou selon les opportunités. L'**annexe 4B** présente une série de cartes illustrant la classification des champs pour plusieurs secteurs autour du lac. La couverture complète du littoral du LSP est disponible dans la géodatabase accompagnant ce rapport.

Selon les données de la Financière agricole du Québec, la superficie totale des champs inclus dans les classes 1 à 4 sous la cote de niveau d'eau de 6.55 m est de 4 272 ha. De ce total, les cultures annuelles assurées couvraient 3 270 ha en 2021. Selon Jobin et Brodeur (2023), près de 3 800 ha d'habitats fauniques (cultures pérennes et milieux naturels) ont été modifiés depuis 1950, principalement au profit des cultures annuelles. La conversion des cultures annuelles en cultures pérennes dans les champs des classes 1 à 4 sous la cote de niveau d'eau de 6.55 m permettrait ainsi de rétablir en bonne partie les pertes d'habitats encourues au cours des dernières décennies. Il s'agira toutefois d'un processus progressif. La classification proposée ici vise à soutenir les efforts de réhabilitation du littoral, en permettant de cibler et prioriser les secteurs ayant le meilleur potentiel pour la réhabilitation des écosystèmes. Les initiatives en ce sens pourraient être variées, dans le temps et selon les secteurs. Dans certains secteurs, les initiatives de conservation pourraient être favorisées, alors que d'en d'autres, divers types d'activités agricoles et/ou sylvicoles, favorisant le maintien d'une végétation pérenne et minimisant les intrants, pourraient être envisagées. Dans tous les cas, les interventions devront être mises en œuvre progressivement en fonction des réalités locales.



*Champs inondés en juin 2019.
Crédit photo : P. Magnan-Baril, 2019*

5.7

Les zones hautes du littoral (> 6,55 m) : une agriculture durable

Les zones hautes du littoral (> 6,55 m), inclut le résiduel des champs de la Classe 4 ainsi que les champs dont la totalité de la superficie se situe entre l'élévation 6,55 m et la limite du littoral. Du fait que les zones hautes du littoral sont moins souvent inondées, l'exploitation des terres agricoles aurait moins d'impacts sur l'écosystème aquatique. Sur la base des résultats agronomiques, il semble réaliste de cultiver des cultures annuelles en pratique culturale améliorée sans travail du sol à l'automne. Selon les résultats du Pôle, les rendements moyens des pratiques culturales conventionnelles et améliorées de maïs et de soya sont similaires, avec une certaine variabilité selon les années et les régions (**Vanasse, Bourgeois et al., 2023**). Les cultures intercalaires de ray-grass dans le maïs et de blé d'automne dans le soya se sont bien établies dans tout le littoral. D'après une étude exploratoire, les rendements sont similaires, peu importe la méthode de travail du sol (labour à l'automne ou déchaumeuse au printemps seulement). Outre les cultures annuelles, il est également proposé que cette portion du littoral soit constituée d'une mosaïque de milieux naturels et cultivés et de bandes pérennes élargies.

En ce qui concerne l'établissement de **bandes pérennes** (**figure 5.16**), une expérience en serre a montré que l'alpiste roseau semble plus productif lorsqu'implanté en mélange de trois espèces (**Poulin et al., 2023**). La complémentarité des niches serait probablement bénéfique pour le maintien des bandes diversifiées, comparativement à l'établissement de monocultures, mais leur maintien à long terme reste un défi. En outre, jusqu'à maintenant, le suivi réalisé dans les bandes implantées a permis de constater que l'alpiste roseau n'avait généralement pas un comportement envahissant dans les champs agricoles adjacents. Enfin, une estimation réalisée par le Pôle (M. Vaillancourt, communication personnelle, 2023) indique que l'implantation de bandes pérennes de 4 m le long des cours d'eau et des fossés agricoles dans le littoral permettrait de couvrir 13 % de la superficie agricole avec de la végétation pérenne. Cette proportion varie de 7 à 20 %, selon la structure des champs et la densité des fossés qui varient selon les secteurs.



Figure 5.16

Bandes pérennes de 4 m d'alpiste roseau dans les secteurs (de gauche à droite) de Baie-du-Febvre, Saint-Barthélemy, Pierreville et Île Dupas (Vanasse, Bourgeois et al., 2023).

Enfin, sur l'aspect phytosanitaire des cultures, les faibles populations observées de ravageurs du semis des cultures annuelles **remettent en question l'utilisation de semences traitées** dans les champs situés dans le littoral du LSP ([Gravel et al., 2023b](#)). Toutefois, il pourrait y avoir une certaine variation au niveau des populations selon la fréquence des crues, la durée des crues et la date de fin de la décrue. À titre indicatif, peu de ravageurs ont été observés dans les cultures alternatives implantées en petites parcelles. Seuls l'altise (*Alticinae*) et le puceron (*Aphides* spp.) ont été observés, respectivement sur les tournesols (*Helianthus annuus*) et sur les haricots (*Phaseolus* spp.) et l'asclépiade (*Asclepias syriaca*). Dans les superficies cultivées situées dans les zones hautes du littoral, il serait pertinent d'ajouter des éléments de lutte intégrée aux conditions de cultures.

5.8

Les ruisseaux tributaires du littoral : une meilleure protection des sols et des berges

L'analyse comparative des parcelles endiguées et non endiguées suggère que plus de 65 % de la turbidité dans le littoral est associée aux ruisseaux provenant de l'amont ([Roy et al., 2023](#)). La cartographie de l'état des sols au printemps dans les bassins versants des ruisseaux démontre que plus de la moitié des superficies cartographiées sont occupées par des sols agricoles peu protégés contre l'érosion hydrique au printemps ([Campeau et al., 2023](#)). Ces surfaces incluent les sols travaillés à l'automne et laissés à nu l'hiver, le soya et le maïs ensilage, ces deux dernières cultures laissant très peu de résidus au sol au printemps. On observe que lorsque la proportion des sols peu protégés dépasse 35 % dans la zone contributive d'un champ du littoral, la turbidité de l'eau y dépasse les 100 FNU au début de la crue printanière ([Campeau et al., 2023](#)). Ces résultats suggèrent ainsi qu'afin d'éviter des niveaux de turbidité extrêmes dans le littoral, **il est souhaitable qu'au moins 65 % des zones contributives en amont soient constituées de sols adéquatement protégés**. Cette protection peut être apportée de différentes façons, incluant des milieux naturels, des bandes végétalisées, des prairies et des cultures de couverture bien implantées en grandes cultures.

Pour atteindre cet objectif, il est proposé de traiter de façon séparée les parcelles agricoles situées sur les plateaux de part et d'autre du LSP, où les pentes sont faibles ou nulles, et les zones en pente à proximité des cours d'eau. Dans le cas des **plateaux**, il est recommandé de favoriser les cultures de couverture et le respect des bandes végétalisées, afin de réduire l'érosion des sols agricoles et des berges le long des fossés et des cours d'eau. Dans les **zones en pente**, il est proposé une approche plus ciblée qui tient compte des pentes à proximité des cours d'eau et du type de culture. Dans un premier temps, un modèle numérique de terrain (MNT) a permis d'identifier le pourcentage des pentes dans les bassins versants des ruisseaux agricoles autour du LSP. Un seuillage subséquent a permis de créer trois classes de pente, soit de 0 à 9 %, de 9 % à 30 % et de 30 % et plus. Ces seuils sont basés sur une simplification de la classification d'Agriculture et Agroalimentaire Canada, qui utilise six classes. Ces trois classes de pente ont ensuite été croisées avec sept classes d'occupation du territoire afin d'identifier les zones potentiellement sensibles à l'érosion. La cartographie produite ne concerne que la zone tampon de 100 m de part et d'autre des cours d'eau. Cette zone tampon a été choisie puisqu'elle inclut la majorité des zones en pente le long des cours d'eau de ce secteur. La méthodologie détaillée de cette analyse est présentée à l'**annexe 4C**.

Le croisement des trois classes de pentes et des huit classes d'utilisation du territoire a permis de produire une **cartographie des zones potentiellement vulnérables à l'érosion** ([figure 5.17](#)). Les 24 combinaisons possibles ont été ramenées à huit classes, du potentiel d'érosion le plus élevé (grandes cultures en pentes très fortes) au potentiel le plus faible (milieux boisés et humides). À titre indicatif, les deux premières classes, jugées prioritaires, couvrent 312 ha, ce qui ne représente que 0,3 % de la superficie des bassins versants analysés. Il est proposé que cette cartographie serve de guide pour orienter ou prioriser les interventions visant à améliorer la qualité de l'eau des ruisseaux et du littoral. À titre d'exemple, le ruisseau situé dans le haut de la [figure 5.17](#) s'écoule en méandre sur une parcelle agricole dont les pentes varient de 9 à plus de 30 %. Dans sa portion aval, le lit de ce ruisseau est presque en-

tièrement localisé sur un seul champ. Celui-ci serait ainsi à prioriser dans un contexte de réhabilitation. La 5e classe, illustrée en vert pâle sur la **figure 5.17**, est intéressante à considérer. Une photo-interprétation des zones incluses dans cette classe a dévoilé qu'elles étaient principalement constituées de milieux ouverts, en partie végétalisés. Ces milieux, en pentes moyennes à fortes, couvrent une surface de 657 ha autour du LSP. Malgré leur hétérogénéité, ces milieux présentent un intérêt particulier pour la réhabilitation des ravines, puisqu'ils pourraient être aménagés à faible coût, suite à une évaluation sur le terrain. La couverture complète des **156 bassins versants** des petits cours d'eau se déversant directement dans le littoral du LSP est disponible dans la géodatabase accompagnant ce rapport. Ces bassins couvrent collectivement 95 000 ha, majoritairement dans les basses terres du Saint-Laurent autour du LSP. Les grands cours d'eau tels que la rivière Yamaska ou la rivière du Loup ont été exclus de l'analyse. Ces rivières ont un impact majeur sur la qualité de l'eau du lac lui-même, mais ont moins d'influence sur la qualité de l'eau du littoral (**Campeau et al., 2023**).

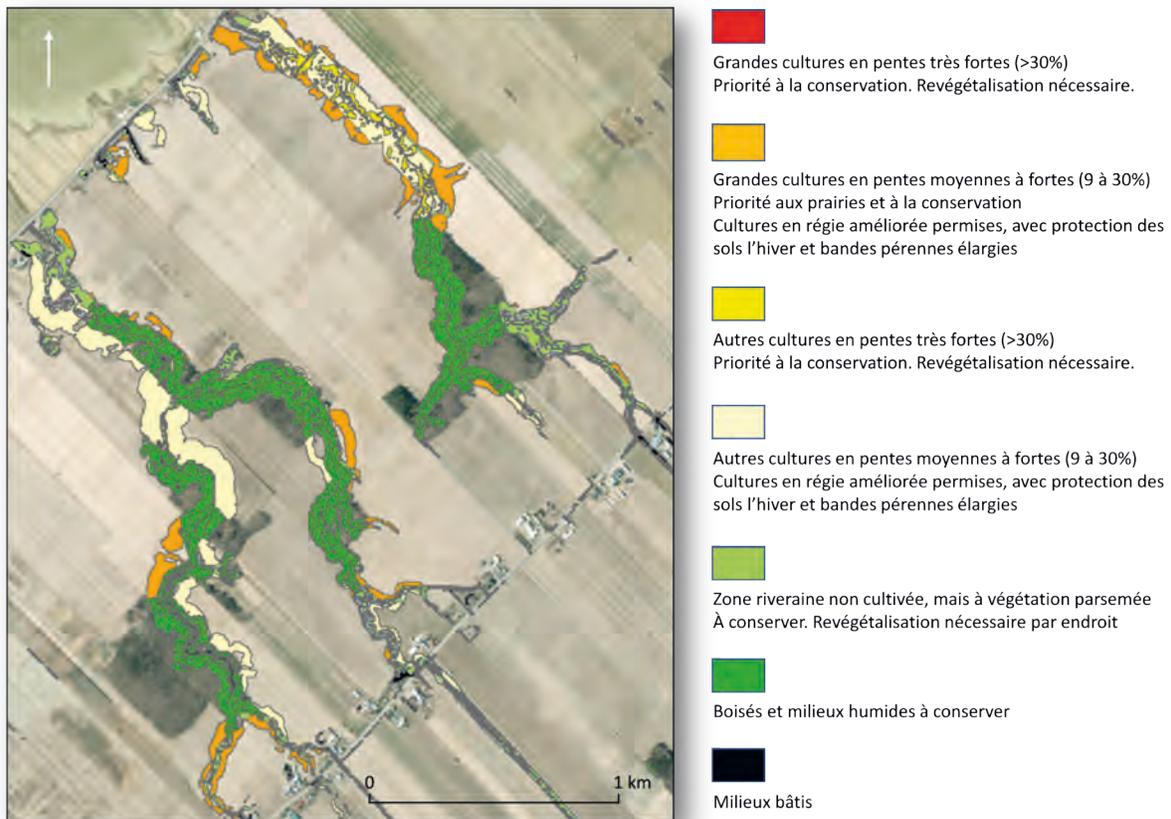


Figure 5.17

Cartographie des zones à risque d'érosion le long des cours d'eau. L'exemple illustré est situé près de Baie-du-Febvre.

Cette analyse se veut une évaluation du potentiel d'érosion, mais elle ne quantifie pas ce risque. D'autres approches permettent de quantifier ce risque, mais elles sont plus exigeantes en données. L'équation **RUSLE-CAN** a notamment été utilisée pour quantifier le potentiel d'érosion des sols agricoles autour du LSP. Selon le rapport produit en 2019 par la ZIP du LSP, en collaboration avec le ministère de l'Environnement (MELCCFP) et le département des sciences de l'environnement de l'UQTR, un total de 1 733 998 tonnes sont érodées chaque année dans les parcelles agricoles des basses-terres environnant le LSP. Cette étude met en évidence la contribution importante des cultures en pente le long des cours d'eau et le rôle non négligeable des bassins versants des ruisseaux tributaires du LSP, qui collectivement produisent davantage de sédiments que le bassin de la Yamaska. Cependant, le calcul de l'équation RUSLE-CAN a une aussi vaste échelle et comporte des défis. L'équation prend notamment en compte les caractéristiques du sol. Les données utilisées sont les cartes numérisées par l'IRDA basées sur les vieilles études pédologiques. Les caractéristiques des sols associées à ces études auraient besoin d'être révisées et précisées. De plus, les pratiques culturales jouent également un rôle important dans le calcul. Or il s'agit d'une donnée difficile à documenter à une échelle aussi vaste. C'est pourquoi il est privilégié ici une approche plus simple, basée sur deux des facteurs importants ayant un impact sur l'érosion et facile à documenter, soit les pentes et l'utilisation du sol. Cette approche pourrait toutefois être bonifiée, en considérant par exemple les patrons d'écoulement de l'eau dans les champs (par exemple le facteur Ls de l'équation RUSLE-CAN). Il est estimé toutefois que l'approche proposée à l'avantage d'être simple et est suffisamment précise pour identifier les parcelles où les risques d'érosion sont les plus élevées.



*Zone agricole de la rive nord du lac Saint-Pierre, hors littoral.
Crédit photo : J. Ruiz, 2015*





06

Gouvernance et
politiques publiques,
des défis au cœur de la
réhabilitation du
lac Saint-Pierre

L'entrée en vigueur du régime transitoire en mars 2022 est devenue un élément de contexte important des recherches socioéconomiques. En effet, certains des changements de pratiques agricoles ne sont plus des actions volontaires, mais deviennent des obligations pour les producteurs et productrices. Comme il est décrit dans cette section, le régime transitoire vient exacerber des défis de gouvernance pour la réhabilitation environnementale du littoral. Plusieurs des travaux de recherche socioéconomiques du Pôle ont pu intégrer directement ce nouveau contexte réglementaire alors que d'autres se sont penchés sur des questions relatives à la gouvernance territoriale et aux politiques publiques¹⁶.

D'abord, des travaux se sont intéressés aux attitudes des producteurs et productrices face à la mise en place du régime transitoire afin d'en comprendre les implications pour la réhabilitation environnementale du LSP (**Ruiz et al., 2023a ; Doyon et al., 2023**). Ensuite, de manière à informer la pertinence d'une intervention publique, une recherche a essayé d'approcher le consentement de la population québécoise à retrouver un écosystème en santé au LSP (**Kuimi Tchana et al., 2023**). Partant du postulat que la réhabilitation environnementale nécessite souvent un dialogue entre les acteurs du territoire concernés sur les actions à mettre en place, des scénarios d'utilisation des terres du littoral ont fait l'objet d'une évaluation économique et environnementale (**Mundler et Guiraud, 2023**). Puis, constatant que plusieurs initiatives dans le monde se sont engagées dans des processus de réhabilitation environnementale de plaines inondables, un travail a analysé les contextes sociopolitiques qui ont permis leur mise en place. Ce travail a servi de support à une sorte de diagnostic de la gouvernance pour la réhabilitation environnementale du littoral, tel que vu par les acteurs régionaux (**Dumarcher et al., 2024**). Finalement, une analyse a cerné le potentiel d'utilisation d'une appellation réservée ou encore d'un terme valorisant prévu dans la Loi sur les appellations réservées et les termes valorisants du Québec (chapitre A-20.03 ; LARTV) ou de la désignation de réserve de la biosphère pour la valorisation éventuelle du foin du littoral (**Lambert et al., 2024**).

6.1

Le régime transitoire et ses impacts sur la gouvernance et pour la politique publique

AT

Avant l'entrée en vigueur du régime transitoire, les travaux de recherche socioéconomique avaient mis en évidence une communauté agricole polarisée (section 3.3 ; **Ruiz et al., 2023a**). D'un côté, les sentiments de stigmatisation et d'injustice ressentis par une part des producteurs et productrices pointaient vers les besoins de (1) assurer et rendre visible la cohérence des actions de réhabilitation environnementale entre toutes les activités sectorielles utilisant le LSP et ses abords (agriculteurs et agricultrices situés en amont du littoral, gestion de l'autoroute, Défense nationale, gestion de la voie maritime, gestion des barrages, etc.), et (2) créer davantage de solidarité entre les producteurs et productrices situés en amont et en aval des bassins versants des tributaires qui se jettent dans le LSP. D'autre part, la présence de producteurs et productrices bien avancés dans les processus de changements de pratiques suggérait que les initiatives du monde agricole et les essais agronomiques du Pôle soutenaient une part

16. Chercheurs et chercheuses principaux ayant menés des travaux de recherche pour cette section : Maurice Doyon, Nathalie Lewis, Patrick Mundler, Julie Ruiz, Lota Diabo Tamini.

des producteurs et productrices dans leurs changements. Dès lors, ces producteurs et productrices auraient pu créer une pression sociale sur les autres et servir de levier pour la réhabilitation environnementale du LSP en agissant comme des moteurs du changement pour les plus résistants (Oreszczyń et al., 2010 ; Yang et Wang, 2023). À partir de l'observation de rencontres de producteurs et productrices au sujet du régime transitoire, de l'analyse de la presse écrite et d'enquêtes individuelles auprès de 15 producteurs et productrices, les attitudes face à cette nouvelle réglementation ainsi que ses implications ont été analysées (Ruiz et al., 2023a ; Doyon et al., 2023).

Une remise en cause des fondements pratiques et scientifiques de la réglementation

La contestation de la nouvelle réglementation apparaît comme l'attitude dominante des producteurs et productrices. Plusieurs dispositions du régime transitoire se trouvent plus particulièrement contestées. La principale est l'imposition de bandes de végétation pérenne sur l'ensemble des bords de fossés et cours d'eau dont les producteurs et productrices décrivent le caractère « mur à mur » (disposition levée en 2023). Ils signalent un manque de flexibilité dans la réglementation, qui ne prend pas en considération la réalité spécifique de certaines terres, ce qui conduit selon eux à des impossibilités ou incohérences techniques. La limite du littoral est aussi remise en cause, car elle ne correspond pas à la réalité des crues qu'ils observent sur leurs champs et ne tient pas compte de la présence de digues. Les débats sur cette limite contribuent à remettre en question les assises de la réglementation. Enfin, l'entrée en vigueur de cette réglementation avant la publication des résultats des recherches scientifiques du Pôle fait globalement douter les producteurs et productrices des fondements scientifiques sur lesquels elle prend appui.

La réaction des producteurs et productrices à l'entrée en vigueur du régime transitoire rejoint d'autres recherches qui ont montré une forte contestation voire une aversion des producteurs et productrices face aux réglementations environnementales gouvernementales (Barnes et al., 2013 ; Eberhard et al., 2021). Par contre, si plusieurs de ces recherches expliquent les contestations par le fait que les producteurs et productrices ne se sentent pas responsables des problèmes environnementaux que les réglementations tentent de réduire (Barnes et al., 2009), nos résultats montrent que les producteurs et productrices du LSP ne se déresponsabilisent pas forcément par rapport au problème environnemental, mais plutôt, qu'ils ne veulent pas assumer seuls cette responsabilité, ni se faire imposer une réglementation sans dialogue social préalable. Ainsi, ce sont l'existence même d'une réglementation et le choix d'une approche venant du « haut » et sans concertation appropriée, qui sont décriés par les producteurs et productrices.



*Oies des neiges à Baie-du-Febvre.
Crédit photo : J. Ruiz, 2015*

Une communauté agricole plus soudée : des défis de gouvernance à l'avant-plan pour la réhabilitation

Les attitudes à l'égard de cette nouvelle réglementation ne semblent pas être déterminées par les superficies cultivées dans le littoral ni par le pourcentage de terres totales que ces superficies représentent pour l'entreprise. Sans surprise toutefois, les producteurs et productrices qui cultivent des prairies affichent moins de réticences ; la nouvelle réglementation ayant des impacts plus faibles dans leur cas. Cependant, ils se rangent derrière les plus résistants pour décrire la manière dont la réglementation a été élaborée. Parmi les 15 producteurs et productrices rencontrés dans les enquêtes ayant porté spécifiquement sur le régime transitoire, tous estiment que la mise en place des pratiques culturales prescrites par la nouvelle réglementation va entraîner des baisses de revenu et/ou des coûts supplémentaires (**Doyon et al., 2023**).

Les résultats montrent également que même les producteurs et productrices qui avaient déjà initié certaines pratiques pouvant leur permettre de répondre aux dispositions du régime transitoire se placent dans une posture de contestation à la nouvelle réglementation, ou pour les moins impactés dans une posture de compréhension des impacts vécus par les producteurs et productrices les plus impactés. Autrement dit, la communauté agricole se retrouve plus soudée qu'auparavant autour des sentiments de stigmatisation sociale et d'injustice. Le levier que représentait la présence des producteurs et productrices engagés volontairement dans des changements de pratiques pour inciter aux changements chez les plus résistants ou pour aller chercher un consensus social minimal pour une réglementation élaborée dans le dialogue entre les parties est réduit dans ce nouveau contexte.

Cette contestation réglementaire montre également qu'aux yeux des producteurs et productrices l'action gouvernementale a brusquement changé. D'un contexte où l'organisation professionnelle agricole portait un projet de changement volontaire de pratiques subventionné par le gouvernement et où la recherche scientifique travaillait avec les producteurs et productrices pour des essais agronomiques, cette action s'est transformée. Une plus grande méfiance envers l'action gouvernementale s'est installée.

Ainsi, ce nouveau contexte réglementaire renforce la stigmatisation et le sentiment d'injustice qui caractérisaient déjà les plus résistants à des changements de pratiques et ajoute un sentiment de méfiance envers l'action gouvernementale. **Si avant la mise en place du régime transitoire, un défi de gouvernance territoriale était présent dans le sens où il importait de montrer que tous les acteurs sectoriels et les producteurs et productrices situés en amont dans les bassins versants des tributaires sont solidaires et s'engagent dans des efforts pour la réhabilitation du LSP, aujourd'hui s'ajoute le défi du dialogue entre le local et le provincial.**

Des travaux de recherche menés ailleurs dans le monde montrent également que l'imposition d'une réglementation environnementale en agriculture sans consensus social minimal peut (1) engendrer un non-respect réglementaire davantage présent et demandant alors des dépenses publiques importantes pour sa surveillance (Buckley, 2012), (2) une intensification des pratiques agricoles dans les zones non réglementées susceptibles de réduire les gains environnementaux dans les zones réglementées (Barnes et al., 2013), et (3) un refus des producteurs et productrices dans les zones réglementées d'aller au-delà des normes en vigueur (Armstrong et al., 2011)¹⁷.

17. Les travaux de Ruiz et al., 2023a recensent également des recherches qui se sont intéressées aux facteurs qui rendent une réglementation efficace.

Les implications pour la politique publique : indemnisations et rachat des terres

Les chercheurs et chercheuses se sont aussi intéressés à comprendre dans quelle mesure le régime transitoire pourrait être considéré comme un gain ou comme une perte pour les producteurs et productrices par rapport à l'ancienne réglementation. Les attitudes à l'égard du régime transitoire ont été identifiées, sans, puis avec, une mise en contexte sur l'ancienne réglementation précisant que celle-ci interdisait la pratique de l'agriculture dans le littoral.

Pour les 15 producteurs et productrices rencontrés lors de cette recherche (**Doyon et al., 2023**), l'arrivée du régime transitoire est perçue comme une perte et non comme un gain. Pour la majorité, l'ancienne réglementation leur était inconnue. Après une mise en perspective de la nouvelle réglementation relativement à l'ancienne, quelques agriculteurs et agricultrices seulement changent de perception ou atténuent leur position quant au fait que la nouvelle réglementation représente une perte.

Ces résultats montrent donc que dans le contexte du LSP, une communication préalable à tout changement réglementaire est nécessaire pour que le point de référence, soit l'idée que se fait un individu à partir de la connaissance qu'il a d'une situation, puisse se déplacer. Ils montrent également que la connaissance de l'ancienne réglementation est un critère nécessaire, mais non suffisant pour induire une ouverture à l'adoption de nouvelles pratiques. Pour compléter, une communication relative à la contribution des pratiques agricoles actuelles au déclin de la perchaude et à la détérioration de la qualité de l'eau est importante. De même, montrer qu'une nouvelle réglementation est une alternative à une perte plus grande encore a le potentiel de transformer le point de référence pour augmenter significativement l'acceptabilité de la nouvelle réglementation et des pratiques qui y sont associées.

Aujourd'hui, il semble difficile de rectifier le fait que le régime transitoire constitue une perte pour les producteurs et productrices. Or, la perception de perte (coût) entraîne des conséquences sur les attentes des producteurs et productrices quant au niveau attendu des indemnisations. Elle génère des attentes financières plus importantes (Doyon et Saulais, 2022).

Dans le cas du littoral du LSP, la non-application pendant plus de 30 ans de l'ancienne réglementation, le fait que les transactions d'achat et de vente ont été permises sans mentions de restrictions par les notaires aux dires des producteurs et productrices, que le gouvernement ait assuré les parcelles cultivées et le peu de connaissance de cette réglementation de la part des producteurs et productrices militent en faveur de la légitimité d'indemnisations aux producteurs et productrices agricoles pour l'adoption des pratiques prévues au régime transitoire (**Doyon et al., 2023**)¹⁸.

Lors de ces enquêtes, les agriculteurs et agricultrices ont pu soupeser plusieurs options en matière d'indemnisation, dont l'une était que les autorités rachètent les terres dans le littoral plutôt que d'octroyer un montant qui compense le manque à gagner provoqué par la mise en place des pratiques prévues dans le régime transitoire. Sur les 15 agriculteurs et agricultrices rencontrés, 11 d'entre eux affichent une préférence pour la vente de leurs terres au gouvernement ou à une autre entité. Pour les producteurs et productrices les plus résistants au régime transitoire, c'est la principale option envisagée alors que les autres sont prêts à considérer, à différents degrés, l'adoption de pratiques permettant d'être conforme aux dispositions réglementaires, à condition de recevoir une indemnisation conséquente.

Enfin, relevons que les producteurs et productrices ont souligné que la nouvelle réglementation affecte la valeur des terres agricoles à la baisse. Plusieurs indiquaient que depuis la nouvelle réglementation très peu sinon aucune transaction n'avait été observée et qu'eux-mêmes évitaient l'achat de nouvelles terres en littoral, en raison des incertitudes liées à l'avenir de l'agriculture dans le littoral.

18. Cette conclusion survient grâce à l'application de la grille d'analyse de Doyon et Nolet (2006) reposant sur les notions de prévisibilité et de caractère raisonnable du fardeau imposé au pollueur. Pour plus de détails, voir le rapport de Doyon et al., 2023

6.2

La pertinence d'une intervention publique au lac Saint-Pierre : le consentement à payer de la population pour des changements de pratiques agricoles

S

Face à la nécessité de réussir à réduire les impacts des activités agricoles sur la qualité des écosystèmes du littoral du LSP, des travaux se sont penchés sur la valeur financière des biens et services écologiques produits par le LSP (Kuimi Tchana et al., 2023). Plus spécifiquement, ils ont cherché à déterminer la volonté à payer (VAP) des Québécois et Québécoises pour des pratiques culturales permettant une amélioration de la qualité de l'écosystème du LSP et de ses abords.

Un questionnaire a été confectionné et administré à 1 500 québécois et Québécoises. Ce questionnaire comportait notamment plusieurs scénarios d'amélioration de la qualité de l'écosystème du LSP et de ses abords. Un coût unique (paiement en une fois par famille) fut associé à chaque scénario pour sa mise en œuvre qui impliquait des changements dans les pratiques agricoles, sauf celui de statu quo dont le coût était nul.

Les résultats montrent que pour la population québécoise, il existe une VAP pour les pratiques agricoles permettant l'amélioration de la qualité de l'écosystème du LSP et de ses abords (figure 6.1). De plus, la VAP est croissante avec l'effort dans des changements de pratiques agricoles des agriculteurs et agricultrices et agricultrices. Dans le cadre de la présente étude, lorsque les résultats de l'enquête sont extrapolés à la population du Québec, la VAP pour des pratiques agricoles permettant d'améliorer la qualité de l'écosystème du LSP a été évaluée à 2 520 604 283 \$. Bien que l'exercice d'extrapolation d'une VAP hypothétique présente plusieurs enjeux, ce montant doit davantage être vu comme un résultat qui vient appuyer l'idée que la population québécoise serait prête à ce qu'un financement public vienne soutenir des changements de pratiques agricoles qui améliorent l'écosystème du LSP.

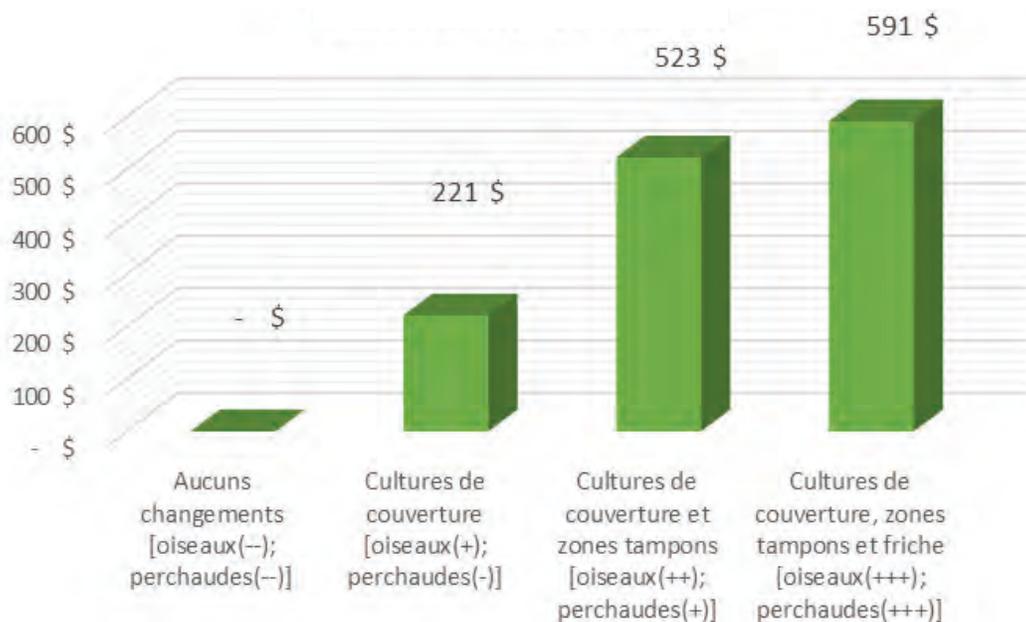


Figure 6.1

Volonté à payer pour l'amélioration de la qualité de l'écosystème du lac Saint-Pierre à la suite de différents changements de pratiques agricoles (ensemble de l'échantillon des personnes enquêtées; significatif au seuil de 5 %). (Tiré de Kuimi Tchana et al., 2023).

6.3

Des scénarios économiques de changement dans l'utilisation des terres du littoral : supports au dialogue entre les acteurs

S

Quel serait le bilan économique à l'échelle de l'ensemble du littoral si toutes les exploitations agricoles y cultivant des terres adoptaient les PA testées par le Pôle ? L'adoption de PA par les exploitations aurait en effet divers impacts économiques pour les exploitations, pour la politique publique (ex. : assurance agricole), pour les municipalités régionales de comté (MRC), les municipalités ou d'autres organismes. Une recherche a cherché à analyser les coûts et bénéfices financiers, privés et collectifs, de différents scénarios de changement d'utilisation des terres et de pratiques agricoles à l'échelle du littoral du LSP (**Mundler et Guiraud, 2023**).

La méthode retenue relève de celle des scénarios de type exploratoires (que pourrait-il se passer si... ? Börjeson et al., 2006). Elle ne cherche pas à établir des chiffres précis, mais plutôt à offrir aux parties prenantes des ordres de grandeur leur permettant de disposer d'une base sur laquelle dialoguer. L'objectif premier de cette recherche était donc que ces scénarios puissent servir de support au débat social collectif pour la gestion durable du LSP. Outre les scénarios, un chiffrier Excel a été conçu par les chercheurs et chercheuses, permettant aux acteurs d'élaborer leurs propres hypothèses et scénarios.

Évaluation de la situation actuelle : des revenus agricoles importants

Un scénario initial d'occupation des sols agricoles dans le littoral du LSP a tout d'abord été élaboré. Pour ce faire, les différences entre les types de cultures dans le littoral entre les années de faible crue et de forte crue ont été analysées et divers acteurs du littoral du LSP ont été rencontrés. Sur cette base, un modèle intégrant les coûts et revenus privés des agriculteurs et agricultrices, les coûts et revenus privés des organismes de conservation et les coûts et revenus des organismes publics (palier local, supralocal, provincial et fédéral) a été élaboré¹⁹.

L'évaluation des coûts et des bénéfices tient compte des revenus et dépenses effectifs, c'est-à-dire donnant lieu à des échanges financiers réels. Un agriculteur vend du blé, une municipalité encaisse des taxes, un organisme de conservation loue des terres, un ministère donne une subvention..., autant d'actes économiques du quotidien pour lesquels des transferts d'argent peuvent être observés²⁰.

Les résultats obtenus pour le scénario initial montrent que la somme des marges sur coûts variables représente pour les agriculteurs et agricultrices annuellement 4,1 millions de dollars dans le littoral du LSP. Quant aux coûts publics directs dus à l'activité agricole, ils représentent un peu moins de 500 000 dollars annuellement.

