



Proposition d'indicateurs en vue du développement du Programme de suivi de l'état de la zone littorale du lac Saint-Pierre

Mars 2026



N° de cat. : En78-2/2025F-PDF
ISBN : 978-0-660-79390-0

Cette publication peut être reproduite sans autorisation pour un usage personnel ou interne, à condition que la source soit dûment citée. Toutefois, la reproduction de cette publication, en tout ou en partie, à des fins de redistribution nécessite l'autorisation écrite préalable de l'Agence de l'eau du Canada en contactant :

Agence de l'eau du Canada

510-234 rue Donald
Winnipeg, Manitoba
R3C 1M8
Canada
Courriel: water-eau@ec.gc.ca

© Sa Majesté le Roi du chef du Canada, représenté par le Président de l'Agence de l'eau du Canada et le ministre responsable de l'Agence de l'eau du Canada, 2026.

Also available in English

Sommaire

Le lac Saint-Pierre (LSP) comprend la plus grande plaine inondable du Québec. Avec plus de 280 espèces d'oiseaux résidents et migrateurs, ainsi que 78 espèces de poissons, le LSP constitue un milieu exceptionnel de reproduction, d'alimentation et de nidification pour bon nombre de ces espèces. Or, le lac est soumis à de multiples pressions, notamment l'utilisation agricole intensive de la plaine inondable, qui a contribué à la perte de milieux propices à la faune, particulièrement lors des crues printanières. Le Programme de suivi de l'état du Saint-Laurent (PSESL), mis sur pied en 2003 sous l'égide du Plan d'action Saint-Laurent (PASL), permet de documenter, de façon rigoureuse et soutenue, plusieurs aspects de l'état de l'écosystème du fleuve et du LSP. Toutefois, il ne prend en compte que partiellement le littoral du fleuve. Au cours des dernières années, d'importants investissements ont été consentis pour des travaux de restauration d'habitats visant à améliorer la santé de l'écosystème du LSP. Il n'existe toutefois aucun programme permettant de mesurer, à long terme et de façon globale, les bénéfices de ces efforts de restauration ou des changements d'occupation du sol sur les écosystèmes et la faune du littoral. Le présent document constitue une proposition d'indicateurs en vue d'établir un programme de suivi de l'état de la zone littorale du lac Saint-Pierre (PSEZL-LSP). Ce futur programme viserait principalement à suivre des indicateurs à grande échelle, couvrant l'ensemble de la zone littorale. Les indicateurs proposés permettront de suivre l'évolution de certaines pressions anthropiques, de diverses fonctions écologiques et de services écosystémiques, ainsi que la réponse de groupes fauniques ciblés. Des indicateurs à l'échelle locale sont également proposés afin de bonifier le portrait de l'état de la zone littorale et de mesurer les bénéfices des travaux de restauration ou des améliorations de pratiques agricoles réalisés dans des sites particuliers.

Équipe de réalisation

Comité de travail

Benoît Jobin, Service canadien de la faune, Environnement et Changement climatique Canada (ECCC)

Philippe Brodeur et Marianne Théberge, ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs (MELCCFP)

Geneviève Clément-Robert, Comité ZIP du Lac-Saint-Pierre (ZIPLSP)

Cartographie et graphisme

Philippe Gravel, cartographie, Comité ZIPLSP

Sophie Lemelin, graphisme, Comité ZIPLSP

Remerciements

Le comité organisateur tient à remercier l'ensemble des spécialistes qui ont participé à l'atelier d'échanges et qui ont généreusement fait part de leur expertise en vue de l'élaboration du programme de suivi. Nous tenons à remercier particulièrement ceux qui ont accepté de commenter le présent document :

- Béranger Bourgeois (Université Laval), Stéphane Campeau (UQTR), Vincent Maire (UQTR), Raphaël Proulx (UQTR), Alexandre Roy (UQTR) – Pôle d'expertise multidisciplinaire en gestion durable du littoral du lac Saint-Pierre
- Claude Samson – Parcs Canada
- Magali Houde, Édith Lacroix – Environnement et Changement climatique Canada
- Claude Lavoie – Université Laval
- Isabelle Drolet, Mikael Guillou – ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec
- Paschale Bégin, Anouka Bolduc, Martine Grenier, Émilie Paquin, Lyne Pelletier, Rémy Pouliot, Dominic Vachon – ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs

Lexique

Bassin versant des ruisseaux tributaires du littoral	Bassin versant des petits cours d'eau se déversant directement dans le littoral du lac Saint-Pierre.
Fonction écologique	Rôle d'un organisme ou d'un processus écologique au sein d'un écosystème.
Indicateur	Paramètre servant à mesurer l'importance des changements des pressions, processus ou fonctions écologiques ainsi qu'à représenter l'ensemble de l'état du système (zone littorale).
Pression	Force d'origine naturelle ou anthropique exerçant une influence directe et indirecte sur les processus physiques et écologiques ainsi que sur les ressources biologiques et les composantes abiotiques des écosystèmes. Une force s'exerce à différentes échelles temporelles et spatiales.
Processus écologique	Suite continue de faits ou de phénomènes dynamiques, impliquant des organismes et entraînant, au sein d'un écosystème, une transformation ou une circulation de la matière ou de l'énergie et qui présentent une certaine unité ou une certaine régularité dans leur déroulement.
Service écosystémique	Bénéfice pour l'homme issu des processus écologiques.
Zone littorale	Territoire soumis aux inondations lors des crues printanières de récurrence de deux ans. Pour les besoins du présent exercice, cette zone exclut l'eau libre du lac Saint-Pierre.

Liste des sigles

ECCC	Environnement et Changement climatique Canada
EEE	Espèces exotiques envahissantes
GES	Gaz à effet de serre
IQBR	Indice de qualité de la bande riveraine
LSP	Lac Saint-Pierre
MELCCFP	Ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs
PASL	Plan d'action Saint-Laurent
PC-LSP	Programme pour la conservation du lac Saint-Pierre
PSESL	Programme de suivi de l'état du Saint-Laurent
PSEZL-LSP	Programme de suivi de l'état de la zone littorale du lac Saint-Pierre
ZIPLSP	Zone d'intervention prioritaire du lac Saint-Pierre

Liste des figures

Figure 1. Image du satellite <i>Sentinel-2</i> du 6 mai 2019 illustrant les modèles d'écoulement présents dans le littoral au printemps. Secteur 1 (à l'ouest de la montée Saint-Laurent), secteur 2 (entre la montée Saint-Laurent et la rivière Maskinongé), secteur 3 (rivière Maskinongé), secteur 4 (île Dupas), secteur 5 (Pierreville, aucun ruisseau), secteur 6 (eaux des rivières Richelieu et Yamaska), secteur 7 (limite entre les terrains de la Défense nationale et les parcelles agricoles), secteur 8 (influence de la rivière Saint-François à Baie-du-Febvre), secteur 9 (secteurs endigués), secteur 10 (est de la rivière du Loup), secteur 11 (est de la rivière Yamachiche), secteur 12 (baie Saint-François) (Campeau et collab., 2024).	10
Figure 2. Plaine inondable du lac Saint-Pierre. Les limites des crues de récurrence de 2 ans et de 100 ans sont représentées.	11
Figure 3. Schématisation de la zone littorale du lac Saint-Pierre et de son occupation par la flore, la faune et l'homme.	13
Figure 4. Modèle conceptuel simplifié. Les indicateurs, associés à une pression, une fonction écologique ou un service écosystémique, sont mesurés à deux échelles spatiales potentielles, soit localement ou sur l'ensemble de la zone littorale ou des bassins versants.....	14
Figure 5. Modèle conceptuel de la zone littorale du LSP illustrant les groupes de pressions naturelles et anthropiques (rectangles orange) ainsi que les processus écologiques (hexagone bleu) qui influencent les fonctions écologiques (ovales bleus) et les services écosystémiques (ovale mauve). Les indicateurs mesurés sur l'ensemble de la zone littorale ou des bassins versants (boîtes vertes) et ceux qui sont mesurés localement (boîtes blanches) sont associés à leurs pressions, fonctions écologiques et services écosystémiques respectifs. Les lettres A à F ont été attribuées à chacune des grandes composantes du modèle afin de faciliter sa compréhension.	16
Figure 6. Occupation du sol dans la zone littorale du lac Saint-Pierre en 2016 (données tirées de Jobin et Brodeur, 2023).	19
Figure 7. Répartition de 10 secteurs montrant des caractéristiques hydrologiques particulières. L'indice de qualité d'habitat potentiel de reproduction de la perchaude est également représenté pour les habitats fonctionnels (actuel) ou potentiels (TCRLSP, 2023c).....	29

Liste des tableaux

Tableau 1. Synthèse des indicateurs proposés dans le cadre du Programme de suivi de l'état de la zone littorale du lac Saint-Pierre et mesurés sur l'ensemble de la zone littorale ou des bassins versants	17
Tableau 2. Synthèse des indicateurs proposés dans le Programme de suivi de l'état de la zone littorale du lac Saint-Pierre et mesurés localement, sur des sites spécifiques.....	18
Tableau 3. Autres indicateurs potentiels pour des projets ciblés ou visant à mesurer la réponse de l'état de santé du littoral du lac Saint-Pierre.....	28

Table des matières

Équipe de réalisation	i
Comité de travail.....	i
Cartographie et graphisme	i
Remerciements.....	i
Lexique.....	ii
Liste des sigles.....	iii
Liste des figures	iv
Liste des tableaux	iv
Table des matières	v
1. Introduction.....	7
2. Objectifs du programme de suivi	8
3. Zone littorale du lac Saint-Pierre et son fonctionnement	9
3.1. Occupation du sol et milieu biologique	11
4. Modèle conceptuel simplifié de l'écosystème	14
5. Programme de suivi de l'état de la zone littorale du lac Saint-Pierre.....	15
5.1. Modèle conceptuel de l'écosystème	15
5.2. Description des pressions et des indicateurs associés.....	18
5.2.1. Pressions anthropiques et indicateurs associés proposés (B).....	18
5.2.2. Fonctions écologiques liées aux habitats et indicateurs associés proposés (D)	22
5.2.3. Fonctions écologiques liées à la qualité de l'eau et indicateurs associés proposés (E).....	26
5.2.4. Services écosystémiques et indicateurs associés proposés (F).....	27
5.3. Indicateurs additionnels pour des projets ciblés ou pour mesurer les réponses des communautés de poissons	28
6. Mise en œuvre projetée	29
7. Conclusion	30
RÉFÉRENCES.....	31
ANNEXES	39
Annexe 1 – Pressions naturelles (A) et anthropiques (B) sans indicateurs proposés, mais qui exercent une influence sur les processus affectant les fonctions écologiques et les services écosystémiques de la zone littorale du LSP.	39
Annexe 2 – Fiche n° 1 – Occupation du sol, habitat et qualité de l'eau	41
Annexe 3 – Fiche n° 2 – Pratiques agroenvironnementales.....	44
Annexe 4 – Fiche n° 3 – Diversité spécifique des oiseaux nicheurs.....	45

Annexe 5 – Fiche n° 4 – Cartographie de la distribution du roseau commun	46
Annexe 6 – Fiche n° 5 – Diversité et abondance des oiseaux champêtres	47
Annexe 7 – Fiche n° 6 – Qualité et utilisation de l'habitat de fraie par les poissons	48
Annexe 8 – Fiche n° 7 – Entrave à la libre circulation du poisson	49
Annexe 9 – Fiche n° 8 – Espèces exotiques envahissantes (EEE).....	50
Annexe 10 – Fiche n° 9 – Score floral	51
Annexe 11 – Fiche n° 10 – Concentration de pesticides, turbidité, MES.....	52
Annexe 12 – Fiche n° 11 – Santé du sol.....	53

1. Introduction

À la suite de l'établissement du moratoire sur la pêche sportive et commerciale à la perchaude en 2012 au lac Saint-Pierre (LSP) (Magnan et collab., 2017), le Gouvernement du Québec a mis en place la Stratégie d'intervention pour l'avenir du lac Saint-Pierre en 2013. Les orientations de la stratégie visent à acquérir une vision globale et partagée de l'état de santé du LSP et de ses potentialités, à favoriser la restauration de l'écosystème du LSP en mobilisant les intervenants régionaux ainsi qu'à mettre en valeur l'écosystème du LSP et ses potentiels économiques. De cette stratégie a découlé la mise en œuvre en 2018 de deux volets complémentaires : le Pôle d'expertise multidisciplinaire en gestion durable du littoral du lac Saint-Pierre (ci-après nommé le *Pôle d'expertise*) et le Programme pour la conservation du LSP (PC-LSP).

Le Pôle d'expertise avait pour mandat de proposer une stratégie d'intervention dans la zone littorale favorisant l'instauration d'une agriculture durable, adaptée et respectueuse de l'écosystème du LSP, et soutenant la restauration de milieux prioritaires (Campeau et collab., 2024). Trois axes de recherche ont guidé les travaux du Pôle d'expertise :

- L'axe agricole, avec comme objectif de développer des systèmes agronomiques performants spécifiques à la zone littorale du LSP ;
- L'axe environnement et faune pour mesurer l'influence des cultures, pratiques culturelles et milieux naturels sur l'environnement et la faune du LSP ;
- L'axe socioéconomique afin de comprendre les facteurs facilitant ou contraignant l'adoption des systèmes cultureux et des pratiques agricoles testées par le Pôle d'expertise.

Les résultats des travaux de recherche ont été publiés en 2024 (Campeau et collab., 2024, PÔLE, 2024) et ont mené à quatre principales recommandations ainsi qu'à plusieurs propositions qui, si elles sont adoptées, permettraient de réhabiliter les fonctions écologiques du littoral du LSP. Les recommandations visent à (1) réhabiliter et mieux protéger les milieux naturels, (2) couvrir en priorité de végétation pérenne les zones basses du littoral, (3) adapter la régie des cultures annuelles dans les zones hautes du littoral et (4) protéger adéquatement contre l'érosion et le ravinement les sols cultivés des bassins versants des ruisseaux tributaires du littoral.

Les travaux de restauration ou d'aménagement (ex. marais, étangs, canaux piscicoles, prairies, etc.) peuvent aussi contribuer à rétablir la qualité des habitats fauniques de la zone littorale. Ainsi, la restauration visant à rétablir les fonctions écologiques des habitats, comme le retour vers des cultures pérennes, des prairies naturelles et des marécages ou la modification de certaines pratiques agricoles visant à maintenir un couvert végétal printanier, est bénéfique pour la faune aquatique (ex. habitat de fraie) et terrestre, notamment pour plusieurs espèces d'oiseaux maintenant désignées menacées au Canada (ex. goglu des prés [*Dolichonyx oryzivorus*]). Plus d'une vingtaine de projets ont été réalisés, notamment dans le cadre du PC-LSP, et ont permis de restaurer 485 ha d'habitats depuis 2016. À ceux-ci s'ajoutent 327 ha d'habitats fauniques existants qui ont été optimisés ou pour lesquels la connectivité a été restaurée (Jobin et Brodeur, 2023). Par exemple, des bandes de protection végétales de part et d'autre de certains cours d'eau ont été aménagées et des parcelles agricoles autrefois utilisées à des fins de cultures annuelles sont maintenant couvertes de cultures pérennes ou ont été restaurées en prairies naturelles.

Suite à la restauration, des inventaires fauniques ont été réalisés, parfois de façon ponctuelle ou durant quelques années, afin de mesurer la réponse des communautés de poissons, d'amphibiens et d'oiseaux nicheurs. Des projets de recherche et autres inventaires fauniques et floristiques ont aussi été effectués de façon ponctuelle dans le littoral au cours des dernières décennies. Bien que la mise en place du Pôle d'expertise ait permis la réalisation des travaux d'acquisition de connaissances les plus exhaustifs jamais déployés dans le littoral du LSP, aucun programme structuré de suivi

écologique du littoral n'est actuellement mis en œuvre. Un tel outil serait indispensable à la gestion pour permettre de mesurer à long terme les bénéfices écosystémiques des travaux de restauration et des changements de l'utilisation du sol dans la zone littorale du LSP, à l'échelle tant locale que globale.

Afin de connaître l'état du fleuve Saint-Laurent, le Programme de suivi de l'état du Saint-Laurent (PSESL) a été mis sur pied en 2003 sous l'égide du Plan d'action Saint-Laurent (PASL). Il permet de documenter plusieurs aspects de l'état de l'écosystème du fleuve et du LSP de façon rigoureuse et soutenue, mais il ne considère que partiellement le littoral du fleuve. Considérant tous les efforts et les investissements consentis tant par les gouvernements que par les acteurs locaux afin d'améliorer la santé de l'écosystème du LSP, il est devenu nécessaire de se doter d'une vision globale et partagée en regard du suivi de l'état du littoral et des efforts de restauration qui y sont déployés. C'est dans ce contexte que des indicateurs sont proposés en vue d'établir le Programme de suivi de l'état de la zone littorale du lac Saint-Pierre (PSEZL-LSP), dans le cadre du PASL 2021-2026, sous l'action 1-3-3 : Restauration du littoral du lac Saint-Pierre et suivi des sites de restauration.

Pour structurer ce futur programme de suivi, la première étape a été de dresser un portrait des projets de recherche et de suivi réalisés dans le littoral du LSP entre 2001 et 2021, excluant les projets à caractère socioéconomique et agronomique. Au total, 160 projets déployés en totalité ou en partie dans la zone littorale ont été répertoriés. Le répertoire des projets est disponible en ligne sur le site Web du Comité ZIPLSP en format Excel ([cliquez ici](#)) et sous la forme d'une carte interactive ([cliquez ici](#)). Le portrait a permis de dégager les grandes thématiques étudiées (faune, flore, qualité de l'eau et habitat), les types d'écosystèmes ciblés, les groupes taxonomiques ainsi que plusieurs indicateurs d'intégrité utilisés dans le cadre des suivis et des projets de recherche.

Ensuite, de nombreux experts, incluant plusieurs chercheurs du Pôle d'expertise et des gestionnaires de programmes de suivi existants (PSESL, Réseau de suivi de la biodiversité du Québec, Intégrité écologique des parcs nationaux, etc.), ont été consultés. Un atelier de travail réalisé en octobre 2023 a permis d'échanger sur les objectifs du programme, les indicateurs, les méthodes ainsi que les partenariats à établir. Le rapport produit à l'issue de l'atelier est disponible en ligne ([cliquez ici](#)). Plusieurs suggestions formulées lors de l'atelier ont été considérées pour bâtir la liste des indicateurs proposés dans le cadre du programme de suivi.

2. Objectifs du programme de suivi

Le futur programme viserait à (1) établir un portrait de référence de l'état de la zone littorale du LSP, (2) suivre à long terme les pressions naturelles et anthropiques qui agissent sur l'écosystème de la zone littorale et (3) suivre la réponse des fonctions écologiques de la zone littorale, notamment en lien avec les habitats fauniques et les services écosystémiques. Le programme fournira les connaissances nécessaires pour adapter les actions qui seront mises en place pour rétablir la santé de l'écosystème.

Il convient de souligner que le présent document constitue la synthèse d'une réflexion visant à fournir des lignes directrices en regard des futurs travaux de suivi. Il ne s'agit pas d'une revue exhaustive de l'ensemble des variables potentielles, mais plutôt d'une sélection d'indicateurs qui semblent les plus efficaces et réalistes d'un point de vue logistique pour mesurer à long terme l'état de l'écosystème et sa réponse aux modifications d'usages du territoire. Les indicateurs retenus constituent des propositions permettant de suivre diverses composantes du littoral, allant des pressions existantes jusqu'à la réponse fonctionnelle de groupes fauniques. Ils ont été catégorisés en deux grands groupes selon l'échelle spatiale considérée, soit à grande échelle et à petite échelle. Les indicateurs proposés à large échelle pourront être mesurés sur l'ensemble de la zone littorale afin d'assurer un suivi de l'état de santé global du littoral. Ils sont considérés comme étant les plus appropriés pour être intégrés au PSEZL-LSP. Des indicateurs complémentaires pourront être mesurés localement, notamment

dans le cadre de projets spécifiques de restauration. Des informations sommaires sur la méthodologie, les valeurs de référence, les variables et la fréquence du suivi sont présentées dans les fiches d'indicateurs placées en annexes du présent document. Ces fiches seront bonifiées lors d'une deuxième phase d'élaboration du PSEZL-LSP.

La mise en œuvre du programme de suivi s'échelonnera vraisemblablement sur plusieurs décennies et nécessitera la collaboration d'une multitude de partenaires potentiels. Aucun engagement n'a été pris à ce jour par ces derniers à cet égard. Ces éléments restent à définir.

3. Zone littorale du lac Saint-Pierre et son fonctionnement

Le LSP, dernier bassin d'eau douce du Saint-Laurent avant d'atteindre la zone estuarienne, comprend la plus grande plaine inondable du Québec. Avec plus de 280 espèces d'oiseaux résidents et migrateurs ainsi que 78 espèces de poissons, le LSP représente un milieu exceptionnel de reproduction, d'alimentation et de nidification pour bon nombre de ces espèces (TCRLSP, 2023a).

Une des particularités du LSP concerne les masses d'eau distinctes qui le composent (Figure 1). Celles-ci proviennent principalement des Grands Lacs (lac Ontario) et de la rivière des Outaouais, en plus des différents tributaires qui alimentent le lac sur les rives nord et sud. Ces tributaires directs sont composés de 11 rivières d'importance (La Chaloupe, Bayonne, Chicot, Maskinongé, du Loup, Yamachiche, Petite rivière Yamachiche, Richelieu, Yamaska, Saint-François et Nicolet). En plus des grands tributaires, 156 bassins versants de ruisseaux tributaires traversent la zone littorale (Campeau et collab., 2024). Puisque les eaux s'écoulent de façon longitudinale en suivant le rivage du lac, il en résulte des masses d'eau contiguës dont le mélange latéral s'effectue très lentement (Frenette et collab., 2006). La profondeur du LSP est de 2,7 m en moyenne, mais elle atteint jusqu'à 13,7 m dans le chenal de navigation (Carignan et Lorrain, 2000). Celui-ci divise le lac longitudinalement et canalise l'écoulement de l'eau provenant principalement des Grands Lacs.



Figure 1. Image du satellite *Sentinel-2* du 6 mai 2019 illustrant les modèles d'écoulement présents dans le littoral au printemps. Secteur 1 (à l'ouest de la montée Saint-Laurent), secteur 2 (entre la montée Saint-Laurent et la rivière Maskinongé), secteur 3 (rivière Maskinongé), secteur 4 (île Dupas), secteur 5 (Pierreville, aucun ruisseau), secteur 6 (eaux des rivières Richelieu et Yamaska), secteur 7 (limite entre les terrains de la Défense nationale et les parcelles agricoles), secteur 8 (influence de la rivière Saint-François à Baie-du-Febvre), secteur 9 (secteurs endigués), secteur 10 (est de la rivière du Loup), secteur 11 (est de la rivière Yamachiche), secteur 12 (baie Saint-François) (Campeau et collab., 2024).

Au centre du chenal, la vitesse du courant est de l'ordre de 0,6 à 1 m/s alors que, de part et d'autre, elle est en deçà de 0,3 m/s. Cela confère donc une dynamique fluviale à la portion centrale du lac, laquelle est bordée au nord et au sud par une vaste étendue d'eau aux caractéristiques plutôt lacustres (La Violette, 2004).

La crue des tributaires, particulièrement celle de la rivière des Outaouais, est la principale responsable des importantes fluctuations saisonnières des niveaux d'eau du LSP. Pendant la période printanière, le niveau du lac augmente généralement de près de deux mètres et redescend ensuite pour atteindre son minimum à la fin de l'été. Une partie des îles et des terres adjacentes au lac sont donc inondées au printemps pour une période de cinq à neuf semaines, selon le niveau d'eau (MDDEFP, 2013) (Figure 2).

La superficie du LSP augmente en moyenne de plus de 20 % chaque année au moment de la crue printanière. La superficie de la zone des crues de récurrence 100 ans est de 48 240 ha (excluant l'eau libre), alors que celle des crues de récurrence 2 ans est de 21 063 ha (Jobin et Brodeur, 2023)¹. Les crues printanières sont caractérisées par une forte variabilité intra- et interannuelle, l'amplitude et la

¹ Les inondations peuvent être mesurées par rapport à leur amplitude (niveau d'eau) et à leur fréquence (récurrence). Par exemple, la zone d'une crue de récurrence de 100 ans représente un niveau d'inondation qui, selon les statistiques, devrait être atteint une fois tous les 100 ans. Une crue de cette ampleur a le potentiel de se produire tôt ou tard, mais on ignore quand exactement.

durée de l'inondation variant d'une année à l'autre et à l'intérieur d'une même saison. Puisque la durée de l'inondation et la superficie inondée sont très variables, l'évaluation de l'état de l'écosystème s'avère complexe et présente d'importants défis logistiques (Campeau et collab., 2024).

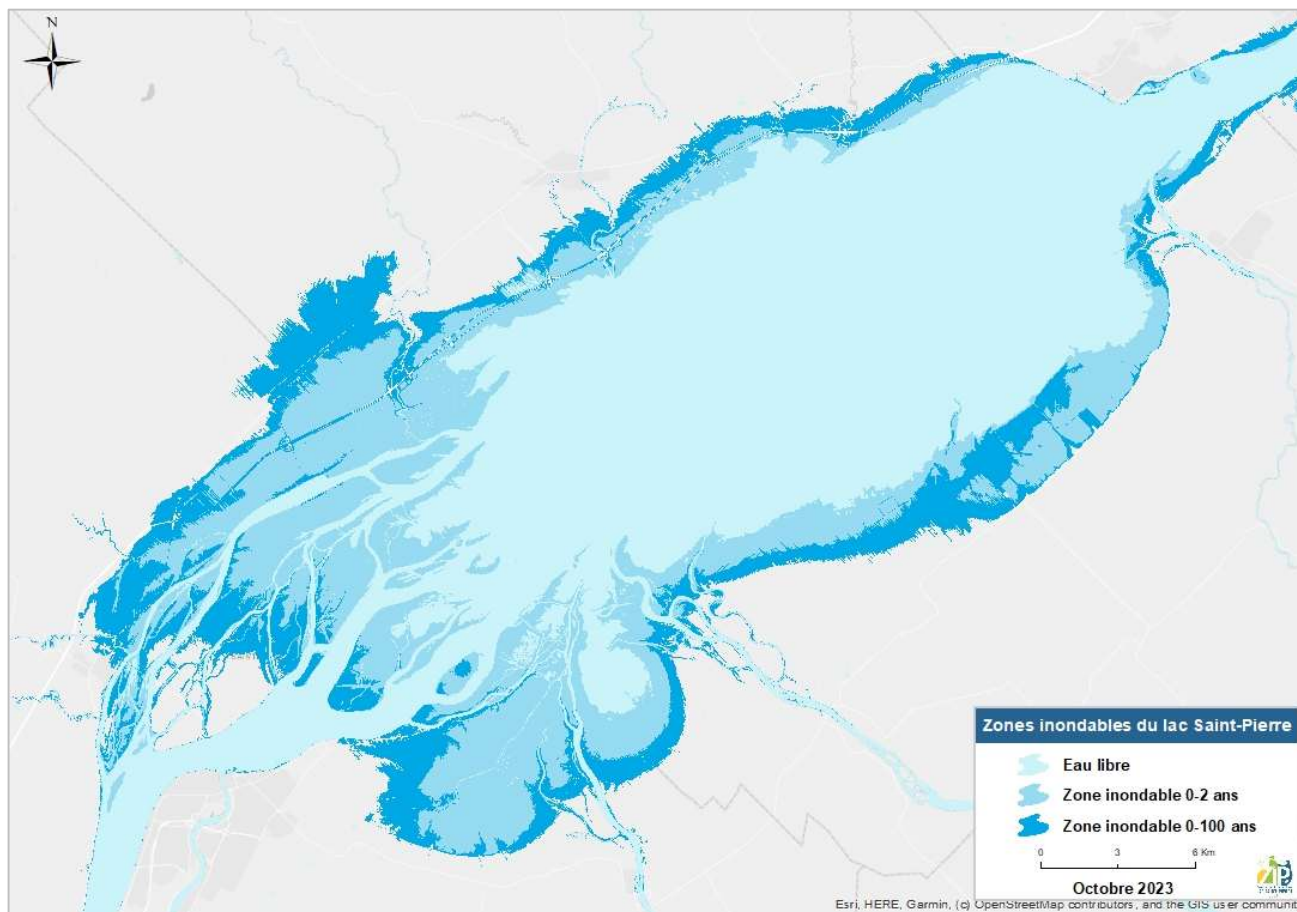


Figure 2. Plaine inondable du lac Saint-Pierre. Les limites des crues de récurrence de 2 ans et de 100 ans sont représentées.

3.1. Occupation du sol et milieu biologique

Le littoral du LSP est majoritairement constitué de milieux humides et agricoles. Les milieux anthropiques, composés essentiellement de routes et de résidences, ainsi que les milieux boisés sont également présents, mais représentent moins de 3 % du territoire (Jobin et Brodeur, 2023). L'agriculture est présente depuis très longtemps, environ 5 000 hectares sont cultivés dans le littoral, d'après le portrait de 2016 établi par Jobin et Brodeur (2023). L'agriculture s'est grandement modifiée au cours des dernières décennies dans la plaine inondable du LSP et son bassin versant, alors que les cultures traditionnelles, majoritairement composées de foin et de pâturages, ont été converties en cultures annuelles de maïs et de soya. Près de 3 800 ha d'habitats fauniques, constitués de milieux humides et de cultures pérennes, ont été convertis entre 1950 et 2016 (dont 550 ha entre 1997 et 2016), au profit des cultures annuelles et des milieux anthropiques (Jobin et Brodeur, 2023). Au cours des dernières années, plusieurs travaux de restauration ont entraîné une légère augmentation de la superficie des milieux naturels et des cultures pérennes.

Les inondations répétées ont mené à l'établissement d'une succession d'assemblages floristiques, qui fournissent des habitats essentiels à la faune (Figure 3). Entre les herbiers aquatiques des eaux peu profondes du lac et les forêts en milieu terrestre, une grande diversité de milieux humides se succèdent en fonction de la profondeur d'eau et de la durée de l'inondation. En 2016, parmi l'ensemble

des milieux humides de la zone littorale, 29 % étaient formés de marais, 49 % de marécages, 7 % d'eau peu profonde et 15 % de prairies humides. On notait aussi la présence de quelques tourbières (ECCC, 2016; Jobin et Brodeur, 2023).

En plus de leur diversité floristique, les milieux humides qui composent l'écosystème du LSP répondent aux besoins fondamentaux d'une multitude d'espèces fauniques. Le littoral présente les caractéristiques d'habitats d'eaux calmes et chaudes utilisées pour la reproduction et l'alimentation de nombreuses espèces de poissons à reproduction hâtive, dont le grand brochet (*Esox lucius*) et la perchaude (*Perca flavescens*) (de la Chenelière et collab., 2014; Foubert et collab., 2020). Étant donné l'étendue des milieux humides retrouvés au LSP et dans sa plaine inondable, cette région forme la plus importante halte migratoire au Québec pour de nombreuses espèces de sauvagine (oies, bernaches et canards), tout en procurant des habitats de nidification pour une grande variété d'espèces d'oiseaux nicheurs, autant des canards que d'autres espèces d'oiseaux aquatiques étroitement associées aux marais riverains et aménagés (ex. râles, hérons, etc.). Plusieurs de ces espèces d'oiseaux sont d'ailleurs en péril (ex. hirondelle de rivage [*Riparia riparia*], petit Blongios [*Ixobrychus exilis*]) ou subissent des déclin importants de leurs populations au Québec (ex. guifette noire [*Chlidonias niger*], hirondelle noire [*Progne subis*]). Une grande quantité d'invertébrés aquatiques (vers, mollusques, crustacés, larves d'insectes) y est produite chaque printemps et constitue une source de nourriture indispensable pour la faune (Campeau et collab., 2024).

Or, depuis plusieurs décennies, le lac est soumis à de multiples pressions, dont la mauvaise qualité de l'eau de la majorité des tributaires, l'intensification de l'utilisation agricole de la plaine inondable et l'arrivée d'espèces exotiques envahissantes (TCRLSP, 2023a). La population de perchaudes du LSP s'est effondrée à partir du milieu des années 1990. Malgré une réduction importante de l'effort de pêche, le déclin de la population s'est poursuivi et un moratoire complet sur la pêche commerciale et sportive a été mis en place en 2012, puis reconduit en 2017 et 2022, en raison de l'échec du recrutement. L'absence de rétablissement de l'espèce, même sans prélèvement par la pêche, suggère que le déclin de l'espèce est attribuable à d'autres facteurs que l'exploitation, notamment la détérioration de ses habitats (Magnan et collab., 2022). L'évolution des pratiques agricoles a transformé ce milieu sensible et l'agriculture est l'une des causes associées à la perte de milieux propices à la reproduction du poisson lors des crues printanières (de la Chenelière et collab., 2014; Foubert et collab., 2020).

La modification des pratiques agricoles et des types de cultures dans le littoral a également contribué à réduire la disponibilité d'habitats de nidification pour de nombreuses espèces d'oiseaux champêtres, dont le déclin des populations est largement attribuable à l'augmentation des surfaces en cultures annuelles au détriment des cultures pérennes (Drapeau et collab., 2019).

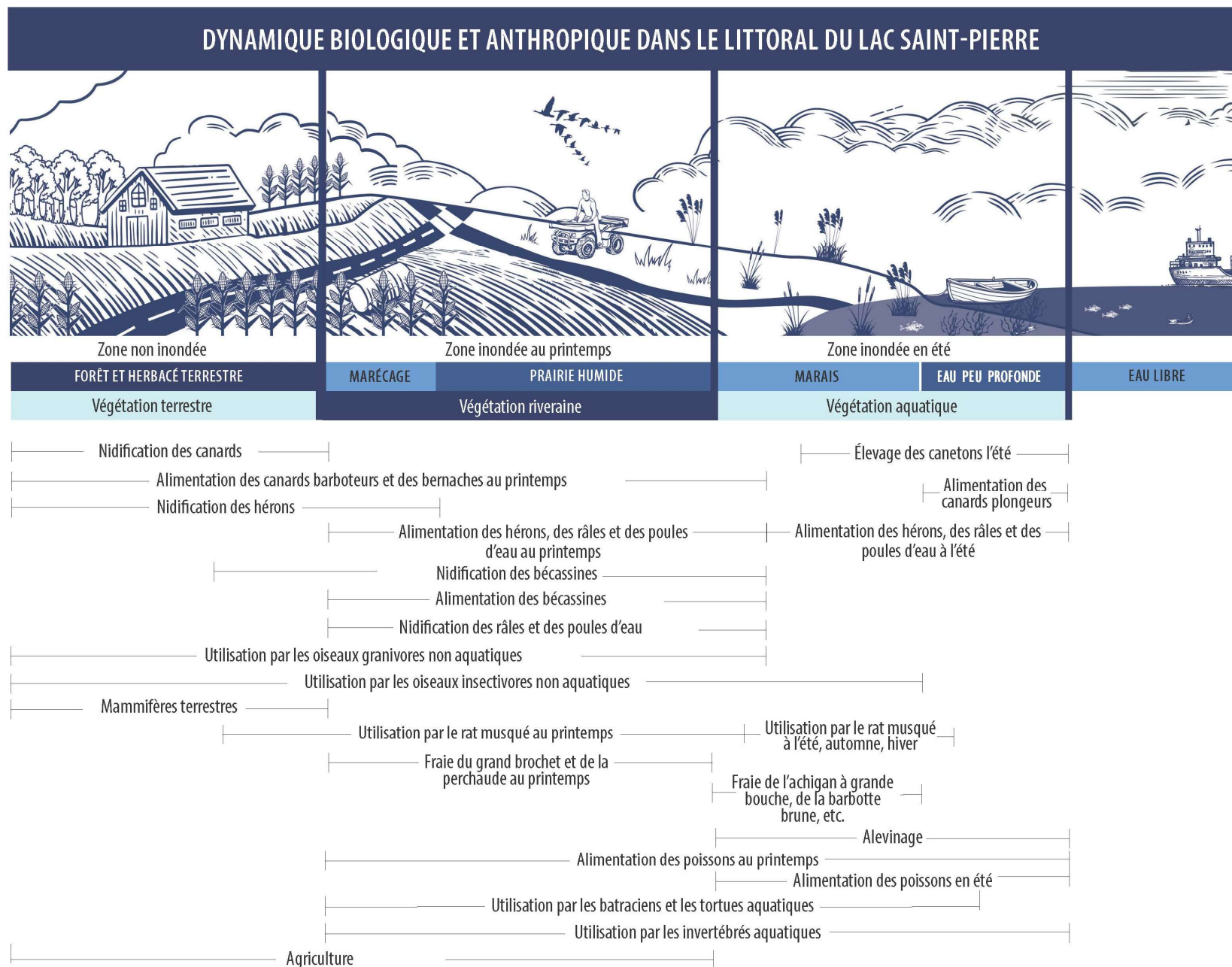


Figure 3. Schématisation de la zone littorale du lac Saint-Pierre et de son occupation par la flore, la faune et l'homme

4. Modèle conceptuel simplifié de l'écosystème

Suivant les recommandations des experts formulées lors de l'atelier d'échange de l'automne 2023 et afin de prendre en compte le contexte particulier de la zone littorale dans le développement du programme de suivi, un modèle conceptuel du fonctionnement de l'écosystème du littoral du LSP a été élaboré (Figure 4). Ce modèle a permis de distinguer certains indicateurs potentiels.