19. Parmi les coûts se retrouvent ceux liés aux taxes foncières, aux frais de mise en culture, à l'entretien des cours d'eau et fossés, aux aménagements fauniques, aux programmes de la Financière agricole du Québec (FADQ), aux impôts sur les revenus agricoles. Parmi les revenus se trouvent ceux liés à la vente de produits agricoles, aux programmes de la Financière agricole du Québec (FADQ), aux permis et baux agricoles et de chasse, aux impôts sur le revenu et aux taxes foncières. Bien que les chercheurs et chercheuses se soient efforcés de prendre appui sur des données aussi fiables que possible, ils ont été contraints d'effectuer divers arbitrages précisés dans leur rapport.

20. Cette recherche n'a donc pas cherché à donner une valeur financière hypothétique aux conséquences de l'activité agricole sur les écosystèmes. Ce choix ne vise pas à minimiser les externalités possibles. Mais les méthodes utilisées pour leur donner une valeur financière restent largement discutées et leurs résultats ne font pas consensus. Quels seraient les coûts environnementaux à chiffrer ? À partir de quelle date ? Selon quel taux d'actualisation ? Quelle serait la part des coûts à attribuer à l'activité agricole et à elle seule ? Quelle serait, dans cette part, celle qui pourrait être attribuée exclusivement à l'agriculture se pratiquant dans le littoral ? Aussi, les tentatives de monétarisation de ces externalités ont été délibérément écartées et l'examen des dimensions donnant lieu à des échanges financiers a été privilégié.

Cinq scénarios pour supporter le dialogue social pour la gestion durable du lac Saint-Pierre

Cinq scénarios ont été testés (**tableau 6.1**). Les scénarios sont construits sur la base de changements dans la répartition des cultures dans le littoral du LSP auxquels peuvent s'ajouter des pratiques agricoles nouvelles, tant dans les cultures annuelles que dans les prairies, ainsi que l'implantation de bandes pérennes.

Tableau 6.1

Les cinq scénarios étudiés (tiré de Mundler et Guiraud, 2023).

Scénario	Description
TCR (conservation)	Le scénario TCR conservation évalue l'application des recommandations de la Table de concertation régionale (TCR) du lac Saint-Pierre pour favoriser la cohabitation agriculture-faune dans la zone de récurrence 0-2 ans ^a .
Réglementaire	Le scénario « réglementaire » évalue la mise en œuvre du projet de règlement instaurant un nouveau régime d'aménagement dans les zones inondables des lacs et des cours d'eau sur la base des informations parues dans la GAZETTE OFFICIELLE DU QUÉBEC, 23 juin 2021, 153e année, no 25, et sur des échanges avec le MELCC.
Foin (conservation)	Le scénario « foin (conservation) » étudie la mise en prairies de l'ensemble des surfaces agricoles avec des pratiques extensives visant la conservation de la faune : une seule fauche tardive, pas d'intrants, des bandes pérennes et des surfaces en restauration faunique.
Foin (exploitation)	Le scénario « foin (exploitation) » étudie la mise en prairies de l'ensemble des surfaces agricoles avec des pratiques intensives visant l'optimisation économique de la mise en culture. Dans ce scénario, des intrants sont utilisés et deux coupes par saison sont effectuées.
Pratiques culturales améliorées	Le scénario « Pratiques culturales améliorées » étudie la mise en œuvre de cultures de couverture et de bandes pérennes en conservant le même assolement que dans le scénario initial.

a. Table de Concertation Régionale du Lac Saint-Pierre. 2019. Cohabitation agriculture-faune en zone littorale au lac Saint-Pierre. Fiche synthèse.

Les différents scénarios étudiés entraînent des pertes de revenus agricoles (mesurés par les marges sur coûts variables) allant de - 27 % à - 66 %²¹. La comparaison des différents scénarios (**figure 6.2**) montre que les scénarios réglementaires et pratiques culturales améliorées sont très proches du point de vue des conséquences tant en termes de bilan privé qu'en termes de bilan public. Ces deux scénarios diminuent la somme des revenus sur le littoral d'environ 30 %. Un deuxième « groupe » comprend les scénarios TCRLSP et foin exploitation, eux aussi très proches en termes d'impact sur les revenus agricoles dans le littoral. Ces deux scénarios diminuent les revenus agricoles d'environ 45 %. Enfin, le scénario foin conservation a l'impact le plus fort puisqu'il diminue les revenus agricoles d'environ 66 %.

Pour tous les scénarios, une partie de la baisse des revenus agricoles, soit 10 % du bilan privé du scénario initial, vient de la restauration attendue des 522 hectares dont les organismes de conservation sont propriétaires. L'impact des bandes pérennes est également important, puisqu'elles diminuent les surfaces cultivées de façon conséquente sur un parcellaire tout en longueur et dans l'ensemble perpendiculaire au littoral.

21. Ces scénarios sont très sensibles aux prix et aux rendements. Ce travail de recherche met à disposition un tableur Excel permettant de faire des simulations et de modifier l'ensemble des paramètres économiques.

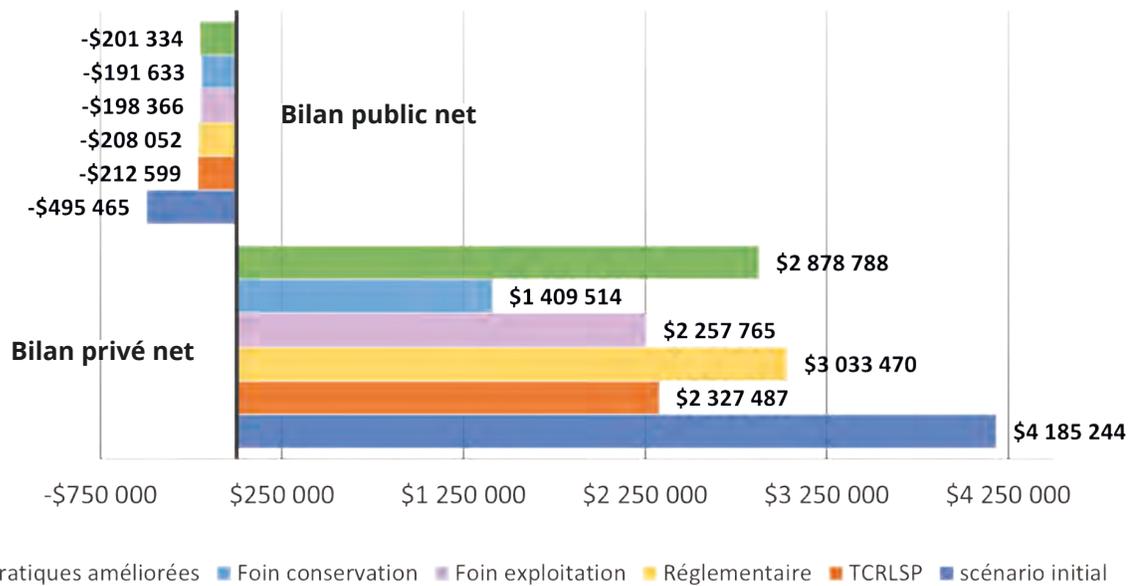


Figure 6.2

Bilans économiques des différents scénarios étudiés (tiré de Mundler et Guiraud, 2023).

Les coûts publics diminuent pour leur part dans une fourchette allant de 57 à 61 % selon les scénarios. Il y a donc relativement peu de différences selon les scénarios et, par conséquent, le coût net total (public et privé) est surtout tributaire du coût privé. Cette diminution des coûts publics vient pour l'essentiel d'une diminution simulée des dépenses d'entretien des cours d'eau liées à l'implantation des bandes pérennes ou des prairies. Toutefois, ce calcul repose sur diverses extrapolations détaillées dans le rapport.

Une évaluation qualitative des bénéfices environnementaux des scénarios d'utilisation des terres du littoral du LSP a fait l'objet d'une analyse selon 5 catégories de services, soit la biodiversité, la pêche, la productivité du biome, la rétroaction climatique et la qualité de l'eau. Cette évaluation est basée sur les appréciations des membres de l'équipe de recherche de l'axe environnement et faune, selon leurs résultats de recherche et au meilleur de leur connaissance. Les changements d'utilisation des terres simulés permettent des gains significatifs pour la qualité de l'eau et la biodiversité. Seul le scénario visant la mise en foin de l'ensemble des surfaces agricoles avec des pratiques extensives visant la conservation de la faune permet d'améliorer significativement la pêche, la productivité du biome et la rétroaction climatique. Les scénarios s'étendent sur un gradient qui montre une relation inversement proportionnelle entre les gains environnementaux et les pertes économiques privées pour l'agriculture qui elles-mêmes déterminent largement, comme il est indiqué précédemment, les coûts nets de la mise en œuvre de pratiques culturales améliorées (figure 6.3).

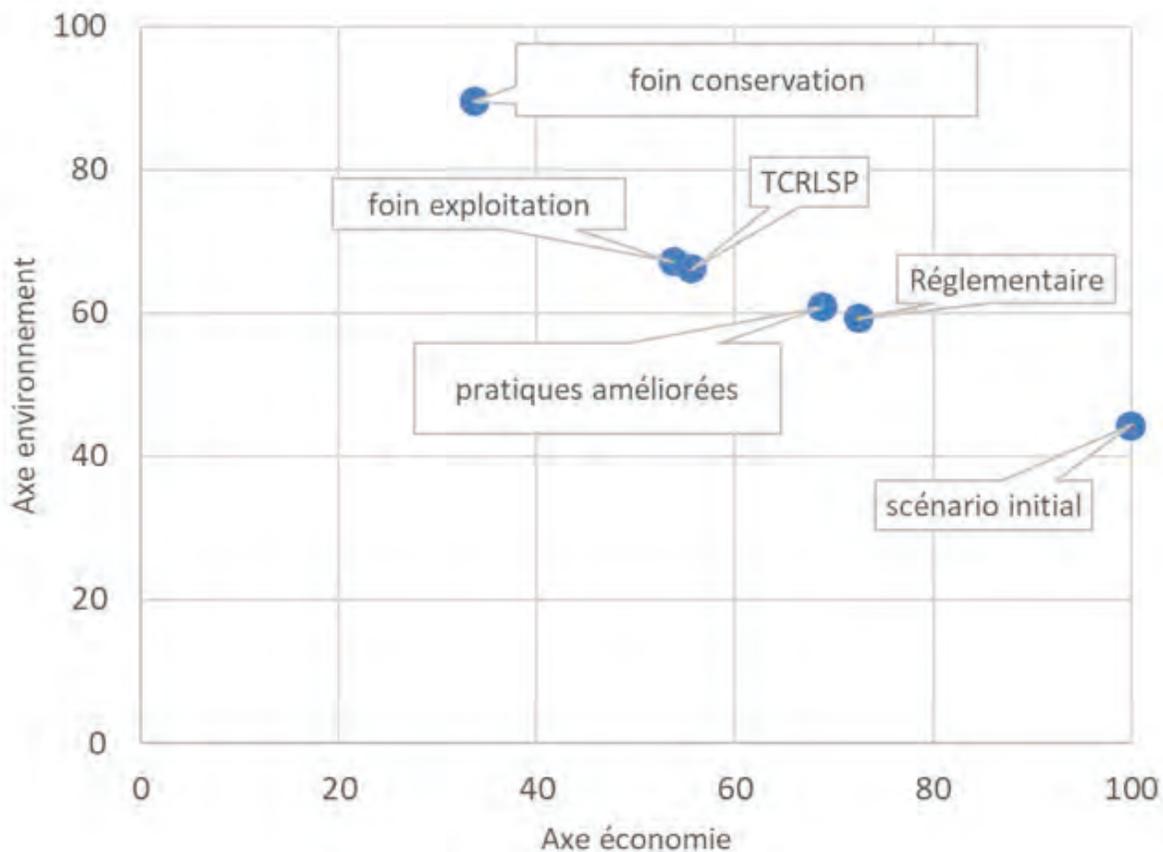


Figure 6.3

Positionnement des différents scénarios pour le littoral en termes économiques (pour les agriculteurs et agricultrices) et environnementaux. Pour construire cette figure, les résultats de la modélisation économique ont tous été ramenés sur un chiffre unique compris entre 0 et 100, la note de 100 ayant été donnée au scénario initial. La même opération a été effectuée pour noter les services écosystémiques, la note 100 étant attribuée à la note « Max » qui reprend les meilleures notes attribuées pour les catégories de services écosystémiques. On constate ainsi un lien évident entre la perte de revenus agricoles à l'échelle du territoire et l'amélioration des services écosystémiques (tiré de Mundler et Guiraud, 2023).

6.4

La gouvernance de la réhabilitation de plaines inondables : enseignements d'initiatives internationales

S

Pour alimenter les réflexions autour d'une gestion durable du LSP, les situations initiales qui, ailleurs dans le monde, ont contribué à la mise en place, à la progression, et certaines fois à l'échec, de larges initiatives collaboratives de réhabilitation des plaines inondables ont été analysées (**Dumarcher et al., 2024**). L'objectif de ce travail était de comprendre les contextes initiaux, les processus et les forces motrices qui influencent le déroulement des initiatives collaboratives visant la réhabilitation de plaines inondables. Dix cas en Amérique du Nord et en Europe ont été examinés.

Les initiatives internationales de réhabilitation de plaines inondables analysées reposent toutes sur des approches volontaires dans le sens où la réhabilitation environnementale n'a jamais été imposée par une réglementation qui allait au-delà des normes existantes (Moss et Monstadt, 2008). Certaines ont pleinement émergé des acteurs locaux qui se sont entendus au terme d'un long processus de concertation, d'autres ont été impulsées avant tout par les acteurs gouvernementaux. Dans tous les cas, les gouvernements ont joué un rôle majeur de soutien. Si certaines de ces initiatives ont été vues à un moment comme un échec, car elles ne conduisaient pas à des actions concrètes de réhabilitation sur les territoires, dans les faits, l'échec s'est avéré très contextuel, car ces initiatives ont fini par poursuivre leur cheminement et progresser. Ainsi, un des enseignements des analyses réalisées est que **les initiatives de réhabilitation des plaines inondables s'inscrivent sur le temps long, sont basées sur des approches volontaires et qu'un succès en termes de collaboration est nécessaire à un succès en termes de réhabilitation.**

De nombreux facteurs qui relèvent du contexte local, du projet de réhabilitation, du contexte institutionnel et des relations entre les acteurs influencent la mise en place des initiatives collaboratives de réhabilitation des plaines inondables²². Néanmoins, ils ne sont pas toujours présents et n'agissent pas toujours ensemble au même moment. Plus encore, selon le contexte local et institutionnel, des éléments deviennent des forces motrices ou des contraintes. Il n'y a donc pas de « recette miracle » pour la mise en place d'initiatives collaboratives de réhabilitation des plaines inondables.

Malgré les différences observées entre les cas à l'étude, trois mécanismes semblent aider à enclencher une forme de cercle vertueux favorable à la mise en place et à la progression d'initiatives collaboratives de réhabilitation. Ces mécanismes ne constituent pas une garantie de réussite, mais leur absence pose des difficultés aux initiatives. Ils sont interdépendants :

1. **Une complexité de projet limitée** : réduire la complexité des projets, par exemple en priorisant des objectifs ou en réduisant le territoire d'intervention a des impacts sur la faisabilité du projet, sur sa durée et son agenda, sur ses résultats, et finalement sur le soutien des acteurs.
2. **Un projet considéré légitime et bénéficiant du support d'un grand nombre d'acteurs différents** : cette légitimité évolue souvent dans le temps en reposant au début sur les leaders ou les organisations et ensuite, sur le support d'une diversité d'acteurs et sur les financements obtenus.
3. **Un projet capable de maintenir son dynamisme et un momentum d'engagement** : des actions de réhabilitation concrètes réalisées dans des délais réduits, selon une approche incrémentale, ont souvent un effet positif important sur la légitimité d'une initiative et le soutien qui lui est accordé.

22. Ces facteurs sont présentés dans une fiche vulgarisée du projet de recherche et détaillés dans le rapport de recherche.

Finalement, les analyses de ces initiatives internationales ont mis en évidence des éléments qui agissent comme supports à leur mise en place et à leur réussite. Ce sont donc autant d'éléments pour lesquels la politique publique doit être attentive :

- prendre en compte la profondeur temporelle et historique des initiatives et des territoires et s'y engager dans la durée ;
- investir dans la production de connaissances aux différentes étapes des initiatives ;
- offrir des financements appropriés et flexibles qui s'inscrivent dans les paradigmes de gestion émergents (tels pour les années 2000 le développement durable, mais plus récemment les concepts de transition écologique ou de résilience des écosystèmes face aux changements climatiques) ;
- définir des mesures d'indemnisation et/ou des incitatifs clairs et équilibrés entre ceux qui sont impactés par la réhabilitation (souvent les agriculteurs et agricultrices), ceux qui contribuent au problème (ex. : activités en amont) et ceux qui bénéficient de la réhabilitation.



*Champs inondés dans le littoral.
Crédit photo : P.-A. Bordeleau, 2019.*

6.5

Les défis de la gouvernance au lac Saint-Pierre : des mécanismes clés qui peinent à émerger

S

Sur la base des résultats de l'analyse des initiatives internationales, une sorte de diagnostic de la gouvernance pour la réhabilitation du littoral au LSP a été élaboré (**Dumarcher et al., 2024**). Ce diagnostic s'est appuyé sur la lecture que les divers acteurs gouvernementaux agissant au palier régional, municipal, du monde de l'environnement ou de l'agriculture au LSP posent sur la gouvernance actuelle, ainsi que sur les enseignements que les chercheuses ont tirés des analyses des cas étrangers étudiés. Les principaux éléments qui ressortent de ce diagnostic comme des défis ou des points faibles, et ceux qui apparaissent comme des forces motrices ou des opportunités sont présentés au **tableau 6.2**. Globalement, les résultats de cette analyse montrent que **les effets de plusieurs éléments rendent difficile l'émergence des trois mécanismes favorables à la mise en place et à la progression d'une initiative collaborative de réhabilitation** (section 6.4). Rappelons que même si la présence de ces mécanismes n'est pas forcément un gage de progression des initiatives, leur absence pose des difficultés. Des pistes d'action visant à faire émerger ces trois mécanismes sont proposées au terme de cette recherche.

Tableau 6.2

Synthèse des éléments participants au diagnostic de la gouvernance pour la réhabilitation du littoral du lac Saint-Pierre

Défis ou points faibles	Forces motrices ou opportunités
<ul style="list-style-type: none">• Un contexte institutionnel peu favorable.• Un cadrage du projet déficient : les acteurs territoriaux ne perçoivent pas de vision commune à long terme.• L'absence d'une organisation solide, légitime, et aux ressources nécessaires pour porter un projet de réhabilitation.• Une communication difficile à plusieurs niveaux : entre le gouvernement et les acteurs territoriaux, entre les différents secteurs géographiques, entre les différents secteurs d'intervention (agriculture, environnement, développement, gestion de la voie maritime, gestion de l'autoroute, etc.	<ul style="list-style-type: none">• La profondeur historique et la densité des relations existantes autour des enjeux de réhabilitation de l'écosystème, ainsi que l'engagement de certains acteurs.• Les connaissances existantes, la densité des informations disponibles, et la prise en compte, bien que très récente, des enjeux sociaux.• La reconnaissance de l'état de dégradation du milieu, ainsi que du fait qu'il faut « faire quelque chose », bien que les modalités restent à trouver et que la compréhension des sources du problème ne soit pas partagée.

Des petits projets qui ne réussissent pas à s'inscrire dans un effort collectif plus global

La réhabilitation du littoral semble aujourd'hui se traduire par des petits projets portés par divers acteurs, un peu partout autour du lac, mais qui peinent à générer un effet d'entraînement, un momentum suffisamment fort. Ces petits projets permettent de réduire la complexité du problème par exemple que le lac est grand, que de multiples acteurs sectoriels y agissent, que les sources du problème ne sont pas claires. Les acteurs reconnaissent que ces projets courts et localisés (avec des résultats modestes, mais concrets) sont importants. Paradoxalement, l'absence d'une vision à long terme et d'une stratégie plus globale pour le LSP crée actuellement une sorte de « flottement » faisant

en sorte que les acteurs ont du mal à s'inscrire dans un effort collectif. Sans « suite » visible à plus long terme, la mobilisation a tendance à retomber entre les projets et des incertitudes planent sur les possibilités de financer les projets suivants, ce qui nuit aussi à la possibilité de créer un momentum d'engagement suffisamment pérenne²³ pour la réhabilitation du littoral. Plusieurs petits projets de réhabilitation sont également entravés par des lourdeurs administratives qui découragent leur porteur, tandis que ceux qui sont réalisés peinent à montrer leurs résultats concrets faute de financement pour les mesurer et faire le suivi des résultats. Ces aspects nuisent à l'émergence d'un engagement suffisamment fort.

Le défi est donc qu'une dynamique plus globale et cohérente prenne forme à partir de ces projets épars et variés, que ces projets contribuent plus clairement à un effort et à un projet collectif qui pourraient avoir une légitimité et un soutien plus fort qu'une multitude de petits projets avec peu de liens. Certains notent aussi que même en l'absence d'un grand projet collectif cohérent, il y avait toutefois un momentum « social » en émergence autour de la réhabilitation du lac jusqu'à l'arrivée du régime transitoire. Celui-ci semble y avoir mis un terme en érodant les relations sociales entre le gouvernement, le monde municipal et le monde agricole, et en laissant de nombreux projets « orphelins » puisqu'il a mis fin à plusieurs petits projets de réhabilitation qui se faisaient sur une base volontaire et que diverses organisations accompagnaient. **Une vision à long terme, un projet global clairement formulé et pris en charge par une organisation et une stratégie rassembleuse semblent aujourd'hui nécessaires pour que les efforts passés et en cours créent véritablement un momentum durable.**

Le défi de la légitimité d'un porteur de projet collectif

Ensuite, s'il n'y a pas, pour l'instant, de grand projet rassembleur pour le LSP, la question de savoir quel organisme devrait être porteur de ce projet (et quelle serait sa légitimité) est cruciale. Du fait de tensions passées, la légitimité des organismes en environnement n'est pas acquise aux yeux du monde agricole. Plusieurs ont noté que les relations s'amélioraient, lentement, entre le milieu agricole et les organisations de protection de l'environnement, et qu'il y avait une évolution des discours et une meilleure connaissance de la part des uns et des autres. Un travail lent et de longue haleine semble porter ses fruits.

En termes de légitimité, il faut également noter qu'aux yeux des acteurs du monde municipal, environnemental et agricole, le gouvernement a perdu de la légitimité avec l'imposition récente du régime transitoire, et que la confiance s'est érodée très rapidement. Or, les exemples étudiés à l'étranger montrent que les initiatives de réhabilitation s'inscrivent sur le temps long et reposent sur des relations de confiance entre les parties prenantes qui sont lentes à s'établir. Rétablir des relations de confiance nécessite un important travail de communication, de construction de lien entre les acteurs concernés, ainsi qu'une meilleure (re)connaissance des enjeux et objectifs des uns et des autres.

Les difficultés pour faire émerger une approche incrémentale

Des résultats concrets (qui stimulent le maintien d'un momentum et la légitimité du projet) sont favorisés par une approche incrémentale qui prend forme avec des objectifs modestes qui évoluent au fur et à mesure et des résultats réguliers. Or, il semble actuellement y avoir plusieurs obstacles à l'émergence d'une approche incrémentale :

- les financements actuels ne couvrent pas toujours les investissements initiaux des porteurs de projet et les projets en plusieurs phases sont confrontés à des incertitudes pour leur poursuite ;
- le sentiment d'une absence de financement pour le suivi des projets, car sans suivi pour évaluer des résultats, il n'est pas possible de montrer et de communiquer les succès de la réhabilitation. Les projets ne produisent alors pas d'effets « boule de neige » ni ne créent un momentum. Or, évaluer ce qui marche ou non, et le partager permet de montrer qu'on fait sa part, renforce le sentiment de faire partie d'un tout et permet d'avoir le sentiment de voir ses efforts reconnus ;

23. Un sentiment de confiance que ces « petits » projets participent à un effort collectif planifié.

- les exigences gouvernementales complexes pour l'autorisation de certains projets nuisent à l'émergence de petits projets ;
- le manque de vision commune à long terme qui permettrait d'avoir une stratégie, une « séquence » dans laquelle inscrire les petits projets et avoir l'impression de « travailler ensemble » ;
- le sentiment de manque de cohésion à différents niveaux (du milieu lui-même, entre ministères, entre niveaux de gestion) ne contribue pas à la formulation d'un projet cohérent.

Quelques pistes pour une gouvernance en faveur de la réhabilitation au lac Saint-Pierre

Quatre propositions interdépendantes, détaillées dans [Dumarcher et al., \(2024\)](#), dont l'objectif est d'assurer l'émergence des mécanismes clés pour une progression d'une initiative concertée ont été proposées :

1. **Recréer le dialogue social entre acteurs territoriaux et gouvernementaux.** L'analyse des cas internationaux étudiés a mis en évidence les rôles importants joués par un dialogue fluide entre les acteurs gouvernementaux et territoriaux, car il permet de limiter la complexité institutionnelle, les tensions entre objectifs et les délais dans les projets.
2. **Des efforts de cadrage à poursuivre de manière concertée et un engagement à élargir.** Mieux communiquer sur ce qui est fait dans d'autres territoires (ex. : en amont du LSP) et secteurs (ex. : gestion de la voie maritime) pourrait favoriser l'engagement des acteurs, d'une part en leur permettant de s'inscrire dans un effort collectif, et d'autre part en diminuant la pression mise sur les agriculteurs et agricultrices qui est actuellement une source de tension importante. Les résultats pointent également vers la nécessité d'arriver à communiquer un message et un cadrage cohérent, à la fois de la part du gouvernement et de la part des acteurs territoriaux.
3. **Mettre en place un système de gouvernance dédié à la réhabilitation du lac Saint-Pierre :** l'analyse des cas internationaux a fait ressortir l'importance d'une organisation ou d'un système de gouvernance réunissant plusieurs organisations, solide, légitime, avec des ressources et une capacité de mise en œuvre appropriée pour supporter une initiative concertée qui se déroule chaque fois sur le temps long. Au LSP, diverses difficultés ont été relevées au plan des organisations impliquées, de la coopération et des communications entre elles. La mise en place d'un système de gouvernance dédié à la réhabilitation du LSP est apparue comme un scénario prometteur aux yeux des participants à cette recherche. Il est illustré à la [figure 6.4](#).
4. **Un « panier de solutions », du financement pour le suivi des projets et une simplification des sources de financement.** La possibilité d'offrir aux producteurs et productrices agricoles un « panier de solutions » parmi lesquelles ils pourraient choisir de construire en quelque sorte leur propre chemin de transition vers la réhabilitation du LSP a été vue comme une solution prometteuse par les participants à cette recherche, incluant des aides financières. La simplification des procédures ainsi que l'existence d'un financement dédié à la réhabilitation du LSP aiderait également grandement la mise sur pied de projets modestes au niveau local. Enfin, des financements qui permettent d'évaluer les retombées des projets (ex. : suivi faunique et floristique, sentiment de fierté) et pas seulement leurs résultats (ex. : nombre de producteurs et productrices rencontrés, nombre de km de bandes pérennes végétalisées) permettraient de stimuler l'engagement des acteurs.

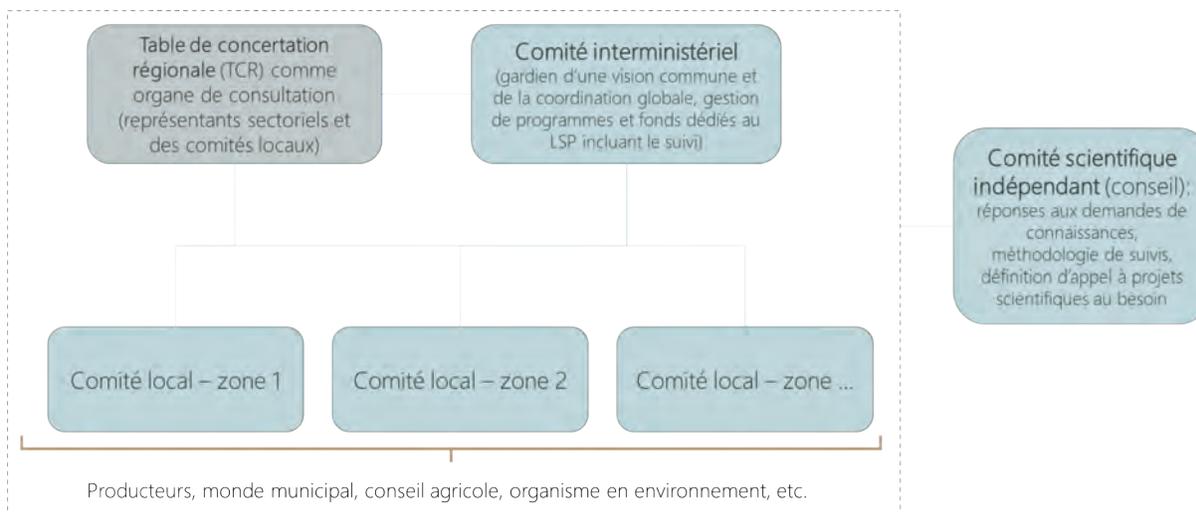


Figure 6.4 Un système de gouvernance dédié à la réhabilitation du lac Saint-Pierre (tiré de Dumarcher et al., 2024).

6.6 Valoriser le foin du littoral : une étude de préféabilité

S

Les cultures pérennes, comme le foin, présentent un potentiel environnemental et faunique intéressant dans le littoral. Serait-il alors possible de valoriser économiquement le fourrage du littoral pour l'alimentation animale? Pour contribuer à répondre à cette question, des enquêtes auprès de producteurs et productrices agricoles et d'acteurs du LSP ont cherché à appréhender les possibilités qu'offrent les appellations réservées de la Loi sur les appellations réservées et les termes valorisants du Québec (chapitre A-20.03; LARTV), ou la désignation de réserve de la biosphère attribuée en 2000 dans le cadre du programme de l'Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture (UNESCO) sur l'homme et la biosphère au LSP (Lambert et al., 2024).

Au Québec, la LARTV vise à promouvoir, protéger et garantir l'origine d'un produit alimentaire. Ce faisant, elle vise notamment à fournir des outils de marketing permettant de mettre de l'avant la qualité du produit et ainsi espérer un prix plus élevé. Dans le littoral, l'absence de cohésion parmi les producteurs et productrices, la qualité du foin limitée par sa teneur élevée en potassium, la faible appétence du foin, l'inadaptation des équipements agricoles, la réputation incertaine du foin du LSP et le manque de reconnaissance commerciale limitent cependant la recommandation de valorisation par une indication géographique protégée (IGP) prévue dans la LARTV.

Le label « réserve de biosphère », en associant une image de nature préservée aux produits agricoles, peut quant à lui stimuler l'afflux touristique en mettant en valeur un paysage attractif et naturel, ce qui, à son tour, bénéficie à leur visibilité et à leur vente. L'étude révèle que malgré la désignation de réserve de biosphère au LSP, celle-ci n'est pas pleinement exploitée comme un outil de développement. À cet égard, ce label pourrait être davantage utilisé pour mettre en valeur le territoire du littoral dans sa globalité. Pour ce faire, une réflexion sur la valorisation du paysage agricole et ses retombées touristiques potentielles est essentielle, en collaboration avec les acteurs locaux et les parties prenantes concernées.

An aerial photograph of a wide river and a large lake, likely the St. Lawrence River and Lake St. Lawrence. The landscape is a mix of green fields, brown and yellow autumn foliage, and small settlements along the banks. A large white rectangular box is overlaid on the lower half of the image, containing the number '07' and the title 'Les constats et recommandations'.

07

Les constats et
recommandations

Vue aérienne du lac vers les îles de Sorel.
Crédit photo : J. Ruiz, 2015.

7.1

Les constats

Les constats présentés dans cette section font état des grands résultats des travaux de recherche que les chercheurs et chercheuses ont jugés importants pour guider les recommandations. Ils sont présentés de manière synthétique et chaque constat fait référence aux parties de ce rapport et aux travaux de recherche. Ces constats ne rendent pas compte de l'ensemble des résultats de recherche produits par les chercheurs et chercheuses du Pôle.

Constat 1

Les secteurs cultivés du littoral du lac Saint-Pierre représentent 0,3 % des surfaces agricoles du Québec. Leur impact sur le littoral est important en comparaison des services écosystémiques que procure la plus grande plaine inondable en eau douce du Québec.

Les milieux humides ne couvrent plus que 10 % des Basses-terres du Saint-Laurent. Les plus remarquables étendues de marais et de marécages sont celles du littoral du LSP, qui représentent plus de 55 % de ces types de milieux humides dans la portion québécoise du Saint-Laurent. Avec plus de 288 espèces d'oiseaux résidents et migrateurs ainsi que 79 espèces de poissons, le LSP représente un milieu exceptionnel de reproduction, d'alimentation et de nidification pour bon nombre de ces espèces. Toutefois, près de 3 800 ha d'habitats fauniques (cultures pérennes et milieux naturels) ont été modifiés dans le littoral depuis 1950, principalement au profit des cultures annuelles. Les surfaces agricoles occupent ainsi aujourd'hui environ 5 000 ha dans le littoral du LSP. Ces cultures représentent 0,3 % des surfaces agricoles du Québec, mais leur impact est important en comparaison des services écosystémiques que procure le plus grand littoral en eau douce du Québec. L'aménagement du littoral du LSP doit tenir compte du fait qu'il s'agisse d'un écosystème irremplaçable, qui fait partie des réserves de biosphère désignées par l'UNESCO.

En appui au constat

Sections du rapport : section 1.1, section 4.4, section 5.2.

Travaux de recherche : Les travaux de l'axe environnement et faune.

Constat 2

Le littoral du lac Saint-Pierre est un environnement très variable, qui est soumis à des conditions contrastées d'une année à l'autre. L'aménagement et la gestion du littoral doivent tenir compte de cette variabilité.

Le littoral du LSP est soumis à des conditions contrastées de crues d'une année à l'autre. Cette variabilité, qui est naturelle dans nos conditions climatiques, s'est toutefois manifestée également dans toutes les sphères abordées par les travaux du Pôle, que ce soit d'un point de vue agronomique, environnemental, faunique, économique ou social. À titre d'exemple, lors d'une crue de forte amplitude et de longue durée, un champ peut être inondé pendant des semaines, parfois jusqu'en juin. Il fait alors partie d'un écosystème aquatique et son état, quant à la qualité de l'eau et du sol de même qu'au couvert

végétal, doit être en adéquation avec les fonctions qui lui sont associées, notamment celles reliées à la reproduction et à la croissance du zooplancton et des poissons. À l'inverse, une année de faible crue permet la mise en culture dès le mois de mai dans ce même champ, faisant éventuellement l'objet d'applications de fertilisants et de pesticides. La succession de ces deux états alternatifs, d'année en année, pose des défis de taille puisqu'ils sont incompatibles. Cette variabilité du littoral du LSP a également une grande influence sur le succès d'implantation des pratiques culturales améliorées.