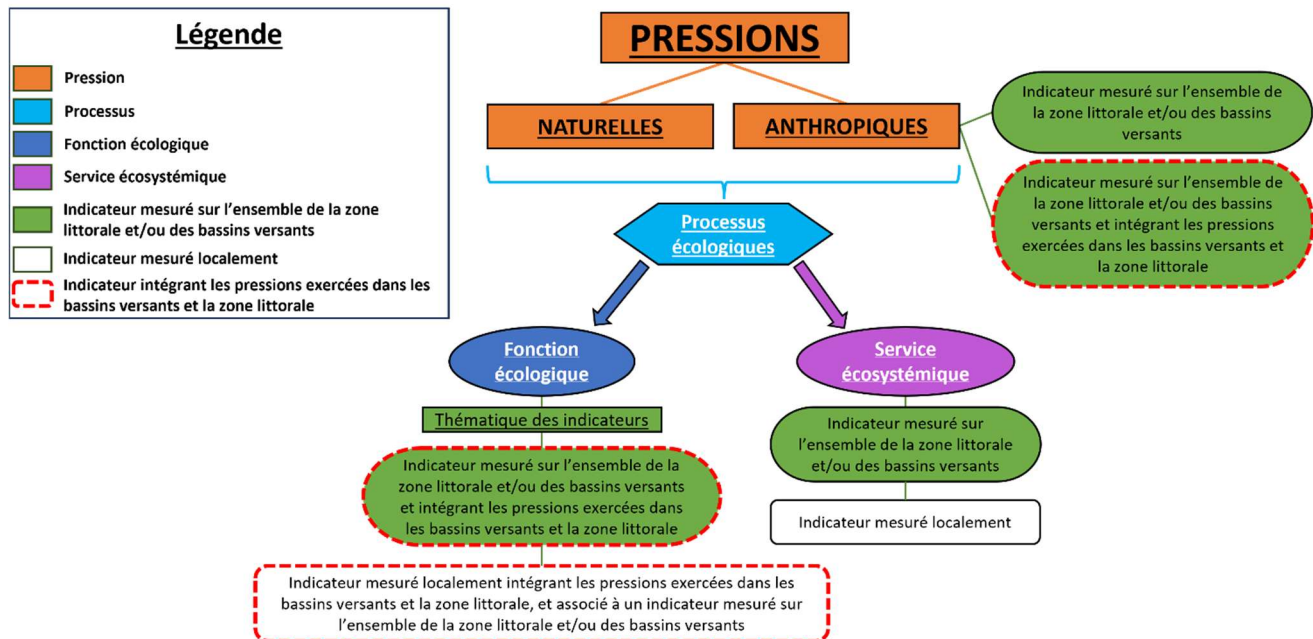


Figure 4. Modèle conceptuel simplifié. Les indicateurs, associés à une pression, une fonction écologique ou un service écosystémique, sont mesurés à deux échelles spatiales potentielles, soit localement ou sur l'ensemble de la zone littorale et/ou des bassins versants.

Selon le modèle conceptuel, certaines pressions d'origines naturelles ou anthropiques exercent une influence directe ou indirecte sur les processus écologiques et ont des répercussions sur les ressources biologiques et les composantes abiotiques du littoral du LSP. Il peut s'agir par exemple du climat ou d'un type d'utilisation du sol par l'homme. Ces pressions s'exercent à des échelles spatiales différentes, ce qui implique que certains indicateurs proposés pour le programme de suivi pourraient être mesurés sur l'ensemble de la zone littorale, dans les bassins versants des ruisseaux tributaires de la zone littorale ou à l'échelle locale, sur des sites particuliers. Les indicateurs proposés à l'échelle locale pourraient pour leur part être utilisés afin de mesurer les bénéfices de la restauration de sites spécifiques dans le littoral ou dans de petits bassins versants. Il serait difficile d'envisager de les déployer à l'ensemble de la zone littorale afin d'obtenir un portrait global de son état. Les indicateurs proposés à l'échelle locale seraient donc déployés au cas par cas, en fonction des occasions de suivi, par opposition aux indicateurs mesurés à large échelle, qui pourraient faire partie d'une séquence de suivi plus structurée et offrant la possibilité de suivre globalement l'état du littoral.

Les fonctions écologiques représentent le potentiel d'un écosystème à délivrer un service, qui dépend lui-même de certains processus écologiques. Ces processus, qui sont influencés par les pressions naturelles et anthropiques, évoluent dans un écosystème et lient les organismes et leur environnement. Il s'agit notamment de la sédimentation, de la productivité primaire, de l'érosion ainsi que du transport et de l'accumulation de polluants.

Les processus ont des répercussions sur les fonctions écologiques (processus biologiques qui permettent le fonctionnement et le maintien des écosystèmes) et les services écosystémiques (bénéfices pour l'homme issus des processus biologiques) associés aux milieux naturels de la zone littorale du LSP. Pour ces deux composantes du modèle conceptuel, deux échelles spatiales sont proposées afin de mesurer les indicateurs. Certains indicateurs seront mesurés à large échelle spatiale, soit sur l'ensemble de la zone littorale ou des bassins versants des ruisseaux tributaires du littoral. À l'opposé, certains indicateurs seront mesurés à petite échelle dans des sites ciblés.

5. Programme de suivi de l'état de la zone littorale du lac Saint-Pierre

5.1. Modèle conceptuel de l'écosystème

Les principales pressions et les processus écologiques, fonctions écologiques et services écosystémiques associés à la zone littorale, ainsi que les indicateurs proposés pour le programme de suivi ont été synthétisés et présentés dans le schéma conceptuel de la

Figure 5 et les Tableau 1 et 2. Afin de faciliter la compréhension du modèle conceptuel, les lettres A à F ont été attribuées à chacune des grandes composantes du modèle et le texte qui l'accompagne y fait référence. À noter que les boîtes orange dans la

Figure 5 représentent des groupes d'indicateurs qui ont été rassemblés en raison de leur complémentarité.

L'utilisation unique des données des communautés biologiques pour évaluer les conséquences des perturbations à l'échelle de l'écosystème peut constituer un piège, car les organismes vivants peuvent montrer une sensibilité variable à l'utilisation des terres (Campeau et collab., 2024). C'est pourquoi l'approche de suivi proposée s'appuie sur une variété d'indicateurs, parfois mesurés sur le terrain ou modélisés, qui permettent de représenter une variété de pressions et de réponses écosystémiques. Plusieurs indicateurs retenus se sont avérés utiles pour dégager des tendances écosystémiques à travers le gradient d'intensité de l'usage des terres dans le littoral du LSP, dans le cadre des travaux du Pôle d'expertise (Campeau et collab., 2024).

Certaines pressions agissant sur le littoral du LSP sont mesurées en continu au moyen de systèmes déjà bien établis, comme les données sur le climat et les niveaux d'eau du fleuve. Ces pressions, ainsi que d'autres pressions anthropiques influençant la dynamique du littoral, n'ont pas fait l'objet de propositions d'indicateurs. Elles méritent cependant une attention particulière dans l'interprétation des tendances qui seront mesurées dans le cadre du programme, car elles ont des répercussions sur les processus affectant les fonctions écologiques et les services écosystémiques de la zone littorale. Ces pressions sont présentées dans l'annexe 1 du présent document

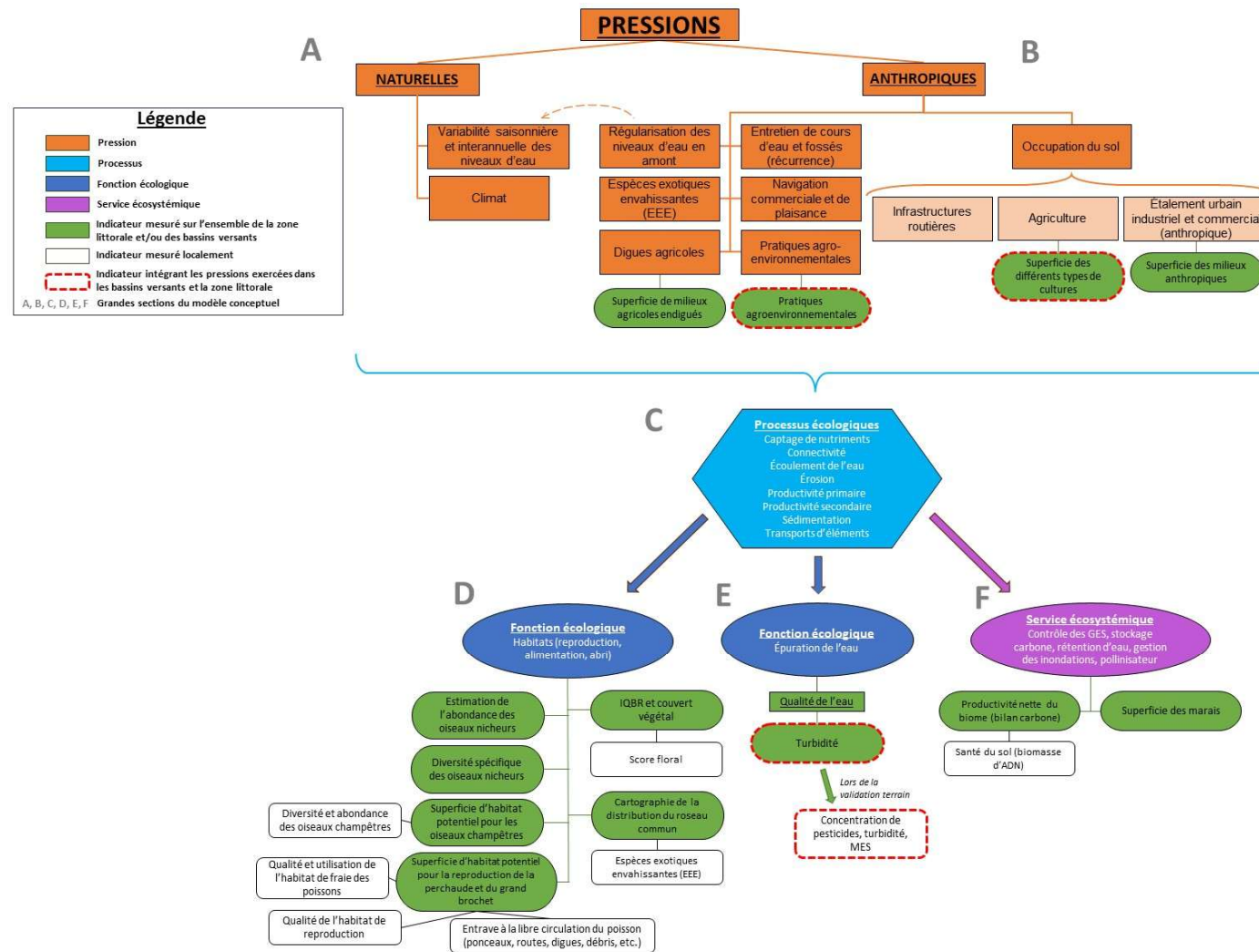


Figure 5. Modèle conceptuel de la zone littorale du LSP illustrant les groupes de pressions naturelles et anthropiques (rectangles orange) ainsi que les processus écologiques (hexagone bleu) qui influencent les fonctions écologiques (ovales bleus) et les services écosystémiques (ovale mauve). Les indicateurs mesurés sur l'ensemble de la zone littorale ou des bassins versants (boîtes vertes) et ceux qui sont mesurés localement (boîtes blanches) sont associés à leurs pressions, fonctions écologiques et services écosystémiques respectifs. Les lettres A à F ont été attribuées à chacune des grandes composantes du modèle afin de faciliter sa compréhension.

Tableau 1. Synthèse des indicateurs proposés dans le cadre du Programme de suivi de l'état de la zone littorale du lac Saint-Pierre et mesurés sur l'ensemble de la zone littorale ou des bassins versants

Thème	Groupe d'indicateurs	Indicateur	N° de fiche*
Pression anthropique	Occupation du sol	Superficie des différents types de cultures	Fiche no 1 – Occupation du sol
		Superficie des milieux anthropiques	Fiche no 1 – Occupation du sol
	Digues agricoles	Superficie de milieux agricoles endigués	Fiche no 1 – Occupation du sol
	Pratiques agricoles	Pratiques agroenvironnementales	Fiche no 2 – Pratiques
Fonction écologique: habitats	Oiseaux	Superficie d'habitat potentiel pour les oiseaux champêtres	Fiche no 1 – Occupation du sol
		Estimation de l'abondance des oiseaux nicheurs	Fiche no 1 – Occupation du sol
		Diversité spécifique des oiseaux nicheurs	Fiche no 3 – Diversité spécifique des oiseaux nicheurs
	Poissons	Superficie d'habitat potentiel pour la reproduction de la perchaude et du grand brochet	Fiche no 1 – Occupation du sol
	Flore	IQBR et couvert végétal	Fiche no 1 – Occupation du sol
	Espèces exotiques envahissantes	Cartographie de la distribution du roseau commun	Fiche no 4 – Cartographie de la distribution du roseau commun
Fonction écologique: qualité de l'eau	Qualité de l'eau	Turbidité	Fiche no 1 – Occupation du sol
Service écosystémique		Productivité nette du biome (bilan carbone)	Fiche no 1 – Occupation du sol
		Superficie des marais	Fiche no 1 – Occupation du sol

* Certains indicateurs ont été rassemblés dans une même fiche, car ils utilisent les mêmes bases méthodologiques (ex. télédétection).

Tableau 2. Synthèse des indicateurs proposés dans le Programme de suivi de l'état de la zone littorale du lac Saint-Pierre et mesurés localement, sur des sites spécifiques

Thème	Groupe d'indicateurs	Indicateur	N° de fiche
Fonction écologique: habitats	Oiseaux	Diversité et abondance des oiseaux champêtres	Fiche no 5 – Diversité et abondance des oiseaux champêtres
	Poissons	Qualité et utilisation de l'habitat de fraie des poissons	Fiche no 6 – Qualité et utilisation de l'habitat de fraie par les poissons
		Qualité de l'habitat de reproduction	Fiche no 6 – Qualité et utilisation de l'habitat de fraie par les poissons
		Entrave à la libre circulation du poisson	Fiche no 7 – Entrave à la libre circulation du poisson (ponceaux, routes, digues, débris, etc.)
	Espèces exotiques envahissantes	Espèces exotiques envahissantes (EEE)	Fiche no 8 – Espèces exotiques envahissantes (EEE)
	Flore	Score floral	Fiche no 9 – Score floral
Fonction écologique: qualité de l'eau	Qualité de l'eau	Concentration de pesticides, turbidité, MES	Fiche no 10 – Concentration de pesticides, turbidité, MES
Service écosystémique		Santé du sol (biomasse d'ADN)	Fiche no 11 – Santé du sol
Autres		Indicateurs additionnels pour des projets ciblés	Voir la section 5.3

5.2. Description des pressions et des indicateurs associés

Plusieurs pressions naturelles **(A)** et anthropiques **(B)** affectent les milieux naturels de la zone littorale du LSP et influencent les processus écologiques. Ces pressions sont notamment : **(A)** la variabilité saisonnière et interannuelle des niveaux d'eau, le climat, **(B)** la régularisation des niveaux d'eau du Saint-Laurent, l'entretien de cours d'eau et fossés, les espèces exotiques envahissantes (EEE), la navigation commerciale et de plaisance, les digues agricoles, les pratiques agricoles et l'occupation du sol (infrastructure routière, agriculture, étalement urbain, industriel et commercial).

5.2.1. Pressions anthropiques et indicateurs associés proposés (B)

Occupation du sol

Selon une cartographie de l'occupation du sol réalisée pour l'année 2016 (Jobin et Brodeur, 2023), le littoral du LSP (incluant l'eau libre) couvre une superficie totale de 22 093 ha où l'eau profonde, soit le fleuve lui-même, les cours d'eau et canaux, de même que les petits lacs, totalisent 1 004 ha. Les milieux humides s'étendent sur près de 14 800 ha, alors que les milieux boisés et les zones arbustives occupent respectivement 317 ha et 604 ha (Figure 6). Outre ces milieux naturels, les terres agricoles occupent environ 5 022 ha, alors que les autres milieux anthropiques s'étendent sur environ 293 ha.

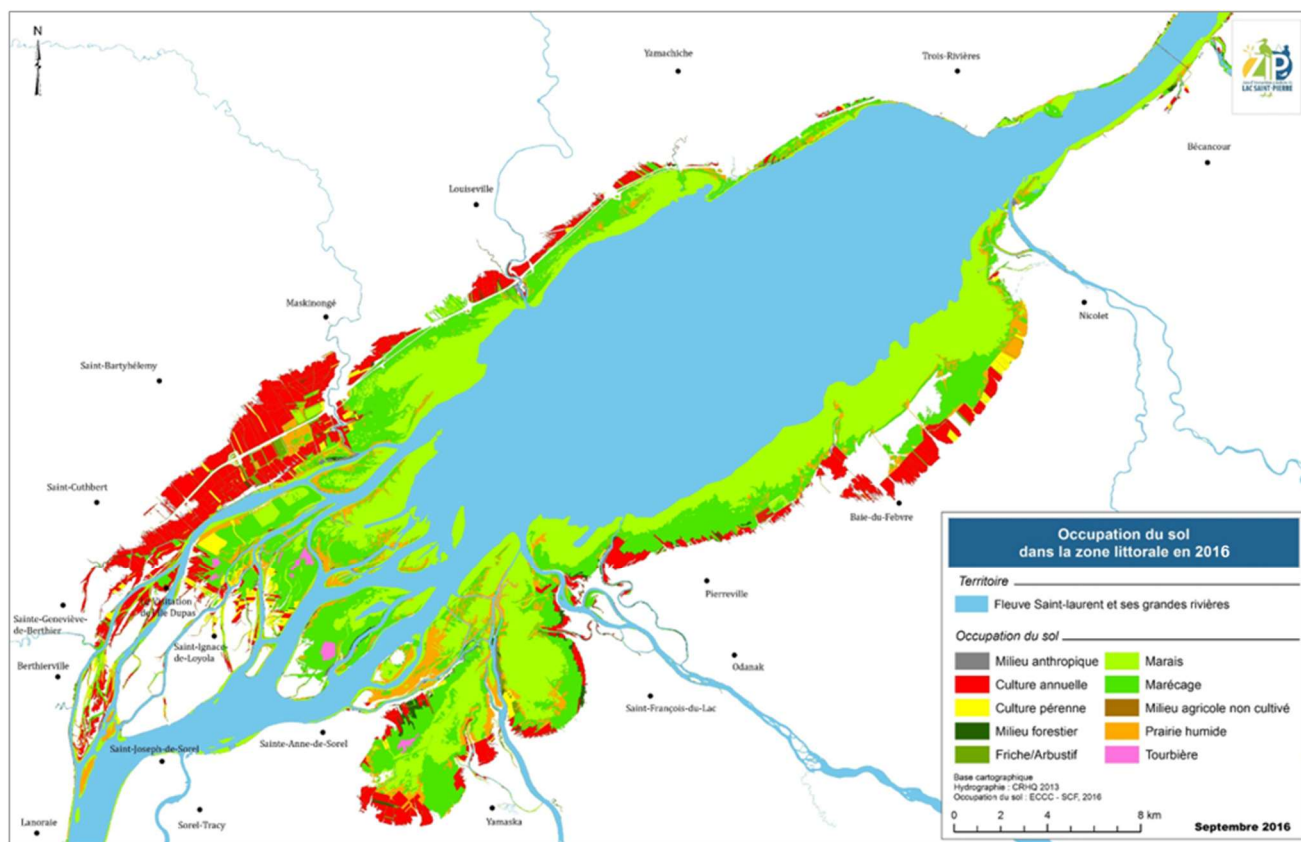


Figure 6. Occupation du sol dans la zone littorale du lac Saint-Pierre en 2016 (donn'ees tir'ees de Jobin et Brodeur, 2023).

Types de cultures. Une forte intensit'e de perturbations anthropiques, comme celle qui est g'ener'ee par l'agriculture, est g'eneralement la principale cause des 'missions de gaz ' effet de serre (carbone, m'thane et oxyde nitreux) et du d'clin de la biodiversit'e locale dans de nombreux 'cosyst'emes (Campeau et collab., 2024). De 1950 ' 1997, les milieux agricoles de la plaine inondable, incluant le littoral du LSP, ont 't' transform's, alors que la majorit'e des cultures p'rennes (fourrage et p'aturage) ont 't' converties en cultures annuelles (ma'is, soya) (Dauphin et Jobin, 2016). La diminution de la superficie couverte par les cultures p'rennes s'est poursuivie apr's 1997 (Jobin et Brodeur, 2023). D'ailleurs, ces cultures repr'sentaient seulement 2 % de la zone des crues de r'currence de 2 ans en 2016, alors qu'elles occupaient pr's du quart du territoire dans les ann'ees 1950. Pr's de 3 800 ha d'habitats fauniques (cultures p'rennes et milieux naturels) ont 't' modifi's entre 1950 et 2016, principalement au profit des cultures annuelles, les rendant inad'quats pour les besoins fondamentaux de nombreuses esp'ces (C). Les pertes nettes additionnelles d'habitats fauniques survenues entre 1997 et 2016 sont estim'ees ' 550 ha (Jobin et Brodeur, 2023).

Les actions de restauration visant ' r'tablir les fonctions 'cologiques des habitats passent notamment par une modification des types de cultures d'ploy'ees dans le littoral et le r'tablissement d'un couvert de v'g'tation p'renne (Campeau et collab., 2024). Un indicateur permettant de suivre l'volution des types de cultures du littoral serait hautement pertinent dans ce contexte. Il permettrait de mesurer et de suivre ' large 'chelle la quantit'e et la qualit'e des habitats fauniques du littoral r'pondant aux besoins fondamentaux des esp'ces, par exemple les cultures p'rennes (**Fiche no 1 – Occupation du sol, habitat et qualit'e de l'eau** Mesur' sur l'ensemble de la zone littorale).

Milieus anthropiques. Les régions périphériques au LSP sont en croissance démographique, alors que plus de 200 000 personnes vivent dans les municipalités riveraines. Cette croissance dans les milieux riverains et sur les îles génère des pressions provenant d'une variété d'activités issues de l'urbanisation, du développement résidentiel, de la villégiature et du récréotourisme **(B)**. Le développement urbain et l'expansion du réseau routier en littoral peuvent contribuer à la perte et à la fragmentation des habitats fauniques (TCRLSP, 2023b; Le Pichon et collab., 2018). Dans le littoral du LSP, l'autoroute 40 a été construite dans les milieux humides de la rive nord et influence depuis la connectivité entre le lac et la plaine inondable, malgré la présence de nombreux ponceaux (Le Pichon et collab., 2018). L'artificialisation et l'empiètement provoqués par ces infrastructures (remblais, murs de soutènement, déboisement, etc.) ont entraîné la perte de milieux humides et riverains. Par ailleurs, certains milieux ont été complètement asséchés ou remblayés afin d'en modifier l'utilisation **(C)**, (TCRLSP, 2023b). L'urbanisation du territoire a contribué à une perte de 265 ha de milieux naturels depuis les années 1950 (Jobin et Brodeur, 2023).

Un indicateur décrivant la superficie des milieux anthropiques permettra de mesurer l'empiètement sur les milieux naturels de la zone littorale ainsi que les gains en habitats fauniques à la suite des travaux d'aménagements en milieu urbain **(Fiche no 1 – Occupation du sol, habitat et qualité de l'eau Mesuré sur l'ensemble de la zone littorale)**.

Milieus agricoles endigués. Afin de favoriser la biodiversité, plusieurs aménagements fauniques (marais permanents, étangs, haltes migratoires, canaux piscicoles, etc.) ont été réalisés dans la zone littorale (TCRLSP, 2023c). Certains de ces aménagements sont utilisés comme halte migratoire pour la sauvagine et comprennent une digue et un ouvrage de contrôle permettant d'opérer l'aménagement à un niveau d'eau particulier pendant la crue, puis de le vidanger pour favoriser le drainage et la mise en culture des terres afin de permettre un compromis agriculture-faune. Toutefois, en raison de la hauteur des digues, les poissons n'ont généralement plus accès à ces habitats ou y demeurent captifs à la suite d'événements de très forte crue ou du bris des digues (Paquin et Brodeur, 2017; Théberge et collab., 2021). La pertinence des digues aménagées dans un compromis agriculture-faune sur les rives nord et sud du LSP est remise en question en raison des pertes nettes d'habitat du poisson qu'elles engendrent et des apports de nutriments, de sédiments et de pesticides vers le LSP lors du pompage (Giroux, 2018; TCRLSP, 2023c).

Un indicateur permettant de donner un aperçu des progrès réalisés en matière de restauration des habitats fauniques et de la connectivité avec le LSP des secteurs endigués pourra être mesuré au moyen de la télédétection et d'échanges avec les gestionnaires des sites endigués **(Fiche no 1 – Occupation du sol, habitat et qualité de l'eau Mesuré sur l'ensemble de la zone littorale)**.

Pratiques agroenvironnementales. L'agriculture intensive dans la zone littorale, dont la pratique s'est accrue au cours des dernières décennies, constitue un facteur prépondérant ayant contribué à la détérioration de l'écosystème du LSP. Certaines pratiques, tels le labour et les cultures à grand interligne, contribuent à accentuer le phénomène d'érosion des sols, tout comme l'augmentation des débits résultant de la rectification des cours d'eau et du drainage à des fins agricoles (MENV, 2003). Certaines pratiques entraînent également le lessivage de nutriments et de pesticides vers le lac (Giroux, 2018; Grenier, 2024), ce qui a pour effet de réduire la qualité des habitats de plusieurs espèces **(C)**. En zone littorale, la récolte des cultures et le travail du sol à l'automne engendrent une perte de couvert végétal essentiel au maintien des habitats clés pour la reproduction et l'alevinage des poissons au printemps et pour la nidification de la faune aviaire (de la Chenelière et collab., 2014; Foubert et collab., 2020; Jobin et Martin, 2026; Campeau et collab., 2024).

L'agriculture dans le littoral du LSP s'effectue généralement selon les mêmes méthodes que toute autre culture hors littoral (Ruiz, 2024). Les pratiques de travail du sol, de fertilisation et de

phytoprotection sont susceptibles de varier en fonction des agriculteurs et des types de cultures et sont notamment soumises aux normes inscrites dans le *Règlement sur les exploitations agricoles* et le *Code de gestion des pesticides* (TCRLSP, 2023c). Il a été démontré que les deux tiers des charges en sédiments qui aboutissent dans le littoral du LSP proviennent des terres agricoles situées en amont (Campeau et collab., 2024). La moitié des superficies cartographiées dans les bassins versants des ruisseaux tributaires de la zone littorale sont occupées par des sols agricoles peu protégés contre l'érosion hydrique au printemps (Campeau, 2024). Ces surfaces incluent les sols labourés à l'automne et laissés à nu l'hiver, le soya en semis direct et le maïs ensilage laissant très peu de résidus au sol au printemps.

Afin de réduire les apports en sédiments et la turbidité de l'eau dans le littoral, il sera nécessaire de modifier les pratiques culturales, ainsi que d'améliorer la gestion des intrants (fertilisants, pesticides), non seulement dans cette zone, mais aussi dans les bassins versants des ruisseaux tributaires du littoral du LSP. Cela passera par la mise en place de milieux naturels, de prairies, de bandes riveraines, de cultures de couverture, en particulier dans les zones les plus sensibles à l'érosion des bassins versants (Campeau et collab., 2024).

Le Pôle d'expertise recommande d'adapter la régie des cultures annuelles dans la zone haute du littoral (>6,55 m; Campeau et collab., 2024). Les pratiques agroenvironnementales à privilégier pour la culture du maïs dans cette zone sont le travail du sol au printemps après la crue, contrairement à un travail du 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. À l'opposé, les zones basses du littoral (<6,55 m) devraient 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 (>50 cm) et d'une densité suffisante à l'automne et n'utilisant pas d'intrants agricoles (Campeau et collab., 2024).

À l'échelle de la province, le gouvernement du Québec a lancé en 2020 le Plan d'agriculture durable 2020-2030. Élaboré en concertation avec les acteurs du milieu agricole, il vise à accélérer l'adoption de pratiques agroenvironnementales qui tiennent compte des préoccupations sociétales en matière de pesticides, ainsi que des engagements liés aux changements climatiques et au développement durable du gouvernement québécois. Le Plan d'agriculture durable vise à mobiliser les acteurs du secteur agricole autour de cinq objectifs clés qui incluent la réduction de l'usage des pesticides, la conservation des sols, la gestion des matières fertilisantes et de l'eau, ainsi que l'amélioration de la biodiversité.

Les recommandations et les pratiques agricoles préconisées par le Pôle d'expertise ainsi que les pratiques agroenvironnementales promues dans le cadre du Plan d'agriculture durable ont permis d'orienter les réflexions et de guider le choix d'un indicateur associé aux pratiques agroenvironnementales.

En complément du suivi de l'occupation des sols, qui fournira l'information générale sur les grands types de cultures, un indicateur permettant de suivre l'évolution des pratiques agroenvironnementales dans la zone littorale du LSP et dans les bassins versants des ruisseaux tributaires du littoral s'avère incontournable. L'esprit des recommandations du Pôle guidera le choix des variables qui seront réparties en deux groupes : celles qui sont mesurées par la télédétection (ex. cultures de couvertures, bandes riveraines) et celles qui sont obtenues par des sondages ou des registres (ex. données sur les pratiques agricoles) (**Fiche no 2 – Pratiques agroenvironnementales**).

5.2.2. Fonctions écologiques liées aux habitats et indicateurs associés proposés (D)

Oiseaux

Parmi toutes les espèces d'oiseaux recensées au LSP, entre 131¹ et 172 espèces s'y reproduisent (Comité ZIPLSP, 2010). Le littoral héberge une des plus importantes héronnières en Amérique du Nord, avec environ 683 nids de grand héron (*Ardea herodias*), de bihoreau gris (*Nycticorax nycticorax*) et de grande aigrette (*Ardea alba*) (Côté, 2020), ainsi que des colonies nicheuses d'hirondelles de rivage (Municonsult, 2002) et de guifettes noires (IBA Canada, 2015). De plus, le LSP abrite des habitats essentiels à la nidification du petit blongios (Environnement Canada, 2014).

L'archipel est également un des deux pôles majeurs de production de canards barboteurs dans le sud du Québec, près de 50 % des nids de tout le tronçon fluvial y sont produits (Lehoux et collab., 2003). La moitié des sites propices au maintien d'aires de nidification des canards barboteurs se trouvent approximativement sous la cote de niveau d'eau de 6,6 m à Sorel². En 2003, il a été estimé que plus de 1 200 couvées sont élevées chaque été dans les marais du LSP (Lehoux et collab., 2003). De plus, les prairies du littoral, qu'elles soient naturelles ou agricoles (p. ex. fourrages, pâturages et friches), sont utilisées comme sites de nidification par des oiseaux champêtres.

De manière générale, l'utilisation du sol à des fins d'agriculture intensive engendre actuellement une perte du couvert végétal essentiel à la nidification de la faune aviaire (Jobin et Martin, 2026). Le soutien offert par la végétation herbacée présente dans les champs permet aux oiseaux champêtres qui nichent au sol de construire et de camoufler leurs nids, au retour de leur migration printanière. La baisse de la disponibilité d'habitats de reproduction offerts par les champs de foin et les pâturages, couplée aux pratiques de fauche hâtive et à répétition des fourrages, explique d'ailleurs le déclin des populations d'oiseaux champêtres au Québec (Drapeau et collab., 2019). La réduction marquée de la superficie moyenne des parcelles de cultures pérennes entre 1950 et 2016 peut aussi avoir contribué à ces baisses démographiques, puisque plusieurs espèces ont besoin de grandes superficies d'habitat convenable et non fragmenté pour nicher (Environnement Canada, 2013; Jobin et Brodeur, 2023).

La présence d'un oiseau sur un site est souvent liée à la quantité d'habitats dans le paysage environnant et dépend des phases de leur cycle vital. Un indicateur mesurant la quantité d'habitats disponibles pour les oiseaux champêtres dans le littoral permettrait de mesurer les progrès réalisés en matière de restauration des habitats pour ce groupe d'espèces. Les habitats potentiels de nidification pour les oiseaux champêtres incluent les prairies cultivées et naturelles et les pâturages (**Fiche no 1 – Occupation du sol, habitat et qualité de l'eau** Mesuré sur l'ensemble de la zone littorale).

De plus, des inventaires ponctuels d'oiseaux champêtres nichant à des sites de restauration permettront de mesurer directement les changements de la diversité et de l'abondance de l'avifaune nicheuse avant et après restauration (**Fiche no 5 – Diversité et abondance des oiseaux champêtres**). De tels inventaires ont été effectués par le passé et pourront servir de données de référence pour certains sites.

Outre les oiseaux champêtres, les oiseaux nicheurs occupent une large gamme d'habitats (forestier, agricole et aquatique) et de niches alimentaires dans le littoral du LSP, ce qui en fait des sentinelles

¹ Correspond au nombre d'espèces d'oiseaux nicheurs confirmé au lac Saint-Pierre.

² Modélisation des sites propices au maintien de prairies hautes en 2013 (ECCC, Morin et Martin, 2016 ; données non publiées).

du territoire. La sélection des sites de nidification par les oiseaux est souvent conditionnée par divers paramètres, dont la taille des parcelles d'habitat et leur degré d'isolement (Jobin et Martin, 2026).

Un indicateur basé sur l'estimation de l'abondance des oiseaux nicheurs dans des milieux forestiers, agricoles et humides, permettra de déterminer l'évolution des paysages en regard des habitats de nidification des oiseaux (**Fiche no 1** – Occupation du sol, habitat et qualité de l'eau Mesuré sur l'ensemble de la zone littorale).

Un indicateur ayant pour objectif de suivre à large échelle la réponse des oiseaux nicheurs, par l'entremise de la science citoyenne (données eBird), sera complémentaire à la modélisation des habitats potentiels (**Fiche no 3** – Diversité spécifique des oiseaux nicheurs).

Poissons

Comme mentionné précédemment, le sol dénudé au printemps de champs de maïs et de soya limite la qualité des habitats de reproduction et d'alevinage de la perchaude et du grand brochet (de la Chenelière et collab., 2014; Foubert et collab., 2020; Paquin et Brodeur, 2021; Rodriguez, 2024; Paquin et collab., 2024). Les deux espèces se reproduisent entre le début d'avril et le début de mai, dans des milieux peu profonds (30 cm à 1 m d'eau) (de la Chenelière et collab., 2014; Foubert et collab., 2020). La perchaude a besoin d'un substrat végétal permettant aux rubans d'œufs de s'accrocher, par exemple des branches d'arbustes submergées, des tapis de végétaux morts ancrés sur le fond ou des tiges verticales submergées (TCRLSP, 2023c). Pour sa part, le grand brochet dépose ses œufs adhésifs sur des tapis de végétation dense (Foubert et collab., 2020). 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 qu'elle est mesurée à Sorel (TCRLSP, 2023c). 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 (Rodriguez, 2024). La probabilité de trouver des œufs de perchaude ou de grand brochet dans la zone littorale du LSP au printemps est de 50 % à 95 % lorsque la hauteur de la végétation se situe entre 50 et 90 cm l'automne précédent (Paquin et collab., 2024). De plus, il a été démontré que les sites de reproduction de ces espèces sont caractérisés par la présence de l'alpiste roseau et d'autres plantes herbacées dressées au port rigide, typiques des friches et des prairies naturelles du littoral du LSP. En effet, les tiges rigides de l'alpiste roseau et sa biomasse foliaire, qui persiste à la suite de la période hivernale, peuvent être utilisées comme substrat de fraie par la perchaude et le grand brochet (Paquin et collab., 2024). L'aménagement de prairies naturelles ou cultivées de façon extensive, à raison d'une seule récolte réalisée entre la mi-juillet et la fin de juillet, produirait des habitats pour la perchaude et pour le grand brochet, tout en protégeant la nidification des oiseaux champêtres (Paquin et collab., 2024).

Les caractéristiques des habitats préférentiels de reproduction de la perchaude ont été utilisées pour modéliser l'ampleur des superficies touchées par les activités anthropiques dans le littoral et pour localiser les habitats les plus sensibles et productifs. Les résultats de ces analyses révèlent que les usages anthropiques qui ne répondaient pas, ou peu, aux besoins de la perchaude occupent une superficie évaluée à environ 5 000 ha dans la zone littorale, dont la majorité sont en milieu agricole (de la Chenelière et collab., 2014; TCRLSP, 2023c; Campeau et collab., 2024). Chez le grand brochet, dont la population du LSP montre un déclin depuis le début des années 2000 (Paquin et collab., 2018), une diminution marquée de la connectivité et de la quantité d'habitats de reproduction et d'alevinage a été observée en raison de la prépondérance des cultures annuelles et des obstacles engendrés par le réseau routier (Foubert et collab., 2020; Le Pichon et collab., 2018).

De 10 à 20 jours après la fraie, à la suite de l'éclosion des œufs, les larves de perchaude demeurent en milieu peu profond et se nourrissent exclusivement de zooplancton. Les taux de croissance des

larves de perchaudes sont d'ailleurs reliés à la densité du zooplancton (Cabana, 2024). Les invertébrés aquatiques constituent donc un maillon fondamental de la chaîne alimentaire de l'écosystème du LSP. En outre, ce « garde-manger » pour les poissons et les canards est par la suite entraîné vers le lac avec le retrait de la crue, alimentant ainsi le reste de l'écosystème fluvial (Farly et collab., 2019) (C).

Le suivi de la superficie d'habitat de reproduction potentielle de la perchaude et du grand brochet par modélisation permettrait de mesurer à large échelle les gains associés aux changements d'occupation du sol et à la restauration des habitats de ce groupe d'espèces (**Fiche no 1 – Occupation du sol, habitat et qualité de l'eau Mesuré sur l'ensemble de la zone littorale**).

Dans des sites de restauration particuliers, à l'échelle locale au moyen d'inventaires sur le terrain, il serait pertinent de mesurer la présence et l'abondance d'œufs de perchaude et de grand brochet, ainsi que les caractéristiques de l'habitat de reproduction (hauteur du couvert végétal automnal). Ces variables se sont avérées efficaces pour témoigner de l'utilisation du littoral par les poissons (Rodriguez, 2024; Paquin et collab., 2024 ; **Fiche no 6 – Qualité et utilisation de l'habitat de fraie par les poissons**).

Outre la perte nette d'habitats fonctionnels engendrée par l'agriculture intensive, les espèces de poissons du littoral sont affectées par la présence d'obstacles à la libre circulation, tels que des routes, des digues et des ponceaux, qui sont susceptibles de fragmenter les habitats et de limiter leur connectivité (de la Chenelière et collab., 2014; Le Pichon et collab., 2018). La caractérisation des cours d'eau de la zone littorale réalisée par le Comité ZIPLSP en 2014 a révélé que plus de 42 % des ponceaux répertoriés étaient obstrués, désuets ou avaient une dimension ou une installation inadéquate (Comité ZIPLSP, 2016). Malgré le changement de plusieurs ponceaux depuis 2014, l'enjeu demeure important dans le littoral du LSP, puisqu'au moins 9 000 ponts et ponceaux seraient présents sur le territoire (Campeau, 2024).

Dans l'ensemble des sites restaurés comportant une composante d'utilisation par les poissons, il est primordial de porter une attention particulière à l'amélioration de la connectivité pendant et après la crue printanière, couplée à l'augmentation de la disponibilité d'habitat pour le poisson en période de fraie. Ces données permettront d'orienter les travaux de restauration nécessaires et les gains en habitat fonctionnel qui y seront associés (**Fiche no 7 – Entrave à la libre circulation du poisson (ponceaux, routes, digues, débris, etc.)**).