En raison de la nature intrinsèque de la variabilité des crues, il est impossible de prévoir des mois à l'avance quelle sera l'amplitude des crues printanières. Il n'est également pas possible d'assurer chaque année le succès d'implantation de pratiques culturales améliorées, comme les cultures de couvertures en intercalaires, et par conséquent, d'assurer les effets bénéfiques de ces pratiques sur l'environnement et la faune. Ainsi, le littoral doit être aménagé en tenant compte du fait qu'il doit présenter un environnement adéquat en termes de qualité de l'écosystème aquatique pour les crues à venir, à tout le moins dans les zones les plus basses qui sont fréquemment inondées (une année sur deux).

En appui au constat

Section du rapport : sections 1 à 6.

Travaux de recherche : La majeure partie des travaux de recherche a démontré la variabilité des conditions naturelles et socioéconomiques dans le littoral du LSP.

Constat 3

Les cultures annuelles ont des impacts négatifs importants sur les écosystèmes aquatiques et terrestres du littoral. Les résultats du Pôle démontrent que les pratiques culturales améliorées n'apportent pas d'effets bénéfiques significatifs par rapport aux pratiques culturales conventionnelles en ce qui a trait à la qualité de l'habitat.

La majorité des indicateurs mesurés montrent que le gradient d'utilisation des terres, allant des forêts naturelles d'une part aux cultures annuelles de maïs et de soya d'autre part, a un impact important sur la qualité de l'eau et des sols du littoral et sur l'intégrité des écosystèmes aquatiques et terrestres. Les sites en grandes cultures annuelles présentent les conditions les plus dégradées et les moins propices au rétablissement des écosystèmes en général et au rétablissement des populations de perchaude et de grand brochet en particulier. Les résultats du Pôle indiquent qu'il y a peu ou pas de différence entre les cultures de maïs ou de soya en pratiques culturales conventionnelles et améliorées, du moins pour les indicateurs mesurés en plein champ. Bien que les cultures de couverture intercalaires dans le maïs et le soya s'implantent bien dans la zone littorale du LSP, celles-ci ne laissent pas une biomasse suffisante pour permettre la ponte d'œufs de poisson au printemps suivant. En pratique, les sols sont donc presque à nu au printemps. Ainsi, même si les bénéfices des cultures de couverture ne sont plus à démontrer en milieu terrestre, ceux-ci sont plus difficiles à atteindre en milieu inondable, puisque ces cultures résistent peu à la crue. De plus, on observe une chute rapide et drastique des bénéfices environnementaux et fauniques entre les cultures annuelles d'une part, et les vieilles prairies, les prairies naturelles et les forêts d'autre part. Cette tendance est observable pour un grand nombre de variables environnementales et fauniques. Il est possible que les effets bénéfiques des pratiques culturales améliorées soient mesurables sur une plus longue période, notamment en ce qui concerne la santé des sols. Toutefois, la nécessité de conserver des biomasses élevées de végétation lors de la crue printanière demeure l'objectif principal, ce qui semble difficile à atteindre dans les zones basses du littoral (<6,55 m) dans le cas des cultures annuelles, même en régie améliorée. C'est également le cas pour les nouvelles cultures annuelles testées, qui ne laissent pas de biomasse résiduelle post-récolte assez haute pour représenter un habitat de fraie.

En appui au constat

Section du rapport : section 4.

Travaux de recherche : Les travaux de l'axe environnement et faune.

Constat 4

Dans les zones hautes du littoral (> 6,55 m), des pratiques culturales améliorées sont adaptées pour la production de cultures annuelles, avec peu d'impact sur la performance agronomique de ces cultures.

De nouvelles espèces de cultures annuelles et des pratiques culturales améliorées pour les cultures annuelles traditionnelles (maïs et soya) ont été identifiées pour les zones hautes du littoral.

De manière générale, les nouvelles espèces de cultures alternatives annuelles testées sont peu productives. Les deux plus prometteuses sont le lin et la caméline, bien qu'elles ne laissent pas de biomasse résiduelle post-récolte assez haute et dense pour représenter un habitat de fraie.

Dans la culture du maïs, le travail de sol au printemps (après la décrue) n'engendre pas une baisse de rendement comparativement à un travail de sol à l'automne, mais permet d'éviter d'exposer des sols travaillés aux conditions hivernales et de crue printanière.

Le niveau de risque lié à la présence et à l'abondance du ver fil-de-fer est faible dans la zone littorale du LSP. Ces faibles populations de ravageurs des semis remettent en question l'utilisation de semences traitées dans les champs du littoral du LSP, sauf dans les cas où le dépistage démontre leur utilité.

Les cultures de couverture intercalaires s'implantent bien dans les cultures de maïs et le soya, permettent la répression des adventices et n'influencent pas le rendement de ces cultures annuelles. Le ray-grass annuel et les mélanges multiespèces sont à privilégier dans le maïs, alors que le trèfle blanc et le lotier corniculé sont les espèces à privilégier dans le soya. Les autres espèces de cultures de couverture testées auraient quant à elles le potentiel de nuire à la récolte du maïs (ex. : lin) ou du soya (ex. : blé d'automne, mélilot jaune, vesce velue), notamment en altérant la couleur des grains.

Lorsqu'utilisés en pleine saison et en pleine surface (et non en intercalaires), les mélanges de cultures de couverture incluant du lin permettent de laisser des tiges érigées le printemps suivant, après la décrue.

L'implantation de cultures de couverture en intercalaire dans le maïs dans un espacement élargi à 1,52 m (corridor solaire) permet l'augmentation de biomasse aérienne des cultures de couverture, mais cette pratique amène toutefois une perte de rendement considérable de la culture.

Bien que des pratiques culturales améliorées ont été identifiées, la production de cultures annuelles dans les zones hautes du littoral (> 6,55 m) permet rarement de laisser une biomasse résiduelle post-récolte suffisante pour permettre la ponte d'œufs au printemps suivant, ne qualifiant pas ces habitats de qualité dans un contexte de cohabitation agriculture-faune en zone littorale. La zone haute demeure en effet importante pour l'écosystème. Lors des fortes crues, cette zone est couverte d'eau peu profonde qui présente des températures plus élevées, caractéristiques privilégiées par diverses espèces comme la perchaude. Ainsi, les pratiques agricoles doivent assurer une superficie minimale d'habitat de qualité. Les bandes pérennes assurent cet habitat minimal, en plus de permettre la circulation du poisson.

En appui au constat

Section du rapport : section 2.

Travaux de recherche : Les travaux de l'axe agriculture.

Constat 5

Les milieux naturels, les vieilles prairies et les bandes de végétation pérenne sont les milieux les plus propices au rétablissement des fonctions écosystémiques du littoral et des populations de perchaudes.

Le rétablissement des fonctions écosystémiques du littoral, et des populations de perchaude, sera favorisé par l'amélioration de la qualité de l'eau et une augmentation des surfaces d'habitats favorables, c'est-à-dire des habitats présentant une végétation pérenne (herbacée, arbustive ou arborescente résis-

tante à l'hiver et à l'inondation,) d'une densité, d'une hauteur (> 50 cm) et d'une rigidité suffisante pour permettre la fraie, particulièrement dans les zones basses du littoral (< 6,55 m). Les milieux naturels et les prairies, utilisés pour le pâturage ou les cultures fourragères, sont les milieux les plus propices pour assurer un couvert végétal offrant des habitats de qualité au moment de la crue au printemps. Les résultats concernant les oiseaux nicheurs, les insectes chanteurs et les abeilles suggèrent en outre que le littoral devrait être composé d'une mosaïque de milieux afin de maximiser la biodiversité. Les sols à nu ou avec peu de résidus de culture devraient être évités, puisqu'ils sont néfastes pour l'écosystème du littoral et du LSP.

La conversion des cultures annuelles en végétation pérenne dans les zones basses du littoral représente toutefois plusieurs défis agronomiques dans le contexte particulier du LSP. Les cultures pérennes, comme les prairies et les bandes herbacées pérennes, sont souvent difficiles à planter et nécessitent souvent plusieurs semis. Le potentiel d'une prairie productive composée d'alpiste roseau en zone littorale a néanmoins été démontré. Les dates de fauche doivent cependant être ajustées pour maintenir une densité et une hauteur de végétation suffisante au printemps suivant, réduisant considérablement les rendements en fourrage. Il devient donc difficile de maximiser les rendements en fourrages pour les besoins agricoles (deux coupes, avec intrants) tout en répondant aux besoins des habitats fauniques (une coupe, sans intrants).

Par ailleurs, aucune des nouvelles cultures pérennes alternatives (herbacées ou arbustives) n'a survécu aux crues printanières ou aux conditions de sol saturé occasionné par un mauvais drainage des terres cultivées. D'autres options pourraient toutefois être envisagées, qui n'ont pas été évaluées dans le cadre du Pôle, comme la sylviculture pour la captation du carbone. La conversion des terres en milieux de conservation pourrait en outre faire partie des solutions possibles, lorsque les conditions s'y prêtent.

Enfin, l'élargissement des bandes pérennes à 4 m en bord de champs est une pratique susceptible d'avoir des retombées positives, puisqu'elle permet en fait de convertir une proportion des terres en grandes cultures vers ce qui peut être considéré comme des vieilles prairies. L'implantation de bandes d'alpiste roseau ne contribue toutefois pas à la diversité floristique bien qu'elle soit bénéfique pour la faune, fournissant un habitat pour la ponte des poissons. Dans les zones basses du littoral, l'élargissement des bandes pérennes n'est cependant pas suffisant pour restaurer l'habitat du poisson. L'implantation de bandes pérennes de 4 m le long des cours d'eau et des fossés agricoles ne permet de convertir que 13 % de la superficie agricole dans le littoral.

En appui au constat

Section du rapport : sections 2 et 4.

Travaux de recherche : Les travaux de l'axe environnement et faune et de l'axe agriculture.

Constat 6

Les 2/3 des charges en sédiments qui aboutissent dans le littoral du lac Saint-Pierre proviennent des terres agricoles situées en amont. Il est donc nécessaire de protéger adéquatement les sols et les berges contre l'érosion non seulement dans le littoral, mais également dans les bassins versants des ruisseaux tributaires.

L'augmentation de la superficie des habitats favorables à la biodiversité en zone littorale doit être accompagnée d'actions en amont afin d'améliorer la qualité de l'eau des tributaires. La turbidité dans le littoral est très élevée et dépasse un seuil critique (100 FNU) au printemps lorsque plus de 35 % des sols en amont ne sont pas adéquatement protégés contre l'érosion au printemps. Les ruisseaux qui se déversent directement dans le LSP jouent un rôle important à cet effet, puisqu'une bonne part du littoral n'est en fait influencée au printemps que par les eaux des ruisseaux tributaires du LSP. Les rivières plus importantes ont un impact sur la qualité de l'eau du lac, mais ont moins d'impact sur le littoral lui-même. Ainsi, afin de réduire les apports en sédiments et la turbidité dans le littoral, il est nécessaire de protéger les sols contre l'érosion non seulement dans le littoral, mais également dans les bassins versants des ruisseaux tributaires du LSP. Cette protection peut être apportée de différentes façons, incluant la

conservation des milieux naturels, des bandes végétalisées, des prairies et des cultures de couverture bien implantées en grandes cultures. Les zones ravinées et les zones cultivées en pente le long des cours d'eau constituent des secteurs à fort potentiel d'érosion du sol et leur contribution sur l'apport en sédiments est particulièrement élevée.

En appui au constat

Section du rapport : section 4.1, section 4.2, section 5.8.

Travaux de recherche : Campeau et al., 2023 ; Roy et al., 2023.

Constat 7

Les solutions agricoles qui ont le plus grand potentiel d'adoption sont celles qui pourront s'intégrer dans le système d'exploitation du producteur et pas seulement être déployées à l'échelle des parcelles comprises dans le littoral.

Les producteurs et productrices agricoles ont pleinement intégré les terres du littoral dans leur système d'exploitation individuel. La régie des terres du littoral n'est que minimalement adaptée aux caractéristiques biophysiques et écologiques de ces terres et elle est davantage guidée par le système d'exploitation individuelle dans lequel ces terres s'inscrivent. Le potentiel d'adoption volontaire de pratiques agricoles qui pourraient minimiser les impacts environnementaux par rapport aux pratiques culturelles conventionnelles (« pratiques culturelles améliorées ») est ainsi très variable d'un producteur à l'autre, car il dépend surtout de la manière dont le producteur ou la productrice raisonne son système d'exploitation individuel. Ce système dépend notamment de la spécialisation des productions, de la régie des cultures, des objectifs et perspectives, des sensibilités individuelles et des dynamiques familiales. Cela signifie que les solutions agricoles qui auront le plus grand potentiel d'adoption sont celles qui pourront s'intégrer dans le système d'exploitation du producteur.

Au moment des enquêtes réalisées avant les derniers changements réglementaires, les cultures de couverture et les bandes pérennes constituaient les deux pratiques qui présentaient le plus grand potentiel d'adoption volontaire pour les producteurs et productrices alors que les prairies n'étaient envisageables que par ceux qui en faisaient déjà. Il est à noter qu'indépendamment de l'adoption des pratiques culturelles améliorées, plusieurs producteurs et productrices ont évoqué le rachat de leurs terres dans le littoral comme une solution possible.

En appui au constat

Section du rapport : section 3.1, section 3.3, section 6.1.

Travaux de recherche : Ruiz et al., 2023a ; Doyon et al., 2023.

Constat 8

Dans le contexte particulier du littoral du lac Saint-Pierre, meilleures sont les pratiques d'un point de vue environnemental, plus grandes sont les pertes économiques pour les agriculteurs et agricultrices et plus grands aussi sont les défis sociotechniques.

Les modélisations économiques, qu'elles soient à l'échelle de l'entreprise agricole ou à l'échelle du littoral, convergent vers le constat que la mise en œuvre des « pratiques culturelles améliorées » entraîne des coûts supplémentaires pour les producteurs et productrices agricoles. Les bénéfices environnementaux et les bénéfices économiques des agriculteurs et agricultrices évoluent de façon inversement proportionnelle. Les gains environnementaux les plus importants sont associés aux prairies avec des pratiques extensives et cette pratique est celle qui implique le plus de pertes économiques pour un producteur qui opère aujourd'hui une rotation maïs-soya.

Ces coûts ont été calculés à l'échelle des exploitations de sorte que les impacts économiques individuels pourront être plus facilement évalués. En comparaison à une rotation type de maïs et soya, les scénarios

simulant diverses cultures de couverture sont ceux présentant les impacts négatifs les moins importants et ceux intégrant des prairies, les impacts les plus élevés. Les budgets-types construits permettent de fournir une approximation générale des impacts de l'adoption de pratiques culturales améliorées sur la rentabilité économique des entreprises, ce qui peut contribuer à identifier des indemnisations.

Mais indépendamment des impacts économiques, il est important de souligner que la conversion de systèmes agricoles reposant sur des cultures annuelles en cultures pérennes entraîne des bouleversements conséquents sur l'organisation du travail et sur les besoins en équipements, notamment du fait que les exploitations de grandes cultures ne sont plus équipées pour faire du foin. Par ailleurs, la culture du foin renvoie à un modèle agricole associé au passé et aux contraintes de travail liées à la production laitière qui a été abandonnée par leurs parents ou par eux-mêmes. Elle vient bousculer l'identité professionnelle dans laquelle les progrès accomplis riment avec l'abandon des prairies.

En appui au constat

Section du rapport : section 3.2, section 3.3, section 6.3.

Travaux de recherche : Tamini et al., 2023 ; Mundler et Guiraud, 2023 ; Ruiz et al., 2023a.

Constat 9

Les producteurs et productrices sont peu soutenus dans les premières étapes des processus d'adoption des pratiques culturales améliorées

Intégrer une pratique culturale améliorée dans un système d'exploitation individuel est un processus de changement comportemental, cognitif et affectif pour un producteur qui nécessite de nombreux efforts. Pour l'intégration des bandes pérennes et des cultures de couverture, il a été mis en évidence que les défis sociotechniques évoluent au cours des processus d'adoption. Les soutiens financiers pour des changements de pratiques et le conseil agronomique n'agissent surtout qu'en fin de processus d'adoption, quand le producteur ou la productrice a décidé de changer ses pratiques. Les producteurs et productrices sont donc peu soutenus dans les premiers stades des processus d'adoption de nouvelles pratiques.

En appui au constat

Section du rapport : section 3.3.

Travaux de recherche : Ruiz et al., 2023a, 2023b.

Constat 10

Les impacts du conseil agricole, pris au sens large, sur l'adoption de pratiques culturales améliorées dans le littoral sont limités.

Aujourd'hui, une diversité de conseillers et conseillères agricoles intervient auprès des producteurs et productrices agricoles. Ces conseillers et conseillères peuvent jouer des rôles multiples sur l'adoption de pratiques culturales améliorées par les producteurs et productrices agricoles, parfois complémentaires, parfois qui se dédoublent. Toutefois, les impacts de ces rôles sont globalement limités du fait du système dans lequel les conseillers et conseillères agricoles sont placés (ex. : système de financement, normes sociales), de relations interorganisationnelles difficiles aux pourtours du LSP, et d'un manque de connaissances spécifiques quant aux pratiques agricoles durables pour le littoral.

En appui au constat

Section du rapport : section 3.4.

Travaux de recherche : Ruiz et al., 2023b.

Constat 11

Une intervention gouvernementale en faveur de la réhabilitation du littoral serait légitime aux yeux de la population québécoise.

Le consentement à payer de la population québécoise pour des changements dans les pratiques agricoles au LSP qui amélioreraient son état environnemental est largement supérieur à la valeur de la production agricole et des terres cultivées dans le littoral. Ce résultat indique qu'une intervention publique en faveur de la réhabilitation du littoral serait donc légitime aux yeux de la population québécoise.

En appui au constat

Section du rapport : section 6.2.

Travaux de recherche : Kuimi Tchana et al., 2023.

Constat 12

Bien que le régime transitoire ait levé l'interdiction de la pratique de l'agriculture dans le littoral du lac Saint-Pierre sous certaines conditions, il complexifie la réhabilitation environnementale du lac Saint-Pierre et met à l'avant-plan des problèmes de dialogue et de gouvernance.

L'entrée en vigueur du régime transitoire, en mars 2022 a fait réagir le monde agricole : ses assises pratiques et scientifiques sont remises en cause et il est vécu comme un recul (perte) par les producteurs et productrices par rapport à la situation actuelle, et ce, même si le cadre légal passé interdisait la pratique de l'agriculture dans le littoral. La manière dont cette nouvelle réglementation a été élaborée, sans concertation avec le milieu, et la non-application du cadre légal passé expliquent ce sentiment de perte exprimé par les producteurs et productrices.

Dans ces conditions, le régime transitoire a modifié le rapport des producteurs et productrices à des changements de pratiques dans le littoral du LSP et a contribué à souder davantage le monde agricole autour de la contestation. Il fait en sorte que les demandes des producteurs et productrices pour les indemnisations sont plus fortes. De plus, il vient exacerber des sentiments, qui étaient déjà présents avant son entrée en vigueur, soit un sentiment de stigmatisation à l'effet que les producteurs et productrices se sentent pointés du doigt comme les seuls responsables du problème et un sentiment d'injustice alors que les producteurs et productrices situés en amont dans les bassins versants du littoral ne vivent pas les mêmes pressions pour des changements de pratiques.

Les acteurs territoriaux des mondes municipal et environnemental sont également sceptiques quant à la mise en œuvre de cette nouvelle réglementation. Ils relèvent qu'elle a provoqué l'arrêt des initiatives locales de réhabilitation en cours et qu'elle bloque de ce fait un momentum social d'engagement des acteurs du littoral en faveur de la réhabilitation qui avait commencé à émerger.

Méfiance envers l'action gouvernementale, stigmatisation, sentiment d'injustice et perte d'un momentum social d'engagement d'une diversité d'acteurs en émergence constituent des obstacles à surpasser pour la réhabilitation environnementale du LSP. Ces obstacles montrent que les problèmes de dialogue et de gouvernance multiniveaux (du local au national), multiorganisations et acteurs se complexifient.

En appui au constat

Section du rapport : section 3.3, section 6.1, section 6.4.

Travaux de recherche : Ruiz et al., 2023a ; Doyon et al., 2023 ; Dumarcher et al., 2024.

Constat 13

La réhabilitation du littoral du lac Saint-Pierre est freinée par l'absence d'une vision globale, d'un acteur légitime et par des obstacles institutionnels qui empêchent de créer une dynamique d'engagement des acteurs territoriaux.

Les cas étrangers de réhabilitation de plaines inondables ont montré des initiatives qui s'inscrivent sur le temps long, qui sont basées sur des approches concertées et au sein desquelles un succès en termes de collaboration est nécessaire à l'atteinte des objectifs de réhabilitation. Trois mécanismes interdépendants contribuent à enclencher une forme de cercle vertueux favorable à la mise en place et à la progression de ces initiatives. Ils ne constituent pas une garantie de réussite, mais leur absence pose des difficultés aux initiatives : (1) réussir à limiter la complexité du projet (ex. : prioriser des objectifs, réduire la taille du territoire d'intervention) ; (2) assurer la légitimité du projet et son support par un grand nombre d'acteurs différents ; (3) maintenir un dynamisme d'engagement des acteurs territoriaux. Les gouvernements jouent également un rôle majeur de soutien qui s'inscrit dans un dialogue avec les acteurs territoriaux.

Or, au LSP, l'enclenchement de ces trois mécanismes pose des difficultés. La réhabilitation du littoral prend aujourd'hui forme à travers des petits projets épars portés par divers acteurs et dont les résultats pour la réhabilitation ne sont pas connus. L'absence d'une vision à long terme et d'une stratégie plus globale pour le LSP fait en sorte que les acteurs peinent à s'inscrire dans un effort collectif. Pour le moment aucun organisme intervenant à l'échelle du lac ne semble légitime aux yeux de tous les acteurs pour porter cette vision et stratégie globale. Des obstacles liés à des modalités de financement, des lourdeurs administratives, des aspects légaux ou des sentiments d'incohérences interministérielles limitent la réalisation ou la portée de petits projets de réhabilitation. Parmi ces obstacles, l'absence de financement pour le suivi des retombées environnementales des projets est un problème, car elle empêche l'émergence d'une approche incrémentale cohérente dans laquelle les acteurs engagés pourraient sentir que leurs efforts portent fruit. Tous ces aspects nuisent globalement à la possibilité de créer une dynamique, un momentum d'engagement pour la réhabilitation du littoral.

En appui au constat

Section du rapport en appui au constat : section 6.5.

Travaux de recherche : Dumarcher et al., 2024

7.2

Les recommandations et propositions

Quatre recommandations et cinq propositions structurent la stratégie d'intervention pour une agriculture durable, adaptée et respectueuse de l'écosystème du LSP et soutenant la restauration de milieux prioritaires (**figure 7.1**). Les recommandations 1 à 4 fournissent une direction pour les actions à mettre en place. Elles peuvent être considérées comme des objectifs de gestion. Les propositions A à E proposent des éléments interdépendants pour un mode de gestion, c'est-à-dire des chemins à emprunter pour construire une stratégie qui contribuera à l'atteinte des objectifs.

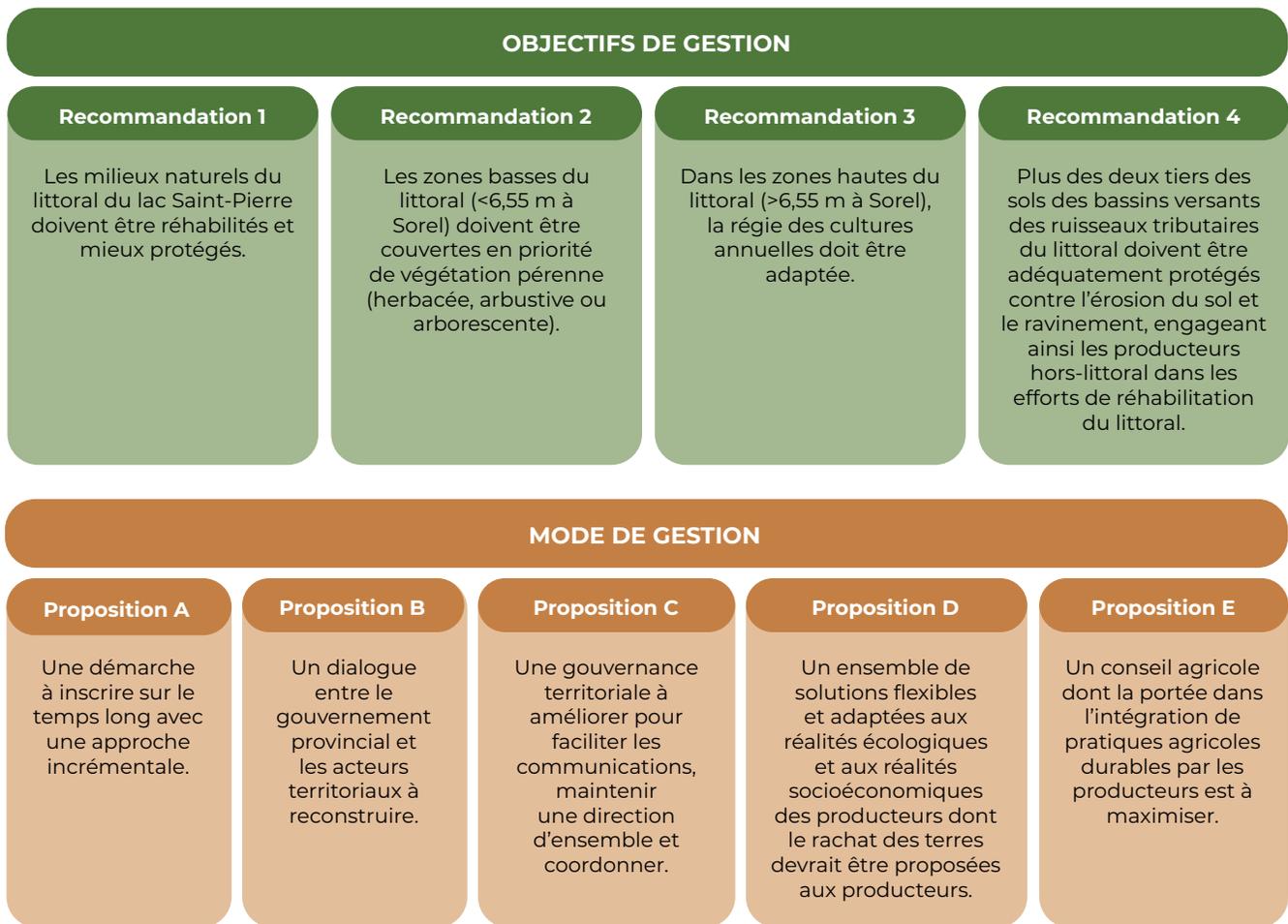


Figure 7.1

Les recommandations et propositions pour une stratégie d'intervention.

Recommandation 1

Les milieux naturels du littoral du lac Saint-Pierre doivent être réhabilités et mieux protégés.

Près de 3 800 ha d'habitats fauniques (cultures pérennes et milieux naturels) ont été modifiés dans le littoral depuis 1950, principalement au profit des cultures annuelles. Par ailleurs, il y a une vingtaine d'aménagements fauniques et de sites ayant un statut de protection dans le littoral. Il est primordial d'étendre ces efforts de conservation afin de mieux protéger les milieux naturels existants contre toutes nouvelles pressions, de réhabiliter les milieux dégradés et d'accroître la connectivité de ces milieux avec le fleuve. Une meilleure conservation des milieux humides permettrait de contribuer de façon significative aux objectifs du Cadre mondial de la biodiversité de Kunming-Montréal adopté lors de la 15e Conférence des Parties à la Convention des Nations unies sur la diversité biologique (COP15), auquel le Gouvernement du Québec a adhéré, notamment par la mise en place du Plan Nature 2023.

Recommandation 2

Les zones basses du littoral (<6,55 m à Sorel) doivent être couvertes en priorité de végétation pérenne (herbacée, arbustive ou arborescente).

Les zones basses du littoral (<6,55 m à Sorel) sont à la fois les plus productives d'un point de vue écosystémique et les moins productives d'un point de vue agronomique, particulièrement les années de moyennes et fortes crues. Afin de réhabiliter les fonctions écosystémiques du LSP, les zones basses du littoral doivent en priorité être occupées par de la végétation pérenne. Celle-ci peut prendre différentes formes, par exemple des forêts ou des marécages, des prairies naturelles, des prairies cultivées (avec une seule coupe et sans intrants), de la sylviculture, ou toute autre forme de culture permettant le maintien d'une végétation permanente d'une hauteur (>50cm) et d'une densité suffisantes à l'automne et n'utilisant pas d'intrants agricoles.

Le Pôle propose une classification des champs qui tient compte de la récurrence des crues, afin de prioriser les interventions visant la réhabilitation des zones basses du littoral. La classification proposée vise à servir de guide afin de soutenir les efforts de réhabilitation, en permettant de cibler et prioriser les secteurs ayant le meilleur potentiel pour la réhabilitation des écosystèmes. Les initiatives en ce sens pourraient être variées, dans le temps et selon les secteurs. Dans tous les cas, les interventions devront être mises en œuvre progressivement en fonction des réalités locales, en tenant compte du fait que la diversité du paysage dans le littoral est souhaitable, puisque celle-ci favorise une plus grande biodiversité.

Recommandation 3

Dans les zones hautes du littoral (>6,55 m à Sorel), la régie des cultures annuelles doit être adaptée.

Dans les zones hautes du littoral (>6,55 m à Sorel), les pratiques agroenvironnementales à privilégier pour la culture de maïs sont le travail de sol au printemps après la crue, contrairement à un travail de sol à l'automne, et l'implantation de ray-grass annuel ou de mélanges multiespèces en intercalaire. Pour la culture du soya, il s'agit d'implanter du trèfle blanc ou du lotier en intercalaire, les deux espèces les mieux adaptées au contexte particulier du littoral du LSP. Dans les cultures du maïs et du soya, l'utilisation de semences traitées contre les ravageurs des semis n'est justifiée que dans les cas où le dépistage démontre leur utilité. Enfin, il est nécessaire de maintenir un paysage diversifié dans les zones hautes du littoral, composé d'une mosaïque de milieux naturels, de prairies cultivées, de cultures annuelles en régie améliorée et de bandes pérennes élargies.

Recommandation 4

Plus des deux tiers des sols des bassins versants des ruisseaux tributaires du littoral doivent être adéquatement protégés contre l'érosion du sol et le ravinement, engageant ainsi les producteurs et productrices hors-littoral dans les efforts de réhabilitation du littoral.

Cette recommandation vise plus d'une centaine de bassins versants de petits cours d'eau se déversant directement dans le littoral du LSP. Ces bassins ont un impact négatif important sur la qualité de l'eau du littoral, en raison notamment de l'érosion des sols agricoles et du ravinement. Afin de réduire cet impact, il est proposé de traiter de façon séparée les parcelles agricoles situées sur les plateaux de part et d'autre du LSP, où les pentes sont faibles ou nulles, et les zones en pente à proximité des cours d'eau. Dans le cas des plateaux, il est recommandé de favoriser les cultures de couverture et le respect des bandes végétalisées, afin de réduire l'érosion des sols agricoles et des berges le long des fossés et des cours d'eau. Dans les zones en pente à proximité des cours d'eau, une cartographie est proposée afin de prioriser les interventions visant la réhabilitation des corridors riverains et l'amélioration de la qualité de l'eau des ruisseaux et du littoral. Les moyens proposés dans ces zones sont notamment la revégétalisation (prairies, bandes pérennes élargies) et la conservation de milieux naturels.

Cette recommandation fait écho à l'un des objectifs du Plan d'agriculture durable du gouvernement du Québec qui prévoit que d'ici 2030, 75 % des superficies cultivées seront couvertes en hiver par des cultures ou par des résidus de cultures et un doublement des superficies agricoles aménagées (bandes végétalisées élargies et haies brise-vent) favorables à la biodiversité. Toutefois, les résidus de culture sont souvent insuffisants pour protéger les sols l'hiver (particulièrement dans le cas du soya pratique culturale conventionnelle). Il est donc essentiel de mettre davantage l'accent sur les cultures de couverture et l'élargissement des bandes végétalisées et des corridors boisés le long des cours d'eau.

Engager les producteurs et productrices des bassins versants des ruisseaux tributaires du littoral dans un effort de réhabilitation est essentiel pour stimuler l'engagement des producteurs et productrices du littoral. Une synergie des efforts et la simultanéité des interventions en zone littorale et en amont, particulièrement pour les bassins versants les plus contributifs, sont fondamentales. Un sentiment d'injustice est vécu par les producteurs et productrices du littoral qui jugent qu'ils ne sont pas les seuls producteurs et productrices à contribuer au problème environnemental. De même, une intervention dans les bassins versants des ruisseaux tributaires est jugée plus cohérente par les conseillers et conseillères agricoles et faciliterait leur capacité à stimuler l'engagement des producteurs et productrices du littoral dans des actions de réhabilitation. Au plan de la gouvernance enfin, des actions de réhabilitation des bassins versants des ruisseaux tributaires assureraient une plus grande justice et solidarité et auraient des impacts sur la collaboration globale en faveur de la réhabilitation. Pour ce faire, la mise sur pied de projet collectif par bassin versant, la constitution de groupes de pairs gratuits pour les producteurs et productrices, l'aide financière, les initiatives permettant de rendre visible les problèmes dans les zones amont aux producteurs et productrices sont autant de pistes à développer selon les contextes.

Proposition A

Une démarche à inscrire sur le temps long avec une approche incrémentale.

Les recommandations 1 à 4 pointent les directions à atteindre pour la réhabilitation environnementale du littoral du LSP. De telles directions auront des impacts financiers sur les exploitations agricoles et demanderont des efforts comportementaux, cognitifs et affectifs pour les producteurs et productrices. Dans ce contexte, la réhabilitation environnementale du littoral du LSP mériterait de s'inscrire sur le temps long. Une approche incrémentale avec plusieurs objectifs modestes et des échéances fréquentes et régulières semble alors plus appropriée qu'un grand projet magistral avec un objectif ambitieux. En « découpant » les objectifs globaux en plus petits objectifs, plus concrets et plus pratiques, et en étapes plus modestes, il est plus aisé de maintenir la progression et l'engagement des acteurs.

Proposition B

Un dialogue entre le gouvernement provincial et les acteurs territoriaux à reconstruire.

Les contestations du régime transitoire par le monde agricole et les effets qui lui sont associés par divers autres acteurs mettent à l'avant-plan des enjeux pour la réhabilitation du littoral un problème de dialogue entre le gouvernement provincial et les acteurs territoriaux. Or, il a été montré que dans les cas internationaux de réhabilitation tout aussi complexes que celui du LSP, un dialogue et une confiance minimale mutuelle entre les acteurs gouvernementaux et territoriaux sont importants au succès de la collaboration territoriale. Un gouvernement flexible et accompagnateur, qui fournit une direction d'ensemble dans laquelle inscrire des projets locaux, joue un rôle moteur. Au LSP, un travail de cadrage du problème reste à poursuivre entre les acteurs territoriaux et il n'y a pas d'acteur agissant à l'échelle de l'ensemble du lac suffisamment légitime et dans une posture qui lui permettrait de porter ce travail. Enfin, une réglementation qui n'est pas établie avec un consensus social minimal peut avoir des effets pervers et ne pas jouer son rôle de solution potentielle (ex. : intensification de l'utilisation des terres et des pratiques agricoles dans les zones non réglementées, refus des producteurs et productrices dans les zones réglementées d'aller au-delà des normes réglementaires).