Flore

L'agriculture intensive dans le littoral a des conséquences importantes sur les habitats fauniques. Notamment, le travail annuel du sol à l'automne engendre une perte du couvert végétal essentiel au maintien des habitats clés pour la reproduction et l'alevinage au printemps. Or, selon une caractérisation effectuée entre 2013 et 2015 par le Comité ZIPLSP, plus de 60 % des 373 km de cours d'eau caractérisés dans le littoral présentaient un indice de qualité de bande végétalisée faible et près de 40 %, soit 156 km de cours d'eau, ne montraient aucune bande riveraine (Comité ZIPLSP, 2016). En plus de ne pouvoir fournir des habitats pour la faune, ces milieux exempts de végétation ne peuvent remplir leurs fonctions connexes, soit la stabilisation des berges, la rétention des sédiments et la filtration des eaux de ruissellement (C). Selon les résultats du Pôle d'expertise, 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 collab., 2023). Les bandes végétales bien établies le long des cours d'eau et des fossés du littoral peuvent également être utilisées pour la reproduction des poissons et ont des bénéfices pour la biodiversité (Poulin et collab., 2023; Proulx, 2024).

L'indice de qualité de la bande riveraine (IQBR) retrouvée le long des cours d'eau des ruisseaux tributaires qui s'écoulent dans la zone littorale ainsi que le long des fossés de drainage permettrait d'évaluer la fonction écologique des habitats riverains. L'IQBR est basé sur la superficie relative occupée par neuf composantes de la bande riveraine, auxquelles on associe un facteur de pondération qui estime le potentiel de chacune d'elles à remplir les fonctions écologiques en regard de la protection des écosystèmes aquatiques (MELCCFP, s. d.) (**Fiche no 1** – Occupation du sol, habitat et qualité de l'eau Mesuré sur l'ensemble de la zone littorale).

En complément, la mesure à petite échelle du score floral permettrait de quantifier l'abondance de plantes nectarifères pour un territoire donné. Il s'agit d'un indicateur qui permet notamment de refléter l'abondance des pollinisateurs (**Fiche no 9** – Score floral).

Espèces exotiques envahissantes (EEE)

L'établissement et la propagation des EEE dans les milieux naturels constituent une menace pour l'environnement et l'économie. Plusieurs de ces espèces peuvent changer la structure de la végétation, appauvrir la diversité génétique, réduire la diversité et l'abondance des espèces floristiques et fauniques indigènes, en plus de perturber les fonctions biogéochimiques des milieux humides. Ces changements compromettent l'intégrité des milieux naturels (TCRLSP, 2023b). L'horticulture, la pêche sportive, le transport maritime et terrestre, de même que le récréotourisme, figurent parmi les vecteurs d'introduction et de propagation d'EEE dans les milieux naturels (B) (MDDELCC, 2018). Par ailleurs, les changements climatiques pourraient mener à une hausse des températures et à des modifications des régimes hydrologiques, qui peuvent être favorables à leur expansion. Un projet de suivi des plantes envahissantes des milieux humides du fleuve Saint-Laurent a été mis sur pied en 2003 par Environnement Canada dans le cadre du suivi de l'état du Saint-Laurent (Savage et Jean, 2008). Les résultats de ce suivi montrent que le LSP est un des deux secteurs les plus fortement touchés par les plantes exotiques envahissantes dans le Saint-Laurent (Groupe de travail suivi de l'état du Saint-Laurent, 2014, 2024). Tous les sites visités étaient touchés par au moins une des espèces ciblées, et la majorité présentaient un indice d'envahissement fort ou moyen¹.

Actuellement, 12 espèces floristiques exotiques envahissantes jugées prioritaires selon le MELCCFP sont suivies sur l'ensemble du territoire du Comité ZIPLSP: alliaire officinale (*Alliaria petiolata*), berce du Caucase (*Heracleum mantegazzianum*), châtaigne d'eau (*Trapa natans*), érable de Norvège (*Acer plantanoides*), hydrocharide grenouillette (*Hydrocharis morsus-ranae*), impatiente glanduleuse (*Impatiens glandulifera*), myriophylle à épis (*Myriophyllum spicatum*), nerprun bourdaine (*Frangula alnus*), nerprun cathartique (*Rhamnus cathartica*), potamogeton crépu (*Potamogeton crispus*), renouée du Japon (*Reynoutria japonica*) et roseau commun (*Phragmites australis australis*). Dans la zone littorale, le roseau commun est l'espèce la plus répandue, mais la renouée du Japon est en expansion. Plus de 59 ha sont envahis par ces deux espèces, dont 26 ha de hauts-marais et 6 ha de fossés de route (Corriveau et collab., 2022). Le roseau commun étant l'espèce la plus abondante, qui montre un important potentiel d'expansion future dans la zone littorale du LSP (Groupe de travail suivi de l'état du Saint-Laurent, 2024; Tougas-Tellier et collab., 2015), des actions de contrôle sont déjà mises en place et permettent son suivi dans certains sites particuliers.

¹ Les trois degrés d'envahissement (faible, moyen et fort) représentent l'espace qu'occupe chaque espèce végétale envahissante dans la station échantillonnée, soit par son aire, son recouvrement et sa fréquence dans le milieu.

Un indicateur permettant de suivre la distribution du roseau commun à grande échelle serait pertinent (**Fiche no 4** – Cartographie de la distribution du roseau commun) et complémentaire au projet de suivi des plantes envahissantes des milieux humides du fleuve Saint-Laurent réalisé dans le cadre du PASL (Groupe de travail suivi de l'état du Saint-Laurent, 2024).

Les impacts des EEE floristiques et fauniques sur les écosystèmes peuvent être majeurs et irréversibles, constituant une menace réelle pour la biodiversité et l'intégrité des sites restaurés. L'indice d'abondance permettra de faire des suivis particuliers pour connaître la présence ou non des EEE à l'échelle locale sur des sites de restauration (**Fiche no 8** – Espèces exotiques envahissantes (EEE)).

5.2.3. Fonctions écologiques liées à la qualité de l'eau et indicateurs associés proposés (E)

La qualité de l'eau du littoral a un impact sur les fonctions écologiques du littoral. Elle permet notamment le maintien des habitats fauniques et de la biodiversité aquatique. La qualité de l'eau est toutefois affectée par de multiples facteurs, tels que les rejets municipaux d'eaux usées et l'agriculture intensive pratiquée tant en zone littorale que dans les bassins. Ces pressions anthropiques contribuent au transport de sédiments et de contaminants vers le LSP.

La mise en service de stations d'épuration et l'amélioration apportée à la gestion des fertilisants à partir des années 1980 ont permis de réduire de façon perceptible la contamination bactériologique, ainsi que les apports en matière organique biodégradable et en phosphore dans les cours d'eau qui parviennent au LSP (Simoneau, 2016). Le défi actuel consiste à continuer les efforts de réduction des sources de pollution ponctuelle et, plus particulièrement, les sources de pollution diffuse d'origine agricole (TCRLSP, 2023d; Campeau et collab., 2024).

Les pressions naturelles (**A**) et anthropiques (**B**) contribuent au transport de sédiments et de contaminants vers le LSP. Un apport sédimentaire important provient des bassins versants des ruisseaux tributaires de la zone littorale du LSP. L'analyse comparative de parcelles endiguées et non endiguées suggère que plus de 66 % de la turbidité dans le littoral est associée aux ruisseaux provenant de l'amont (Roy, 2024). L'accumulation importante des sédiments dans les deltas (embouchures) illustre également la contribution de ces bassins versants. Par exemple, il a été démontré que l'avancée du delta de la rivière Yamachiche a été rapide depuis 150 ans en raison de l'effet cumulatif des perturbations anthropiques (déboisement, agriculture et urbanisation), contribuant à l'apport sédimentaire supplémentaire du bassin versant (Bondue et collab., 2006; **C**).

La turbidité est un facteur important qui conditionne plusieurs aspects de la vie aquatique et une forte turbidité des eaux est observée au printemps dans le littoral en raison de l'apport de matières en suspension provenant des terres agricoles du littoral et des bassins des ruisseaux tributaires (Campeau, 2024). Afin de maintenir la turbidité dans le littoral à moins de 100 FNU lors de la première phase de la crue, 65 % des sols des surfaces qui contribuent aux apports de sédiments devraient être adéquatement protégés contre l'érosion (milieux naturels, prairies, bandes riveraines, cultures de couverture; Campeau, 2024).

En raison de son impact sur les fonctions écologiques du littoral, il est important de pouvoir disposer d'un suivi de la qualité de l'eau. Un indicateur permettant de suivre la qualité de l'eau en période de crue printanière s'avère primordial (**Fiche no 1** – Occupation du sol, habitat et qualité de l'eau Mesuré sur l'ensemble de la zone littorale). La turbidité est généralement corrélée à d'autres paramètres de la qualité de l'eau, tels que les matières en suspension et le phosphore, et constitue donc un indicateur efficace des apports d'origine agricole. Le suivi de la turbidité permettrait de mesurer les bénéfices des efforts visant à limiter l'érosion des sols dans les bassins versants des ruisseaux tributaires du littoral du LSP et, dans une moindre mesure, les bénéfices déployés pour protéger les sols du littoral. Il est donc recommandé d'utiliser la mesure de la turbidité de l'eau comme indicateur, qui peut être estimée par télédétection à l'échelle de l'ensemble de la zone littorale du LSP (Roy, 2024; Clermont et collab., 2023).

Lors de la validation des estimations de turbidité (obtenues par l'utilisation de l'algorithme empirique développé dans le cadre des travaux du Pôle d'expertise) par des mesures sur le terrain, divers paramètres physicochimiques de l'eau pourraient être mesurés (azote, phosphore, coliformes fécaux, teneur en pesticides, etc.) afin de compléter le portrait de la qualité de l'eau du littoral et des ruisseaux tributaires (**Fiche no 10** – Concentration de pesticides, turbidité, MES). Les sites retenus pour de telles mesures devront faire l'objet d'une réflexion particulière, en fonction des lacunes dans le portrait global de la qualité de l'eau dans la zone littorale.

5.2.4. Services écosystémiques et indicateurs associés proposés (F)

Grâce aux fonctions écologiques que les milieux naturels de la zone littorale soutiennent et aux ressources qu'ils abritent, ces habitats variés produisent des services écosystémiques importants. Ces derniers résultent des processus écologiques (**C**) dont bénéficient directement ou indirectement les humains. Parmi ces services, notons la réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES), le stockage du carbone, la régulation/rétention/filtration de l'eau, la gestion des inondations (et la régulation d'autres phénomènes naturels) et la productivité des pollinisateurs (TCRLSP, 2023b). Les fonctions écologiques associées à la qualité de l'eau du littoral et en amont procurent également de nombreux services à la population, comme une panoplie d'activités récréatives et touristiques et l'approvisionnement en eau potable des communautés riveraines au pourtour du LSP.

Or, toutes les pressions naturelles et anthropiques affectent les processus écologiques de la zone littorale et ont un impact sur les services écosystémiques que procure cette zone. He et ses collaborateurs (2016) ont évalué la valeur économique des services écosystémiques associés au LSP et les coûts des mesures d'adaptation qui pourraient être mises en place afin de maintenir ces services. Selon cette étude, la valeur des bénéfices associés aux diverses mesures retenues, dont fait partie la restauration des zones riveraines et de la plaine inondable, dépasserait largement les coûts de mise en œuvre. Ces mesures sont économiquement rentables, car elles permettraient de générer des retombées économiques importantes et éviteraient la perte des nombreux services écosystémiques et des usages liés aux milieux naturels du LSP.

Les zones inondables sont parmi les terres possédant la plus grande capacité de séquestration du carbone. L'efficacité de cette séquestration est grandement influencée par les échanges de dioxyde de carbone (CO₂) et de méthane (CH₄) entre les zones inondables et l'atmosphère. Les émissions de ces deux gaz sont fortement influencées par l'usage des terres (forêt, prairie et champs agricoles) et peuvent résulter du changement du type de litière apporté au sol, de la structure de la communauté microbienne, ou encore de la physicochimie de l'environnement édaphique.

L'usage des terres dans le littoral du LSP a modifié la biomasse vivante en place au sein du sol (Maire, 2024). En général, plus l'intensité des perturbations augmente, moins les sols accumulent de la

biomasse racinaire, microbienne et d'ADN (Maire, 2024). Lorsque l'intensité de la perturbation des sols 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 usuelles; Maire, 2024).

La modélisation à large échelle de la capacité de séquestration du carbone de l'écosystème du littoral, par l'estimation de la productivité nette du biome, permettrait de quantifier le gain ou la perte nette de carbone et les émissions de GES de l'écosystème du littoral (**Fiche no 1 – Occupation du sol, habitat et qualité de l'eau** Mesuré sur l'ensemble de la zone littorale).

Le suivi des variations de la surface des marais fournit des renseignements sur leur pérennité et permettrait de détecter des changements dans leur fonctionnement écologique et dans la production de services écosystémiques (régulation des phénomènes naturels, filtration de l'eau, maintien de la biodiversité, production de ressources fauniques, séquestration du carbone, atténuation des changements climatiques) (**Fiche no 1 – Occupation du sol, habitat et qualité de l'eau**).

Un indicateur de la santé des sols permettrait de quantifier les bénéfices associés aux travaux de restauration. La biomasse d'ADN du sol, qui reflète la quantité de matériel végétal, animal et microbien des sols, pourrait être mesurée à petite échelle (**Fiche no 11 – Santé du sol**).

5.3. Indicateurs additionnels pour des projets ciblés ou pour mesurer les réponses des communautés de poissons

En complément du PSEZL-LSP, d'autres indicateurs d'intégrité mesurés à l'échelle locale pourront être explorés dans le cadre de projets ponctuels (Tableau 3). Le réseau de suivi ichtyologique (RSI), qui fait partie du programme de Suivi de l'état du Saint-Laurent du PASL, vise à suivre l'état de la communauté de poissons et certaines stations d'échantillonnages se trouvent au LSP. Ce réseau pourra être mis à profit afin de bonifier les données acquises pour mesurer la réponse globale des communautés de poissons à l'échelle de l'ensemble du LSP.

Tableau 3. Autres indicateurs potentiels pour des projets ciblés ou visant à mesurer la réponse de l'état de santé du littoral du lac Saint-Pierre

Indicateur mesuré sur l'ensemble de la zone littorale ou des bassins versants : • Communautés de poissons du lac Saint-Pierre (Réseau de suivi ichtyologique; RSI)	Indicateurs mesurés localement : • Abondance et diversité du zooplancton (Cabana, 2024) • Abondance et diversité d'invertébrés benthiques dans les cours d'eau • Biodiversité d'insectes et d'oiseaux chanteurs (Proulx, 2024) • Écotoxicologie (poissons, moules et amphipodes) • Communautés d'anoures (Jobin, 2014) • Communautés de chiroptères (Proulx, 2024) • Cartographie de l'artificialisation et de l'érosion des rives (archipel; Bernier et collab., 2020) • Présence d'espèces ombrelles indicatrices des milieux naturels et clé de voûte de la biodiversité (Campeau et collab., 2024) ○ Pioui de l'Est (<i>Contopus virens</i>) ○ Paruline jaune (<i>Setophaga aestiva</i>) ○ Scuderie à ailes longues (<i>Amblycorypha oblongifolia</i>) ○ Perchaude (<i>Perca flavescens</i>) ○ Bident feuillu (<i>Bidens frondosa</i>)
--	--

6. Mise en œuvre projetée

La mise en œuvre du programme de suivi s'échelonnait vraisemblablement sur plusieurs décennies et nécessitera la collaboration d'une multitude de partenaires potentiels, dont la contribution demeure à être confirmée. De plus, il serait souhaitable d'intégrer les indicateurs à large échelle dans le Programme de suivi de l'état du Saint-Laurent du PASL afin de tirer profit des partenariats et des outils existants (p. ex. reddition de comptes, plateforme du PASL, fiches de suivi). L'intégration de certains indicateurs du PSEZL-LSP dans le PASL permettrait d'obtenir un engagement des ministères concernés et, potentiellement, un financement récurrent des gouvernements fédéral et provincial afin d'assurer une mise en œuvre à long terme.

Pour mettre en œuvre le PSEZL-LSP, quelques éléments seront à considérer. Il pourrait être pertinent de s'inspirer de la régionalisation développée par le Pôle d'expertise pour structurer les efforts de suivi à petite échelle et établir les bilans périodiques des indicateurs mesurés à large échelle. Dans le cadre des travaux du Pôle d'expertise, le LSP a été divisé en 10 secteurs, selon les grandes masses d'eau tributaires du LSP, l'impact des petits cours d'eau sur l'hydrologie des habitats de la zone littorale ainsi que la connectivité des habitats (Figure 7). La mise en place de comités de suivi régionaux, permettant de faire le pont entre les efforts de restauration et les besoins de suivi, serait une avenue à explorer.

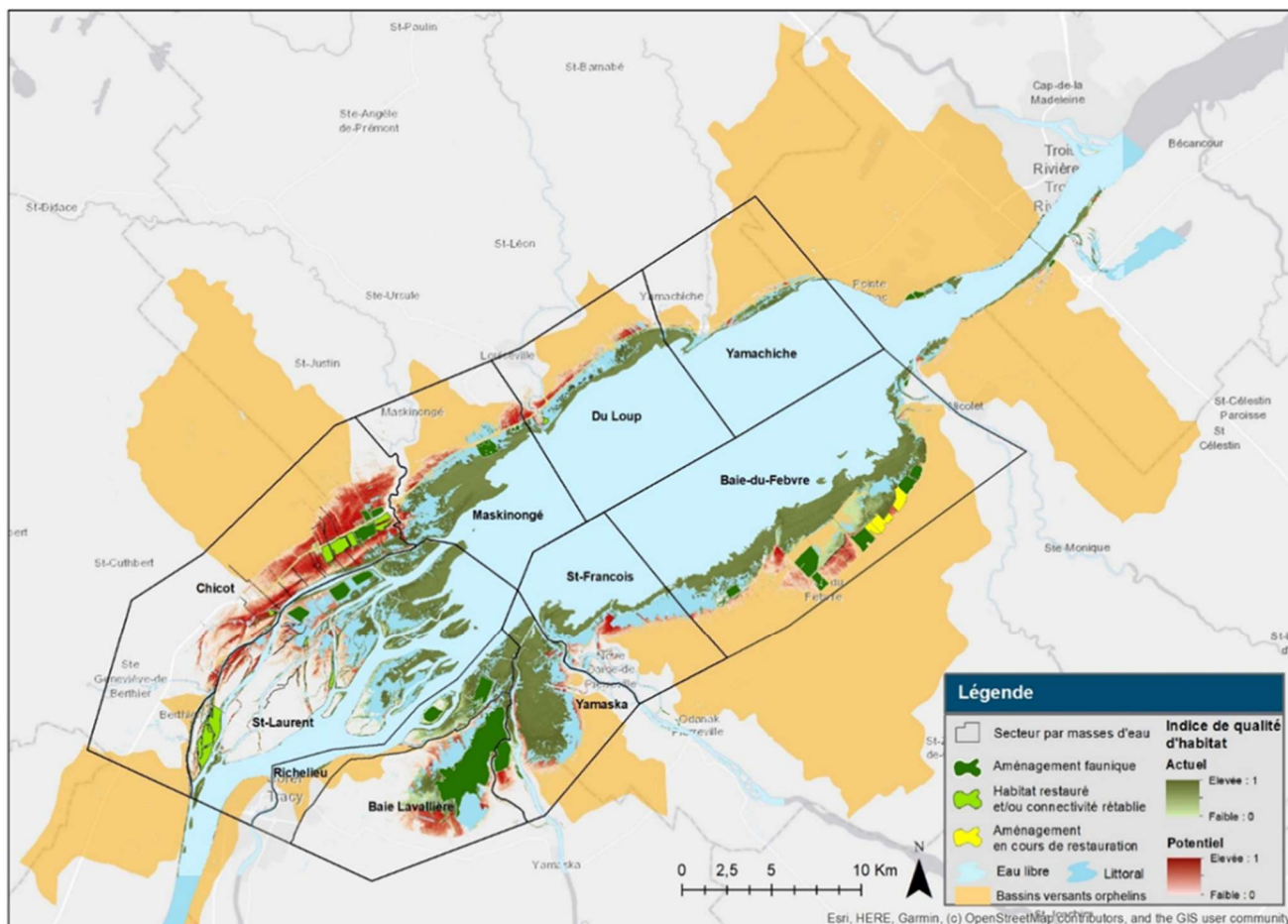


Figure 7. Répartition de 10 secteurs montrant des caractéristiques hydrologiques particulières. L'indice de qualité d'habitat potentiel de reproduction de la perchaude est également représenté pour les habitats fonctionnels (actuel) ou potentiels (TCRLSP, 2023c).

La collecte des indicateurs proposés et leur interprétation représentent un défi de coordination majeur, c'est pourquoi un système de gestion de données (dans une forme similaire aux systèmes de la Sépaq et de Parcs Canada) devra être mis en place dans une seconde phase de l'élaboration finale du programme.

7. Conclusion

Compte tenu des investissements importants, passés et futurs, visant à réhabiliter l'écosystème du littoral du LSP, il est essentiel de mettre en place des mécanismes permettant de suivre l'évolution du système. Ils permettront de quantifier les bénéfices découlant des travaux de restauration et de l'adoption de pratiques agricoles compatibles avec l'écosystème du littoral du LSP et limitant la pollution diffuse provenant des bassins versants de ruisseaux tributaires. Le PSEZL-LSP proposé dans le présent document répond à ce besoin essentiel et aux recommandations émises à l'issue des travaux du Pôle d'expertise (Campeau et collab., 2024). L'intégration d'indicateurs du Programme de suivi de l'état de la zone littorale du lac Saint-Pierre dans le Programme de suivi de l'état du Saint-Laurent, en place depuis plusieurs décennies, permettrait de pérenniser le suivi de la zone littorale et d'ajouter au PSESL une composante spatiale essentielle du système Saint-Laurent, à savoir le littoral du lac Saint-Pierre. Les indicateurs retenus sont des propositions permettant de suivre diverses composantes du littoral, allant des pressions existantes jusqu'à la réponse fonctionnelle de groupes fauniques. Il est donc attendu que les informations associées à certains indicateurs soient bonifiées, révisées ou même retirées. De même, la mise en œuvre d'un programme de suivi s'échelonnera sur plusieurs décennies, avec la possibilité d'ajouter de nouveaux indicateurs, au besoin. Le programme de suivi proposé se veut intégrateur, tirant parti des connaissances et des technologies actuelles et répond en partie aux recommandations du Pôle d'expertise. Il s'agit d'une occasion de mettre en place un suivi de la santé du littoral du lac Saint-Pierre, un joyau unique du patrimoine naturel du Québec.

RÉFÉRENCES

BENDWELL et associés Ltée. 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, gouvernement du Québec, 57 p.

BERNIER, J.-F., L. CHASSIOT, C. OUELLET et P. LAJEUNESSE. 2020. *Caractérisation des berges de la partie fluviale du Saint-Laurent*. Laboratoire de géosciences marines, Département de géographie, Université Laval, Rapport soumis au ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, 120 p. + annexes.

BERTOLO, A. 2024. « Effets de pratiques agricoles sur les banques d'œufs d'invertébrés: une approche expérimentale pour quantifier la résilience des communautés de la zone littorale du lac Saint-Pierre. » Dans S. Campeau, J. Ruiz et C. Halde (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.

BONDUES, V., C. BOYER, M. LAMOTHE, G. A. ROY et B. GHALEB. 2006. « Évolution récente du delta de la Yamachiche (Québec) : processus naturels et impacts anthropiques. » *Géographie physique et quaternaire*, vol. 60, n° 3, p. 289-306.

BUNN, S. E., et A. H. ARTHINGTON. 2002. « Basic principles and ecological consequences of altered flow regimes for aquatic biodiversity. » *Environmental Management*, 30, p. 492-507.

CABANA, G. 2024. « 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 S. Campeau, J. Ruiz, et C. Halde (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.

CARON-GUAY, A., M. GERMAIN et É. LALIBERTÉ. 2024. *Early Detection of an Invasive Alien Plant (Phragmites australis) Using Unoccupied Aerial Vehicles and Artificial Intelligence*, 51 p. <https://doi.org/10.1101/2024.06.06.593339>

CAMPEAU, S. 2024. « Cartographie des patrons d'écoulement dans la zone littorale du lac Saint-Pierre. » Dans S. Campeau, J. Ruiz et C. Halde (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., J. RUIZ, B. BOURGEOIS, H. DAMAR, C. HALDE, R. PROULX, M. A. RODRIGUEZ, V. MAIRE, R. MAZZEI, M. VAILLANCOURT, M. POULIN, A. VANASSE, P. SEGUIN, A. BERTOLO, P.-A. BORDELEAU, A. BREGARD, G. CABANA, L. D. TAMINI, A.-M. DECELLES, M. DOYON, R. DUCHESNE-PELLETIER, V. FOURNIER, V. FUGÈRE, V. GRAVEL, F. GUILLEMETTE, J. HEAD, C. KALLENBACH, C. KINNARD, N. LEWIS, C. MARTIN, P. MUNDLER, S. PRASHER, Z. QI, A. ROY, M. TREMBLAY et C. WATSON. 2024. *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 McGill, 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.

CARIGNAN, R., et S. LORRAIN. 2000. « Sediment dynamics in the fluvial lakes of the St. Lawrence River: accumulation rates and characterization of the mixed sediment layer. » *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 57 (suppl. 1), p. 63-77.

CARIGNAN, R. 2004. « Le lac Saint-Pierre en péril. » *Québec Science*, p. 20-27.

CHOKMANI, K., et J. NOVOA. 2013. *Caractérisation des bandes riveraines par télédétection satellitaire à très haute résolution spatiale*. Rapport de recherche R1464, INRS-ETE, Québec (Qc) : 7 octobre 2013, 106 p. ISBN : 978-2-89146-771-1.

CLERMONT, M., C. KINNARD, D. DUBÉ-RICHARD, S. CAMPEAU, P.-A. BORDELEAU, A. DE GRANPRÉ, J. ZIYAD et A. ROY. 2023. « Using remote sensing to assess how intensive agriculture impacts the turbidity of a fluvial lake floodplain. » *Journal of Great Lakes Research*, 49: 1-9. doi.org/10.1016/j.jglr.2023.102240

COMITÉ ZIP DU LAC SAINT-PIERRE. 2010. *Mémoire sur l'utilisation du territoire du lac Saint-Pierre*. Document présenté dans le cadre de la proposition pour la consultation publique sur le plan d'affectation du territoire public de la Mauricie, 63 p.

COMITÉ ZIP DU LAC SAINT-PIERRE. 2016. *Caractérisation des cours d'eau de la plaine inondable du lac Saint-Pierre*. Données géographiques vectorielles.

COMMISSION MIXTE INTERNATIONALE (CMI). 2014. *Plan 2014 : régularisation du lac Ontario et du fleuve Saint-Laurent, protection contre les niveaux extrêmes, restauration des milieux humides et préparation aux changements climatiques*. CMI, 54 p.

CORRIVEAU, L., G. PELLETIER, A.-S., FABRIS, M., THÉBERGE et G. BÉLANGER. 2022. *Plan de gestion des plantes exotiques envahissantes – Littoral du lac Saint-Pierre*. Comité ZIP du lac Saint-Pierre, Yamachiche, Rapport non publié, 83 p.

CÔTÉ, C. 2020. *Inventaire de l'héronnière de la Grande Île, archipel du lac Saint-Pierre, 2018*, Direction de la gestion de la faune de Lanaudière et des Laurentides, ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, 16 p. et annexes.

DAUPHIN, D., et B. JOBIN, 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. <https://doi.org/10.7202/1034097ar>.

DAUPHIN, D. 2000. *Influence de la navigation commerciale et de la navigation de plaisance sur l'érosion des rives du Saint-Laurent dans le tronçon Cornwall-Montmagny*. Rapport final. Service du transport maritime, ministère des Transports du Québec. Saint-Laurent Vision 2000, 112 p.

DE LA CHENELIÈRE, V., P. BRODEUR et M. MINGELBIER. 2014. « Restauration des habitats du lac Saint-Pierre : un prérequis au rétablissement de la perchaude. » *Le Naturaliste canadien*, 138, p. 50-61.

DRAPEAU, P., A. LEDUC, B. JOBIN, L. IMBEAU et M. DESROCHERS. 2019. « Changement d'habitat et de répartition des oiseaux nicheurs d'un atlas à l'autre », p. 35-55. Dans M. Robert, M.-H. Hachey, D. Lepage et A.R. Couturier (dir.). *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.

ENVIRONNEMENT CANADA, 2013. *Quand l'habitat est-il suffisant ?* 3^e édition. Environnement Canada, Toronto, 138 p.

ENVIRONNEMENT CANADA. 2014. Programme de rétablissement pour le Petit Blongios (*Ixobrychus exilis*) au Canada, Série de programmes de rétablissement de la Loi sur les espèces en péril, Environnement Canada, Ottawa, v + 42 p.

ENVIRONNEMENT ET CHANGEMENT CLIMATIQUE CANADA (ECCC). 2016. *Occupation du sol de la plaine inondable du lac Saint-Pierre en 2014*. Données géographiques vectorielles transmises le 20 avril 2016. Service canadien de la faune.

ENVIRONNEMENT ET CHANGEMENT CLIMATIQUE CANADA et MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES (ECCC et MDDELCC), 2018. *Cartographie de l'occupation du sol des Basses-terres du Saint-Laurent, circa 2014*. Environnement et Changement climatique Canada et ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, Plan d'action Saint-Laurent, Québec, 49 p., [En ligne], https://data-donnees.az.ec.gc.ca/data/sites/systems/land-cover-mapping-of-the-st.-lawrence-lowlands/PASL_Occupation_sol_Rapport_methodologique.pdf.

FARLY, L., C. HUDON, A. CATTANEO et G. CABANA. 2019. « Seasonality of a floodplain subsidy to the fish community of a large temperate river. » *Ecosystems*, 22, p. 1823-1837.

FARLY, L., C. HUDON, A. CATTANEO et G. CABANA. 2021. « Hydrological control of a floodplain subsidy to littoral riverine fish. » *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 78 (12).

FOUBERT, A., F. LECOMTE, P. BRODEUR, C. LE PICHON et M. MINGELBIER, 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. <https://doi.org/10.1007/s10980-020-00996-9>.

FRENETTE, J.-J., M. T. ARTS, J. MORIN, D. GRATTON et C. MARTIN. 2006. « Hydrodynamic control of the underwater light climate in fluvial Lac Saint-Pierre. » *Limnology and Oceanography*, 51, p. 2632-2645.

FUGÈRE, V. 2024. « Utiliser l'ADN environnemental du sol pour évaluer l'impact des pratiques agricoles sur la biodiversité du littoral du lac Saint-Pierre. » Dans S. Campeau, J. Ruiz, et C. Halde (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.

GIROUX, I. 2018. *État de situation sur la présence de pesticides au lac Saint-Pierre*, Québec, ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, Direction de l'information sur les milieux aquatiques, [En ligne], <https://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/lac-st-pierre/etat-presence-pesticides.pdf>.

GIROUX, I., S. HÉBERT et D. BERRYMAN. 2016. « Qualité de l'eau du Saint-Laurent de 2000 à 2014 : paramètres classiques, pesticides et contaminants émergents. » *Le Naturaliste canadien*, 140 (2) : 26-34.

GRENIER, M. 2024. *Charges de six paramètres physicochimiques et bactériologique à l'embouchure des principaux tributaires du fleuve Saint-Laurent, 2013-2017*, Québec, ministère de l'Environnement,

de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs, Direction générale des politiques de l'air et du suivi de l'état de l'environnement, 38 p. + 10 annexes.

GROUPE DE TRAVAIL SUIVI DE L'ÉTAT DU SAINT-LAURENT. 2014. *Portrait global de l'état du Saint-Laurent 2014*. Plan Saint-Laurent. Environnement Canada, ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques du Québec, ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs du Québec, Parcs Canada, Pêches et Océans Canada et Stratégies Saint-Laurent, 53 p.

GROUPE DE TRAVAIL SUIVI DE L'ÉTAT DU SAINT-LAURENT. 2024. *Portrait global de l'état du Saint-Laurent 2024*. Plan d'action Saint-Laurent. Environnement et Changement climatique Canada, ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs du Québec, Parcs Canada, Pêches et Océans Canada, Stratégie Saint-Laurent, 72 p.

HE, J., T. PODER, J. DUPRAS et H. J. ENOMANA. 2016. *La valeur économique de la pêche blanche et des services écosystémiques au lac Saint-Pierre : analyse coûts-avantages des stratégies d'adaptation aux changements climatiques*. Rapport présenté à la Division des impacts et de l'adaptation liés aux changements climatiques de Ressources naturelles Canada, au Gouvernement du Québec et à Ouranos. Montréal, Université du Québec à Montréal, 162 p.

HEAD, J. 2024. « Évaluation de l'effet des pesticides sur les premiers stades de vie des poissons en lien avec les pratiques agricoles dans la zone littorale du lac Saint-Pierre. » Dans S. Campeau, J. Ruiz et C. Halde (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.

HUDON, C., P. GAGNON, J.-P. AMYOT, G. LÉTOURNEAU, M. JEAN, C. PLANTE, D. RIOUX et M. DESCHÊNES. 2005. « Historical changes in herbaceous wetland distribution induced by hydrological conditions in Lake Saint-Pierre (St. Lawrence River, Quebec, Canada). » *Hydrobiologia*, 539, p. 205-224.

IMPORTANT BIRD AREAS CANADA (IBA Canada). 2015. *ZICO Nicolet et Baie-du-Febvre. Zones importantes pour la conservation des oiseaux au Canada*, [En ligne], <http://www.ibacanada.ca/site.jsp?siteID=QC112&seedet=Y&lang=fr> (consulté le 14 juillet 2015).

JOBIN, B., 2014. *Aménagements fauniques dans la région de Baie-du-Febvre : fréquentation par les oiseaux et les anoues pour la période avant aménagement - Bilan des activités*, Service canadien de la faune, Environnement Canada, Plan d'action Saint-Laurent, 13 p.

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.

Jobin, B. et C.A. Martin, 2026. Influence des modifications de l'occupation du sol dans la plaine inondable du lac Saint-Pierre sur l'habitat et le nombre potentiel de couples nicheurs de cinq espèces d'oiseaux. *Le Naturaliste canadien*, 150 (1) : 77-86. <https://doi.org/10.7202/1125181ar>

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., L. GRATTON, M.-J. CÔTÉ, O. PFISTER, D. LACHANCE, M. MINGELBIER, D. BLAIS, A. Blais et D. LECLAIR, 2020. « L'atlas des territoires d'intérêt pour la conservation dans les basses-terres du Saint-Laurent: un outil pour orienter la conservation des milieux naturels dans le sud du Québec. » *Le Naturaliste canadien*, 144 (2): 47-64. <https://doi.org/10.7202/1073990ar>.

LA VIOLETTE, N. 2004. « Les lacs fluviaux du Saint-Laurent : hydrologie et modifications humaines. » *Le Naturaliste canadien*, 128(1), 98-104.

LEHOUX, D., D. DAUPHIN, O. CHAMPOUX, J. MORIN et G. LÉTOURNEAU. 2003. *Impact des fluctuations des niveaux d'eau sur les canards barboteurs en reproduction dans le tronçon lac Saint-Louis/lac Saint-Pierre (utilisation des données d'habitats)*. Rapport final. Environnement Canada, Service canadien de la faune, Service météorologique du Canada et Centre Saint-Laurent, 65 p.

LE PICHON, C., M. MINGELBIER, M. LEGROS, A. FOUBERT et P. BRODEUR, 2018. « Effets du réseau routier sur la connectivité des frayères du grand brochet (*Esox lucius*) au lac Saint-Pierre (fleuve Saint-Laurent, Canada). » *Le Naturaliste canadien*, 142 (1): 78-91. <https://doi.org/10.7202/1042016ar>.

MAGNAN, P., P. BRODEUR, É. PAQUIN, N. VACHON, Y. PARADIS, P. DUMONT et Y. MAILHOT. 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, vi + 34 p. + annexes.

MAGNAN, P., É. PAQUIN, P. BRODEUR, Y. PARADIS, N. VACHON, P. DUMONT et Y. MAILHOT. 2022. *État du stock de perchaudes du lac Saint-Pierre et du secteur pont Laviolette – Saint-Pierres-Becquets en 2021*. Comité scientifique sur la gestion de la perchaude du lac Saint-Pierre. Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, Québec, iv + 49 p.

MAIRE, V. 2024. « 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 S. Campeau, J. Ruiz et C. Halde (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.

MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT DU QUÉBEC (MENV). 2003. *Synthèse des informations environnementales disponibles en matière agricole au Québec*. MENV, Direction des politiques du secteur agricole. Envirodoq ENV/2003/0025, 143 p.

MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT, DE LA LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES, DE LA FAUNE ET DES PARCS (MELCCFP). s. d. *Conservation de l'écosystème du lac Saint-Pierre*. MELCCFP, [En ligne], <https://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/lac-st-pierre/index.htm>.

MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES (MDDELCC). 2015. *Normales climatiques 1981-2010 — Climat du Québec*. Gouvernement du Québec, [En ligne], [Normales climatiques 1981-2010 - Climat du Québec](#).

MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES (MDDELCC) et MINISTÈRE DES FORÊTS, DE LA FAUNE ET DES PARCS (MFFP). 2015. *Bilan des travaux d'entretien de cours d'eau en milieu agricole réalisés en 2011 et 2012 – Avis portant sur la mise en place de la Procédure d'entretien de cours d'eau en milieu agricole*, 95 p.

MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES (MDDELCC). 2018. Les espèces exotiques envahissantes (EEE), [En ligne], <https://www.quebec.ca/agriculture-environnement-et-ressources-naturelles/faune/gestion-faune-habitats-fauniques/gestion-especes-exotiques-envahissantes/propos-especes> (consulté le 11 juillet 2018).

MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT, DE LA FAUNE ET DES PARCS (MDDEFP). 2013. *Le lac Saint-Pierre : un joyau à restaurer*. MDDEFP, 30 p.

MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT, DE LA LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES, DE LA FAUNE ET DES PARCS (MDDELCCFP). s. d. *Indice de qualité de la bande riveraine* (IQBR), [En ligne], https://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/eco_aqua/IQBR/index.htm.

MORTSCH, L., et collab. 2000. « Climate change impacts on the hydrology of the Great Lakes-St. Lawrence system. » *Revue canadienne des ressources hydriques*, 25(2), p. 153-179.

MUNDLER, P., et N. GUIRAUD. 2023. « Évaluer les coûts-bénéfices de scénarios d'occupation du sol. » Dans S. Campeau, J. Ruiz et C. Halde (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.