Ainsi, la reconstruction du dialogue entre le gouvernement et les divers acteurs du LSP apparaît comme un premier pas nécessaire (ex. : consultation régionale). Par exemple, une communication des bénéfices que le gouvernement pourrait associer au régime transitoire autant qu'un échange autour des résultats du Pôle pourraient constituer une opportunité d'être à l'écoute des acteurs territoriaux de manière à construire une direction à donner adaptée aux contextes locaux. Cela permettrait de définir, dans un second temps, les solutions (voir proposition D).

Proposition C

Une gouvernance territoriale à améliorer pour faciliter les communications, maintenir une direction d'ensemble et coordonner.

La réhabilitation du LSP fait face à des défis de gouvernance territoriale qui se traduisent notamment par un manque de vision globale et par un manque de dialogue entre le monde agricole et les autres secteurs qui ont aussi des impacts sur l'état écologique du LSP comme le développement urbain, la voie maritime, les obus de la Défense nationale, etc. Le mode de concertation qui prévaut à l'échelle du lac, bien qu'il mobilise de nombreux acteurs et a fait de nombreuses avancées, ne réussit pas à assurer une communication et la coordination entre tous les acteurs. Les acteurs territoriaux ont également le sentiment de vivre des incohérences interministérielles et soulèvent que les complexités administratives

limitent leur engagement et leurs actions. Les difficultés à montrer les retombées environnementales concrètes des actions de réhabilitation, que les acteurs territoriaux associent à un manque de financement pour des suivis environnementaux, diminuent la mobilisation des acteurs. L'analyse des cas internationaux de réhabilitation de plaines inondables a quant à elle fait ressortir l'importance d'une organisation ou d'un système de gouvernance réunissant plusieurs organisations, solide, légitime, avec des ressources et une capacité de mise en œuvre appropriée pour supporter une initiative concertée qui se déroule chaque fois sur le temps long.

Les travaux réalisés sur la gouvernance de la réhabilitation environnementale du LSP ont mis de l'avant la pertinence de mettre en place un système de gouvernance plutôt qu'une seule organisation. Le scénario le plus prometteur aux yeux des acteurs territoriaux est constitué d'un réseau de comités locaux coordonnés par une organisation légitime, avec des ressources et une capacité de mise en œuvre appropriée (principalement un pouvoir décisionnel et une capacité à gérer des fonds), et qui puisse assurer des liens entre le terrain et ce qu'il se passe au niveau ministériel. Plus spécifiquement, ce système pourrait être constitué de :

- Un comité ou une organisation interministérielle gérant une enveloppe financière dédiée pour des actions au LSP et pour le suivi des retombées de ces actions, et assurant le maintien d'une direction d'ensemble et une coordination globale. Une telle structure ne doublerait pas celle en place sous forme de table de concertation régionale, mais la compléterait en proposant de rendre visible et accessible l'implication interministérielle à un haut niveau décisionnel.
- Une table de concertation régionale pouvant réunir des représentants sectoriels et ceux des comités locaux et pouvant animer de manière régulière un dialogue régional ; à l'image de la manière dont cela a été fait par l'actuelle table de concertation régionale.
- Un réseau de comités locaux ayant pour mandat de coordonner les actions locales, et de faire le lien entre la table de concertation régionale, le comité interministériel et le local. Ces comités locaux gagneraient à intégrer les conseillers et conseillères agricoles travaillant dans les diverses organisations publiques, parapubliques et privées.
- Un comité scientifique indépendant réunissant des chercheurs et chercheuses en sciences naturelles et en sciences humaines qui pourrait contribuer à répondre selon les besoins à des questions que les acteurs se posent sur la base de la connaissance scientifique existante (ex. : indicateurs de suivi de la réhabilitation) ou lancer des appels à projets de recherche.

Proposition D

Un ensemble de solutions flexibles et adaptées aux réalités écologiques et aux réalités socioéconomiques des producteurs et productrices dont le rachat des terres devrait être proposé aux producteurs et productrices.

Les réalités des producteurs et productrices et de leur système d'exploitation individuel autant que les réalités écologiques et hydrologiques du littoral sont multiples. Cela fait en sorte qu'une solution manquant de flexibilité comme une réglementation qui imposerait la présence d'une végétation pérenne dans les zones basses dans un délai temporel court (ex. : 2 ans) ferait face à de nombreuses résistances, incompréhensions et découragements. Elle risquerait d'entraîner des effets pervers comme une intensification de l'utilisation et des pratiques agricoles dans les zones non réglementées, ce qui pourrait venir contrecarrer les efforts réalisés ailleurs.

Les recommandations 1 à 4 proposent des directions, tels des objectifs à viser sur le long terme, mais les solutions pour aller progressivement dans ces directions devraient être discutées localement, par sous-région, et individuellement avec les producteurs et productrices, pour trouver des solutions adaptables aux réalités écologiques et aux réalités socioéconomiques des producteurs et productrices. Ces sous-régions pourraient ne pas être les mêmes d'un secteur à l'autre du LSP dépendant des dynamiques

d'acteurs en place. Un ensemble de solutions, comme le rachat de terres sur une base volontaire, les aides financières, la mise sur pied de groupes de pairs pour des pratiques agricoles plus difficiles à maîtriser, etc., devrait être proposé. Ces discussions locales et individuelles ne devraient pas forcément viser immédiatement un optimum écologique, mais elles devraient viser à fixer des objectifs réalistes sur le court terme et le développement d'une vision locale qui contribue à l'atteinte d'objectifs globaux clairement formulés et pris en charge au sein de la gouvernance territoriale.

Proposition E

Un conseil agricole dont la portée dans l'intégration de pratiques agricoles durables par les producteurs et productrices est à maximiser.

Les impacts du système de conseil agricole sont limités pour soutenir les producteurs et productrices dans l'intégration de pratiques agricoles durables. La majorité du conseil agricole agit quand le producteur ou la productrice a décidé de changer ses pratiques agricoles et qu'il exprime un besoin d'accompagnement technique. Cet accompagnement technique est difficile dans le littoral aux yeux des conseillers et conseillères qui expriment un besoin de plus de connaissances fines sur les pratiques agricoles à privilégier et leurs effets bénéfiques sur l'environnement pour se sentir en confiance de délivrer un conseil de qualité. Le conseil directif et individualisé est le plus répandu, ce qui limite l'apprentissage autonome des producteurs et productrices et la création de dynamique sociale locale entre producteurs et productrices autour des changements de pratiques. Des tensions et concurrences entre les organismes de conseil font qu'ils ne s'appuient pas l'un sur l'autre pour résoudre des problèmes.

Du fait de la proximité existante entre producteurs et conseillers agricoles, maximiser les impacts du conseil agricole dans l'intégration de pratiques agricoles durables aux pourtours du LSP est une voie à privilégier. Deux niveaux d'actions peuvent être envisagés.

À l'échelle du LSP :

- impliquer les conseillers issus de diverses organisations dans les comités locaux suggérés à la proposition C, pour faciliter les relations inter-organisationnelles ;
- développer une plate-forme de partage des résultats des essais agronomiques réalisés aux pourtours du LSP qui soit accessible à tous les conseillers, pour répondre aux besoins de connaissances spécifiques ;
- soutenir et stimuler des pratiques de conseils de groupe gratuites qui favorisent un apprentissage par les pairs entre les producteurs agricoles, pour accompagner les producteurs en amont de leur décision de changer leurs pratiques agricoles.

À l'échelle provinciale, des facteurs structurels (ex. : financements, normes sociales et professionnelles) agissent de manière plus systémique pour expliquer les impacts limités du conseil agricole pour soutenir les producteurs dans l'intégration de pratiques agricoles durables. Il importe de s'y pencher de manière plus approfondie afin que le conseil agricole puisse être un moteur vers une agriculture durable.





08

Suivis et pistes
de recherche

La mise en place du Pôle a permis à une équipe multidisciplinaire de chercheurs et chercheuses et de chercheurs de débiter une analyse systémique du socioécosystème complexe que constitue le LSP. De telles analyses sont encore rares et pourtant elles sont clairement identifiées dans la littérature scientifique comme d'une importance capitale pour améliorer la compréhension des socioécosystèmes et leur gestion. Des sites qui permettent des investigations interdisciplinaires sur le long terme sont aussi très peu nombreux à l'échelle internationale. Sur ce plan, il semble que le LSP pourrait constituer un site d'envergure dédié à l'analyse des socioécosystèmes sur le temps long pour le Québec. Des recherches scientifiques intégrées devraient donc être encouragées et poursuivies sur ce site.

Dans le cadre des travaux du Pôle, plus de 40 espèces potentielles de cultures de couverture, de plantes fourragères et de cultures alternatives ont été testées. Malgré tout, d'autres types de productions agricoles ou sylvicoles, ou d'autres pratiques culturales améliorées adaptées au littoral pourraient faire l'objet d'études plus approfondies, notamment des cultures avec un succès d'implantation élevé (faible variabilité) et couvrant les sols au printemps. Des essais de cultures pérennes (tel qu'évoqué dans la Recommandation 2) sont à prioriser, tels que les haies agroforestières, les cultures pérennes énergétiques et les systèmes avec couverts végétaux permanents. Des essais en régie biologique ou à faibles niveaux d'intrants susceptibles de contribuer à l'amélioration de la qualité de l'eau seraient également à explorer. Enfin, l'acériculture de l'érable argenté pourrait également être une option à étudier.

Les quatre années de recherche et d'expérimentation en zone littorale ont permis de développer de nouvelles connaissances sur les conditions de succès ou d'échec d'implantation de pratiques agroenvironnementales. Ces connaissances sont fondamentales pour accompagner et amener les producteurs et productrices à adopter ces pratiques. La poursuite des efforts afin de développer des techniques optimales d'implantation de prairies (type de travail du sol ou de semoir, espèces, taux de semis, etc.), de bandes herbacées par exemple par colonisation spontanée ou par l'établissement de bandes diversifiées (par rhizomes ou semences, et avec l'utilisation de paillis ou autres modes de contrôle des niches de régénération) et de cultures de couverture s'avère essentielle. À ce titre, cinq projets supplémentaires ont été initiés en 2022 et sont toujours en cours, l'un portant sur l'évaluation de plantes-abris pour optimiser l'implantation de plantes fourragères pérennes, l'autre sur des bandes arbustives le long des fossés et cours d'eau à l'aide de plants en multicellules et boutures. Trois autres projets proposent des solutions variées de mise en marché des prairies (deux études sur l'alimentation du bovin de boucherie et des chevaux et une sur la faisabilité de mettre en place une démarche menant à une appellation réservée). De plus, plusieurs projets ont été menés en parallèle des travaux du Pôle, dont le projet de cohabitation agriculture-faune en zone littorale du lac Saint-Pierre (UPA), l'initiative des Laboratoires vivants au Québec (AAC) et l'étude du potentiel de fertilité des sols agricoles du littoral du LSP (IRDA).

Un suivi à moyen et long terme des écosystèmes du littoral doit également être poursuivi, notamment afin d'évaluer l'effet à long terme des cultures de couverture sur la santé des sols, le délai nécessaire pour rétablir les services écosystémiques dans les nouvelles prairies et l'impact faunique des bandes végétatives présentes le long des fossés et cours d'eau du littoral. Le suivi pourrait être réalisé à partir d'un nombre réduit d'indicateurs, notamment ceux identifiés aux sections 4.6 et 4.8.

Au plan socioéconomique, les travaux de recherche ont mis en évidence diverses incohérences dans la gestion publique qui cumulativement ont tendance à créer des irréversibilités. Une meilleure compréhension de la manière dont ces incohérences dans la gestion publique se produisent mériterait de faire l'objet de travaux de recherche. La possibilité d'avoir des programmes, des incitatifs ou des indemnités qui sont capables de créer des solidarités entre les zones aval dégradées et les zones amont qui contribuent à la dégradation environnementale a été mise en évidence dans l'analyse des cas étrangers. Les formes plus précises que peuvent prendre ces mesures mériteraient d'être documentées pour le cas du LSP. Au plan de l'adoption individuelle, des études longitudinales qui suivent les producteurs et productrices tout au cours des processus d'adoption sont encore largement manquantes. Pourtant, elles permettraient d'aboutir à une compréhension plus fine de la manière dont les déterminants de l'adoption agissent à différents moments des processus. Les travaux du Pôle auront également permis d'améliorer les connaissances sur le système de conseil agricole qui était auparavant peu nombreuses au Québec, mais beaucoup d'autres recherches sur le conseil agricole mériteraient d'être poursuivies : des recherches ethnographiques permettant de documenter la finesse des pratiques de conseil et d'accompagner la formation des conseillers et conseillères agricoles, des recherches sur les retombées, freins et facilitateurs des différentes initiatives d'accompagnement au changement des producteurs et productrices qui se mettent en place avec des approches participatives. Enfin, un suivi du diagnostic de gouvernance pour la réhabilitation du LSP mériterait d'être effectué, car, dans le domaine de la gouvernance environnementale, les études longitudinales sont également manquantes.

La poursuite de la recherche est nécessaire, mais ne doit toutefois pas être un prétexte pour limiter ou reporter les interventions de réhabilitation sur le terrain. Les connaissances acquises dans le cadre des travaux du Pôle ont permis de proposer des outils permettant d'engager la réhabilitation du LSP, en ciblant les secteurs prioritaires, en identifiant une gamme d'interventions possibles et en proposant des stratégies adaptées en fonction des réalités locales et régionales pour favoriser la mise en place d'une agriculture durable dans le littoral du LSP. Malgré le besoin de poursuivre les travaux de recherche, le statu quo ne peut être maintenu. Il est nécessaire d'engager dès maintenant les acteurs du littoral afin de rétablir les fonctions écologiques de la plus vaste plaine inondable en eau douce du Québec.

Références

Section 1

Bendwell et Associés Itée. 1985. Détermination de l'abondance du zooplancton dans le lac Saint-Pierre pour la période de crue printanière de 1984. Gouvernement du Québec. Rapport d'étude préparé pour le ministère du Loisir, de la Chasse et de la Pêche du Québec, Direction régionale de Trois-Rivières, Trois-Rivières, 57 p.

Blanchard, R. 1936. Études canadiennes (Deuxième série) : La région du fleuve Saint-Laurent entre Québec et Montréal. *Revue de Géographie Alpine*, 1-189

De la Chenelière V., Brodeur, P. & Mingelbier M. 2014. Restauration des habitats du lac Saint-Pierre : un prérequis au rétablissement de la perchaude. *Le Naturaliste canadien*, 138 (2). 50-61.

Drapeau, P., et al. 2019. Changement d'habitat et de répartition des oiseaux nicheurs d'un atlas à l'autre, p. 35-55. Dans : Robert, M., et al. (édit.). Deuxième atlas des oiseaux nicheurs du Québec méridional Regroupement QuébecOiseaux. Service canadien de la faune (Environnement et Changement climatique Canada) et Études d'Oiseaux Canada, Montréal, xxv + 694 p.

Farly, L, Hudon, C., Cattaneo et Cabana, G. 2021. Hydrological control of a floodplain subsidy to littoral riverine fish. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 78 (12).

Foubert, A., et al. 2020. How intensive agricultural practices and flow regulation are threatening fish spawning habitats and their connectivity in the St. Lawrence River floodplain, Canada. *Landscape Ecology*, 35 :1229-1247.

Jean, M. et G. Létourneau. 2011. Changements dans les milieux humides du fleuve Saint-Laurent de 1970 à 2002, Environnement Canada, Direction générale des sciences et de la technologie, Monitoring et surveillance de la qualité de l'eau au Québec, Rapport technique numéro 511, 302 p.

Jobin, B., L. Gratton, M.-J. Côté, O. Pfister, D. Lachance, M. Mingelbier, D. Blais, A. Blais et D. Leclair. 2019. Atlas des territoires d'intérêt pour la conservation dans les Basses-terres du Saint-Laurent — Rapport méthodologique version 2, incluant la région de l'Outaouais. Environnement et Changement climatique Canada, ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs. Plan d'action Saint Laurent, Québec, 170 p.

Jobin, B. & Brodeur P., 2023. Changements de l'occupation du sol de la plaine inondable du lac Saint-Pierre de 1950 à 2016 et perspectives pour la restauration des milieux naturels. *Le Naturaliste canadien*, 147 (2) : 14-26.

Magnan, P., et al. 2017. État du stock de perchaudes du lac Saint-Pierre en 2016. Comité scientifique sur la gestion de la perchaude du lac Saint-Pierre. Chaire de recherche du Canada en écologie des eaux douces, Université du Québec à Trois-Rivières et ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, vii + 34 p. + ann.

Magnan, P., et al. 2022. État du stock de perchaudes du lac Saint-Pierre et du secteur pont Laviolette-Saint-Pierre-les-Becquets en 2021. Comité scientifique sur la gestion de la perchaude du lac Saint-Pierre. Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, iv + 49 p. et ann.

Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC), 2022. Stratégie d'intervention pour l'avenir du lac Saint-Pierre. Disponible en ligne à : <https://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/lac-st-pierre/>

Ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs (MDDEFP), 2013. Le lac Saint-Pierre : un joyau à restaurer. Ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs, Québec, 28 p.

Paquin, É. & Brodeur, P. 2021. Développement d'un protocole d'échantillonnage d'œufs de grand brochet au filet troubleau dans la plaine inondable du lac Saint-Pierre au printemps 2018. Gouvernement du Québec, ministère des Forêts de la Faune et des Parcs, 12 p. et ann.

Paquin, É., P., et al. 2018. Synthèse de l'état de situation des espèces de poissons d'intérêt sportif au lac Saint-Pierre en 2016. Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, Direction de la gestion de la faune de la Mauricie et du Centre-du-Québec, Trois-Rivières, 4 p.

SOLÉCO Consultants inc., 1983. Analyse et interprétation d'échantillons de benthos et de zooplancton récoltés dans divers habitats de la plaine d'inondation du lac Saint-Pierre. Rapport d'étude, gouvernement du Québec, ministère du Loisir, de la Chasse et de la Pêche, 54 p.

Table de concertation régionale du lac Saint-Pierre (TCRLSP), 2019. Cohabitation agriculture-faune en zone littorale au lac Saint-Pierre. Fiche Synthèse, 28 p. et ann.

Section 2

Bourgeois, B., et al. 2023. Pratiques agroécologiques durables, apport de services écosystémiques et perspectives pour la réhabilitation des plaines inondables cultivées. Pôle d'expertise multidisciplinaire pour la gestion durable du littoral du lac Saint-Pierre, Université Laval, Québec. Disponible en ligne à : <https://belsp.uqtr.ca/id/eprint/1475>).

Gravel, V., et al. 2023a. Potentiel agronomique et environnemental de cultures alternatives cultivées en zones littorales du lac Saint-Pierre. Dans. Campeau, S., Ruiz, J. & Halde.C. (Coord.). Rapport final 2019-2023 des recherches du Pôle d'expertise multidisciplinaire en gestion durable du littoral du lac Saint-Pierre. Université du Québec à Trois-Rivières, Université Laval, Université McGill.

Gravel, V., et al. 2023 b. Phytoprotection dans le contexte de la zone littorale du lac Saint-Pierre : développement d'une gestion raisonnée des ravageurs des semis Dans. Campeau, S., Ruiz, J. & Halde.C. (Coord.). Rapport final 2019-2023 des recherches du Pôle d'expertise multidisciplinaire en gestion durable du littoral du lac Saint-Pierre. Université du Québec à Trois-Rivières, Université Laval, Université McGill.

Halde, C., et al. 2023. Adaptation et performance agronomique des cultures de couverture en intercalaire et en pleine saison adaptées pour la zone du littoral du lac Saint-Pierre. Dans. Campeau, S., Ruiz, J. & Halde.C. (Coord.). Rapport final 2019-2023 des recherches du Pôle d'expertise multidisciplinaire en gestion durable du littoral du lac Saint-Pierre. Université du Québec à Trois-Rivières, Université Laval, Université McGill

Poulin, M., et al. 2023. Développer des méthodes d'aménagement de fossés végétalisés dans la zone littorale du lac Saint-Pierre. Dans. Campeau, S., Ruiz, J. & Halde.C. (Coord.). Rapport final 2019-2023 des recherches du Pôle d'expertise multidisciplinaire en gestion durable du littoral du lac Saint-Pierre. Université du Québec à Trois-Rivières, Université Laval, Université McGill.

Seguin, P., et al. 2023. Potentiel des plantes fourragères comme cultures dans les zones littorales du lac Saint-Pierre. Dans. Campeau, S., Ruiz, J. & Halde.C. (Coord.). Rapport final 2019-2023 des recherches du Pôle d'expertise multidisciplinaire en gestion durable du littoral du lac Saint-Pierre. Université du Québec à Trois-Rivières, Université Laval, Université McGill

Vanasse, A., Bourgeois, B., et al. 2023. Comparaison de systèmes cultureux de grandes cultures dans quatre secteurs de la zone littorale du lac Saint-Pierre. Dans. Campeau, S., Ruiz, J. & Halde.C. (Coord.). Rapport final 2019-2023 des recherches du Pôle d'expertise multidisciplinaire en gestion durable du littoral du lac Saint-Pierre. Université du Québec à Trois-Rivières, Université Laval, Université McGill

Section 3

Dumont, A., Ruiz, J., Campeau, S., 2023. The integration of agri-environmental practices as a process of affective, cognitive and behavioural change among farmers. *Soumis, Journal of Rural Studies*, 50 p.

Mundler, P., Guiraud N., 2023. Évaluer les coûts-bénéfices de scénarios d'occupation du sol. Dans. Campeau, S., Ruiz, J. & Halde.C. (Coord.). Rapport final 2019-2023 des recherches du Pôle d'expertise multidisciplinaire en gestion durable du littoral du lac Saint-Pierre. Université du Québec à Trois-Rivières, Université Laval, Université McGill.

Ruiz, J., et al. 2023a. Les agriculteurs et agricultrices face aux changements de pratiques agricoles, quel potentiel au lac Saint-Pierre ? Dans. Campeau, S., Ruiz, J. & Halde.C. (Coord.). Rapport final 2019-2023 des recherches du Pôle d'expertise multidisciplinaire en gestion durable du littoral du lac Saint-Pierre. Université du Québec à Trois-Rivières, Université Laval, Université McGill.

Ruiz, J., et al. 2023 b. Le conseil agroenvironnemental et les conseillers et conseillères agricoles au lac saint-pierre : quels rôles dans la réhabilitation du littoral ? Dans Campeau, S., Ruiz, J. & Halde, C. (Coord.). Rapport final 2019-2023 des recherches du Pôle d'expertise multidisciplinaire en gestion durable du littoral du lac Saint-Pierre. Université du Québec à Trois-Rivières, Université Laval, Université McGill

Tamini, L. D. 2008. Synthèse des approches méthodologiques utilisées pour l'évaluation économique des meilleures pratiques à l'échelle des exploitations agricoles. Rapport déposé au MAPAQ, 40 p.

Tamini, L. D., Leriche, P. & Djaman, S. D. 2023. Pratiques agricoles améliorées — évaluation coûts-bénéfices à l'échelle des exploitations agricoles du littoral du lac saint-pierre — le cas des grandes cultures. Dans Campeau, S., Ruiz, J. & Halde, C. (Coord.). Rapport final 2019-2023 des recherches du Pôle d'expertise multidisciplinaire en gestion durable du littoral du lac Saint-Pierre. Université du Québec à Trois-Rivières, Université Laval, Université McGill

Tigner, R. 2018. Partial Budgeting: A Tool to Analyze Farm Business Changes. *Ag Decision Maker* (File C1-50). Iowa State University. Disponible en ligne à : <https://www.extension.iastate.edu/agdm/wholefarm/pdf/c1-50.pdf>

Section 4

Avolio, M. L., et al. 2019. Demystifying dominant species. *New Phytologist*, 223 (3), 1106–1126.

Bertolo, A., et al. 2023. 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. Dans. Campeau, S., Ruiz, J. & Halde.C. (Coord.). Rapport final 2019-2023 des recherches du Pôle d'expertise multidisciplinaire en gestion durable du littoral du lac Saint-Pierre. Université du Québec à Trois-Rivières, Université Laval, Université McGill.

Borja, A., et al. 2008. Overview of integrative tools and methods in assessing ecological integrity in estuarine and coastal systems worldwide. *Mar. Pollut. Bull.* 56, 1519–1537.

Bourgeois, B., et al. 2023. Pratiques agroécologiques durables, apport de services écosystémiques et perspectives pour la réhabilitation des plaines inondables cultivées. Pôle d'expertise multidisciplinaire pour la gestion durable du littoral du lac Saint-Pierre, Université Laval, Québec. Disponible en ligne à : <https://belsp.uqtr.ca/id/eprint/1475>).

Cabana, G., et al. 2023. Effets des cultures et pratiques agricoles existantes sur la croissance et la condition physiologique des larves de perchaude et la taille et l'abondance du zooplancton de la zone littorale du lac Saint-Pierre. Dans. Campeau, S., Ruiz, J. & Halde.C. (Coord.). Rapport final 2019-2023 des recherches du Pôle d'expertise multidisciplinaire en gestion durable du littoral du lac Saint-Pierre. Université du Québec à Trois-Rivières, Université Laval, Université McGill

Campeau, S., et al. 2023. Cartographie des patrons d'écoulement dans la zone littorale du lac Saint-Pierre. Dans. Campeau, S., Ruiz, J. & Halde.C. (Coord.). Rapport final 2019-2023 des recherches du Pôle

d'expertise multidisciplinaire en gestion durable du littoral du lac Saint-Pierre. Université du Québec à Trois-Rivières, Université Laval, Université McGill.

Carignan, V., & Villard, M. A. 2002. Selecting indicator species to monitor ecological integrity: a review. *Environmental monitoring and assessment*, 78, 45–61.

Clapcott, J., et al. 2012. Quantifying relationships between land-use gradients and structural and functional indicators of stream ecological integrity. *Freshw. Biol.* 57, 74–90.

Crews, T. E., Carton, W. & Olsson, L. 2018. Is the future of agriculture perennial? Imperatives and opportunities to reinvent agriculture by shifting from annual monocultures to perennial polycultures, *Glob. Sustain.* 1, e11.

Davies, S. P. & Jackson, S. K. 2006. The biological condition gradient: a descriptive model for interpreting change in aquatic ecosystems, *Ecol. Appl.* 16, 1251–1266.

De Baan, L., Alkemade, R. & Koellner, T. 2013. Land use impacts on biodiversity in LCA: a global approach. *Int. J. Life Cycle Assess.* 18, 1216–1230.

De Cáceres, M. D. & Legendre, P. 2009. Associations between species and groups of sites: indices and statistical inference. *Ecology*, 90(12), 3566–3574.

De Cáceres, M., Legendre, P. & Moretti, M. 2010. Improving indicator species analysis by combining groups of sites. *Oikos*, 119 (10), 1674–1684.

Foley, J. A., et al. 2005. Global consequences of land use. *Science*. 309(5734), 570–574.

Fugère, V., et al. 2023. Utiliser l'ADN environnemental du sol pour évaluer l'impact des pratiques agricoles sur la biodiversité du littoral du lac Saint-Pierre. Dans. Campeau, S., Ruiz, J. & Halde.C. (Coord.). Rapport final 2019-2023 des recherches du Pôle d'expertise multidisciplinaire en gestion durable du littoral du lac Saint-Pierre. Université du Québec à Trois-Rivières, Université Laval, Université McGill.

Guillemette, F., et al. 2023. Effets des pratiques agricoles sur la production primaire à la base du réseau trophique aquatique dans le littoral du lac Saint-Pierre. Dans. Campeau, S., Ruiz, J. & Halde.C. (Coord.). Rapport final 2019-2023 des recherches du Pôle d'expertise multidisciplinaire en gestion durable du littoral du lac Saint-Pierre. Université du Québec à Trois-Rivières, Université Laval, Université McGill

Head, J., et al. 2023. 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. Dans. Campeau, S., Ruiz, J. & Halde.C. (Coord.). Rapport final 2019-2023 des recherches du Pôle d'expertise multidisciplinaire en gestion durable du littoral du lac Saint-Pierre. Université du Québec à Trois-Rivières, Université Laval, Université McGill.

Jones, C. G., Lawton, J. H. & Shachak, M. 1994. Organisms as ecosystem engineers. *Oikos*, 373–386.

Levine, U. Y., et al. 2011. Agriculture's impact on microbial diversity and associated fluxes of carbon dioxide and methane, *ISME J.* 5(10), 1683–1691.

Loiselle, A. 2023. Milieux humides lacustres : résilience, biodiversité, fonctions et services écologiques. Thèse de doctorat. Université de Montréal. 204 p.

Maire, V., et al. 2023. Influence de l'usage des terres sur la séquestration et les flux de carbone du sol dans la zone littorale du lac Saint-Pierre. Dans. Campeau, S., Ruiz, J. & Halde.C. (Coord.). Rapport final 2019-2023 des recherches du Pôle d'expertise multidisciplinaire en gestion durable du littoral du lac Saint-Pierre. Université du Québec à Trois-Rivières, Université Laval, Université McGill.

McGeoch, M. A. 1998. The selection, testing and application of terrestrial insects as bioindicators. *Biological reviews*, 73(2), 181–201.

North American Bird Conservation Initiative (NABCI). 2019. The State of Canada's Birds, 2019. Environment and Climate Change Canada, Ottawa, Canada. 12 p.

- Nakagawa, S. & Schielzeth, H. 2013. A general and simple method for obtaining R² from generalized linear mixed-effects models. *Methods in ecology and evolution*, 4(2), 133–142.
- Paine, R. T. 1969. The *Pisaster*–*Tegula* interaction: Prey patches, predator food preference, and intertidal community structure. *Ecology*, 50(6), 950–961
- Power, M. E., et al. 1996. Challenges in the quest for keystones: identifying keystone species is difficult—but essential to understanding how loss of species will affect ecosystems. *BioScience*, 46(8), 609–620.
- Prasher, S., et al. 2023. Présence de néonicotinoïdes et d’herbicides dans les sols agricoles de la zone littorale du lac Saint-Pierre. Dans. Campeau, S., Ruiz, J. & Halde.C. (Coord.). Rapport final 2019-2023 des recherches du Pôle d’expertise multidisciplinaire en gestion durable du littoral du lac Saint-Pierre. Université du Québec à Trois-Rivières, Université Laval, Université McGill.
- Proulx, R., et al. 2023. Réponse fonctionnelle de la biodiversité animale sur un gradient d’utilisation des terres. Dans. Campeau, S., Ruiz, J. & Halde.C. (Coord.). Rapport final 2019-2023 des recherches du Pôle d’expertise multidisciplinaire en gestion durable du littoral du lac Saint-Pierre. Université du Québec à Trois-Rivières, Université Laval, Université McGill.
- Rodriguez, M., et al. 2023. Réponses des populations de poissons aux activités agricoles et milieux naturels dans la zone littorale du lac Saint-Pierre. Dans. Campeau, S., Ruiz, J. & Halde.C. (Coord.). Rapport final 2019-2023 des recherches du Pôle d’expertise multidisciplinaire en gestion durable du littoral du lac Saint-Pierre. Université du Québec à Trois-Rivières, Université Laval, Université McGill.
- Roy, A., et al. 2023. Évaluation de l’impact de l’utilisation du sol sur la turbidité de l’eau dans le littoral du lac Saint-Pierre par télédétection. Dans. Campeau, S., Ruiz, J. & Halde.C. (Coord.). Rapport final 2019-2023 des recherches du Pôle d’expertise multidisciplinaire en gestion durable du littoral du lac Saint-Pierre. Université du Québec à Trois-Rivières, Université Laval, Université McGill.
- Schallenberg, M., et al. 2011. “Approaches to assessing ecological integrity of New Zealand freshwaters”. Nouvelle-Zélande. Disponible en ligne à : <https://www.doc.govt.nz/documents/science-and-technical/sfc307entire.pdf>.
- Schweizer, S. A., et al. 2017. Soil structure breakdown following land use change from forest to maize in Northwest Vietnam. *Soil Tillage Res.* 166, 10–17.
- Sims, A., et al. 2013. Toward the development of microbial indicators for wetland assessment. *Water Res.* 47, 1711–1725.
- Simberloff, D. 1988. The contribution of population and community biology to conservation science. *Annual review of ecology and systematics*, 19(1), 473–511.
- Table de concertation régionale du lac Saint-Pierre (TCRLSP). 2017. « Cohabitation agriculture-faune en zone littorale au lac Saint-Pierre ». Québec. Disponible en ligne à : <https://belsp.uqtr.ca/id/eprint/1430>.
- Truchy, A., et al. 2022. Responses of multiple structural and functional indicators along three contrasting disturbance gradients. *Ecol. Indic.* 135, 108514.
- Vermeulen, S. J., Campbell, B. M., Ingram, J. S. I. 2012. Climate Change and Food Systems. *Annu. Rev. Environ. Resour.* 37, 195–222.
- Wezel, A. et al. 2014. Agroecological practices for sustainable agriculture. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 34(1). 1–20.
- Wood, N., Bowman, S. A. 2021. Large-scale farmer-led experiment demonstrates positive impact of cover crops on multiple soil health indicators. *Nat. Food.* 2, 97–103.

Section 5

Asbjornsen et al., 2013 : *Renewable Agriculture and Food Systems*: 29(2); 101—125. doi:10.1017/S1742170512000385

Campeau, S., et al. 2023. Cartographie des patrons d'écoulement dans la zone littorale du lac Saint-Pierre. Dans. Campeau, S., Ruiz, J. & Halde.C. (Coord.). Rapport final 2019-2023 des recherches du Pôle d'expertise multidisciplinaire en gestion durable du littoral du lac Saint-Pierre. Université du Québec à Trois-Rivières, Université Laval, Université McGill.

Crews TE, Carton W, Olsson L (2018). Is the future of agriculture perennial? Imperatives and opportunities to reinvent agriculture by shifting from annual monocultures to perennial polycultures. *Global Sustainability* 1, e11, 1—18. <https://doi.org/10.1017/sus.2018.11>

Environnement et Changement climatique Canada (ECCC), Morin et Martin 2016. Modélisation des sites propices au maintien de prairies hautes en 2013 (données non publiées).

Foubert A., et al. 2018. Modeling the effective spawning and nursery habitats of northern pike within a large spatiotemporally variable river landscape (St. Lawrence River, Canada). *Limnol. Oceanogr.* 64(2): 803-819.

Gravel, V., et al. 2023a. Potentiel agronomique et environnemental de cultures alternatives cultivées en zones littorales du lac Saint-Pierre. Dans. Campeau, S., Ruiz, J. & Halde.C. (Coord.). Rapport final 2019-2023 des recherches du Pôle d'expertise multidisciplinaire en gestion durable du littoral du lac Saint-Pierre. Université du Québec à Trois-Rivières, Université Laval, Université McGill.