MUNICONSULT, 2002. *Réserve de la Biosphère du lac Saint-Pierre : les habitats, les ressources fauniques et leur exploitation*. Dossier 21112. Municonsult, Montréal, Canada, 33 p.

NICOLE, A., et D. DAUPHIN. 2018a. *Inventaires d'oiseaux (été 2017) préalables à la restauration d'un aménagement faunique et de quatre cours d'eau dans le littoral du lac Saint-Pierre – Secteur Berthierville-Maskinongé*. Service canadien de la faune, Environnement et Changement climatique Canada, 35 p.

NICOLE, A., et D. DAUPHIN. 2018b. *Inventaires d'oiseaux (été 2017) après restauration de trois cours d'eau et d'une parcelle agricole de la région du lac Saint-Pierre – Secteur de Baie-du-Febvre*. Service canadien de la faune, Environnement et Changement climatique Canada, 25 p.

NICOLE, A., et D. DAUPHIN. 2019a. *Inventaires d'oiseaux (été 2018) préalables à la restauration de deux aménagements fauniques et de quatre cours d'eau dans le littoral du lac Saint-Pierre – Secteur Berthierville-Maskinongé*. Service canadien de la faune, Environnement et Changement climatique Canada, 40 p.

NICOLE, A., et D. DAUPHIN. 2019b. *Inventaires d'oiseaux (été 2018) après restauration de trois cours d'eau et d'une parcelle agricole de la région du lac Saint-Pierre – Secteur de Baie-du-Febvre*. Service canadien de la faune, Environnement et Changement climatique Canada, 26 p.

NICOLE, A. 2020. *Inventaires d'oiseaux (printemps 2019) préalables à la restauration d'un aménagement faunique dans le littoral du lac Saint-Pierre – Segment 2, Saint-Barthélemy*. Service canadien de la faune, Environnement et Changement climatique Canada, 10 p.

NININHAZWE, F., J. THÉAU, M.-A. GENEST et M. VARIN. 2023. « Mapping invasive alien plant species with very high spatial resolution and multi-date satellite imagery using object-based and machine learning techniques: A comparative study », *GIScience & Remote Sensing*, 60:1, 2190203, DOI: 10.1080/15481603.2023.2190203.

OURANOS, 2010. *Savoir s'adapter aux changements climatiques*. Rédaction : Claude DesJarlais, Michel Allard, Anne Blondlot, Alain Bourque, Diane Chaumont, Pierre Gosselin, Daniel Houle, Caroline Larrivée, Nancy Lease, René Roy, Jean-Pierre Savard, Richard Turcotte et Claude Villeneuve. Montréal, 128 p.

PAQUIN, É., et P. BRODEUR. 2017. *Retrait massif de poissons captifs dans trois endiguements du littoral du lac Saint-Pierre au printemps 2017*. Direction de la gestion de la faune Mauricie–Centre-du-Québec, ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs du Québec.

PAQUIN, É., et P. BRODEUR, 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. BRODEUR, N. VACHON, Y. PARADIS et C. CÔTÉ, 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.

PAQUIN, É., P. BRODEUR, M. VAILLANCOURT, M. POULIN, B. BOURGEOIS et M. A. RODRIGUEZ. 2024. « Végétation propice à la reproduction de la perchaude et du grand brochet et gestion des prairies dans la plaine inondable du lac Saint-Pierre », *Le Naturaliste canadien*. 148 (2) : 46-57. <https://doi.org/10.7202/1115079ar>

PÔLE D'EXPERTISE MULTIDISCIPLINAIRE EN GESTION DURABLE DU LITTORAL DU LAC SAINT-PIERRE (PÔLE) (2024). Rapport final, Université du Québec à Trois-Rivières, Université Laval et Université McGill, 801 p. + annexes.

POULIN, M., et collab. 2023. « Développer des méthodes d'aménagement de fossés végétalisés dans la zone littorale du lac Saint-Pierre. » Dans S. Campeau, J. Ruiz et C. Halde (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. 2024. « Réponse fonctionnelle de la biodiversité animale sur un gradient d'utilisation des terres. » Dans S. Campeau, J. Ruiz et C. Halde (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 collab. 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 S. Campeau, J. Ruiz et C. Halde (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. A. 2024. « Réponses des populations de poissons aux activités agricoles et milieux naturels dans la zone littorale du lac Saint-Pierre. » Dans S. Campeau, J. Ruiz et C. Halde (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. 2024. « 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 S. Campeau, J. Ruiz et C. Halde (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. 2024. « Les agriculteurs face aux changements de pratiques agricoles : quel potentiel au lac Saint-Pierre? » Dans S. Campeau, J. Ruiz et C. Halde (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.

SAVAGE, C., et M. JEAN. 2008. *Espèces végétales envahissantes des milieux humides du Saint-Laurent. Suivi de l'état du Saint-Laurent*. Plan Saint-Laurent pour un développement durable, 8 p.

SIMONEAU, M. 2016. *Qualité de l'eau du lac Saint-Pierre et de ses tributaires : évolution 1979-2014 et portrait 2012-2014*. Forum de la Table de concertation régionale du lac Saint-Pierre, Louiseville, 21 septembre 2016.

TALBOT, A. 2006. *Enjeux de la disponibilité de l'eau pour le fleuve Saint-Laurent — Synthèse environnementale*. Environnement Canada, Montréal, 215 p.

TCRLSP. 2023a. *Document d'introduction. Plan de gestion intégrée régional du lac Saint-Pierre*. Révisé en 2022, 199 p.

TCRLSP. 2023b. *Fiche synthèse – Conservation des milieux humides et hydriques au lac Saint-Pierre*. Plan de gestion intégrée régional du lac Saint-Pierre, 62 p.

TCRLSP. 2023c. *Fiche synthèse – Cohabitation agriculture-faune en zone littorale au lac Saint-Pierre*. Plan de gestion intégrée régional du lac Saint-Pierre, 44 p.

TCRLSP. 2023d. *Fiche synthèse – Amélioration de la qualité de l'eau au lac Saint-Pierre*. Plan de gestion intégrée régional du lac Saint-Pierre, 103 p.

THÉBERGE, M., G. HUBERT, P. BRODEUR et É. PAQUIN, 2021. *Sauvetage de poissons au printemps 2019. Endiguements du complexe d'aménagement de Baie-du-Febvre–Nicolet-Sud*. Direction de la gestion de la faune Mauricie–Centre-du-Québec, ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs du Québec. 5 p. et annexes

TOUGAS-TELLIER, M.-A., J. MORIN, D. HATIN et C. LAVOIE. 2015. « Freshwater wetlands: fertile grounds for the invasive *Phragmites australis* in a climate change context. » *Ecological Evolution*, 5(16): 3421-3435.

ANNEXES

Annexe 1 – Pressions naturelles (A) et anthropiques (B) sans indicateurs proposés, mais qui exercent une influence sur les processus affectant les fonctions écologiques et les services écosystémiques de la zone littorale du LSP

Variabilité saisonnière et interannuelle des niveaux d'eau

La variabilité annuelle et interannuelle de l'amplitude et de la durée de la crue printanière influence les fonctions écologiques de la zone littorale du LSP (A) (Farly et collab., 2019 et 2021; Campeau et collab., 2024). Cette variabilité est intrinsèque à ce système et doit être considérée dans l'interprétation des divers indicateurs proposés dans le cadre du présent programme. Depuis le milieu des années 1970, les niveaux d'eau moyens du fleuve Saint-Laurent ont décliné et ont présenté d'importantes variations interannuelles (A) (Hudon et collab., 2005). Puisque la diversité des milieux humides est maximale quand la variabilité saisonnière et interannuelle est modérée et cyclique (contrairement à des variations minimisées, erratiques ou de trop grande amplitude) (Bunn et Arthington, 2002), cette tendance pourrait mener les milieux humides de la zone littorale à soutenir des assemblages d'espèces caractérisés par une plus faible diversité. Par ailleurs, la présence de larges zones, peu profondes et à faible débit, où les contaminants et les polluants s'accumulent peut avoir des effets marqués sur les écosystèmes terrestres et aquatiques (C), notamment sur le littoral du LSP. Les nouvelles conditions hydrologiques au LSP pourraient être hautement variables, comme en témoignent les épisodes de faibles crues printanières, suivis d'inondations soudaines durant l'été ou l'hiver, comme cela fut observé entre 1999 et 2004 (Carignan, 2004), ou encore les crues printanières élevées ayant atteint des niveaux records en 2017 et 2019 (Campeau et collab., 2024).

Climat

Le climat de la région du LSP est de type continental froid et humide. Au Québec, ce type de climat est caractérisé par des écarts de température importants, par un hiver long et froid et par des précipitations abondantes (MDDELCC, 2015). Les changements climatiques anticipés auront des impacts bien au-delà des températures de l'air et affecteront également les modèles de précipitations, l'humidité des sols, la fréquence et la sévérité des événements météorologiques extrêmes (A) (Mortsch et collab., 2000). Dans le sud du Québec, la température pourrait augmenter de 2 à 4 °C à l'horizon 2050, avec une augmentation plus marquée au cours de la saison hivernale. Des modifications incontestables sont déjà en cours quant au climat qui règne dans la région des Grands Lacs et du Saint-Laurent : les hivers raccourcissent, la température moyenne annuelle augmente, la couverture de glace persiste moins longtemps et les épisodes de pluies de forte intensité deviennent plus fréquents (Ouranos, 2010). Bien que l'amplitude et la nature des changements soient effectivement difficiles à prévoir (A), en particulier à l'échelle régionale, on s'attend à une grande variabilité saisonnière, avec une augmentation des événements extrêmes qui devront être considérés dans l'interprétation des tendances mesurées dans le cadre du programme.

Régularisation des niveaux d'eau en amont

Les principaux objectifs de la régularisation des niveaux d'eau du fleuve Saint-Laurent consistent à répondre aux besoins de production hydroélectrique et à permettre la navigation commerciale tout au long de l'année, de même qu'à minimiser les risques d'inondation (B). Cependant, cela entraîne habituellement une réduction du débit au printemps et son augmentation à l'automne et en hiver. La régularisation réduit globalement l'ampleur des fluctuations des niveaux d'eau et peut avoir un impact sur les milieux humides et les habitats des poissons situés en rive et en zone inondable. De plus, ce phénomène peut perturber les autres processus hydrologiques naturels, tels que le transport de matières sédimentaires par les glaces de débâcle (Talbot, 2006; C).

Navigation commerciale et de plaisance (B)

Depuis de nombreuses années, la navigation commerciale et la navigation de plaisance **(B)** se sont intensifiées au LSP et cette forte affluence peut avoir des répercussions sur l'environnement. La circulation des navires commerciaux et des embarcations de plaisance a des impacts sur les berges et les milieux humides. Bien que l'érosion soit un phénomène naturel résultant de l'effet des courants, du vent, de l'action des glaces et des crues printanières, les activités humaines aux abords et au sein du fleuve contribuent à accroître les forces érosives **(C)** : l'avènement de la voie navigable commerciale, la mise en place d'ouvrages de régularisation des niveaux d'eau (ex. reversoires de l'archipel), l'augmentation de la popularité de la navigation de plaisance et le déboisement massif des rives (Dauphin, 2000). Plusieurs facteurs déterminent la force du batillage engendré par les navires, notamment la vitesse, le tonnage et la forme de la coque du navire, la distance entre l'embarcation et la rive, ainsi que la fréquence des vagues produites (Dauphin, 2000). Le batillage créé par le passage intense et fréquent des navires commerciaux et des embarcations de plaisance motorisées participe, voire accélère par endroits, l'érosion des berges, en plus de brasser l'eau et les sédiments des zones peu profondes. Ce phénomène contribue à accroître le processus d'érosion, particulièrement dans les chenaux de l'archipel (CMI, 2014; Bernier et collab., 2020; **C**).

Entretien de cours d'eau et fossés (B)

Les cours d'eau dans le littoral ont subi plusieurs transformations depuis les années 1950, dont principalement leur linéarisation par la suppression des méandres à des fins de drainage agricole **(B)**. La gestion actuelle des cours d'eau vise à restaurer leur profil linéaire, à la demande des agriculteurs, pour rétablir le drainage, ce qui entraîne des coûts d'entretien importants (p. ex. retrait des sédiments accumulés) et récurrents en comparaison de solutions plus pérennes (MDDELCC et MFFP, 2015; Mundler et Guiraud, 2023). L'accumulation de sédiments dans les cours d'eau en raison du transport de matières en suspension (en provenance de l'amont ou de la plaine inondable elle-même) est un problème fortement répandu dans le littoral **(C)**. La plupart des petits cours d'eau et des fossés de cette zone nécessitent un entretien fréquent, afin que leur comblement ne nuise pas aux fonctions de drainage (Mundler et Guiraud, 2023).

Fiche n° 1 – Occupation du sol, habitat et qualité de l'eau

Mesuré sur l'ensemble de la zone littorale, par télédétection

Remarque. L'occupation du sol du littoral du LSP a été décrite pour les années 1950, 1964, 1997 et 2016. Cette cartographie permet d'obtenir une représentation de la superficie des différents types de milieux humides, des terres en culture et des milieux anthropiques. Il s'agit d'un outil essentiel au suivi de l'état du littoral, qui permettra de mesurer l'état d'avancement des actions déployées dans la zone et d'estimer la réponse de plusieurs indicateurs de fonctions écologiques d'habitat, dont la modélisation dépend d'une description récente à large échelle de l'occupation du sol du littoral. Le suivi de l'occupation du sol constitue un intrant majeur au projet de mise à jour de l'atlas des territoires d'intérêt pour la conservation dans les basses-terres du Saint-Laurent (ECCC et MDDELCC, 2018; Jobin et collab., 2019; Jobin et collab., 2020), inscrit dans la suite du PASL. Le suivi de l'utilisation du sol des basses-terres contribuera à diverses initiatives de conservation dans le sud du Québec, dont le suivi de l'occupation du sol dans le littoral du LSP. Cette cartographie permettra de calculer ou de modéliser dix indicateurs, soit la majorité des indicateurs proposés pour les mesures à large échelle: superficie des différents types de cultures, superficie de milieux anthropiques, superficie de milieux agricoles endigués, superficie d'habitat potentiel pour les oiseaux champêtres, estimation de l'abondance des oiseaux nicheurs, superficie d'habitat potentiel pour la reproduction de la perchaude et du grand brochet, IQBR et couvert végétal le long des cours d'eau et des fossés, turbidité, productivité nette du biome (bilan carbone) et superficie des marais.

Description des indicateurs :

Les indicateurs présentés dans cette fiche sont tous mesurés ou dérivés de l'analyse par télédétection d'images satellite ou aéroportées.

Légende :

* Indicateurs intégrant les pressions exercées dans les bassins versants et la zone littorale.

† Indicateurs nécessitant un traitement de données additionnel à la télédétection. Le type de traitement sera déterminé lors d'une phase 2 du projet.

Superficie des différents types de cultures*

Les actions de restauration visant à rétablir les fonctions écologiques des habitats passent notamment par la modification des types de cultures utilisées dans le littoral. Cet indicateur permettrait de mesurer les tendances temporelles des gains en habitats fauniques fonctionnels répondant aux besoins des espèces du littoral (Jobin et Brodeur, 2023). Cet indicateur devra également être mesuré à l'échelle des bassins versants des ruisseaux tributaires du littoral du LSP. Il pourra être obtenu par la description de l'utilisation du sol et par la cartographie des cultures assurées par la Financière agricole du Québec.

- Superficie du littoral en cultures annuelles;
- Superficie du littoral en cultures pérennes;
- Ratio cultures pérennes/cultures annuelles;
- Ratio cultures annuelles/milieux naturels.

Superficie des milieux anthropiques

Cet indicateur permettra de mesurer l'empiètement des milieux urbains sur les milieux naturels de la zone littorale ainsi que les gains en habitats fauniques à la suite des travaux d'aménagement en milieu urbain (Jobin et Brodeur, 2023).

- Pourcentage de milieux urbains dans le littoral;
- Longueur du réseau routier situé dans le littoral.

Superficie de milieux agricoles endigués

Cet indicateur vise à mesurer les travaux réalisés en matière de restauration de la connectivité des milieux endigués à des fins agricoles. Il pourra être mesuré au moyen de la télédétection et d'échanges avec les gestionnaires des sites endigués.

- Superficie endiguée à des fins agricoles;
- Superficie d'habitat potentiel pour la reproduction de la perchaude et du grand brochet située en milieu endigué (voir indicateur d'habitat de reproduction plus bas).

Superficie d'habitat potentiel pour les oiseaux champêtres

La présence d'un oiseau sur un site est souvent liée à la quantité d'habitats dans le paysage environnant et dépend également des phases de leur cycle vital. Cet indicateur permet de mesurer la quantité d'habitats disponibles pour les oiseaux champêtres dans le littoral et donne un aperçu des progrès réalisés en matière de restauration des habitats fauniques. Les habitats potentiels de nidification pour les oiseaux champêtres incluent les fourrages, les prairies et les pâturages (Jobin et Brodeur, 2023).

- % de cultures pérennes (fourrages, pâturages) dans le littoral;
- Superficie totale des bandes végétales élargies.

Estimation de l'abondance des oiseaux nicheurs

La sélection des sites de nidification par les oiseaux est conditionnée par divers paramètres à l'échelle locale et régionale, dont la taille des parcelles d'habitat et leur degré d'isolement. Un indicateur basé sur l'estimation de l'abondance des oiseaux nichant dans des milieux forestiers, agricoles et humides permettra de déterminer l'évolution des paysages quant à leur qualité pour procurer des habitats de nidification convenables aux oiseaux (Jobin et Martin, 2026).

- Nombre de couples nicheurs estimés dans les habitats du littoral (pioui de l'Est, goglu des prés, tyran tritri, râle de Virginie, bécassine des marais).

Superficie d'habitat potentiel pour la reproduction de la perchaude et du grand brochet[†]

La modélisation des habitats potentiels de reproduction de la perchaude et du grand brochet dans le littoral du LSP permettra de mesurer les bénéfices des travaux de restauration et des changements de types de cultures sur ce groupe d'espèces (TCRLSP, 2023c).

- Superficie d'habitat potentiel de reproduction.

IQBR et couvert végétal le long des cours d'eau et des fossés[†]

L'indice de qualité de la bande riveraine (IQBR) permet d'évaluer la condition écologique d'habitat riverain. Il est basé sur la superficie relative occupée par neuf composantes de la bande riveraine, auxquelles on associe un facteur de pondération qui estime le potentiel de chacune d'elles à remplir les fonctions écologiques en regard de la protection des écosystèmes aquatiques (MELCCFP, s. d.). L'IQBR peut potentiellement être mesuré par télédétection (Chokmani et Novoa, 2013), mais cette méthode n'a jamais été appliquée dans le contexte particulier du littoral du LSP. Un indice de végétation par différence normalisé (NDVI) mesuré par télédétection pourrait aussi être utilisé pour délimiter les zones végétalisées le long des fossés et des cours d'eau. Le NDVI est défini comme le ratio entre les mesures de réflectance acquises dans le rouge et dans l'infrarouge. L'utilisation de l'outil SILVA (outil QGIS pour la caractérisation morphologique et qualitative des bandes riveraines et des haies brise-vent dans les zones agricoles) est également envisagée. Des développements méthodologiques seraient nécessaires pour pouvoir appliquer cet indicateur à large échelle dans le contexte du littoral du LSP.