Gravel, V., et al. 2023 b. Phytoprotection dans le contexte de la zone littorale du lac Saint-Pierre : développement d'une gestion raisonnée des ravageurs des semis Dans. Campeau, S., Ruiz, J. & Halde.C. (Coord.). Rapport final 2019-2023 des recherches du Pôle d'expertise multidisciplinaire en gestion durable du littoral du lac Saint-Pierre. Université du Québec à Trois-Rivières, Université Laval, Université McGill.

Jobin, B. et P. Brodeur, 2023. Changements de l'occupation du sol de la plaine inondable du lac Saint-Pierre de 1950 à 2016 et perspectives pour la restauration des milieux naturels. *Le naturaliste Canadien*, 147 (2) : 14-26.

Maire, V., et al. 2023. Influence de l'usage des terres sur la séquestration et les flux de carbone du sol dans la zone littorale du lac Saint-Pierre. Dans. Campeau, S., Ruiz, J. & Halde.C. (Coord.). Rapport final 2019-2023 des recherches du Pôle d'expertise multidisciplinaire en gestion durable du littoral du lac Saint-Pierre. Université du Québec à Trois-Rivières, Université Laval, Université McGill.

Mingelbier, M., Brodeur P. & Morin, J. 2005. Recommandations concernant les poissons et leurs habitats dans le Saint-Laurent fluvial et évaluation des critères de régularisation du système lac Ontario — Saint-Laurent. Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Direction de la recherche sur la faune, Québec, 141 p.

Mundler, P., Guiraud N., 2023. Évaluer les coûts-bénéfices de scénarios d'occupation du sol. Dans. Campeau, S., Ruiz, J. & Halde.C. (Coord.). Rapport final 2019-2023 des recherches du Pôle d'expertise multidisciplinaire en gestion durable du littoral du lac Saint-Pierre. Université du Québec à Trois-Rivières, Université Laval, Université McGill.

Paudel, S., A. B. Cobb, E. H. Boughton, S. Spiegel, R. K. Boughton, M. L. Silveira, H. M. Swain, R. Reuter, L. E. Goodman, and J. L. Steiner. 2021. A framework for sustainable management of ecosystem services and disservices in perennial grassland agroecosystems. *Ecosphere* 12(11): e03837. 10.1002/ecs2.3837

Poulin, M., et al. 2023. Développer des méthodes d'aménagement de fossés végétalisés dans la zone littorale du lac Saint-Pierre. Dans. Campeau, S., Ruiz, J. & Halde.C. (Coord.). Rapport final 2019-2023 des recherches du Pôle d'expertise multidisciplinaire en gestion durable du littoral du lac Saint-Pierre. Université du Québec à Trois-Rivières, Université Laval, Université McGill.

Qi, Z., et al. 2023. Évaluation de la performance des bandes végétatives filtrantes sur la prévention de l'érosion et de la déposition de sol dans les fossés de drainage agricole du littoral du lac Saint-Pierre. Dans. Campeau, S., Ruiz, J. & Halde.C. (Coord.). Rapport final 2019-2023 des recherches du Pôle d'expertise multidisciplinaire en gestion durable du littoral du lac Saint-Pierre. Université du Québec à Trois-Rivières, Université Laval, Université McGill.

Proulx, R., et al. 2023. Réponse fonctionnelle de la biodiversité animale sur un gradient d'utilisation des terres. Dans. Campeau, S., Ruiz, J. & Halde.C. (Coord.). Rapport final 2019-2023 des recherches du Pôle d'expertise multidisciplinaire en gestion durable du littoral du lac Saint-Pierre. Université du Québec à Trois-Rivières, Université Laval, Université McGill.

Roy, A., et al. 2023. Évaluation de l'impact de l'utilisation du sol sur la turbidité de l'eau dans le littoral du lac Saint-Pierre par télédétection. Dans. Campeau, S., Ruiz, J. & Halde.C. (Coord.). Rapport final 2019-2023 des recherches du Pôle d'expertise multidisciplinaire en gestion durable du littoral du lac Saint-Pierre. Université du Québec à Trois-Rivières, Université Laval, Université McGill.

Scott EI, Toensmeier E, Iutzi F, Rosenberg NA, Lovell ST, Jordan NR, Peters TE, Akwii E and Broad Leib EM (2022) Policy pathways for perennial agriculture. *Front. Sustain. Food Syst.* 6:983398. doi : 10.3389/fsufs.2022.983398

Vanasse, A., et al. 2023. Comparaison de systèmes cultureux de grandes cultures dans quatre secteurs de la zone littorale du lac Saint-Pierre. Dans. Campeau, S., Ruiz, J. & Halde.C. (Coord.). Rapport final 2019-2023 des recherches du Pôle d'expertise multidisciplinaire en gestion durable du littoral du lac Saint-Pierre. Université du Québec à Trois-Rivières, Université Laval, Université McGill.

ZIP du lac Saint-Pierre. 2019. Cartographie des risques d'érosion en milieu agricole dans les bassins versants des tributaires du lac Saint-Pierre. Rapport réalisé par le Comité ZIP du lac Saint-Pierre, en collaboration avec la Direction des connaissances écologiques du ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les Changements climatiques et le Département des sciences de l'environnement de l'Université du Québec à Trois-Rivières, dans le cadre des travaux du Comité d'expert sur l'amélioration de la qualité de l'eau de la Table de concertation régionale du lac Saint-Pierre. 30 p.

Section 6

Armstrong, A., et al. 2011. Adoption of the Conservation Reserve Enhancement Program in the New York City watershed: The role of farmer attitudes. *Journal of Soil and Water Conservation*, 66(5), 337–344.

Barnes, A. P., et al. 2009. Farmer perspectives and practices regarding water pollution control programmes in Scotland. *Agricultural Water Management*, 96(12), 1715–1722.

Barnes, A. P., et al. 2013. Comparing a “budge” to a “nudge”: Farmer responses to voluntary and compulsory compliance in a water quality management regime. *Journal of Rural Studies*, 32, 448–459.

Buckley, C., 2012. Implementation of the EU Nitrates Directive in the Republic of Ireland—A view from the farm. *Ecological Economics*, 78, 29–36.

Börjeson, L., et al. 2006. Scenario types and techniques: towards a user's guide. *Futures*. 38(7). 723-739.

Doyon, M., et al. 2023. Impact du cadrage de l'information présentée sur l'acceptabilité de nouvelles pratiques agronomiques par les agriculteurs et agricultrices de la zone littorale du Lac Saint-Pierre. Dans. Campeau, S., Ruiz, J. & Halde.C. (Coord.). Rapport final 2019-2023 des recherches du Pôle d'expertise multidisciplinaire en gestion durable du littoral du lac Saint-Pierre. Université du Québec à Trois-Rivières, Université Laval, Université McGill.

Doyon, M. & Nolet, J. 2006. Coûts environnementaux et compensations en agriculture : développement d'une grille d'analyse. *Vecteur environnement*, janvier 2006 : 36-45

Doyon, M. & Saulais, L. 2022. Impact du design de questions sur la perception des compensations proposées et les intentions de participation au pad : étude de préféabilité. Rapport de projet CIRANO, No. 2022RP-15.

Dumarcher, A., Lewis, N. & Ruiz, J. 2022. Mise en place d'institutions collaboratives pour la réhabilitation de grands écosystèmes, opportunités et défis. Université du Québec à Rimouski et Université du Québec à Trois-Rivières, Rapport de synthèse et annexes, remis au Pôle d'expertise multidisciplinaire en gestion durable du littoral du lac Saint-Pierre, 58p. + 200p.

Dumarcher, A., Lewis, N. & Ruiz, J. 2024. Gouvernance pour la réhabilitation environnementale du littoral du lac Saint-Pierre : défis et pistes de solution. Université du Québec à Rimouski et Université du Québec à Trois-Rivières, Rapport remis au Pôle d'expertise multidisciplinaire en gestion durable du littoral du lac Saint-Pierre.

Eberhard, R., Coggan, A., Jarvis, D., Hamman, E., Taylor, B., Baresi, U., Vella, K., Dean, A. J., Deane, F., Helmstedt, K., Mayfield, H., 2021. Understanding the effectiveness of policy instruments to encourage adoption of farming practices to improve water quality for the Great Barrier Reef. *Marine Pollution Bulletin*, 172, 112793.

Kuimi, T., et al. 2023. Volet II — Détermination du consentement à payer pour des changements de pratiques affectant les biens et services écosystémiques produits par le Lac Saint-Pierre. Analyse de l'impact économique, technique et environnemental des pratiques de gestion bénéfique au lac Saint-Pierre. Dans Campeau, S., Ruiz, J. & Halde, C. (Coord.). Rapport final 2019-2023 des recherches du Pôle d'expertise multidisciplinaire en gestion durable du littoral du lac Saint-Pierre. Université du Québec à Trois-Rivières, Université Laval, Université McGill.

Moss, T. & Monstadt, J. 2008. Restoring floodplains in Europe. 1ère ed. IWA Publishing. 350 p.

Mundler, P., Guiraud N., 2023. Évaluer les coûts-bénéfices de scénarios d'occupation du sol. Dans. Campeau, S., Ruiz, J. & Halde, C. (Coord.). Rapport final 2019-2023 des recherches du Pôle d'expertise multidisciplinaire en gestion durable du littoral du lac Saint-Pierre. Université du Québec à Trois-Rivières, Université Laval, Université McGill.

Oreszczyn, S., Lane, A. et Carr, S., 2010. The role of networks of practice and webs of influencers on farmers' engagement with and learning about agricultural innovations. *Journal of Rural Studies*, 26(4), 404-417.

Ruiz, J., et al. 2023a. Les agriculteurs et agricultrices face aux changements de pratiques agricoles, quel potentiel au lac Saint-Pierre ? Dans. Campeau, S., Ruiz, J. & Halde, C. (Coord.). Rapport final 2019-2023 des recherches du Pôle d'expertise multidisciplinaire en gestion durable du littoral du lac Saint-Pierre. Université du Québec à Trois-Rivières, Université Laval, Université McGill.

Table de concertation régionale du Lac Saint-Pierre (TCRLSP). 2019. Fiche de synthèse sur la cohabitation agriculture-faune en zone littorale, plan de gestion intégré du Lac Saint-Pierre, 50p.

Yang, W., L. Wang, 2023. Impact of farmer group participation on the adoption of sustainable farming practices—spatial analysis of New Zealand dairy farmers. *Annals of Public and Cooperative Economics*, 94, 701-717.

Annexes

Annexe 1A. Liste des projets de recherche et des analyses transversales

Tableau 1A.1. 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 intercalaire et en pleine saison adaptées pour la zone du littoral du lac Saint-Pierre
Philippe Seguin U. McGill	Potentiel des plantes fourragères comme cultures dans les zones littorales du lac Saint-Pierre
Valérie Gravel U. McGill	Potentiel agronomique et environnemental de cultures alternatives cultivées en zones littorales du lac Saint-Pierre
Valérie Gravel U. McGill	Phytoprotection dans le contexte de la zone littorale du lac Saint-Pierre : développement d'une gestion raisonnée des ravageurs des semis
Monique Poulin U. Laval	Développer des méthodes d'aménagement de fossés végétalisés dans la zone littorale du lac Saint-Pierre
Zhiming Qi U. McGill	Évaluation de la performance des bandes végétatives filtrantes sur la prévention de l'érosion et de la déposition de sol dans les fossés de drainage agricole du littoral du lac Saint-Pierre
Cynthia Kallenbach U. McGill	Interactions entre les crues 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

Tableau 1A.2. Liste des projets de recherche de l'axe environnement et faune.

Chercheur principal	Titre du projet
Stéphane Campeau UQTR	Cartographie des patrons d'écoulement dans la zone littorale du lac Saint-Pierre
Alexandre Roy UQTR	Évaluation de l'impact de l'utilisation du sol sur la turbidité de l'eau dans le littoral du lac Saint-Pierre par télédétection
François Guillemette UQTR	Effets des pratiques agricoles sur la production primaire à la base du réseau trophique aquatique dans le littoral du lac Saint-Pierre
Gilbert Cabana UQTR	Effets des cultures et pratiques agricoles existantes sur la croissance et la condition physiologique des larves de perchaude et la taille et l'abondance du zooplancton de la zone littorale du lac Saint-Pierre
Marco Rodriguez UQTR	Réponses des populations de poissons aux activités agricoles et milieux naturels dans la zone littorale du lac Saint-Pierre
Shiv Prasher McGill	Présence de néonicotinoïdes et d'herbicides dans les sols agricoles de la zone littorale du lac Saint-Pierre
Jessica Head 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'usage des terres sur la séquestration et les flux de carbone du sol dans la zone littorale du lac Saint-Pierre
Raphaël Proulx UQTR	Réponse fonctionnelle de la biodiversité animale sur un gradient d'utilisation des terres
Vincent Fugère UQTR	Utiliser l'ADN environnemental du sol pour évaluer l'impact des pratiques agricoles sur la biodiversité du littoral du lac Saint-Pierre

Tableau 1A.3. Liste des projets de recherche de l'axe socioéconomie.

Chercheur principal	Titre du projet
<p>Lota D. Tamini U. Laval</p>	<p>Analyse de l'impact économique, technique et environnemental des pratiques de gestion bénéfiques au lac Saint-Pierre :</p> <p>Volet 1 : Pratiques culturales améliorées — évaluation coûts-bénéfices à l'échelle des exploitations agricoles du littoral du lac Saint-Pierre — le cas des grandes cultures</p> <p>Volet 2 : Détermination du consentement à payer pour des changements de pratiques affectant les biens et services écosystémiques produits par le lac Saint-Pierre</p>
<p>Julie Ruiz UQTR</p>	<p>Les agriculteurs et agricultrices face aux changements de pratiques agricoles, quel potentiel au lac Saint-Pierre ?</p>
<p>Julie Ruiz UQTR</p>	<p>Le conseil agroenvironnemental et les conseillers et conseillères agricoles au lac Saint-Pierre : quels rôles dans la réhabilitation du littoral ?</p>
<p>Patrick Mundler U. Laval</p>	<p>Évaluation coûts-bénéfices de différents scénarios d'occupation du sol dans le littoral du lac Saint-Pierre</p>
<p>Maurice Doyon U. Laval</p>	<p>Impact du cadrage de l'information présentée sur l'acceptabilité de nouvelles pratiques agronomiques par les agriculteurs et agricultrices de la zone littorale du lac Saint-Pierre</p>
<p>Nathalie Lewis UQAR</p>	<p>Mise en place d'institutions collaboratives pour la réhabilitation de grands écosystèmes</p>
<p>Rémy Lambert U. Laval</p>	<p>Étude de pré faisabilité de l'opportunité d'une appellation réservée ou un terme valorisant pour les productions animales s'approvisionnant en fourrages produits dans le littoral du lac Saint-Pierre</p>

Annexe 1B. Traitements et sites expérimentaux du dispositif à grande échelle

Annexe 1B Sites expérimentaux du dispositif à grande échelle situés autour du lac Saint-Pierre représentant un gradient d'utilisation des terres allant des milieux naturels de conservation à la culture annuelle intensive de maïs et de soya.

Degré de naturalité	Gradient d'utilisation des terres	Définition	Nombre de sites
1	Forêt naturelle (Marécage, Érablière)	Milieu non cultivé caractérisé par une association végétale arborée adaptée à l'intensité et la fréquence des crues.	12
2a	Prairie naturelle humide, marais	Milieu non cultivé caractérisé par une association végétale herbacée adaptée à et maintenue en place par l'intensité et la fréquence des crues.	5
2 b	Prairie abandonnée (friche)	Milieu non cultivé caractérisé par i) une association végétale herbacée mise en place depuis plus de 5 ans, ii) en transition vers un stade climacique, iii) résistante à l'intensité et la fréquence des crues.	2
3	Vieille prairie	Milieu cultivé caractérisé par i) une association végétale herbacée mise place depuis plus de sept ans, ii) résistante à l'intensité et la fréquence des crues, et iii) maintenue par une activité de fauche.	3

Annexe 1B (suite)

Degré de naturalité	Gradient d'utilisation des terres	Définition	Nombre de sites
4a	Nouvelle prairie (Prairie temporaire)	Milieu cultivé caractérisé par i) une association végétale herbacée mise en place depuis deux à trois ans, ii) résistante à l'intensité et la fréquence des crues, et iii) maintenue par une activité de fauche.	3
4 b	Nouvelle prairie	Milieu cultivé caractérisé par i) une association végétale herbacée mise en place depuis moins d'un an, ii) résistante à l'intensité et la fréquence des crues, et iii) maintenue par une activité de fauche.	3
5	Pratique culturale améliorée	Milieu cultivé caractérisé par i) une culture annuelle de maïs ou de soya ou une culture de couverture (en remplacement du maïs) si crue trop importante ; ii) en association avec des pratiques agroenvironnementales qui incluent une culture de couverture en inter-rang (ray-grass dans le maïs, blé automne dans le soya), et des bandes enherbées d'alpiste roseau de type nouvelle prairie. La culture de couverture et les bandes enherbées restent pendant l'hiver.	9
6	Pratique culturale conventionnelle	Milieu cultivé caractérisé par une culture annuelle de maïs ou de soya. Le sol est à nu pendant l'hiver.	21
7*	Pratique culturale conventionnelle adaptée lors d'une crue prolongée	Milieu prévu pour y cultiver une culture annuelle de maïs ou de soya laissant le sol à nu pendant l'hiver, mais qui a été remplacé par des cultures de couverture de pleine saison.	11

* Lors de la forte crue de 2019, tous les champs expérimentaux (N=8) prévus pour le maïs pratique culturale conventionnelle et améliorée et un champ prévu pour du soya en pratique culturale conventionnelle ont été remplacés par une culture de couverture de pleine saison afin d'éviter de laisser les sols à nus. Cinq champs ont été semés avec du blé d'automne et quatre avec du ray-grass annuel. Des mesures agronomiques, environnementales et fauniques ont été effectuées dans ces champs. En outre, des champs avec des sols à nu ont été ajoutés au dispositif expérimental pour les champs en pratique culturale

conventionnelle convertis en culture de couverture pour permettre de maintenir ce traitement dans l'évaluation des composantes environnementales.

Dans certaines situations au cours des quatre années d'expérimentation, en raison de problématiques logistiques ou de difficultés rencontrées lors des semis, certains des champs expérimentaux des traitements 5 et 6 ont dû être remplacés par d'autres champs en grandes cultures dont les semis ont été réalisés avec succès. Des données agronomiques ont été prélevées dans ces champs. Toutefois, ils n'ont pas fait l'objet d'un suivi par les chercheurs et chercheuses de l'axe environnement et faune.

Annexe 2A. Tableaux des essais agronomiques des dispositifs

Tableau 2A.1. Comparaison des rendements (t MS/ha) obtenus en grandes parcelles des cultures annuelles de maïs et de soya avec pratiques culturales conventionnelles et avec pratiques culturales améliorées et notes relatives aux points forts et aux points faibles observés par le Pôle (Vanasse, Bourgeois et al., 2023).

Maïs-grain et soya: Pratiques améliorées vs conventionnelles (grandes parcelles)					
Année	Site	Traitement effectué	Rendement (t MS ha ⁻¹)	Points forts	Points faibles
2019	-	Crue tardive/maïs non semé			
2020	BAIE02	Maïs conventionnel	9.35		
	BART07	Maïs conventionnel	7.00		
	DUPA05	Maïs conventionnel	9.21		
	PIER04	Maïs conventionnel	11.07		
2021	BAIE03	Maïs conventionnel	7.88		
	BART07	Maïs conventionnel	8.15		
	DUPA01	Maïs conventionnel	11.64		
	PIER04	Maïs conventionnel	13.14		
2019	-	Crue tardive/maïs non semé			
2020	BAIE01	Maïs amélioré + B.P. ¹	9.83		
	BART06	Maïs amélioré + B.P.	6.54		
	BART08	Maïs amélioré + B.P.	9.58		
	DUPA04	Maïs amélioré + B.P.	8.04		
	PIER03	Maïs amélioré + B.P.	7.32		
	PIER05	Maïs amélioré + B.P.	11.28		
2021	BAIE04	Maïs amélioré + B.P.	7.67		
	BART08	Maïs amélioré + B.P.	10.33		
	DUPA02	Maïs amélioré + B.P.	11.09		
	PIER05	Maïs amélioré + B.P.	14.10		
2019	BAIE02	Soya conventionnel	2.69		
	BART07	Soya conventionnel	--		
	DUPA05	Soya conventionnel	2.24		
2020	BAIE03	Soya conventionnel	2.95		
	BART13	Soya conventionnel	2.16		
	DUPA01	Soya conventionnel	3.28		
2021	BAIE02	Soya conventionnel	2.91		
	BART05	Soya conventionnel	--		
	DUPA05	Soya conventionnel	9.47		
2022	BAIE02	Soya conventionnel	1.42		
	BART05	Soya conventionnel	2.67		
2019	BAIE01	Soya amélioré + B.P.	2.55		
	BART08	Soya amélioré + B.P.	--		
	DUPA04	Soya amélioré + B.P.	2.35		
	PIER03	Soya amélioré + B.P.	2.12		
2020	BAIE04	Soya amélioré + B.P.	2.97		
	BART12	Soya amélioré + B.P.	2.16		
	DUPA02	Soya amélioré + B.P.	2.87		
2021	BAIE01	Soya amélioré + B.P.	2.84		
	BART06	Soya amélioré + B.P.	9.97		
	DUPA04	Soya amélioré + B.P.	6.73		
	PIER03	Soya amélioré + B.P.	3.72		
2022	BAIE01	Soya amélioré + B.P.	1.51		
	BART06	Soya amélioré + B.P.	2.06		
	BART07	Soya amélioré + B.P.	2.31		
	BART08	Soya amélioré + B.P.	1.84		
	DUPA01	Soya amélioré + B.P.	3.50		

¹B.P. = bandes pérennes herbacées (ray-grass annuel et alpiste roseau)

Tableau 2A.2. Comparaison de rendements (t MS/ha) obtenus en grandes parcelles de nouvelles et vieilles prairies et notes relatives aux points forts et aux points faibles observés par le Pôle (Seguin et al., 2023).

Prairies (grandes parcelles)					
Année	Site	Traitement effectué	Rendement (t MS ha ⁻¹)	Points forts	Points faibles
2019	BAIE09	Vieille prairie (> 5 ans)	4.76	Rendements des nouvelles prairies établies en 2018 > moyenne provinciale; 80% d'alpiste roseau; bonne valeur nutritive. Résidus printaniers variables (bon potentiel de réduire l'érosion).	Nouvelles prairies se sont mal établies (forte pression MH); autres méthodes de semis ou stratégies de lutte aux MH à prévoir. Variations de rendement selon le nombre de coupes qui a varié selon les périodes d'inondation. Mauvais rendement et mauvaise valeur nutritive des vieilles prairies autres qu'établies en 2018. La majorité des prairies n'a pas atteint 30 cm en fin de saison. Résidus offrent peu de potentiel pour un habitat faunique.
	BART09	Vieille prairie (> 5 ans)	3.79		
	DUPA03	Vieille prairie (> 5 ans)	4.84		
2020	BAIE09	Vieille prairie (> 5 ans)	4.34		
	BART09	Vieille prairie (> 5 ans)	6.17		
	DUPA03	Vieille prairie (> 5 ans)	2.41		
2021	BAIE09	Vieille prairie (> 5 ans)	5.17		
	BART09	Vieille prairie (> 5 ans)	3.01		
	DUPA03	Vieille prairie (> 5 ans)	4.26		
2022	BAIE09	Vieille prairie (> 5 ans)	3.88		
	BART09	Vieille prairie (> 5 ans)	6.89		
	DUPA03	Vieille prairie (> 5 ans)	2.52		
2019	BAIE07	Nouvelle prairie (semis d'alpiste roseau et d'avoine fourragère)	4.00		
2019	BART10	Nouvelle prairie - semis d'avoine fourragère (CC) ¹	1.63		
2020	BAIE07	Nouvelle prairie (resemis 2020 d'alpiste roseau et d'avoine fourragère)	5.88		
2020	BAIE10	Nouvelle prairie ajoutée en 2020 (établie en 2018)	5.08		
2020	BART10	Nouvelle prairie (resemis 2020 d'alpiste roseau et d'avoine fourragère)	5.47		
2020	BART11	Nouvelle prairie ajoutée en 2020 (établie en 2018)	6.38		
2020	DUPA07	Nouvelle prairie ajoutée en 2020 (semis 2020 d'alpiste roseau et d'avoine fourragère)	5.19		
2021	BAIE07	Nouvelle prairie (resemis 2021 d'alpiste roseau et d'avoine fourragère)	6.20		
2021	BAIE10	Nouvelle prairie (établie en 2018)	7.59		
2021	BART10	Nouvelle prairie (resemis 2021 d'alpiste roseau et d'avoine fourragère)	6.81		
2021	BART11	Nouvelle prairie (établie en 2018)	9.29		
2021	DUPA07	Nouvelle prairie (resemis 2021 d'alpiste roseau et d'avoine fourragère)	2.78		

¹ En 2019, en raison de la crue tardive, un semi d'avoine seulement a été fait.

Tableau 2A.3. Essai en phytoprotection (Gravel et al., 2023).

Insectes ravageurs du sol (grandes parcelles)				
Présence du ver fil-de-fer (VFF)				
Cultures	Année	Abondance (nb VFF/piège)	Niveau de risque	Bilan
Maïs; Soya; Prairies	2019	0-0,48	Faible	Faibles populations de VFF et de mouches des semis (<i>Delia platura</i>). Eau au printemps pourrait affecter la migration des larves. Variations probables selon les crues. Remise en question de l'utilisation de semences traitées dans le littoral du LSP.
Maïs; Soya; Prairies	2020	0-0,55	Faible	
Maïs; Soya; Prairies	2021	0-0,73	Faible	

Tableau 2A.4. Essais de cultures de couverture en petites parcelles et notes relatives aux points forts et aux points faibles observés par le Pôle (Halde et al., 2023).

Cultures de couverture (petites parcelles)							
INTERCALAIRE DANS LE MAÏS-GRAIN (BAIE06)							
Nom	Taux de semis	Date de semis / plantation	Rendement		Succès implantation / Survie	Points forts	Points faibles
Semis 2020							
Ray-grass annuel (<i>Lolium perenne</i>)	(kg ha ⁻¹)		entre-rang 76 cm	entre-rang 152 cm			
			(kg ha ⁻¹)	(kg ha ⁻¹)			
Mélange: Ray-grass annuel (<i>Lolium perenne</i>)	22,0	17 juin	151.7 ± 33.1	149.3 ± 106.6	Bonne implantation.	Mélange 3 espèces = bonne répression MH; meilleure biomasse; corridor solaire = biomasse CC augmentée de 87 %.	Rendements médiocres (manque d'eau puis excès [problème de drainage]); problème de battage avec le lin; corridor solaire = maïs diminué de 31 %.
Trèfle incarnat (<i>Trifolium incarnatum</i>)	11	17 juin					
Mélange: Ray-grass annuel (<i>Lolium perenne</i>)	7,5		283.0 ± 99.6	381.6 ± 86.6			
Vesce velue (<i>Vicia villosa</i>)	11	17 juin					
Lin (<i>Linum usitatissimum</i>)	7,5		1339.6 ± 292.1	2794.0 ± 411.4			
Maïs-grain (<i>Zea mays</i>)	16,5		(T ha ⁻¹)	(T ha ⁻¹)			
	(grain ha ⁻¹)		76 cm : 79 000 ;	76 cm : 79 000 ;			
	152 cm : 88 900	25 mai	7.56 ± 0.43	5.35 ± 0.49			
Semis 2021							
Ray-grass annuel (<i>Lolium perenne</i>)	(kg ha ⁻¹)		entre-rang 76 cm	entre-rang 152 cm			
			(kg ha ⁻¹)	(kg ha ⁻¹)			
Mélange: Ray-grass annuel (<i>Lolium perenne</i>)	22	18 juin	1098.7 ± 160.3	2143.9 ± 536.4	Bonne implantation.	Bons rendements; CC = forte répression des MH; mélange 3 espèces = meilleure biomasse; corridor solaire = biomasse CC augmentée de 202 %.	Corridor solaire = maïs diminué de 31 %.
Trèfle incarnat (<i>Trifolium incarnatum</i>)	11	18 juin					
Mélange: Ray-grass annuel (<i>Lolium perenne</i>)	7,5		831.5 ± 156.4	2596.3 ± 539.8			
Vesce velue (<i>Vicia villosa</i>)	11	18 juin					
Radis fourrager (<i>Raphanus sativus</i>)	7,5		1122.1 ± 388.3	4479.4 ± 792.0			
Maïs-grain (<i>Zea mays</i>)	5		(T ha ⁻¹)	(T ha ⁻¹)			
	(grain ha ⁻¹)		76 cm : 79 000 ;	76 cm : 79 000 ;			
	152 cm : 79 000	25 mai	6.04 ± 0.87	4.19 ± 0.75			

Tableau 2A.4 (suite)

Cultures de couverture (petites parcelles)								
INTERCALAIRE DANS LE SOYA (BAIE06 ET BART14)								
Nom	Taux de semis	Date de semis / plantation	Rendement		Succès implantation / Survie	Points forts	Points faibles	
Semis 2021								
		BAIE06	BART14	BAIE06	BART14	Bonne implantation à BAIE06; faible implantation à BART14.	À Baie06 : biomasses élevées de mélilot et vesce; bonne répression des MH; aucun effet des CC sur le soya.	Lotier et trèfle = peu de biomasses; à Baie06, mélilot, vesce = biomasse nuisible à la récolte du soya.
Lotier corniculé (<i>Lotus corniculatus</i>)	(kg ha ⁻¹)			(kg ha ⁻¹)	(kg ha ⁻¹)			
	15	18 juin	18 juin	736.7 ± 201.5	513.1 ± 89.7			
Mélilot jaune (<i>Melilotus officinalis</i>)	20	18 juin	18 juin	5411.5 ± 214.8	1123.0 ± 117.5			
Trèfle blanc nain (<i>Trifolium repens</i>)	12	18 juin	18 juin	223.8 ± 92.6	362.0 ± 100.7			
Vesce velue (<i>Vicia villosa</i>)	22	18 juin	18 juin	1958.6 ± 327.8	166.6 ± 33.9			
Soya (<i>Glycine max</i>)	(grain ha ⁻¹) 450 000	25 mai	18 mai	(T ha ⁻¹) 1.75 ± 0.20	(T ha ⁻¹) 3.14 ± 0.05			
Semis 2022								
		BAIE06	BART14	BAIE06	BART14	Bonne implantation.	Mélilot, vesce, lotier et trèfle = biomasses élevées; bonne répression des MH => espèces près du sol à recommander; aucun effet des CC sur le soya (très faible rendement à BART14 car pucerons).	Mélilot, vesce = biomasse nuisible à la récolte du soya.
Lotier corniculé (<i>Lotus corniculatus</i>)	(kg ha ⁻¹)			(kg ha ⁻¹)	(kg ha ⁻¹)			
	15	15 juillet	15 juillet	709.0 ± 46.6	1660.9 ± 253.9			
Mélilot jaune (<i>Melilotus officinalis</i>)	20	15 juillet	15 juillet	2598.8 ± 283.8	3035.4 ± 196.4			
Trèfle blanc nain (<i>Trifolium repens</i>)	12	15 juillet	15 juillet	1150.3 ± 322.1	1163.3 ± 348.2			
Vesce velue (<i>Vicia villosa</i>)	22	15 juillet	15 juillet	1897.0 ± 193.7	1723.3 ± 254.2			
Soya (<i>Glycine max</i>)	(grain ha ⁻¹) 450 000	15 juin	15 juin	(T ha ⁻¹) 1.39 ± 0.146	(T ha ⁻¹) 0.63 ± 0.064 (pucerons)			

Tableau 2A.4 (suite)

Cultures de couverture (petites parcelles)								
CC PLEINE SAISON (BAIE06 ET BART14)								
Nom	Taux de semis	Date de semis / plantation	Rendement		Succès implantation / Survie	Points forts	Points faibles	
Semis 2019								
	(kg ha ⁻¹)	BAIE06	BART14	BAIE06 (kg ha ⁻¹)	BART14 (kg ha ⁻¹)	Bonne implantation.	CC (sauf ray-grass)=bonne répression des MH; mélange de CC d'avoine, de vesce velue et de lin = biomasse la plus élevée; les tiges de lin étaient encore debout après la décrue des eaux, pouvant être potentiellement un habitat pour la ponte.	Ray-grass vivace, seigle d'automne, trèfle rouge, seuls ou en mélange, ont moins bien performé; avoine et lin : graines pourraient se transformer en mauvaises herbes l'année suivante? tiges de lin problématiques pour le travail du sol au printemps?
Ray-grass vivace (<i>Lolium perenne</i>)	15	4 juillet	25 juillet	989.9 ± 238.7	422.3 ± 157.4			
Seigle d'automne (<i>Secale cereale</i>)	135	4 juillet	25 juillet	223.7 ± 114.1	1111.8 ± 194.3			
Mélange: Seigle d'automne (<i>Secale cereale</i>)	81	4 juillet	25 juillet					
Trèfle rouge (<i>Trifolium pratense</i>)	6			2139.8 ± 329.5	920.2 ± 153.9			
Mélange: Seigle d'automne (<i>Secale cereale</i>)	81	4 juillet	25 juillet					
Vesce velue (<i>Vicia villosa</i>)	12			2589.8 ± 185.6	1115.8 ± 200.0			
Mélange: Avoine (<i>Avena sativa</i>)	52	4 juillet	25 juillet					
Vesce velue (<i>Vicia villosa</i>)	10,5							
Lin (<i>Linum usitatissimum</i>)	16,5			4052.5 ± 571.5	2512.1 ± 250.0			
Semis 2020								
	(kg ha ⁻¹)	BAIE06	BART14	BAIE06 (kg ha ⁻¹)	BART14 (kg ha ⁻¹)	Bonne implantation.	CC (sauf raygrass)=bonne répression des MH; mélange de CC d'avoine, de vesce velue et de lin = biomasse la plus élevée; les tiges de lin étaient encore debout après la décrue des eaux, pouvant être potentiellement un habitat pour la ponte.	Ray-grass vivace, seigle d'automne, trèfle rouge, seuls ou en mélange, ont moins bien performé; avoine et lin : graines pourraient se transformer en mauvaises herbes l'année suivante? tiges de lin problématiques pour le travail du sol au printemps?
Ray-grass vivace (<i>Lolium perenne</i>)	15	4 juin	9 juin	1401.1 ± 213.0	0			
Seigle d'automne (<i>Secale cereale</i>)	135	4 juin	9 juin	1286.6 ± 157.9	653.2 ± 130.0			
Mélange: Seigle d'automne (<i>Secale cereale</i>)	81	4 juin	9 juin					
Trèfle rouge (<i>Trifolium pratense</i>)	6			2458.4 ± 326.8	728.9 ± 177.5			
Mélange: Seigle d'automne (<i>Secale cereale</i>)	81	4 juin	9 juin					
Vesce velue (<i>Vicia villosa</i>)	12			2300.5 ± 337.2	1481.7 ± 257.8			
Mélange: Avoine (<i>Avena sativa</i>)	52	4 juin	9 juin					
Vesce velue (<i>Vicia villosa</i>)	10,5							
Lin (<i>Linum usitatissimum</i>)	16,5			4949.1 ± 549.2	2428.0 ± 553.6			

Tableau 2A.5 Essais de prairies (plantes fourragères) en petites parcelles et notes relatives aux points forts et aux points faibles observés par le Pôle (Seguin et al., 2023).

Prairies (petites parcelles)							
Nom	Taux de semis	Date de semis / plantation		Rendement (kg MS/ha)	Succès implantation / Survie (au printemps suivant)	Points forts	Points faibles
Semis 2019							
	(kg ha ⁻¹)	Zone haute	Zone basse				
Saint-Barthélemy							
Mélange: Alpiste roseau (<i>Phalaris arundinacea</i>)	11	Semis a été impossible (trop tardif)					
Avoine (plante-abri) (<i>Avena sativa</i>)	60						
Mélange: Fléole des près (<i>Phleum pratense</i>)	10						
Avoine (plante-abri) (<i>Avena sativa</i>)	60						
Mélange: Vulpin des près (<i>Alopecurus pratensis</i>)	13						
Avoine (plante-abri) (<i>Avena sativa</i>)	60						
Mélange: Alpiste roseau (<i>Phalaris arundinacea</i>)	9						
Fléole des près (<i>Phleum pratense</i>)	7						
Brome inerme (<i>Bromus inermis</i>)	10						
Lotier corniculé (<i>Lotus corniculatus</i>)	7						
Avoine (plante-abri) (<i>Avena sativa</i>)	60						

Tableau 2A.5 (suite)

Prairies (petites parcelles)							
Nom	Taux de semis	Date de semis / plantation		Rendement (kg MS/ha)	Succès implantation / Survie (au printemps suivant)	Points forts	Points faibles
Semis 2019							
	(kg ha ⁻¹)	Zone haute	Zone basse				
Baie-du-Febvre							
Mélange: Alpiste roseau (<i>Phalaris arundinacea</i>)	11	4 juillet 2019	18 juillet 2019	2519 kg/ha en moyenne (57% d'avoine; 42% de MH; ≤1% de pérennes) en 2019; 1076 kg/ha en moyenne en 2020 en zone haute (arrêt essai en zone basse).	Bonne implantation; Survie minime en zone haute (résidus végétaux issus de la crue) et nulle en zone basse (sédiments durcis).	Meilleure couverture du sol et rendement avec le mélange complexe (lotier ++). Meilleure croissance en zone haute. Rendement augmente avec ajout de fertilisant ou 2 récoltes. Une seule récolte + fertilisant favorise la biomasse résiduelle potentiellement bénéfique à la ponte des poissons.	Forte présence de MH; espèces pérennes <1%; rendement très faible en 2020.
Avoine (plante-abri) (<i>Avena sativa</i>)	60						
Mélange: Fléole des près (<i>Phleum pratense</i>)	10						
Avoine (plante-abri) (<i>Avena sativa</i>)	60						
Mélange: Vulpin des près (<i>Alopecurus pratensis</i>)	13						
Avoine (plante-abri) (<i>Avena sativa</i>)	60						
Mélange: Alpiste roseau (<i>Phalaris arundinacea</i>)	9						
Fléole des près (<i>Phleum pratense</i>)	7						
Vulpin des près (<i>Alopecurus pratensis</i>)	8						
Brome inerme (<i>Bromus inermis</i>)	10						
Lotier corniculé (<i>Lotus corniculatus</i>)	7						
Avoine (plante-abri) (<i>Avena sativa</i>)	60						

Tableau 2A.5 (suite)

Prairies (petites parcelles)								
Nom	Taux de semis	Date de semis / plantation		Rendement (kg MS/ha)		Succès implantation / Survie (au printemps suivant)	Points forts	Points faibles
Semis 2020								
	(kg ha ⁻¹)	Zone haute	Zone basse	Zone haute	Zone basse			
Saint-Barthélemy								
Mélange: Alpiste roseau (<i>Phalaris arundinacea</i>)	11	18 juin 2020	18 juin 2020	1511 kg MS/ha (10% avoine; 89% MH, ≤1% de pérennes)	Pas d'implantation	Faible implantation (sécheresse, MH); Survie minimale en zone haute (résidus végétaux issus de la crue).	Meilleurs couvertures du sol et rendement avec le mélange complexe (lotier ++). Rendement augmente avec ajout de fertilisant ou 2 récoltes. Une seule récolte + fertilisation favorise la biomasse résiduelle potentiellement bénéfique à la ponte des poissons.	Forte présence de MH; espèces pérennes <1%.
Avoine (plante-abri) (<i>Avena sativa</i>)	60							
Mélange: Fétuque rouge (<i>Festuca rubra</i>)	8							
Avoine (plante-abri) (<i>Avena sativa</i>)	60							
Mélange: Fléole des près (<i>Phleum pratense</i>)	10							
Avoine (plante-abri) (<i>Avena sativa</i>)	60							
Mélange: Vulpin des près (<i>Alopecurus pratensis</i>)								
Avoine (plante-abri) (<i>Avena sativa</i>)	60							
Mélange: Alpiste roseau (<i>Phalaris arundinacea</i>)	9							
Fétuque rouge (<i>Festuca rubra</i>)	8							
Fléole des près (<i>Phleum pratense</i>)	7							
Vulpin des près (<i>Alopecurus pratensis</i>)	8							
Brome inerme (<i>Bromus inermis</i>)	10							
Lotier corniculé (<i>Lotus corniculatus</i>)	7							
Avoine (plante-abri) (<i>Avena sativa</i>)	60							

Tableau 2A.5 (suite)

Prairies (petites parcelles)								
Nom	Taux de semis	Date de semis / plantation		Rendement (kg MS/ha)		Succès implantation / Survie (au printemps suivant)	Points forts	Points faibles
Semis 2020								
	(kg ha ⁻¹)	Zone haute	Zone basse	Zone haute	Zone basse			
Baie-du-Febvre								
Mélange: Alpiste roseau (<i>Phalaris arundinacea</i>)	11	2 juin 2020	2 juin et 16 juin 2020					
Avoine (plante-abri) (<i>Avena sativa</i>)	60							
Mélange: Fétuque rouge (<i>Festuca rubra</i>)	8							
Avoine (plante-abri) (<i>Avena sativa</i>)	60							
Mélange: Fléole des près (<i>Phleum pratense</i>)	10							
Avoine (plante-abri) (<i>Avena sativa</i>)	60			6561 kg MS/ha (26% avoine; 74% MH; ≤1% de pérennes)				
Mélange: Vulpin des près (<i>Alopecurus pratensis</i>)					Pas d'implantation			
Avoine (plante-abri) (<i>Avena sativa</i>)	60							
Mélange: Alpiste roseau (<i>Phalaris arundinacea</i>)	9							
Fétuque rouge (<i>Festuca rubra</i>)	8							
Fléole des près (<i>Phleum pratense</i>)	7							
Vulpin des près (<i>Alopecurus pratensis</i>)	8							
Brome inerme (<i>Bromus inermis</i>)	10							
Lotier corniculé (<i>Lotus corniculatus</i>)	7							
Avoine (plante-abri) (<i>Avena sativa</i>)	60							

Tableau 2A.5 (suite)

Prairies (Alpiste roseau) (petites parcelles)				
Nom	Date de semis	Rendement	Points forts	Points faibles
Régies de récoltes et fertilisation				
Prairie Alpiste roseau (<i>Phalaris arundinacea</i>)	2018	à Saint-Barthélémy : 5581 kg MS/ha (2.4% MH) à Baie-du-Febvre : 3993 kg MS/ha (19% MH) 1 récolte : 2600 kg MS/ha (6% MH) 2 récoltes : 6974 kg MS/ha (11% MH)	Une seule récolte + fertilisant favorise la biomasse résiduelle potentiellement bénéfique à la ponte des poissons.	Valeur nutritive faible; Pas d'augmentation significative avec plus de fertilisation.
Méthodes d'implantation				
Prairie Alpiste roseau (<i>Phalaris arundinacea</i>)	2021	<u>Saint-Barthélémy</u> Parcelles désherbées: 1051 kg MS/ha (7% MH) Parcelles enherbées: 2212 kg MS/ha (44% MH)	Bonne implantation.	Pas d'effet de l'enrobage
Prairie Alpiste roseau (<i>Phalaris arundinacea</i>)		<u>Baie-du-Febvre</u> Site abandonné		Très mauvaise implantation (sécheresse).

Tableau 2A.6 Essai de cultures alternatives et notes relatives aux points forts et aux points faibles observés par le Pôle (Gravel et al., 2023).

Cultures alternatives								
Nom - Type (An, annuelle; Vi, vivace; Ar, arbuste)	Taux de semis	Date de semis / plantation		Rendement (kg MS/ha)		Succès implantation/survie	Points forts	Points faibles
Semis 2019								
	(nombre de plants/ha)	Zone haute	Zone basse	Zone haute	Zone basse			
Aronie à fruits noirs (<i>Aronia melanocarpa</i>)	Ar 5,000	10-juil	30-juil	-	-			
Asclépiade incarnate (<i>Asclepias incarnata</i>)	Vi 62,500	13-août	30-juil	-	-			
Bourrache (<i>Borago officinalis</i>)	An 70,000	10-juil	30-juil	Fleurs: 485 ± 302; Grains: 42 ± 34	Fleurs: 20 ± 16; Grains: 7 ± 6	Bonne implantation pour la plupart des espèces (taux > 80%); Après la crue de 2020: Vivaces herbacées: 3 à 53% survie; Vivaces arbustives: aucune survie.		Aucun résidu post-crue; repousses de vivaces broutées par les oies des neiges.
Camerise (<i>Lonicera caerulea</i>)	Ar 5,000	10-juil	30-juil	-	-			
Chou frisé (kale) (<i>Brassica oleracea</i> var. <i>acephala laciniata</i>)	An 52,500	10-juil	13-août	228 ± 238	2,493 ± 3,293			
Ciboulette (<i>Allium schoenoprasum</i>)	Vi 105,000	30-juil	30-juil	2,936 ± 1008	3,242 ± 922			
Courges sp. (<i>Cucurbita</i> sp.)	An 13,333	10-juil	30-juil	26,287 ± 16,450	13,806 ± 940			
Fougère à l'autruche (<i>Matteuccia struthiopteris</i>)	Vi 5,000	10-juil	30-juil	-	-			
Livèche (céleri vivace) (<i>Levisticum officinale</i>)	Vi 25,000	10-juil	-	0	-			
Menthe du Canada (<i>Mentha canadensis</i>)	Vi 43,333	13-août	13-août	490 ± 99	418 ± 173			
Noisetier américain (<i>Corylus americana</i>)	Ar 5,000	30-juil	30-juil	-	-			
Persil (<i>Petroselinum crispum</i>)	An 125,000	10-juil	-	74 ± 34	-			
Sureau blanc (<i>Sambucus canadensis</i>)	Ar 5,000	10-juil	30-juil	-	-			
Tournesol (<i>Helianthus annuus</i> L.)	An 203,333	10-juil	30-juil	8,509 ± 947 (Grains: 0)	5,584 ± 1,521 (Grains: 0)			

Tableau 2A.6 (suite)

Cultures alternatives								
Nom - Type (An, annuelle; Vi, vivace; Ar, arbuste)	Taux de semis	Date de semis / plantation		Rendement (kg MS/ha)		Succès implantation/ survie	Points forts	Points faibles
Semis 2020								
	(nombre de plants/ha)	Zone haute	Zone basse	Zone haute	Zone basse			
Aronie à fruits noirs (<i>Aronia melanocarpa</i>)	Ar 10,000	15-juin	15-juin	Aucun, implantation seulement				
Asclépiade incarnate (<i>Asclepias incarnata</i>)	Vi Zone haute : 4,167; Zone basse: 3,889			43 ± 40	232 ± 269			
Bourrache (<i>Borago officinalis</i>)	An 77,778	09-juin	10-juin	Fleurs : 154 ± 55 Grains : 12 ± 7	Fleurs : 0 Grains : 0			
Caméline (<i>Camelina sativa</i> L. Crantz)	An 8,331,667	06-juin	06-juin	369 ± 217	93 ± 44			
Camerise (<i>Lonicera caerulea</i>)	Ar 10,000	10-juin	10-juin	Aucun, implantation seulement				
Ciboulette (<i>Allium schoenoprasum</i>)	Vi Zone haute : 18,210; Zone basse: 5,889			1,566 ± 1,492	74 ± 67			
Courges d'été (<i>Cucurbita</i> sp.)	An 14,815	09-juin	10-juin	75,516 ± 27,594	0			
Courges d'hiver (<i>Cucurbita</i> sp.)	An 14,815	09-juin	10-juin	3,404 ± 1,449	0			
Foin d'odeur (<i>Hierochloa odorata</i>)	Vi 11,111	20-juil	20-juil	Aucun, implantation seulement				
Fougère à l'autruche (<i>Matteuccia struthiopteris</i>)	Vi 10,000	15-juin	15-juin	Aucun, implantation seulement				
Haricot var. Black bean (<i>Phaseolus vulgaris</i>)	An 424,533	06-juin	06-juin	1,100 ± 295	0	En zone haute, implantation réussie En zone basse, échec d'implantation (fortes précipitations- saturation en eau).	Quelques caméline et lin ont survécu en zone basse à la saturation en eau Foin d'odeur, menthe, ciboulette et asclépiade = potentiel de reousse.	Aucun résidu post-cruce; repousses de vivaces broutées par les oies des neiges.
Haricot var. Cranberry (<i>Phaseolus vulgaris</i>)	An 424,533	06-juin	06-juin	591 ± 163	0			
Haricot var. Navy (<i>Phaseolus vulgaris</i>)	An 424,533	06-juin	06-juin	1,127 ± 334	0			
Haricot var. Pinto (<i>Phaseolus vulgaris</i>)	An 424,533	06-juin	06-juin	1,121 ± 594	0			
Haricot var. Red kidney (<i>Phaseolus vulgaris</i>)	An 424,533	06-juin	06-juin	816 ± 202	0			
Haricot var. Small red (<i>Phaseolus vulgaris</i>)	An 424,533	06-juin	06-juin	788 ± 198	0			
Lin var. CDC Bethune (<i>Linum usitatissimum</i>)	An 20,648,093	06-juin	06-juin	349 ± 124	93 ± 78			
Menthe du Canada (<i>Mentha canadensis</i>)	Vi NA			2,210 ± 2,984	2,481 ± 209			
Pois jaune var. CDC Amarillo (<i>Pisum sativum</i>)	An 1,072,570	06-juin	06-juin	371 ± 105	0			
Sarrasin var. Mancan (<i>Fagopyrum esculentum</i>)	An 4,562,421	06-juin	06-juin	265 ± 143	0			
Sarrasin var. Manisoba (<i>Fagopyrum esculentum</i>)	An 4,795,708	06-juin	06-juin	336 ± 225	39 ± 95			
Saule (<i>Salix miyabeana</i>)	Ar 54,645	09-juin	10-juin	Aucun, implantation seulement				
Sureau blanc (<i>Sambucus canadensis</i>)	Ar 10,000	15-juin	15-juin	Aucun, implantation seulement				
Tournesol var. Hornet (<i>Helianthus annuus</i>)	An 166,667	10-juin	10-juin	Biomasse : 2,344 ± 559 Grains : 647 ± 128	Biomasse : 541 ± 936 Grains : 122 ± 211			

Tableau 2A.6 (suite)

Cultures alternatives						
Nom - Type (An, annuelle; Vi, vivace; Ar, arbuste)	Taux de semis	Date de semis / plantation		Rendement (kg MS/ha)	Succès implantation/survie	Points forts
Semis 2021						
		(kg ha ⁻¹)	Zone haute	Zone basse		
Bourrache (<i>Borago officinalis</i>)	An				Échec (fortes précipitations - accumulation d'eau en zones haute et basse).	
Cameline + Pois jaune var. CDC Amarillo (<i>Camelina sativa</i> L. Crantz + <i>Pisum sativum</i>)	An					
Haricot var. Navy (<i>Phaseolus vulgaris</i>)	An					
Haricot var. Pinto (<i>Phaseolus vulgaris</i>)	An					
Panic érigé (<i>Panicum virgatum</i>)	Vi					
Sarrasin var. Mancan (<i>Fagopyrum esculentum</i>)	An					
Sarrasin var. Manisoba (<i>Fagopyrum esculentum</i>)	An					

Annexes 3A. Méthodologie des sections 4.6 à 4.8

3A.1 La synthèse des gradients environnementaux dans le littoral (section 4.6) : méthodes

Indicateurs environnementaux et fauniques

Des variables environnementales et fauniques ont été mesurées par différents chercheurs et chercheuses entre 2019 et 2021 selon les différents types d'utilisation des terres. Le nombre de sites, les méthodes et la période de collecte variaient selon les projets et objectifs des chercheurs et chercheuses. Au total, 92 variables biologiques ont été sélectionnées, chimiques et physiques comme indicateurs potentiels de l'intégrité écologique du système. Ces indicateurs décrivent différentes facettes (ex. : composition, structure, processus) de l'intégrité écologique et sont regroupés en quatre catégories : air, terre, sol et eau. Les variables mesurées sont présentées en détail dans le **Tableau 3A.1**. Une description simplifiée des méthodes de mesure utilisées pour chaque variable est présentée dans le **Tableau 3A.2**.

La catégorie « terre » comprenait des indicateurs mesurés sur la surface (ex. : abondance et diversité de la faune terrestre ; couvert végétal). La catégorie « sol » comprenait des indicateurs caractérisant la qualité physique, chimique et biochimique du sol et d'autres indicateurs mesurés dans les sols, tels que l'abondance des phases dormantes des invertébrés planctoniques. La catégorie « eau » regroupait les indicateurs biotiques et abiotiques mesurés dans l'eau et permettant d'évaluer la qualité de l'eau ainsi que la diversité et l'abondance des organismes aquatiques, dont les poissons (œufs, larves, juvéniles et adultes). La catégorie « air » rassemblait les indicateurs permettant de quantifier les flux écosystémiques (échanges avec l'atmosphère).

Analyses quantitatives et élaboration d'un indicateur composite

Afin d'étudier l'intégrité écologique le long d'un gradient d'utilisation des terres, une analyse en composantes principales probabiliste dans un contexte bayésien a été utilisée (ACPB ; Oba et al., 2003, Stacklies et al., 2007). Cette méthode d'analyse multivariée a permis d'intégrer l'ensemble des 92 indicateurs mesurés à des dates différentes, en tenant compte de leurs multiples relations ainsi que des valeurs manquantes. Lorsque requis, des transformations ont été réalisées sur les variables de manière à rendre les relations plus linéaires et réduire l'influence des points extrêmes. L'ensemble des 92 indicateurs a été mesuré pour quatre catégories de perturbation

(forêt naturelle, prairie naturelle, vieille prairie et nouvelle prairie), mais les catégories pratiques culturales améliorées (n = 73) et pratiques culturales conventionnelles (n = 90) présentaient des données manquantes. L'approche bayésienne a permis de mieux s'affranchir des valeurs manquantes existant dans le plan d'échantillonnage. Toutes les analyses statistiques ont été effectuées à l'aide du logiciel R (Development Core Team, 2021).

Tableau 3A.1.1 Liste des 92 variables mesurées par catégorie et leurs descriptions.

	Nom de la variable	Description	Catégorie
1	Abondance œufs grand brochet	Abondance des œufs de grand brochet	Eau
2	Abondance œufs perchaude	Abondance des œufs perchaude	Eau
3	Abondance larves grand corégone	Abondance de larves de grand corégone	Eau
4	Abondance larves perchaude	Abondance de larves perchaude	Eau
5	Bacterial growth efficiency (BGE)	Proportion de carbone assimilé qui est convertie en biomasse et reflète l'équilibre entre la croissance et les demandes énergétiques.	Eau
6	Composante 1 (C1) PARAFAC (Analyse factorielle parallèle)	Contribution de la C1 (Fluorophore humique) du modèle PARAFAC dans le spectre de fluorescence total de l'échantillon. Caractérisation de la matière organique dissoute	Eau
7	Composante 2 (C2) PARAFAC	Contribution de la C2 (Fluorophore Humique terrestre – microbien) du modèle PARAFAC dans le spectre de fluorescence total de l'échantillon.	Eau
8	Composante 3 (C3) PARAFAC	Contribution de la C3 (Fluorophore humique) du modèle PARAFAC dans le spectre de fluorescence total de l'échantillon	Eau
9	Composante 4 (C4) PARAFAC	Contribution de la C4 (Fluorophore protéique ou tryptophane) du modèle PARAFAC dans le spectre de fluorescence total de l'échantillon	Eau
10	Composante 5 (C5) PARAFAC	Contribution de la C5 du modèle PARAFAC (Fluorophore protéique ou tyrosine) dans le spectre de fluorescence total de l'échantillon	Eau
11	Concentration en oxygène dans l'eau	Concentration en oxygène mesurée dans l'eau	Eau
12	Concentration en carbone organique dissout	Concentration en carbone organique dissout mesurée dans l'eau	Eau

Tableau 3A.1.1 (suite). Liste des 92 variables mesurées par catégorie et leurs descriptions.

	Nom de la variable	Description	Catégorie
13	Concentration en phosphore total	Concentration en P total mesurée dans l'eau	Eau
14	Concentration en azote total	Concentration en azote total mesurée dans l'eau	Eau
15	Taux de Chlorophylle a	Concentration en Chlorophylle a mesurée dans l'eau	Eau
16	Taux de production microbienne	Taux de production microbienne	Eau
17	Taux de respiration bactérienne	Taux de respiration bactérienne	Eau
18	Richesse spp poissons	Nombre d'espèces observé	Eau
19	Raréfaction poissons	Nombre d'espèces calculé par raréfaction	Eau
20	Longueurs totales des larves de perchaudes	Longueurs totales des larves de perchaudes	Eau
21	Taux de croissance des larves de perchaudes	Taux de croissance des larves de perchaudes	Eau
22	Quantité totale en acides gras des perchaudes (FAME total)	Quantité totale en acides gras des perchaudes	Eau
23	Mean_turbidity	Turbidité dans l'eau pendant la crue	Eau
24	Conductivity_mean	Conductivité de l'eau	Eau
25	Matière en suspension	Concentration de matière en suspension dans l'eau	Eau
26	Zooplancton_richness	Richesse spécifique des zooplanctons = nombre d'espèces trouvées dans l'échantillon d'eau	Eau
27	Zooplancton_densite	Densité des zooplanctons = nombre d'individus de toutes les espèces par litre d'eau	Eau
28	Zooplancton_HillNumber	Indice de Hill (exposant de l'indice de Shannon qui prend en considération la diversité et l'équitabilité) des zooplanctons	Eau
29	Richesse espèces de syrphes	Nombre d'espèces de syrphes capturées	Terre
30	Abondance syrphes	Nombre d'individus de syrphes capturés	Terre
31	Richesse espèces abeilles	Nombre d'espèces d'abeilles capturées à un site donné	Terre
32	Abondance abeilles	Nombre d'individus d'abeilles capturés	Terre
33	Richesse en espèces d'oiseaux nicheurs	Diversité spécifique d'oiseaux nicheurs	Terre
34	Indice de diversité H	Indice de diversité acoustique d'espèces d'oiseaux nicheurs	Terre
35	Richesse en espèces d'insectes chanteurs	Diversité spécifique des Ensifera	Terre

Tableau 3A.1.1 (suite). Liste des 92 variables mesurées par catégorie et leurs descriptions.

	Nom de la variable	Description	Catégorie
36	Biomasse aeriene MS + litière + bois	Biomasse végétale en place (à la surface du sol)	Terre
37	Export	Exportation de biomasse soit humaine, soit broutement	Terre
38	Pte aeriene_MS	Productivité végétale (à la surface du sol)	Terre
39	CouVegSol (NDVI)	Minimum annuel du couvert végétal. Analyse de NDVI avec une image Sentinel-2 du 20 mai 2020 (résolution de 10 m).	Terre
40	Moisture Content	Pourcentage d'humidité du sol	Sol
41	Clay	Pourcentage d'argile	Sol
42	Sand	Pourcentage de sable	Sol
43	Silt	Pourcentage de limon	Sol
44	Phosphorous Mehlich III	Phosphore assimilable par les plantes	Sol
45	Soil Ammonium	Ammonium du sol (azote inorganique)	Sol
46	Soil Acid Phosphatase	Enzymes impliquées dans la décomposition du carbone, de l'azote et du phosphore. β-1,4— glucosidase, tyrosine amino peptidase, N-acteyl glucosiminidase, et phosphatase acide : enzymes hydrolytiques exocellulaires qui agissent sur les substrats C, N et P biodisponibles. Peroxydase et phénol oxydase : enzymes oxydantes dégradant la lignine.	Sol
47	Soil Beta Glucosidase		Sol
48	Soil N-acetyl Glucosaminidase		Sol
49	Soil Enzyme Peroxidase		Sol
50	Soil Phenol Oxidase		Sol
51	Soil Tyrosine Amino Peptidase		Sol
52	Soil Nitrate	Nitrate du sol (azote inorganique)	Sol
53	Total Carbon	Carbone total du sol	Sol
54	Total Nitrogen	Azote total du sol	Sol
55	AMPA	Concentration en acide aminométhylphosphonique (sous-produit de dégradation du glyphosate)	Sol
56	Clothianidine	Concentration en Clothianidine (pesticide)	Sol
57	Glyphosate	Concentration en glyphosate (pesticide)	Sol
58	Thiaméthoxame	Concentration en thiaméthoxame (pesticide)	Sol
59	Abondance Ostracoda	Abondance d'Ostracodes	Sol
60	Abondance Rotifera	Abondance de Rotifères	Sol
61	Abondance Cladocera	Abondance de Cladocères	Sol

Tableau 3A.1.1 (suite). Liste des 92 variables mesurées par catégorie et leurs descriptions.

	Nom de la variable	Description	Catégorie
62	Abondance Cyclopoida	Abondance de Cyclopedes	Sol
63	Abondance Harpacticoida	Abondance de Harpacticoides. Crustacés	Sol
64	Abondance Nematoda	Abondance de Nématodes	Sol
65	Abondance Oligochaeta	Abondance d'Oligochètes	Sol
66	Abondance Tardigrada	Abondance de Tardigrades	Sol
67	Abondance Insecta	Abondance d'Insectes	Sol
68	Abondance total Crustacea	Abondance totale de crustacés	Sol
69	Abondance total invertebrates	Abondance totale d'invertébrés	Sol
70	Soil_poorly_protected_zone	Pourcentage de couverture de sol peu protégé dans le bassin versant amenant l'eau au centroïde de la parcelle	Sol
71	Soil_protected_zone	Pourcentage de couverture de sol protégé dans le bassin versant	Sol
72	Microbial Biomass juin 2020	Biomasse microbienne du sol mesurée en juin 2020	Sol
73	Biomasse moyenne ADN sol	Biomasse moyenne de l'ADN du sol	Sol
74	Biomasse racinaire_MS	Biomasse racinaire du sol (matière sèche)	Sol
75	Stock_Corg_Cum_80cm	Stock de carbone organique cumulé dans la profondeur 80 cm	Sol
76	Stock_Ntot_Cum_25cm	Stock d'azote total cumulé dans la profondeur 25 cm	Sol
77	Densité terre fine	Densité apparente en terre fine dans la profondeur 10 cm	
78	Carbone organique sol	Teneur en carbone organique du sol dans la profondeur 10 cm	Sol
79	Porosité sol	Porosité du sol dans la profondeur 10 cm	Sol
80	C/N du sol	Rapport C/N dans la profondeur 10 cm	Sol
81	15N MO du sol	Signature en 15N de la MO du sol dans la profondeur 10 cm	Sol
82	Nmax-sol	Maximum annuel (2019-2021) des concentrations en azote minéral du sol	Sol
83	Pmax-sol	Maximum annuel (2019-2021) des concentrations en Phosphate du sol	Sol
84	Diversité des bactéries	Indice de Hill des bactéries, des champignons et des protistes	Sol
85	Diversité des champignons	Indice de Hill des champignons	Sol
86	Diversité des protistes	Indice de Hill des protistes	Sol

Tableau 3A.1.1 (suite). Liste des 92 variables mesurées par catégorie et leurs descriptions.

	Nom de la variable	Description	Catégorie
87	Capacité rafraîchir température air	Capacité annuelle à rafraîchir la température de l'air	Air
88	Capacité réguler N minéral	Capacité annuelle à réguler la concentration en N minéral	Air
89	Productivité nette biome	Capacité annuelle de séquestration du carbone de l'écosystème	Air
90	Émission N ₂ O éq. CO ₂	Émission annuelle en N ₂ O éq. CO ₂ vers l'atmosphère	Air
91	Émission CO ₂ -CH ₄ éq. CO ₂	Émission annuelle en CO ₂ -CH ₄ éq. CO ₂ vers l'atmosphère	Air
92	Potentiel méthanotrophique	Potentiel annuel méthanotrophique de l'écosystème	Air

Tableau 3A.1.2 Présentation simplifiée des méthodes de mesure des 92 variables étudiées.

	Nom de la variable	Méthode
1	Abondance œufs grand brochet	Perchaude : repérage visuel avec dénombrement des pontes (des rubans contenant un grand nombre d'œufs et trouvés souvent enroulés autour de la végétation submergée) le long de chaque transect. Grand brochet : échantillonnage des œufs par le biais d'une prise traînée délicatement sur le substrat, puis dénombrés individuellement.
2	Abondance œufs perchaude	
3	Abondance larves grand corégone	Larves de poissons échantillonnées à l'aide de pièges lumineux de type Quatrefoil, aux printemps de 2019 et 2021 dans les secteurs de Pierreville, Saint-Barthélemy et Baie-du-Febvre.
4	Abondance larves perchaude	
5	Efficacité de la croissance bactérienne (BGE)	$BGE = BP / (BP + BR)$. BP : taux de production bactérienne, BR : taux de respiration bactérienne
6	Composante 1 (C1) PARAFAC	Concentration en carbone organique dissous analysée dans les échantillons d'eau après filtration, puis caractérisée optiquement par absorbance et fluorescence (à l'aide de la modélisation PARAFAC).
7	Composante 2 (C2) PARAFAC	
8	Composante 3 (C3) PARAFAC	
9	Composante 4 (C4) PARAFAC	
10	Composante 5 (C5) PARAFAC	
11	Concentration en oxygène dans l'eau	Déterminée à l'aide d'une sonde multiple YSI.
12	Concentration en carbone organique dissout	Analysée dans des échantillons d'eau après filtration à l'aide d'un analyseur à carbone organique total de modèle Sivers M9.
13	Concentration en phosphore total	Analysée dans des échantillons d'eau après filtration à partir d'un analyseur par flux d'injection Lachat QuickChem 8500.
14	Concentration en azote total	
15	Taux de Chlorophylle a	mesuré dans un échantillon d'eau par fluorimétrie effectuée sur un fluoromètre de modèle turner designs 10-AU.
16	Taux de production microbienne (bactérienne)	Estimée à l'aide de la technique d'incorporation de leucine tritiée
17	Taux de respiration bactérienne	Mesuré en tant que perte en oxygène à l'aide de capteurs optiques (Presens)
18	Richesse spp poissons	Nombre d'espèces observé
19	Raréfaction poissons	Nombre d'espèces calculé par raréfaction
20	Longueurs totales des larves de perchaudes	Larves échantillonnées, préservées dans l'éthanol, mesure de la longueur totale

Tableau 3A.1.2 (suite) Présentation simplifiée des méthodes de mesure des 92 variables étudiées.

	Nom de la variable	Méthode
21	Taux de croissance des larves de perchaudes	Larves échantillonnées, préservées dans l'éthanol, mesure du taux de croissance (longueur totale divisée par âge en jours)
22	Quantité totale en acides gras des perchaudes (FAME total)	Larves échantillonnées aléatoirement, préservées au congélateur -80 °C, analyse des acides gras au laboratoire
23	Mean_turbidity	Enregistreurs autonomes de turbidité <i>Cyclops-7 Logger</i> installés au début de la saison de fonte pour enregistrer la turbidité aux 10 minutes jusqu'à la fin de la décrue dans chaque secteur, complétées par des mesures ponctuelles de turbidité effectuées le long de transects couvrant un plus large territoire incluant l'ensemble des parcelles agricoles qui ont fait l'objet d'essais agronomiques
24	Conductivity_mean	Mesures ponctuelles effectuées à partir d'une embarcation le long de transects couvrant l'ensemble des parcelles agricoles qui ont fait l'objet d'essais agronomiques
25	Matière en suspension	Échantillons de 1L d'eau (533 au total) prélevés de manière ponctuelle, à proximité des appareils déployés et à divers endroits le long des transects, mesures en laboratoire de la concentration de matières en suspension par filtration, sur des filtres Whatman Grade 934-AH.
26	Zooplancton_richness	Échantillon de 20L d'eau tamisé à 64 µm, préservé dans l'éthanol, identifié au microscope par la firme ontarienne IdentaZoop
27	Zooplancton_densite	
28	Zooplancton_HillNumber	
29	Richesse espèces de syrphes	Transect linéaire de 15 pièges remplis d'eau savonneuse (bols plastiques de 15 cm de diamètre) placés dans l'ordre des couleurs alternées jaune, bleu et blanc (cinq pièges par couleur par site) au-dessus des niveaux de la canopée et déployé à 1 m de distance. Insectes piégés, placés dans des sacs contenant 70 % d'éthanol et stockés dans un congélateur jusqu'au moment de l'identification selon la littérature scientifique. Ils ont été identifiés au niveau de l'espèce lorsque cela était possible.
30	Abondance syrphes	
31	Richesse espèces abeilles	
32	Abondance abeilles	
33	Richesse en espèces d'oiseaux nicheurs	Décompte à partir d'enregistrements audios
34	Indice de diversité H	Calcul de l'indice de diversité acoustique (<i>Acoustic Entropy Index</i>) d'espèces d'oiseaux nicheurs
35	Richesse en espèces d'insectes chanteurs	Décompte à partir d'enregistrements audios
36	Export	Exportation de biomasse soit humaine, soit broutement Sol

Tableau 3A.1.2 (suite) Présentation simplifiée des méthodes de mesure des 92 variables étudiées.

	Nom de la variable	Méthode
37	CouVegSol (NDVI)	Analyse de NDVI avec une image Sentinel-2 du 20 mai 2020 (résolution de 10 m). Un buffer de 10 m autour de la parcelle a été utilisé pour faire le découpage afin d'inclure volontairement les fossés qui auraient potentiellement de la végétation et agirait comme refuge de biodiversité
38	Moisture Content	Déterminée à partir de la teneur en eau gravimétrique en séchant au four un sol frais humide à 105 °C pendant 24 à 48 heures.
39	Clay	Pourcentage d'argile, de sable et de limon déterminé par la méthode de l'hydromètre d'analyse de la taille des particules sur environ 40 g de sol séché à l'air, d'abord dispersé avec de l'hexamétophosphate de sodium.
40	Sand	
41	Silt	
42	Phosphorous Mehlich III	Extraction d'ions orthophosphates avec un acide organique faible dans des échantillons de sol par la méthode Mehlich III. Estimation du P disponible pour les plantes dans l'extrait par colorimétrie au molybdate.
43	Soil Ammonium	Déterminés sur des extraits de sol au KCl 2M par analyse spectrophotométrique à l'aide d'un spectromètre à 96 puits à 540 nm pour le nitrate et 650 nm pour l'ammonium (BioTek Instruments, Winooski, Vermont, États-Unis).
44	Soil Nitrate	
45	Soil Acid Phosphatase	Enzymes mesurées dans un mélange homogène de 1 g de sol frais et d'une solution tampon d'acétate de sodium de 50 mM (pH 6,5). Des aliquotes du mélange et des étalons de méthylumbelliféryle ou de méthylcoumarine (pour les enzymes hydrolytiques) ont été ajoutés à une microplaque noire à 96 puits. Activité enzymatique potentielle mesurée sur un lecteur de plaque fluorimètre/spectromètre (BioTek Instruments, Winooski, Vt, USA). Résultats présentés sous forme d'activité (nmol/h/g).
46	Soil Beta Glucosidase	
47	Soil N-acetyl Glucosaminidase	
48	Soil Enzyme Peroxidase	
49	Soil Phenol Oxidase	
50	Soil Tyrosine Amino Peptidase	

Tableau 3A.1.2 (suite) Présentation simplifiée des méthodes de mesure des 92 variables étudiées.

	Nom de la variable	Méthode
51	Total Carbon	Quantification de C et N organique total du sol sur des échantillons de sol finement broyés et séchés au four (105 °C) à l'aide d'un analyseur élémentaire à combustion flash (Costech EA ECS 4010, Valencia Ca, USA).
52	Total Nitrogen	
53	AMPA	Échantillonnage de sol à différentes profondeurs, extraction en laboratoire basée sur des procédures standard, quantification en laboratoire, analyse de données
54	Clothianidine	
55	Glyphosate	
56	Thiaméthoxame	
57	Abondance Ostracodes	Échantillons de sol placés dans des incubateurs en verre de 400 ml avec de la masse d'eau du lac Ontario prélevée dans le fleuve Saint-Laurent. Suivi de la communauté après 30 jours d'incubation. Une série d'incubateur différente échantillonnée chaque semaine afin de récupérer les organismes zooplanctoniques éclos. Organismes récoltés, narcotisés dans une solution d'eau carbonée et fixés dans de l'éthanol à 40 % pour identification au microscope binoculaire
58	Abondance Cladocera	
59	Abondance Cyclopoida	
60	Abondance Harpacticoida	
61	Abondance Nematoda	
62	Abondance Oligochaeta	
63	Abondance Tardigrada	
64	Abondance Insecta	
65	Abondance total Crustacea	
66	Abondance total invertebrates	
67	Abondance Cladocera	Cartographie de l'état des sols agricoles dans le littoral et les bassins versants des ruisseaux, réalisée à partir d'observations sur le terrain
68	Soil_poorly_protected_zone	
69	Soil_protected_zone	

Tableau 3A.1.2 (suite) Présentation simplifiée des méthodes de mesure des 92 variables étudiées.

	Nom de la variable	Méthode
70	Microbial Biomass juin 2020	Concentrations en biomasse d'ADN après extraction avec le kit DNeasy PowerSoil Pro (Qiagen) et en biomasse microbienne par fumigation-extraction (fumigation chloroforme et extraction au BaCl ₂) mesurées sur des échantillons congelés par unité de masse de sol sec puis converties par unité de surface en tenant compte de la profondeur échantillonnée et de la densité apparente en terre fine.
71	Biomasse moyenne ADN sol	
72	Biomasse racinaire_MS	Les biomasses en place aérienne et racinaire ont été récoltées au pic de la période de la végétation pour les cultures de grains et les prairies et estimées pour les forêts à partir de la mesure des densités de tige et de relations allométriques entre le DHP et la biomasse d'un individu des espèces. La productivité aérienne de la végétation a été calculée comme l'accumulation de biomasse verte sur la saison de végétation entre mai et novembre pour les cultures de grains et les prairies et estimée pour les forêts à partir de la mesure des densités de tige et de l'accumulation de biomasse par individu en utilisant les cernes de croissance et les relations allométriques de biomasse.
73	Biomasse aérienne MS + litière + bois	
74	Pte aérienne_MS	
75	Stock_Corg_Cum_80cm	Teneurs en carbone organique et en azote total, signature isotopique en 15N pour les horizons ont été mesurées après une fumigation acide et à l'aide d'un analyseur élémentaire couplé à un spectromètre de masse à rapport isotopique (EA-IRMS, technologie Agilent, Santa Clara, CA, USA).
76	Stock_Ntot_Cum_25cm	
77	15N MO du sol	
78	Densité terre fine	Sol tamisé à 1 mm puis mesure du poids sec après 36 h à 80 °C
79	Carbone organique sol	Teneur en matière organique des sols mesurée après fumigation acide pour enlever les carbonates et analyse de la concentration carbone par pyrocube (elementar).
80	Porosité sol	Porosité = $100 \cdot (1 - [D_{aTF}/2.65])$, en considérant une densité maximale de 2.65 g cm ⁻³
81	C/N du sol	Rapport carbone total/azote total du sol
82	Nmax-sol	Maximum annuel (2019-2021) des concentrations en Nmin du sol
83	Pmax-sol	Maximum annuel (2019-2021) des concentrations en Phosphate du sol

Tableau 3A.1.2 (suite) Présentation simplifiée des méthodes de mesure des 92 variables étudiées.

	Nom de la variable	Méthode
84	Diversité des bactéries	Prélèvement d'eau ou de sol, extraction de l'ADN, amplification du marqueur 16S, séquençage, traitement bioinformatique des données pour obtenir un tableau de composition en « Amplicon Sequence Variants », des variants génétiques plus ou moins équivalents aux espèces
85	Diversité des champignons	Prélèvement d'eau ou de sol, extraction de l'ADN, amplification du marqueur ITS2, séquençage, traitement bioinformatique des données pour obtenir un tableau de composition en « Amplicon Sequence Variants », des variants génétiques plus ou moins équivalents aux espèces
86	Diversité des protistes	Prélèvement d'eau ou de sol, extraction de l'ADN, amplification du marqueur 18S, séquençage, traitement bioinformatique des données pour obtenir un tableau de composition en « Amplicon Sequence Variants », des variants génétiques plus ou moins équivalents aux espèces
87	Capacité rafraîchir température air	Différence cumulée entre la température de l'air ambiant et la température du sol mesurée par des pendant onset (Hobo) placée durant une année à 10 cm de profondeur dans le sol.
88	Capacité réguler N minéral	Calcul du coefficient de variation sur neuf temps de mesures de la concentration en $N_{\min} = NO_3^- + NH_4^+$.
89	Productivité nette biome	Capacité de séquestration du carbone (C) de l'écosystème estimée par la productivité nette du biome ($tC\ ha^{-1}\ an^{-1}$), c.-à-d. comme différence annuelle entre flux entrant et sortant du C
90	Émission N ₂ O éq. CO ₂	Émission annuelle de N ₂ O (Fc-N-GES, $teq-CO_2\ ha^{-1}\ an^{-1}$) : cumul de 10 épisodes de flux maximal F-N ₂ O. Flux de N ₂ O estimés selon l'équation de Wang et al (2020) en $\mu gN\ kg^{-1}\ h^{-1}$ et les concentrations en NO ₃ ⁻ et en NH ₄ ⁺ , l'espace des pores remplis par de l'eau et température du sol sur 9 dates disponibles
91	Émission CO ₂ -CH ₄ éq. CO ₂	Émission annuelle de gaz à effet de serre ($tC-CO_2\ ha^{-1}\ an^{-1}$) : cumul sur les années 2020 et 2021 des flux journaliers estimés de CO ₂ +CH ₄ . Flux de CO ₂ et de CH ₄ mesurés sur 12 campagnes de terrain à l'aide d'un analyseur portable LI-7810 et d'une chambre (SmartChamber 8200, LICOR) de 20 cm de diamètre
92	Potentiel méthanotrophique	Potentiel annuel de méthanotrophie (PME, $tC-CH_4\ ha^{-1}\ an^{-1}$) : cumul sur les années 2020 et 2021 des flux journaliers estimés de CH ₄

Références

- Dauphin, D. & Jobin, B. 2016. Changements de l'occupation du sol dans la plaine inondable du lac Saint-Pierre entre les années 1950 et 1997. *Le Naturaliste canadien*. 140(1). 42–52.
- Lessard, M. 1991. Analyse multidimensionnelle et discontinuités spatiales des communautés de poissons du lac Saint-Pierre et de l'archipel de Sorel. Environnement Canada. Disponible en ligne à : <https://belsp.uqtr.ca/id/eprint/374>.
- Oba, S., et al. 2003. A Bayesian missing value estimation method for gene expression profile data. *Bioinformatics*. 19(16), 2088–2096.
- R Development Core Team. 2021. A language and environment for statistical computing. R foundation for statistical computing: Vienna. Disponible en ligne à : <http://www.r-project.org>.
- Stacklies, W., et al. 2007. pcaMethods—a bioconductor package providing PCA methods for incomplete data. *Bioinformatics*. 23(9). 1164–1167.
- Table de concertation régionale du lac Saint-Pierre (TCRLSP). 2018. Plan de gestion intégrée régional du lac Saint-Pierre. Document d'introduction. Quebec. Disponible en ligne à : <https://belsp.uqtr.ca/id/eprint/1428>).
- Table de concertation régionale du lac Saint-Pierre (TCRLSP). 2017. Cohabitation agriculture-faune en zone littorale au lac Saint-Pierre. Quebec. Disponible en ligne à : <https://belsp.uqtr.ca/id/eprint/1430>).
- Wang, R., et al. 2020. Using field-measured soil N₂O fluxes and laboratory scale parameterization of N₂O/(N₂O+N₂) ratios to quantify field-scale soil N₂ emissions. *Soil Biol. Biochem*. 148. 107904.

3A.2 Les disparités régionales des variables mesurées en grandes parcelles (section 4.7) : méthodes

Les analyses ont considéré un total de 113 variables et ont été réalisées sur les données brutes. Chaque mesure de chaque variable était associée à un site unique, ainsi qu'à l'une des quatre régions d'étude. Les variables ont été classées en trois groupes de processus (biotique, n=26 ; abiotique, n=66 ; agronomique, n=21), ainsi qu'en fonction du milieu échantillonné (aquatique, n=38 ; terrestre, n=75). Les variables biotiques regroupent les données sur la faune aquatique et terrestre, ainsi que les mesures de biodiversité végétale et animale. Les variables abiotiques incluent des mesures de qualité des sols (ex. : texture, physicochimie, pesticides), de qualité de l'eau (ex. : turbidité, physicochimie) et de flux écosystémiques (ex. : carbone, azote) associés à la production primaire ou bactérienne. Enfin, les variables agronomiques regroupent les mesures de rendement agricole, telles que la biomasse aérienne, le couvert végétal ou la valeur nutritive des plantes.

Des modèles mixtes généralisés ont été ajustés à chacune des 113 variables prises individuellement afin de tester pour l'effet de la région d'étude (effet fixe), en considérant la variation associée aux mesures répétées à chaque site (effet aléatoire). Les fonctions « lme » et « glmer » sous l'environnement de programmation R ont été utilisées à cette fin. La fonction glmer a été utilisée pour les variables de dénombrement, alors que la fonction lme a été utilisée pour toutes les autres variables. Il est important de souligner que le terme aléatoire « site », dans ces modèles, englobe toute source de variation intrasite, telle que les différentes élévations dans un même champ, ou les différentes périodes d'échantillonnage au même site. Après avoir ajusté les modèles, la fonction r.squaredGLMM (Nakagawa & Schielzeth, 2013) a été utilisée pour calculer la proportion de la variation (r^2) expliquée par la région d'étude uniquement, ainsi que la proportion de la variation expliquée par le modèle global (effets fixe + aléatoire). L'hétérogénéité relative (HR) à l'effet de la région d'étude a été standardisée pour chaque variable selon l'équation suivante : $HR = r^2 \text{ effet fixe} / (r^2 \text{ effets fixe} + \text{aléatoire})$.

Les coefficients HR ont été comparés visuellement en fonction des groupes de variables (biotique abiotique, agronomique) et du type de milieu échantillonné (aquatique, terrestre). Il a été déterminé qu'une valeur HR supérieure à 0,25 (> 25 % de la variation explicable) était indicatrice de variables présentant de fortes différences interrégions.

3A.3 Les espèces sentinelles de l'intégrité des écosystèmes de la plaine inondable (section 4.8) : méthodes

Les espèces ombrelles-indicatrices et clé-de-voûte ont été identifiées en s'appuyant sur les recensements réalisés par le Pôle. En particulier, les communautés d'abeilles (super-famille des Apoidea), d'orthoptères chanteurs (sous-ordre des Ensifera), de poissons, d'oiseaux et de plantes vasculaires dans la plaine inondable ont été considérées pour les campagnes de 2019 et 2020

prises séparément (**Tableau 4.1**). Les protocoles d'échantillonnage sont décrits dans le rapport final 2019-2014 du Pôle (**Fournier, Proulx, Rodriguez et Poulin, 2023**). Les abeilles ont été échantillonnées avec un système de pièges-bols, les orthoptères et les oiseaux à l'aide d'enregistreurs numériques, les poissons par la pêche électrique en période de crue, et enfin les plantes vasculaires à l'aide de quadrats de végétation.

La méthode développée par DeCaceres et Legendre (DeCaceres & Legendre, 2009 ; DeCaceres et al., 2010) a été utilisée afin d'identifier les espèces ombrelles-indicatrices. Une espèce est identifiée si et seulement si cette dernière est spécifique et fidèle à une catégorie d'environnement plutôt qu'à une autre. Pour les besoins de la présente étude, les sites d'échantillonnage du Pôle ont été regroupés en trois catégories : i) les champs en cultures annuelles (maïs, soya), ii) les cultures fourragères (prairies et pâturages), iii) les milieux naturels (prairies humides et forêts). Cette catégorisation a été réalisée pour les abeilles, les orthoptères, les poissons et les oiseaux, puisque le même dispositif d'échantillonnage en grandes parcelles a été utilisé. Les plantes vasculaires ont été échantillonnées dans les marais, prairies humides et friches de la plaine inondable du LSP dans le cadre d'un inventaire réalisé par l'équipe de M. Poulin. Pour ce jeu de données, les sites ont été regroupés en trois catégories selon le pourcentage du paysage en cultures annuelles dans un rayon de 1 km² : i) semi-naturel (< 5 %), ii) intermédiaire (10-55 %), iii) intensif (> 60 % en cultures annuelles). Pour chaque groupe taxonomique et campagne d'échantillonnage, l'indice « IndVal » a été calculé à partir de la fonction « multipatt » dans le package R « indicpecies » (DeCaceres & Legendre, 2009).

La méthode proposée par Avolio et al. (2019) a été utilisée afin d'identifier les espèces clé-de-voûte. Les fonctions R ont été adaptées et développées par Loiselle (2023). Une espèce clé-de-voûte est identifiée si et seulement si les deux critères suivants sont respectés : i) l'intervalle de confiance 99 % de l'indice d'importance communautaire (CI) d'une espèce est > 1 ou < -1 (c.-à-d., impact disproportionnellement positif ou négatif), ii) la dominance de l'espèce dans une communauté dépasse 10 % ; c'est-à-dire que les représentants de l'espèce peuvent représenter plus de 10 % de l'ensemble des captures à un site.

L'indice d'impact communautaire est calculé à partir de la formule suivante (Avolio et al. 2019) : $CI_i = (FA - FB)/(FA + FB) * 1/(r_{Ai} - r_{Bi})$, où CI_i représente l'indice associé à l'espèce i , FA est la fonction écosystémique dans la communauté A où l'espèce i est présente, FB est la fonction écosystémique dans la communauté B où l'espèce i est absente, alors que r_{Ai} et r_{Bi} représentent l'abondance relative de l'espèce i dans les communautés A et B , respectivement. On obtient l'indice CI de l'espèce A en calculant la moyenne (\pm erreur-type) à travers toutes les paires de communautés où l'espèce est présente. La fonction (F) d'une communauté est ici représentée par la richesse en espèces observée, alors que l'abondance relative (r) correspond à l'abondance de l'espèce divisée par l'abondance totale de la communauté.

Annexe 4A. Développement d'un modèle numérique de terrain (MNT) pour la cartographie des niveaux d'eau dans le littoral du lac Saint-Pierre

Des données bathymétriques et des données LIDAR ont été assemblées afin de créer un modèle numérique de terrain (MNT) unifié permettant de modéliser les niveaux d'eau dans le littoral du LSP. Les données hydrométriques mesurées à la station de Sorel (*Station 15930*) ont été utilisées pour estimer quotidiennement la hauteur du niveau de l'eau autour du lac. La précision des modélisations a été évaluée par des validations sur le terrain et à l'aide d'orthophotos créées par drone dans les champs inondés en période de crue au printemps 2019. Le modèle unifié à une résolution de 1 m². Un modèle semblable avait été créé et validé en 2002 par Fortin *et al.* (2002), mais la faible résolution spatiale de 5 m (25 m²) était insuffisante pour les besoins des projets du Pôle.

Le modèle numérique de terrain unifié

Les **données bathymétriques** nécessaires ont été produites par le Service hydrographique du Canada (2015). Elles étaient présentées sous une forme brute et ponctuelle, à densité spatiale variable et sans interpolation entre les mesures. La voie maritime du LSP ainsi que la majorité des zones profondes avaient une densité appréciable de mesures, alors que les zones de faible niveau d'eau en périphérie n'assuraient qu'une densité faible (**Figure 4A.1**). Les **données LIDAR**, quant à elles, ont été fournies par Environnement Canada, dans le cadre d'une entente l'Université du Québec à Trois-Rivières. Les valeurs brutes, d'une densité locale variable, mais uniformément répartie sur le territoire, ont été utilisées et couvraient l'ensemble des zones exondées et humides autour du lac. Les survols pour la prise de mesures ont été réalisés en novembre et décembre 2001 (**Figure 4A.2**).



Figure 4A.1. La bathymétrie à densité variable dans le lac Saint-Pierre.

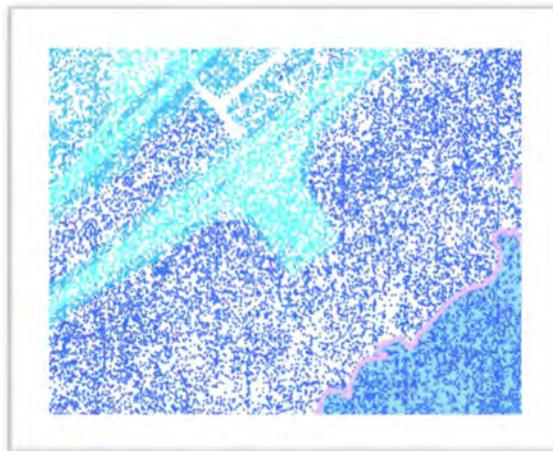


Figure 4A.2. Données LIDAR dans la zone inondable du lac Saint-Pierre.

Les valeurs brutes de la bathymétrie, qui permettent de mesurer la profondeur de l'eau en fonction du zéro des cartes (ZC), ont été converties en valeurs d'altitude mesurée au Niveau Moyen des Mers (NMM). Cette opération permet d'obtenir un profil du fond du lac compatible avec les données d'élévation terrestres usuelles. Elles ont été combinées avec les mesures du LIDAR des sections exondées autour du lac. Pour réaliser cette fusion entre la bathymétrie et le LIDAR, un tampon de 5 mètres couvrant la zone de jonction des deux groupes de données fut utilisé afin de moyenner les mesures limitrophes et ainsi adoucir les variations abruptes et les effets de bordure.

Une des étapes importantes de la création du MNT unifié à une précision de 1 m² fut le traçage de tous les ponceaux, indétectables par le LIDAR. Au total, plus de **10 000 ponceaux** furent repérés autour du LSP à l'aide de photographies aériennes, tracés manuellement, puis intégrés dans la création du MNT. Cette opération fut réalisée en collaboration avec Daphney Dubé-Richard, dans le cadre de son mémoire de maîtrise. À l'aide d'un automatisme programmé avec l'outil « Model Builder » de ArcGIS, les ponceaux, représentés par des vecteurs, furent incrustés dans un MNT préliminaire. Cette étape permettait de relier les talwegs des cours d'eau de part et d'autre d'une route ou d'un chemin agricole. Ce processus crucial permet ultimement de recréer efficacement le réseau hydrographique selon le principe de Strahler, afin qu'il soit intégré à la création d'un MNT global réaliste assurant une connectivité hydrique (**Figures 4A.3, 4A.4 et 4A.5**). Il en résulte la création d'une large cuvette de 1650 km² d'une résolution spatiale de 1 m² représentant la topographie de toute l'aire à l'étude, incluant le fond du lac et le littoral (**Figure 4A. 6**).



Figure 4A.3. Une région autour du lac Saint-Pierre où les ponceaux ont été tracés afin de relier les talwegs de part et d'autre d'une route ou d'un chemin agricole.



Figure 4A.4. Modélisation du réseau hydrologique à partir d'un MNT sans le traçage des ponceaux. Le drainage n'obéit pas aux dépressions des terrains agricoles puisque les ponceaux sont inexistants dans le modèle.

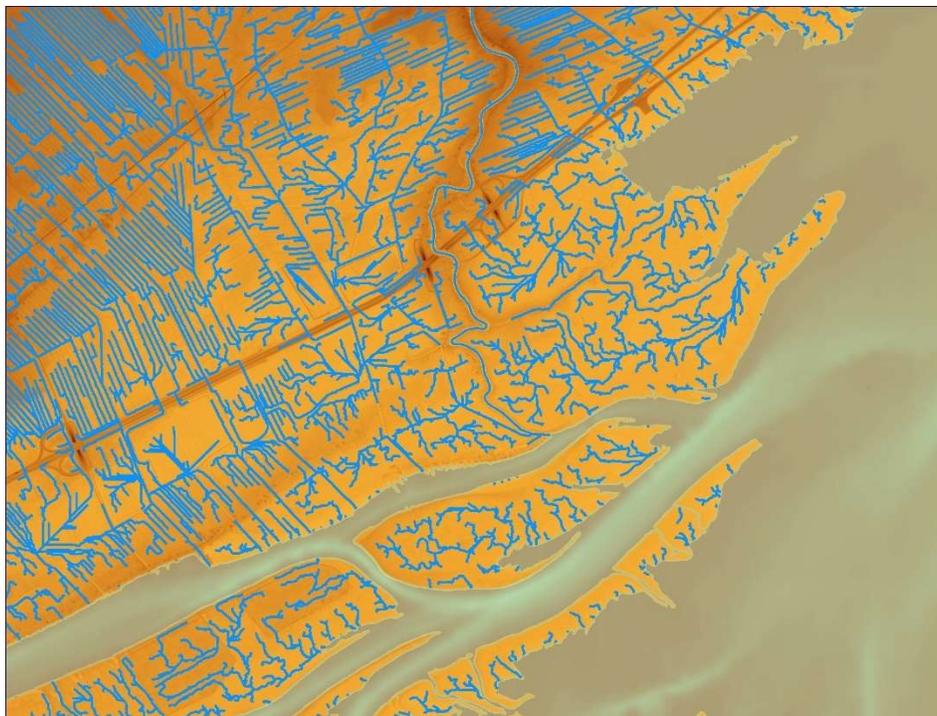


Figure 4A.5. Modélisation du réseau hydrologique à partir d'un MNT après le traçage des ponceaux. L'eau s'écoule sans contrainte de façon réaliste.

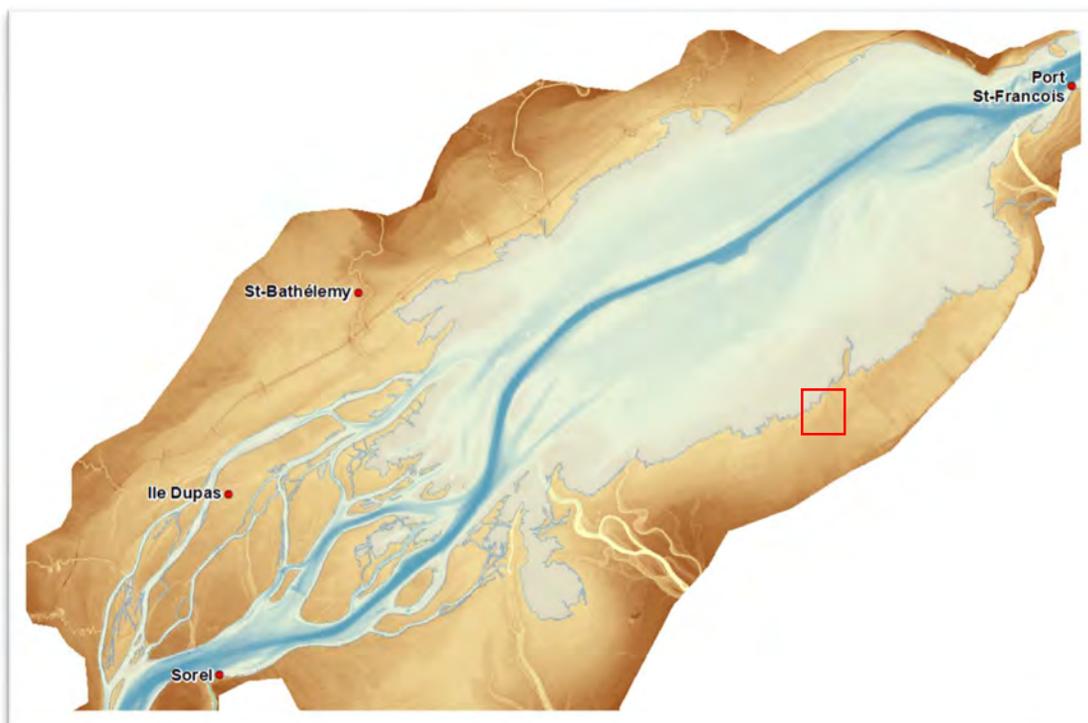


Figure 4A.6. Modèle numérique de terrain unifié combinant la bathymétrie et les données LiDAR autour du LSP. Les teintes bleutées représentent les limites du niveau d'eau habituel du LSP. Le carré rouge représente la surface couverte par la **Figure 4A.8.**

La modélisation des niveaux d'eau

La station hydrométrique de Sorel, en amont du LSP, permet d'obtenir quotidiennement les mesures de niveau d'eau du fleuve. Puisque le lac correspond à l'élargissement d'une portion du fleuve Saint-Laurent et qu'un débit important y est observé, il existe un gradient négatif de 75 cm entre les niveaux d'eau de Sorel, en amont, et Port Saint-François en aval. Le calcul de ce gradient (la pente dans le lac) correspond à la différence mesurée entre les deux cotes de récurrence 0-2 ans de chacune des stations hydrologiques (Lapointe, 1990). Ce gradient a été inclus dans le calcul de modélisation des niveaux d'eau.

Le modèle, créé à l'aide de « Model Builder » de ArcGIS, permet d'intégrer une valeur journalière de niveau d'eau de la station hydrométrique de Sorel et générer une large matrice binaire de la présence ou l'absence d'eau dans le MNT global de l'ensemble du lac. En fonction de la valeur hydrométrique mesurée à la station, ainsi que du gradient négatif, le modèle permet d'indiquer si l'eau excède ou non la valeur d'élévation (NMM) de chaque pixel du MNT à haute précision. Une courbe bathymétrique est alors automatiquement générée à la limite des valeurs positives pour obtenir un fichier numérique moins volumineux.

Validation du modèle

Afin de valider la qualité et la précision de la modélisation des niveaux d'eau, des appréciations visuelles ont été réalisées à plusieurs reprises sur le terrain. Aussi, deux survols de drone (DJI Phantom P4V2) ont été effectués dans deux régions agricoles autour du lac (à Saint-Barthélemy le 22 avril 2019, et à l'Île Dupas le 2 mai 2019) au moment où les crues excédaient les niveaux de la récurrence de 0-2 ans. Les mosaïques de photos géoréférencées furent créées à l'aide du logiciel Pix4D et une modélisation du niveau d'eau fut réalisée au même moment que la prise de photos (niveau d'eau mesuré à Sorel le 22 avril : 7,3 m NMM et le 2 mai : 7,03 m NMM). Les vecteurs de la modélisation furent superposés aux mosaïques afin d'apprécier la correspondance (Figure 4A.7).

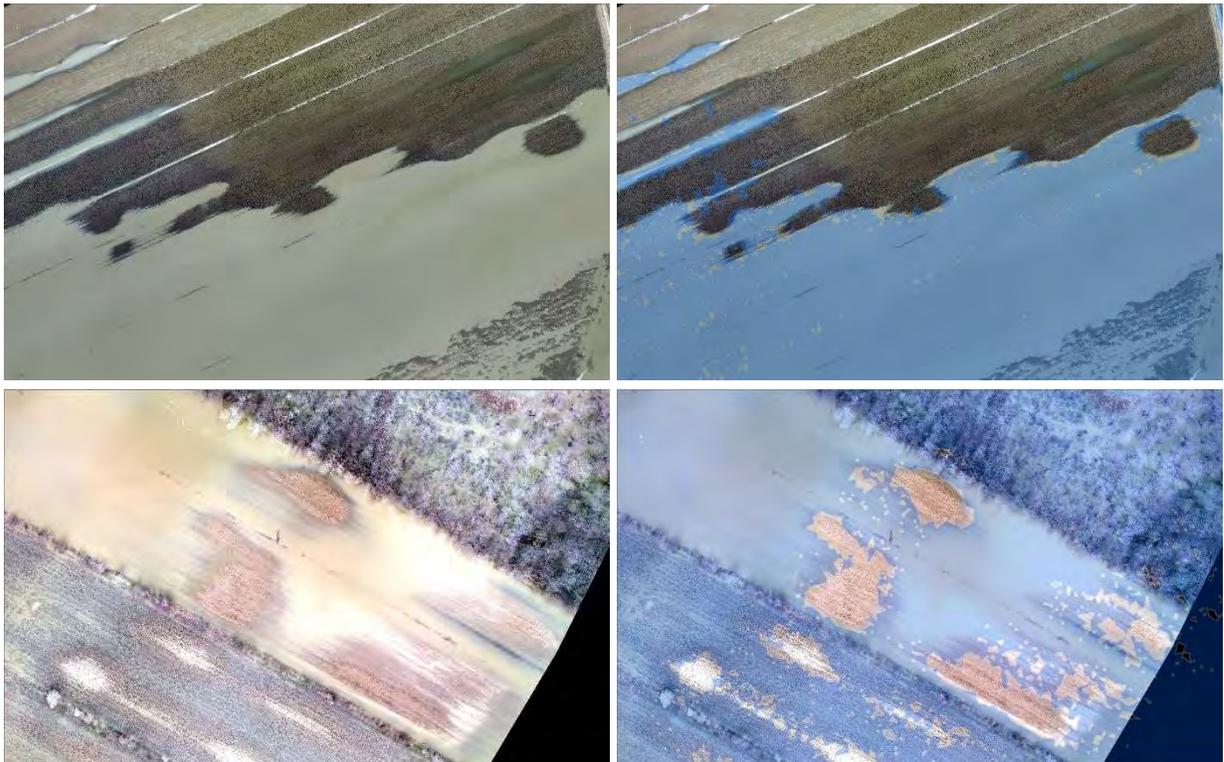


Figure 4A.7. Représentation des modélisations des niveaux d'eau superposés aux images de drone. Les images du haut représentent Saint-Barthélemy, celles du bas, l'Île Dupas.

Conclusion et discussion

Un modèle numérique de terrain (MNT) permettant une modélisation des niveaux d'eau au quotidien, et le temps de résidence annuel de l'eau a procuré des données complémentaires importantes pour plusieurs chercheurs et chercheuses de l'équipe du Pôle. Le modèle fut utilisé quotidiennement pendant les crues de 2019 à 2022 afin d'évaluer quelle était la hauteur d'eau sur les sites d'échantillonnage. Les données concernant le temps de résidence de l'eau sur chaque site et chaque année furent utilisées par plusieurs équipes des axes agriculture et environnement. Le temps de résidence de l'eau a permis notamment à une équipe d'agronomes de pouvoir intégrer cette information à leurs modèles de croissance végétale à plusieurs sites d'étude autour du Lac. Le fichier de temps de résidence est un fichier matriciel où la valeur de chaque pixel

correspond au nombre de jours où la surface fut sous l'eau. Les valeurs sont comprises entre 0 et 365 (**Figure 4A.8**). Le modèle fut également utilisé pour tracer les limites précises des bassins versants des ruisseaux agricoles tributaires du littoral. Il fut enfin utilisé pour la production de la synthèse et des recommandations du Pôle d'expertise, notamment en ce qui concerne la récurrence des différents niveaux d'eau et la cartographie des zones en pente le long des cours d'eau.

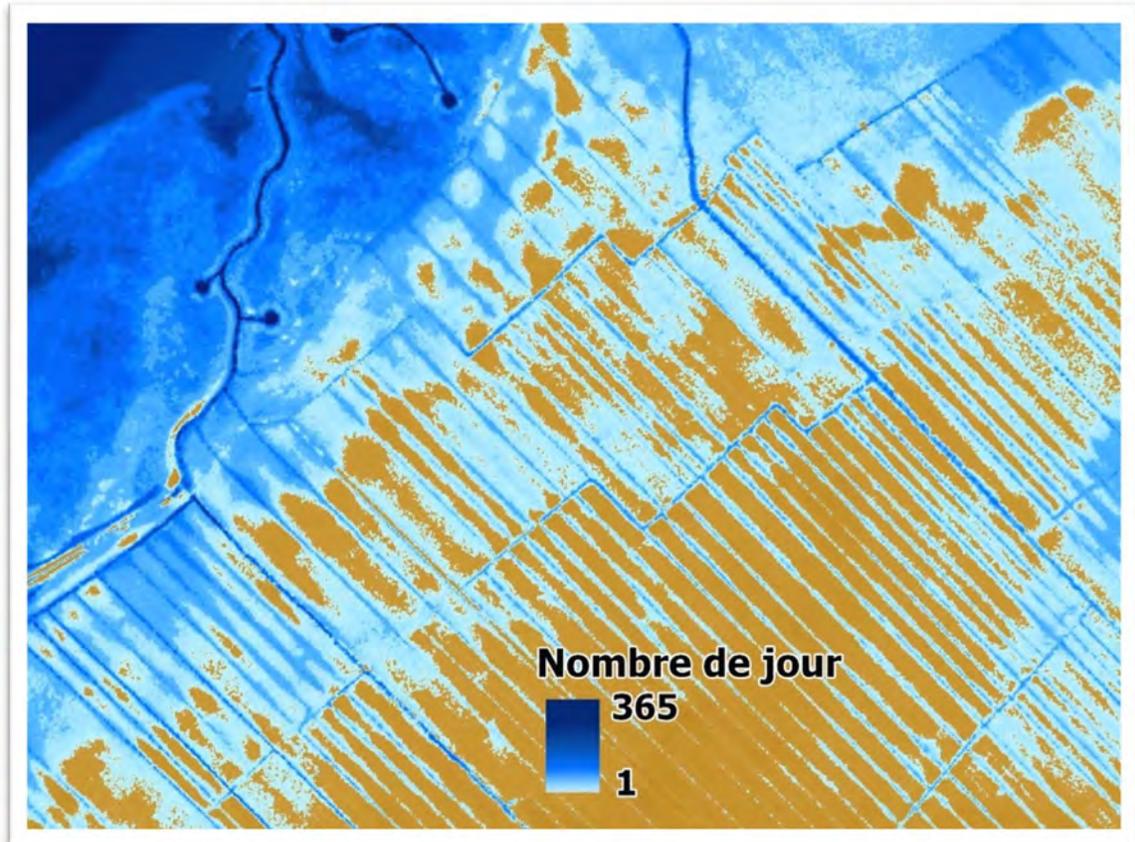


Figure 4A.8. Représentation de la matrice de temps de résidence de l'eau en 2019 dans la région de Baie-du-Febvre

La qualité du modèle dépend largement de la représentation efficace de l'écoulement de l'eau et de la connectivité hydrologique. C'est pourquoi le traçage des ponceaux fut une étape essentielle dans le processus de création du MNT. Des irrégularités de l'écoulement de l'eau dans le réseau de drainage, comme des obstructions causées par des branches dans les fossés, ne peuvent cependant pas être modélisées. Ces retenues d'eau occasionnent des divergences entre les niveaux d'eau modélisés et la réalité sur le terrain.

À ce jour, la précision du modèle fut évaluée uniquement par des appréciations qualitatives, c'est-à-dire par des observations sur le terrain et en comparant, pour un même moment, des niveaux d'eau modélisés à des images de drone. Bien que les appréciations soient convaincantes, il serait souhaitable de développer une technique de validation quantitative permettant de mesurer l'efficacité de la modélisation des niveaux d'eau. Ceci permettrait d'assigner une cote de fiabilité au modèle.

Références

- Fortin, P., Martin, S. & Plante, A. 2002. Post-traitement, validation et intégration des données LIDAR dans le modèle numérique de terrain du fleuve Saint-Laurent. Rapport technique SMC Québec — Section Hydrologie RT-120, Environnement Canada. Sainte-Foy. Préparé pour le Groupe en Besoin de Données Communes du Groupe d'étude international sur le lac Ontario et le fleuve Saint-Laurent (Commission Mixte Internationale). 30 pages + annexes.
- Service Hydrographique du Canada. 2015. Données de surface à une résolution de 20 mètres en format ASCII du fleuve St-Laurent. 31I. Pêches et Océans Canada : Ottawa.
- Lapointe, D. 1990. Zones Inondables — Fleuve Saint-Laurent, Calcul des niveaux de récurrences 2, 5, 10, 20, 50 et 100 ans. Tronçon : Varennes-Grondines, MH-90-05. Ministère de l'Environnement. Direction du domaine hydrique.

Annexe 4B. Classification des champs du littoral selon l'élévation

Les cartes qui suivent présentent la classification des champs du littoral selon l'élévation (Section 5.6). Il est proposé que cette classification serve de guide pour la réhabilitation du littoral. Les champs dont la superficie se situe majoritairement sous la cote de niveau d'eau de 6,27 m à Sorel font partie de la Classe 1, qui est prioritaire puisque la conversion de ces champs procurerait un maximum de services écosystémiques. La Classe 2 inclut les champs majoritairement sous la cote de niveau d'eau de 6,37 m, et la Classe 3 majoritairement sous la cote de niveau d'eau cote de niveau d'eau de 6,55 m. La Classe 4 est composée d'extrémités de champs qui sont sous la cote de niveau d'eau de 6,55 m. Les limites de champs ont été extraites de la Base de données des parcelles et productions agricoles déclarées de la Financière agricole du Québec (2021). Certains champs ne sont pas inclus dans cette base. La couverture complète du littoral du LSP est disponible dans la géodatabase accompagnant ce rapport.

La classification proposée ici vise à soutenir les efforts de réhabilitation du littoral, en permettant de cibler et prioriser les secteurs ayant le meilleur potentiel pour la réhabilitation des écosystèmes. Les initiatives en ce sens pourraient être variées, dans le temps et selon les secteurs. Dans certains secteurs, les initiatives de conservation pourraient être favorisées, alors que d'en d'autres, divers types d'activités agricoles et/ou sylvicoles, favorisant le maintien d'une végétation pérenne et minimisant les intrants, pourraient être envisagées. Dans tous les cas, les interventions devront être mises en œuvre progressivement en fonction des réalités locales.



Louiseville

1 
 Champs inondés au moins 7 années sur 10
 (Plus de 50% de la superficie est en-dessous de 6,27 m)

2 
 Champs inondés au moins 6 années sur 10
 (Plus de 50% de la superficie est en-dessous de 6,37 m)

3 
 Champs inondés au moins 5 années sur 10
 (Plus de 50% de la superficie est en-dessous de 6,55 m)

4 
 Extrémités de champs inondées 5 années sur 10
 (Moins de 50% de la superficie est en-dessous de 6,55 m)


 Cote de récurrence 2 ans (6,79 m à Sorel)

0  1 km

* Le secteur de Louiseville inclut le secteur Cloutier-Lefrançois, qui est endigué. Il n'y a donc pas d'inondation printanière par la crue du LSP.



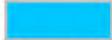
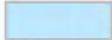
Baie-du-Febvre

- 1  Champs inondés au moins 7 années sur 10
(Plus de 50% de la superficie est en-dessous de 6,27 m)
 - 2  Champs inondés au moins 6 années sur 10
(Plus de 50% de la superficie est en-dessous de 6,37 m)
 - 3  Champs inondés au moins 5 années sur 10
(Plus de 50% de la superficie est en-dessous de 6,55 m)
 - 4  Extrémités de champs inondées 5 années sur 10
(Moins de 50% de la superficie est en-dessous de 6,55 m)
-  Cote de récurrence 2 ans (6,79 m à Sorel)

0 1 km



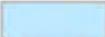
Pierreville

- 1  Champs inondés au moins 7 années sur 10
(Plus de 50% de la superficie est en-dessous de 6,27 m)
 - 2  Champs inondés au moins 6 années sur 10
(Plus de 50% de la superficie est en-dessous de 6,37 m)
 - 3  Champs inondés au moins 5 années sur 10
(Plus de 50% de la superficie est en-dessous de 6,55 m)
 - 4  Extrémités de champs inondées 5 années sur 10
(Moins de 50% de la superficie est en-dessous de 6,55 m)
-  Cote de récurrence 2 ans (6,79 m à Sorel)

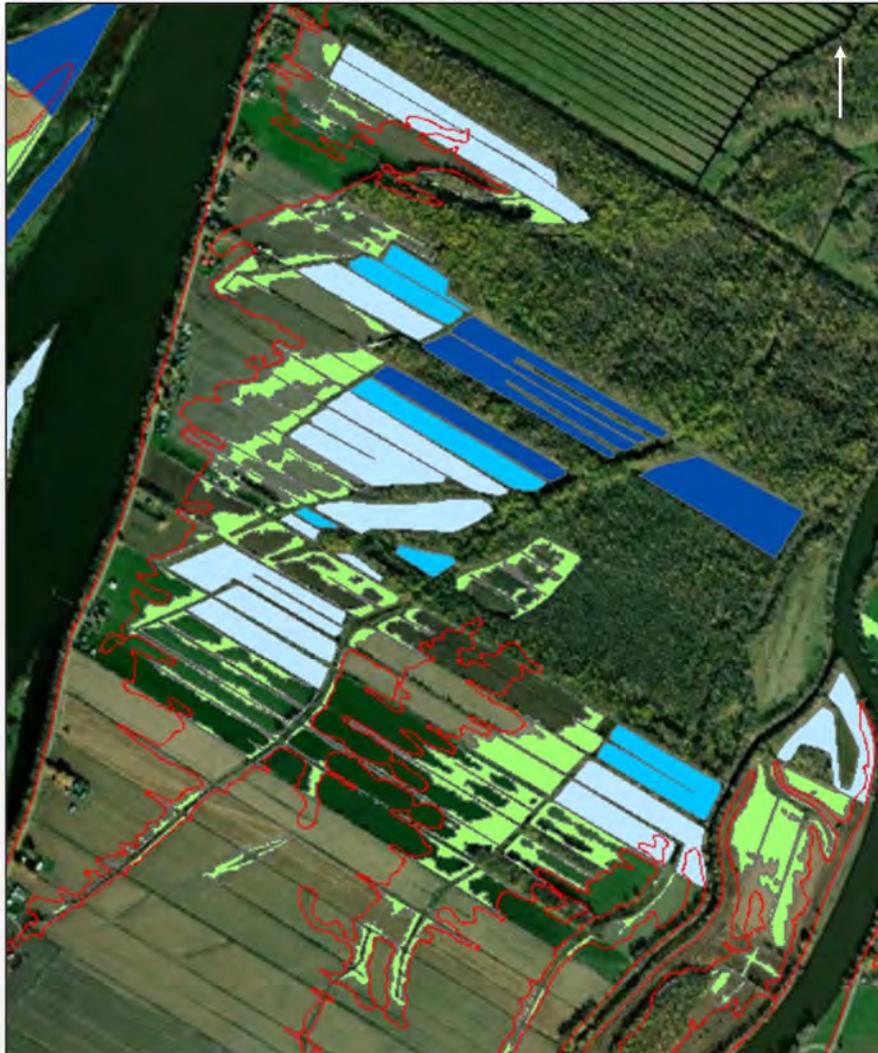
0 1 km



Baie Lavallière

- 1  Champs inondés au moins 7 années sur 10
(Plus de 50% de la superficie est en-dessous de 6,27 m)
- 2  Champs inondés au moins 6 années sur 10
(Plus de 50% de la superficie est en-dessous de 6,37 m)
- 3  Champs inondés au moins 5 années sur 10
(Plus de 50% de la superficie est en-dessous de 6,55 m)
- 4  Extrémités de champs inondées 5 années sur 10
(Moins de 50% de la superficie est en-dessous de 6,55 m)
-  Cote de récurrence 2 ans (6,79 m à Sorel)





Île Dupas

1 
 Champs inondés au moins 7 années sur 10
 (Plus de 50% de la superficie est en-dessous de 6,27 m)

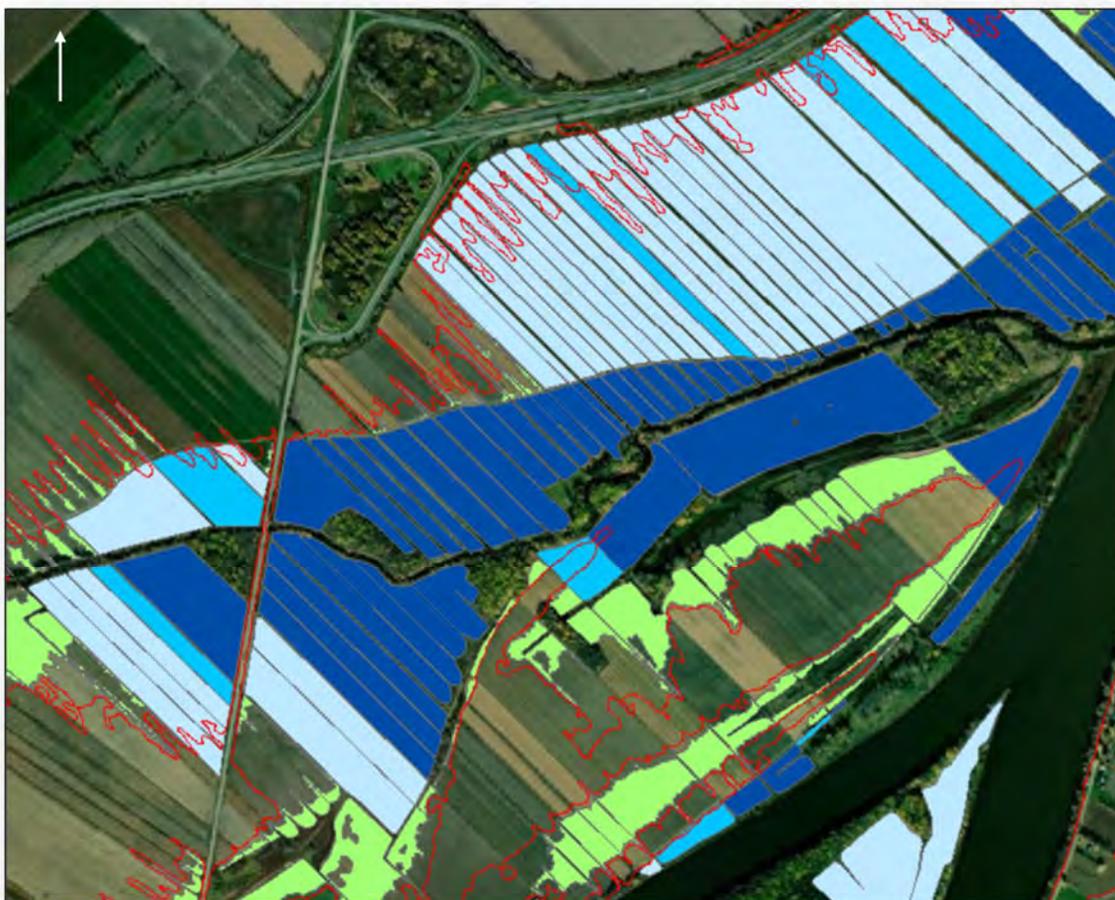
2 
 Champs inondés au moins 6 années sur 10
 (Plus de 50% de la superficie est en-dessous de 6,37 m)

3 
 Champs inondés au moins 5 années sur 10
 (Plus de 50% de la superficie est en-dessous de 6,55 m)

4 
 Extrémités de champs inondées 5 années sur 10
 (Moins de 50% de la superficie est en-dessous de 6,55 m)


 Cote de récurrence 2 ans (6,79 m à Sorel)

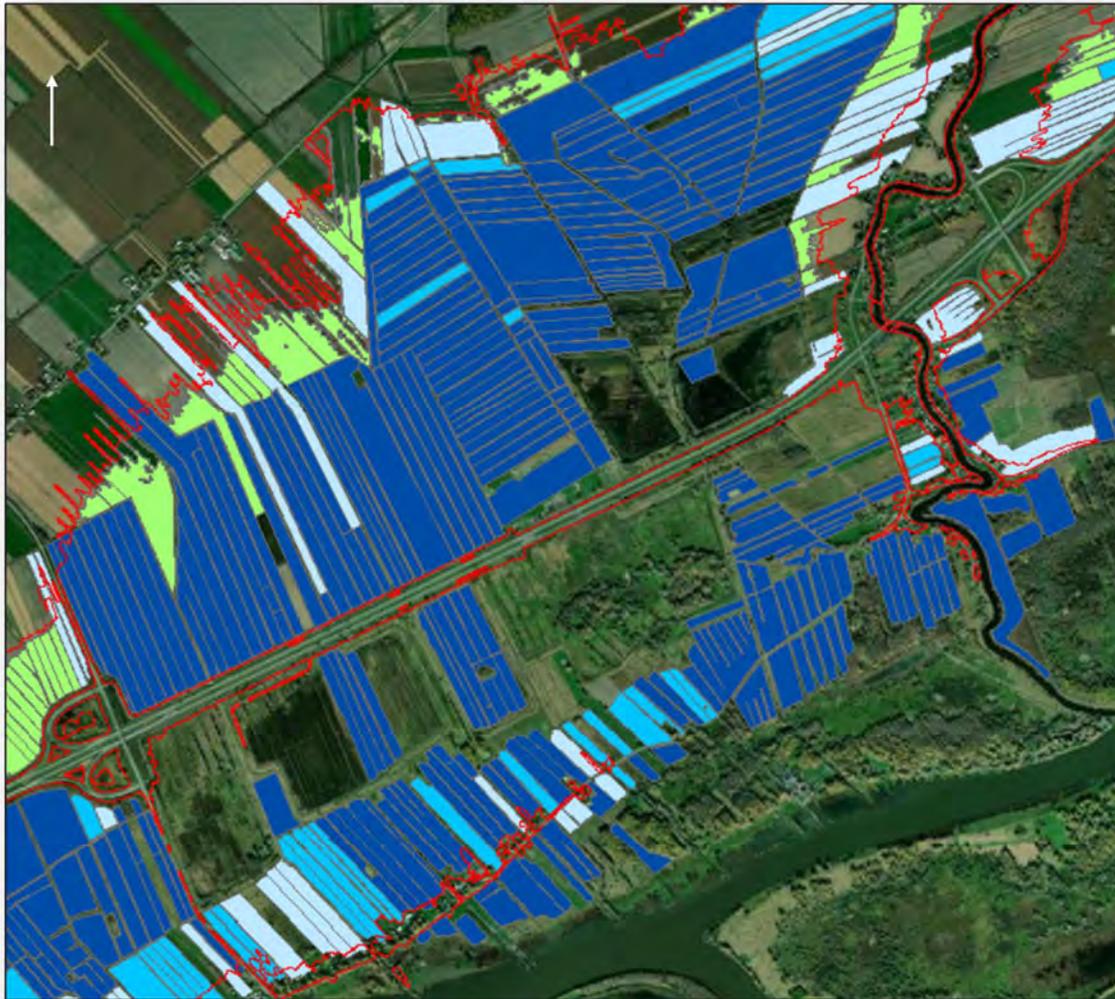
0  500 m



Rivière du Chicot

- 1  Champs inondés au moins 7 années sur 10
(Plus de 50% de la superficie est en-dessous de 6,27 m)
 - 2  Champs inondés au moins 6 années sur 10
(Plus de 50% de la superficie est en-dessous de 6,37 m)
 - 3  Champs inondés au moins 5 années sur 10
(Plus de 50% de la superficie est en-dessous de 6,55 m)
 - 4  Extrémités de champs inondées 5 années sur 10
(Moins de 50% de la superficie est en-dessous de 6,55 m)
-  Cote de récurrence 2 ans (6,79 m à Sorel)

0 1 km



Saint-Barthélemy

- 1  Champs inondés au moins 7 années sur 10
(Plus de 50% de la superficie est en-dessous de 6,27 m)
 - 2  Champs inondés au moins 6 années sur 10
(Plus de 50% de la superficie est en-dessous de 6,37 m)
 - 3  Champs inondés au moins 5 années sur 10
(Plus de 50% de la superficie est en-dessous de 6,55 m)
 - 4  Extrémités de champs inondées 5 années sur 10
(Moins de 50% de la superficie est en-dessous de 6,55 m)
-  Cote de récurrence 2 ans (6,79 m à Sorel)

0 1 km

Annexe 4C. Cartographie des zones vulnérables à l'érosion dans les bassins versants des ruisseaux

La création d'un Modèle Numérique de Terrain (MNT) a permis d'identifier le pourcentage des pentes dans les bassins versants des ruisseaux agricoles autour du LSP. Un seuillage subséquent a permis de créer trois classes de pente, soit de 0 à 9 %, de 9 % à 30 % et de 30 % et plus. Ces classes ont ensuite été croisées avec huit classes d'occupation du territoire afin d'identifier les zones potentiellement sensibles à l'érosion (Section 5.8).

Création du Modèle Numérique de Terrain (MNT) et du réseau hydrographique.

Un MNT à une résolution de 1 mètre en périphérie du LSP a été créé à partir de données LiDAR acquises entre 2006 et 2018. L'ensemble des ponceaux routiers et agricoles ont été tracé et intégré dans le MNT afin de recréer le plus fidèlement possible le réseau hydrographique à une échelle fine (**voir Annexe 4A**). Un seuillage de la taille de la surface drainée, établi à 10 ha, a permis d'identifier les zones d'écoulement préférentielles, c'est-à-dire le réseau hydrographique réel et potentiel.

L'emprise du MNT couvre au total les 156 bassins versants des petits cours d'eau se déversant directement dans la plaine inondable autour du LSP (**Figure 4D.1**). Les grands cours d'eau tels que la rivière Yamaska ou la rivière du Loup ont été exclus de l'analyse. Ces rivières ont un impact majeur sur la qualité de l'eau du lac lui-même, mais ont moins d'influence sur la qualité de l'eau du littoral ([Campeau et al., 2023](#)).

Le modèle de pente

Le modèle de pente a été créé à partir du MNT de 1 m rééchantillonné à 5 m par 5 m afin d'éliminer les variations trop locales. Un seuillage subséquent a permis de créer trois classes de pente, soit de 0 à 9 %, de 9 % à 30 % et de 30 % et plus. Ces trois classes ont été établies à partir du regroupement des six classes de pente proposées par Agriculture et Agroalimentaire Canada (**Tableau 4D.1**). Pour les analyses subséquentes, seule la zone tampon de 100 m de part et d'autre des cours d'eau a été considérée. Cette zone tampon a été choisie puisqu'elle inclut la majorité des zones en pente le long des cours d'eau de ce secteur (**Figure 4D.2**).

Utilisation du territoire

L'analyse de l'occupation du territoire à l'échelle des **zones ravinées** présente un défi particulier. Une analyse préliminaire des sources de données disponibles a permis de constater qu'aucune source unique n'était pleinement satisfaisante à cette échelle. Plusieurs sources ont été ainsi combinées afin de représenter de façon satisfaisante l'utilisation du territoire (**Figure 4D.3**). Pour chaque catégorie, la source de données jugée la plus fiable fut utilisée de façon prioritaire. Les types de cultures ont ainsi été extraits de la Base de données des parcelles et productions agricoles déclarées de la Financière agricole du Québec (2021). Les différentes classes ont été regroupées en trois groupes en fonction du risque d'érosion, soit le maïs (1), le soya (2) et les autres cultures (3). Les données de Canards Illimités ont permis d'identifier les environnements hydriques (4) ainsi que les milieux humides (5). Les formations arbustives et arborescentes ont été extraites des cartes écoforestières du ministère des Ressources Naturelles et des Forêts du Québec et regroupées sous la désignation de forêt (6). La cartographie des milieux anthropiques (7) est constituée par le regroupement de trois sources, soit a) de la carte synthèse de l'utilisation du territoire du ministère de l'Environnement (MELCCFP) de 2019 ; b) du réseau routier Adresse Québec (AQ Réseau) bonifié par l'ajout d'un tampon de 5 mètres ; et c) du traçage manuel des milieux anthropiques non présents dans les deux premières sources. La cartographie de ces classes d'utilisation du territoire a permis de constater que plusieurs surfaces situées dans les zones ravinées ne faisaient partie d'aucune classe. Une photo-interprétation de ces zones a dévoilé qu'elles étaient principalement constituées de milieux ouverts, en partie végétalisés. Ces milieux présentent un intérêt particulier pour la réhabilitation des ravines, puisqu'ils peuvent être aménagés à faible coût. Malgré leur hétérogénéité, ils ont été regroupés dans une seule classe, soit les milieux naturels ouverts (8).



Figure 4D.1. Bassins versants des ruisseaux tributaires du littoral sur la rive sud du lac Saint-Pierre. Les points noirs indiquent la position de l'exutoire le long de la route 132, avant d'atteindre le littoral.

Tableau 4D.1. Inclinaison de la pente selon Agriculture et Agroalimentaire Canada.

Catégories		
Code	Catégorie	Description
A	Rien ou presque rien	Rien ou presque rien (0 - 3 %).
B	Faibles	Pentes faibles (4 - 9 %).
C	Modérées	Pentes modérées (10 - 15 %).
D	Raides	Pentes raides (16 - 30 %).
E	Très raides	Pentes très raides (31 - 60 %).
F	Extrêmement raides	Pentes extrêmement fortes (> 60 %).
-	n/a	Ne s'applique pas (eau).

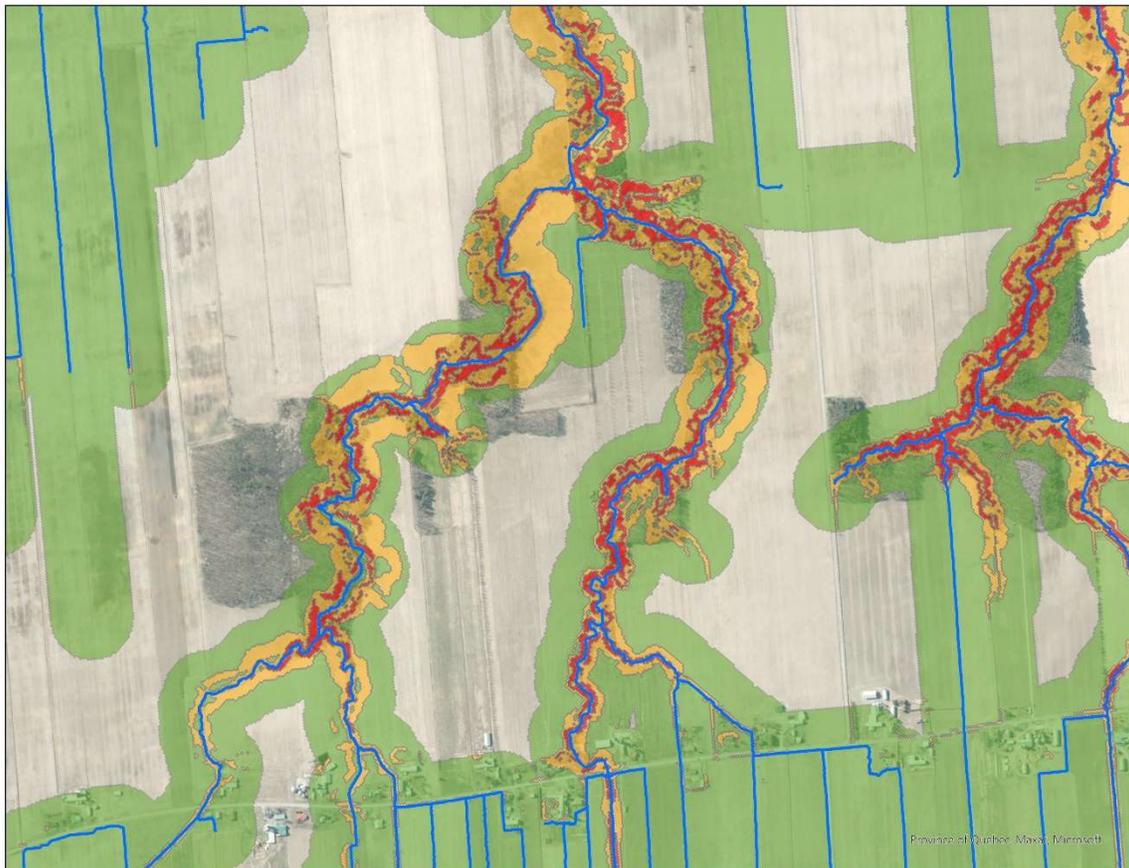


Figure 4D.2. Représentation des trois classes de pente à l'intérieur de la zone tampon de 100 m : de 0 % à 9 % (vert), de 9 % à 30 % inclusivement (orange), et plus de 30 % (rouge). Secteur Baie-du-Febvre, le long de la route 132.

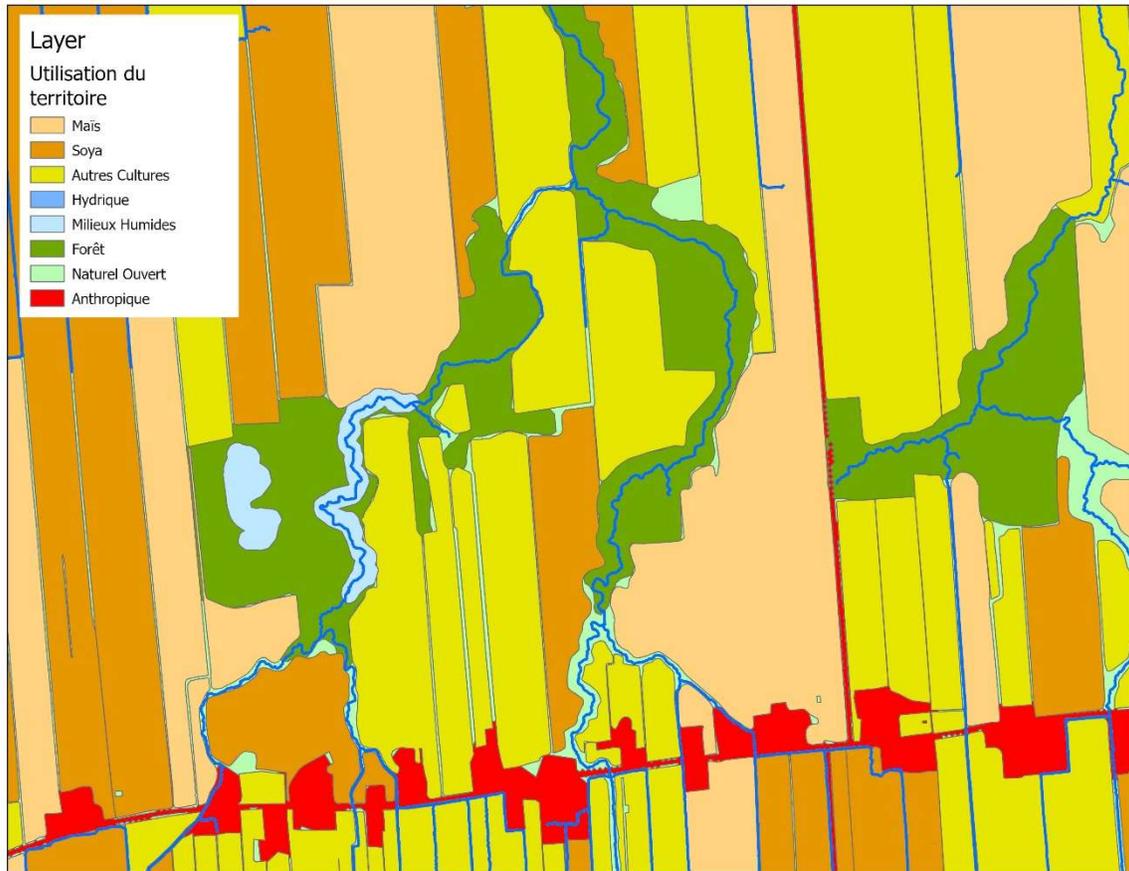


Figure 4D.3. Illustration des huit classes d'utilisation du territoire dans le secteur de Baie-du-Febvre, le long de la route 132.

Le croisement des trois classes de pentes et des huit classes d'utilisation du territoire a permis de produire une cartographie des zones potentiellement vulnérables à l'érosion (**Figure 4D.4**). Les 24 combinaisons possibles ont été ramenées à huit classes, du potentiel d'érosion le plus élevé (grandes cultures en pentes très fortes) au potentiel le plus faible (milieux boisés et humides). Il est proposé que cette cartographie serve de guide pour orienter ou prioriser les interventions visant à améliorer la qualité de l'eau des ruisseaux et du littoral. À titre d'exemple, le ruisseau situé dans le haut de la Figure x s'écoule en méandre sur une parcelle agricole dont les pentes varient de 9 à plus de 30 %. Dans sa portion aval, le lit de ce ruisseau est presque entièrement localisé sur un seul champ. Celui-ci est certainement à prioriser dans un contexte de réhabilitation. La couverture complète des 156 bassins versants des petits cours d'eau se déversant directement dans le littoral du LSP est disponible dans la géodatabase accompagnant ce rapport.

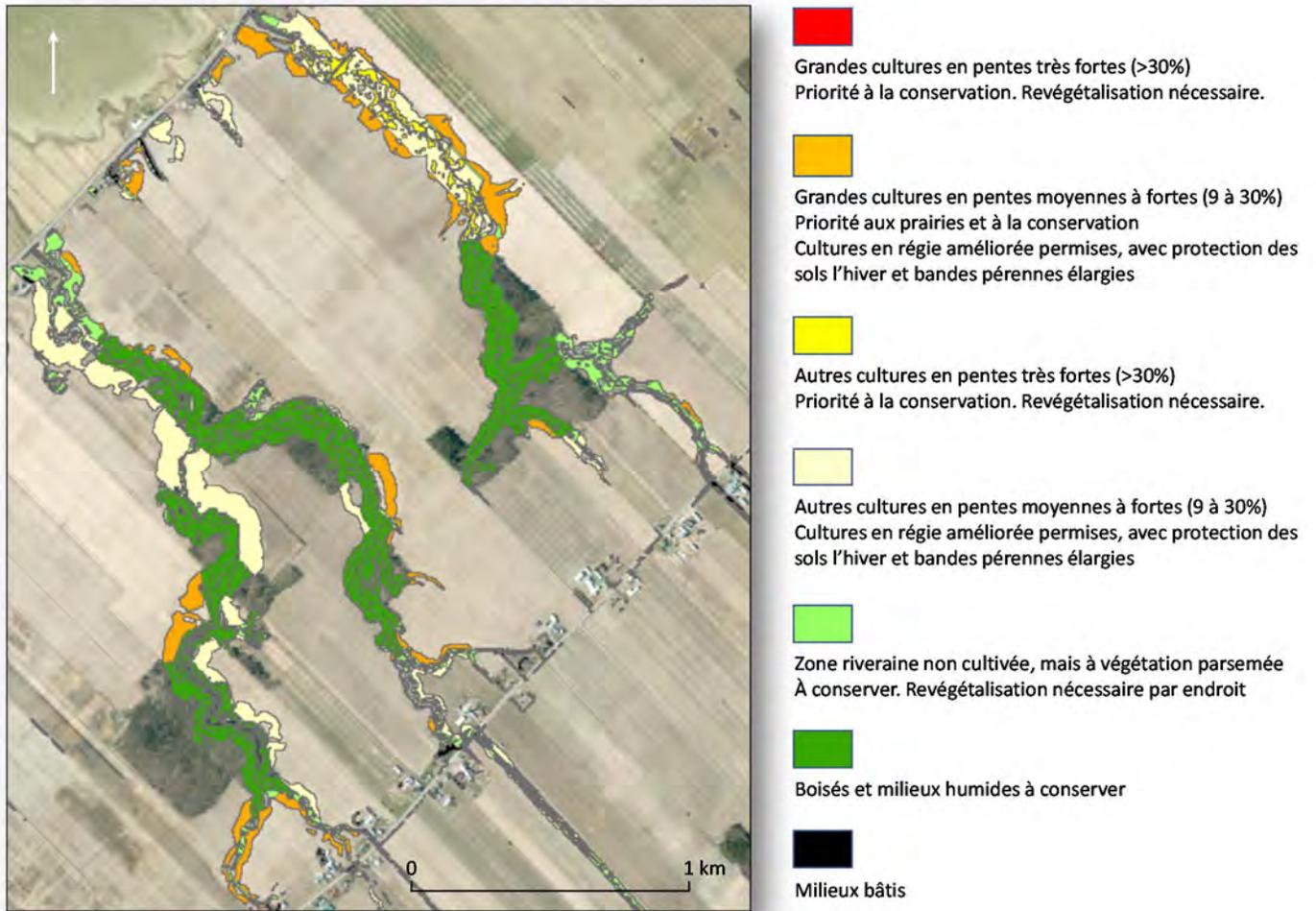


Figure 4D.4. Cartographie des zones à risque d'érosion le long des cours d'eau.

Partenaire financier

Québec 