- Superficie occupée par les bandes de protection végétales de part et d'autre des cours d'eau et fossés.

Turbidité* †

Cet indicateur est proposé pour suivre et cartographier la qualité de l'eau en période de crue. Un algorithme empirique visant à mesurer la turbidité de l'eau dans le littoral du LSP à partir d'images satellitaires Sentinel-2 a été développé dans le cadre des travaux du Pôle d'expertise (Roy, 2024; Clermont et collab., 2023). Une validation et adaptation (au besoin) de cet outil sera nécessaire afin d'opérationnaliser ce dernier dans le cadre du PSEZL-LSP.

- Turbidité de l'eau, exprimée en FNU (Formazin Nephelometric Unit).

Productivité nette du biome (bilan carbone) †

Les zones inondables sont parmi les terres possédant la plus grande capacité de séquestration du carbone. L'efficacité de cette séquestration est grandement influencée par les échanges de dioxyde de carbone (CO₂) et de méthane (CH₄) entre les zones inondables et l'atmosphère. Les émissions de ces deux gaz sont fortement influencées par l'usage des terres (forêt, prairie, champ agricole) et peuvent résulter du changement du type de litière apportée au sol, de la structure de la communauté microbienne, ou encore de la physicochimie de l'environnement édaphique. La modélisation à large échelle de la capacité de séquestration du carbone de l'écosystème du littoral, par l'estimation de la productivité nette du biome, permettrait de quantifier le gain ou la perte nette de carbone et les émissions de GES de l'écosystème. Chaque type d'écosystème a une capacité de séquestration du carbone et la modélisation est basée sur la répartition des types d'écosystèmes dans le littoral, qui, elle, est basée sur la cartographie de l'occupation du sol.

Ces données seraient obtenues par la prise d'une grande quantité de mesures sur le terrain avec des équipements spécialisés. Les indicateurs des flux écosystémiques, de la terre et du sol offrent certains avantages, puisqu'ils semblent mieux intégrer les impacts anthropiques dans le temps et l'espace que les indicateurs aquatiques, qui sont sensibles à la forte variation spatiotemporelle des eaux de crue (Campeau et collab., 2024; Maire, 2024).

- Tonnage de carbone/ha*an.

Superficie des marais

Le suivi des variations de la surface des marais fournit des renseignements sur leur pérennité et permettrait de détecter des changements dans leur fonctionnement écologique et la production de services écosystémiques (régulation des phénomènes naturels, filtration de l'eau, maintien de la biodiversité, production de ressources fauniques, séquestration du carbone, atténuation des changements climatiques).

- Superficie totale des marais.

Valeurs de référence :

Voir les références inscrites pour chaque indicateur.

Méthodologie proposée :

Variable selon l'indicateur. Voir les références inscrites pour chaque indicateur.

Coût estimé :

Faible (\$) ☐

Moyen (\$\$) ☒

Élevé (\$\$\$) ☐

Fréquence de suivi :

3-5 ans

Annexe 3 – Fiche n°2 – Pratiques agroenvironnementales

Fiche n°2 – Pratiques agroenvironnementales

Mesuré sur l'ensemble de la zone littorale et des bassins versants des ruisseaux tributaires

Remarque. La moitié des superficies cartographiées dans les bassins versants des ruisseaux tributaires de la zone littorale sont occupées par des sols agricoles peu protégés contre l'érosion hydrique au printemps (sols labourés à l'automne et laissés à nu l'hiver, le soya en semis direct et le maïs ensilage; Campeau, 2024). Afin de réduire les apports en sédiments et la turbidité de l'eau dans le littoral, il sera nécessaire de modifier les pratiques culturales dans les bassins versants des ruisseaux tributaires du littoral du LSP par la mise en place de milieux naturels, de prairies, de bandes riveraines ou de cultures de couverture, particulièrement dans les zones les plus sensibles à l'érosion (Campeau et collab., 2024). À l'intérieur de la zone littorale du LSP, il a été recommandé de privilégier l'adoption de pratiques agroenvironnementales dans la zone haute du littoral, notamment le travail de sol au printemps après la crue (>6,55 m; Campeau et collab., 2024). Dans les cultures de maïs et de soya, l'implantation de couverts végétaux en intercalaire est privilégiée, de même que l'implantation de bandes de protection végétales le long des cours d'eau et des fossés. Les zones basses du littoral (<6,55 m) devraient en priorité être occupées par de la végétation pérenne (forêts, marécages, prairies naturelles, prairies cultivées), de la sylviculture ou toute autre forme de culture permettant le maintien d'une végétation permanente d'une hauteur (>50 cm) et d'une densité suffisante à l'automne et n'utilisant pas d'intrants agricoles (fertilisants et pesticides). Dans les prairies cultivées, une seule coupe est recommandée (Campeau et collab., 2024).

Description de l'indicateur :

Cet indicateur est complémentaire à la description des types de cultures et au suivi de l'IQBR et du couvert végétal le long des cours d'eau et des fossés (voir fiche n° 1 – Occupation du sol, habitat et qualité de l'eau). Il permettra de suivre l'évolution des pratiques agroenvironnementales dans la zone littorale du LSP et dans les bassins versants des ruisseaux tributaires du littoral. L'esprit des recommandations du Pôle guidera le choix des variables qui seront réparties en deux groupes : celles qui sont mesurées par la télédétection (ex. cultures de couvertures, bandes riveraines) et celles qui sont obtenues par des sondages ou des registres (ex. données sur les pratiques agricoles).

Méthodologie proposée :

La méthodologie proposée pour suivre cet indicateur pourra comprendre notamment la télédétection à partir d'images Sentinelle 2, l'indice NDVI mesuré à l'automne et la validation sur le terrain d'un sous-échantillon (ou visite complète de l'ensemble des bassins versants). La méthodologie employée sera différente selon la zone à l'étude. Il est possible d'utiliser des photos couleur ou le NDVI pour les cultures de couverture ou les cultures pérennes. En ce qui a trait à d'autres mesures de pratiques agroenvironnementales qui ne peuvent être mesurées par télédétection (ex. gestion des résidus de culture, dates de fauches), d'autres outils devront être utilisés, tels que le registre d'utilisation des pesticides, des sondages, etc. Les connaissances des organismes de bassins versants et des clubs conseils en agroenvironnement pourront être mises à profit pour obtenir ces informations.

Unité(s) de mesure :

- Superficie labourée à l'automne;
- Superficie avec culture de couverture automnale;
- Superficie en culture pérenne;
- Superficie des bandes végétalisées le long des fossés agricoles;
- Dates de récolte des prairies;
- Taux d'utilisation d'intrants (pesticides et fertilisants) en zone littorale.

Coût estimé :

Faible (\$) ☐

Moyen (\$\$) ☒

Élevé (\$\$\$) ☐

Fréquence de suivi :

3 ans

Annexe 4 – Fiche n° 3 – Diversité spécifique des oiseaux nicheurs

Fiche n° 3 – Diversité spécifique des oiseaux nicheurs

Mesuré sur l'ensemble de la zone littorale

Description de l'indicateur :

Les oiseaux nicheurs occupent une large gamme d'habitats dans le littoral du LSP (forestier, agricole, aquatique) et de niches alimentaires, ce qui en fait des sentinelles du territoire. Cet indicateur a pour objectif de mesurer la réponse des oiseaux nicheurs aux changements d'usage des sols et à la suite de travaux de restauration d'habitats.

Valeurs de référence :

Voir Proulx (2024).

Méthodologie proposée :

Comme le littoral du LSP couvre une grande superficie, la mesure de cet indicateur tirera profit des observations récoltées par la science citoyenne. Dans ce cas-ci, les données récoltées sur la plateforme eBird seront analysées de façon à déterminer des tendances démographiques d'espèces ciblées au moyen d'une méthodologie rigoureuse et standardisée (Proulx, 2024).

Les espèces indicatrices retenues pour les analyses seront typiques des milieux naturels retrouvés dans le littoral, par exemple :

- Cultures pérennes : goglu des prés, sturnelle des prés, hirondelle rustique;
- Milieux forestiers : pioui de l'est, grive des bois;
- Milieux ouverts : paruline jaune.

Unité(s) de mesure :

Occurrence d'observation d'espèces d'oiseaux typiques des milieux : lac et étang, marais et rivage, prairie, forêt et boisés (Proulx, 2024).

Coût estimé :

Faible (\$) ☒

Moyen (\$\$) ☐

Élevé (\$\$\$) ☐

Fréquence de suivi :

Bilan établi tous les 5 ans à partir des données disponibles sur une base annuelle.

Annexe 5 – Fiche n° 4 – Cartographie de la distribution du roseau commun

Fiche n° 4 – Cartographie de la distribution du roseau commun

Mesuré sur l'ensemble de la zone littorale

Description de l'indicateur :

Le roseau commun étant l'espèce végétale la plus répandue dans la zone littorale du LSP, des actions de contrôle sont déjà mises en place et permettent son suivi. Cet indicateur permet de suivre la progression de l'espèce à grande échelle.

Valeurs de référence :

- Voir Tougas-Tellier et collab. (2015);
- Cartographie de la répartition spatiale du roseau commun par le Comité ZIPLSP.

Méthodologie proposée :

Interprétation d'images WorldView-02 et QuickBird-02, basée sur quatre bandes spectrales (proche infrarouge, rouge, vert et bleu), tel qu'elle a été réalisée par Tougas-Tellier et ses collaborateurs (2015). Puisqu'une validation s'avère incontournable, l'utilisation d'un drone à des fins de validation permettrait de cartographier certaines zones difficiles ou impossibles d'accès (Caron-Guay et collab., 2024; Nininahazwe et collab., 2023).

Unité(s) de mesure :

- Nombre d'hectares avec présence de roseau commun.

Coût estimé :

Faible (\$) ☐

Moyen (\$\$) ☒

Élevé (\$\$\$) ☐

Fréquence de suivi :

5 ans

Annexe 6 – Fiche n° 5 – Diversité et abondance des oiseaux champêtres

Fiche n° 5 – Diversité et abondance des oiseaux champêtres

Mesuré localement

Description de l'indicateur :

Les oiseaux champêtres représentent de bonnes espèces indicatrices des habitats liés aux cultures pérennes et aux prairies naturelles. Leur suivi permet de mesurer les progrès réalisés en matière de protection et de restauration d'habitat de ce groupe particulier d'espèces et où les pressions exercées par l'homme sont importantes. Cet indicateur est complémentaire à l'indicateur à grande échelle Superficie d'habitat potentiel pour les oiseaux champêtres (**Fiche no 1** – Occupation du sol, habitat et qualité de l'eau).

Valeurs de référence :

Quelques inventaires ponctuels ont été réalisés, notamment dans le cadre du Plan d'action Saint-Laurent et des travaux du Pôle d'expertise (Proulx, 2024; Nicole et Dauphin, 2018a; Nicole et Dauphin, 2018b; Nicole et Dauphin, 2019a; Nicole et Dauphin, 2019b; Nicole, 2020).

Méthodologie proposée :

Des inventaires d'oiseaux par station d'écoute sur le terrain (Jobin, 2014), dans des sites prévus pour faire l'objet de travaux de restauration, permettront de mesurer localement la réponse (diversité, abondance, espèces cibles) des communautés aviaires à la suite de ces travaux de restauration. Ces inventaires pourraient être réalisés à des sites où des données de référence avant travaux de restauration existent déjà. Il serait également possible d'avoir recours à l'enregistrement et à l'analyse des chants d'oiseaux selon la méthode développée par Proulx (2024) pour certains sites du littoral du LSP. La présence et l'abondance d'espèces associées aux prairies humides, par exemple le butor d'Amérique (*Botaurus lentiginosus*) et la bécassine des marais (*Gallinago delicata*), pourraient aussi être notées lors des inventaires auditifs et visuels pour mesurer la réponse de ces oiseaux à la restauration de ce type d'écosystème.

Unité(s) de mesure :

- Diversité et abondance des oiseaux.

Coût estimé :

Faible (\$) ☐

Moyen (\$\$) ☒

Élevé (\$\$\$) ☐

Fréquence de suivi :

Variable selon les occasions offertes par les travaux de restauration.

Fiche n° 6 – Qualité et utilisation de l'habitat de fraie par les poissons

Mesuré localement

Description de l'indicateur :

Dans des sites de restauration particuliers, à l'échelle locale au moyen d'inventaires sur le terrain, il serait pertinent de mesurer la présence et l'abondance d'œufs de perchaude et de grand brochet, ainsi que les caractéristiques de l'habitat de reproduction (hauteur du couvert végétal automnal). Ce sont des variables qui se sont avérées efficaces pour témoigner de l'utilisation du littoral par les poissons (Rodriguez, 2024; Paquin et collab., 2024). De plus, ces deux indicateurs sont intrinsèquement liés, car il est possible que l'habitat soit de bonne qualité, mais qu'il n'y ait pas de reproduction en raison, par exemple, d'un manque de connectivité ou d'une baisse trop importante de l'abondance des espèces.

Présence et abondance d'œufs de perchaude et de grand brochet

Pour cet indicateur, la méthodologie proposée serait celle développée par Paquin et Brodeur (2021) et déployée par Rodriguez (2024) ainsi que Paquin et ses collaborateurs (2024). Elle consiste à échantillonner les œufs de poisson à l'aide d'un filet troubleau en balayant la végétation inondée le long de transects d'échantillonnage. En complément, des observations de masses d'œufs de perchaude sont réalisées de part et d'autre des transects.

- Nombre d'œufs/m²

Qualité de l'habitat de reproduction

Cet indicateur est complémentaire au précédent. Les mesures pourraient être prises sur le terrain à la fin de la saison de croissance de la végétation, soit vers la mi-octobre (Paquin et collab., 2024). Les échantillonnages seraient réalisés avec un nombre déterminé de quadras par site.

- Hauteur de la végétation;
- Espèces végétales dominantes.

Valeurs de référence :

Voir Paquin et collab. (2024).

Méthodologie proposée :

Paquin et Brodeur (2021), Rodriguez (2024) et Paquin et collab. (2024).

Coût estimé :

Faible (\$) ☐

Moyen (\$\$) ☒

Élevé (\$\$\$) ☐

Fréquence de suivi :

Variable selon les occasions.

Annexe 8 – Fiche n° 7 – Entrave à la libre circulation du poisson

Fiche n° 7 – Entrave à la libre circulation du poisson (ponceaux, routes, digues, débris, etc.)

Mesuré localement

Description de l'indicateur :

De nombreux travaux d'aménagement réalisés dans la zone littorale visent à améliorer la connectivité écologique. Dans l'ensemble des sites de restauration comportant une composante d'utilisation par les poissons, il est primordial de porter une attention particulière à l'amélioration de la connectivité pendant et après la crue printanière. Cet indicateur permettra de mesurer l'amélioration de cette connectivité à l'échelle locale, ainsi que l'augmentation de la disponibilité d'habitats pour le poisson en période de fraie, pendant les crues printanières. Ces données permettront d'orienter les travaux de restauration nécessaires et les gains en habitat fonctionnel qui y seront associés. Cet indicateur est complémentaire à l'indicateur à grande échelle Superficie d'habitat potentiel pour la reproduction de la perchaude et du grand brochet (**Fiche no 1** – Occupation du sol, habitat et qualité de l'eau).

Valeurs de référence :

Voir travaux de caractérisation du Comité ZIPLSP (s'adresser directement au Comité ZIPLSP) ainsi que Le Pichon et collab. (2018).

Méthodologie proposée :

Caractérisation des obstacles par des visites sur le terrain (localisation et nature de l'obstacle, élévation, diamètre et état des ponceaux).

Unité(s) de mesure :

- Récurrence des contacts en période de crue fondée sur l'analyse des niveaux d'eau historiques mesurés à la station limnimétrique de Sorel (Pôle, 2024; Campeau et collab., 2024);
- Nombre d'hectares d'habitats potentiels de reproduction de la perchaude et du grand brochet rendu accessible par des travaux de restauration (voir **Fiche no 1** – Occupation du sol, habitat et qualité de l'eau).

Coût estimé :

Faible (\$) ☒

Moyen (\$\$) ☐

Élevé (\$\$\$) ☐

Fréquence de suivi :

Variable selon les occasions.

Annexe 9 – Fiche n° 8 – Espèces exotiques envahissantes (EEE)

Fiche n° 8 – Espèces exotiques envahissantes (EEE)

Mesuré localement

Description de l'indicateur :

Les impacts des EEE sur les écosystèmes sont souvent majeurs et irréversibles. Celles-ci constituent une menace pour la biodiversité, notamment pour les espèces menacées et vulnérables, ainsi que pour l'intégrité des écosystèmes et celle des milieux restaurés. Il est recommandé d'apporter une attention particulière aux EEE lors du suivi à l'échelle locale des sites de restauration. Cet indicateur est complémentaire à la cartographie du roseau commun à grande échelle (Fiche **no 4** – Cartographie de la distribution du roseau commun) et au projet de suivi des plantes envahissantes des milieux humides du fleuve Saint-Laurent réalisé dans le cadre du PASL (Groupe de travail suivi de l'état du Saint-Laurent, 2024).

Valeurs de référence :

Voir les données du Comité ZIPLSP (Corriveau et collab., 2022).

Méthodologie proposée :

La télédétection et la validation terrain de la propagation des EEE dans la zone littorale permettront de cibler les zones d'actions prioritaires. Actuellement, les espèces floristiques exotiques envahissantes jugées prioritaires selon le MELCCFP suivies sur l'ensemble du territoire du Comité ZIPLSP, à l'exception du roseau commun, sont: alliaire officinale (*Alliaria petiolata*), berce du Caucase (*Heracleum mantegazzianum*), châtaigne d'eau (*Trapa natans*), érable de Norvège (*Acer plantanoides*), hydrocharide grenouillette (*Hydrocharis morsus-ranae*), impatiente glanduleuse (*Impatiens glandulifera*), myriophylle à épis (*Myriophyllum spicatum*), nerprun bourdaine (*Frangula alnus*), nerprun cathartique (*Rhamnus cathartica*), potamogeton crépu (*Potamogeton crispus*) et renouée du Japon (*Reynoutria japonica*). Le choix des espèces suivies se fera en fonction des objectifs des projets ponctuels à l'échelle locale.

Unité(s) de mesure :

- Cartographie des présences d'EEE dans les sites restaurés.

Coût estimé :

Faible (\$) ☐

Moyen (\$\$) ☒

Élevé (\$\$\$) ☐

Fréquence de suivi :

Variable selon les occasions.

Fiche n°9 – Score floral

Mesuré localement

Description de l'indicateur :

Cet indicateur permettrait de quantifier la disponibilité des plantes nectarifères pour un territoire donné. Une caractérisation visuelle de l'abondance et de la répartition des plantes à fleurs dans des parcelles d'inventaire déterminées permet de quantifier l'importance relative de ce type de plante relativement à l'ensemble des espèces végétales présentes dans la parcelle. Cet indicateur permet de refléter l'abondance des pollinisateurs. Cet indicateur est complémentaire à l'indicateur à grande échelle IQBR et couvert végétal (Fiche no 1 – Occupation du sol, habitat et qualité de l'eau).

Valeurs de référence :

Voir le mémoire de maîtrise d'Olivier Slupik (Université Laval) dans le cadre des travaux du Pôle d'expertise (Pôle, 2024).

Méthodologie proposée :

Un score d'abondance relative (1 à 4) des plantes nectarifères dans une parcelle d'inventaire est accordé relativement à l'ensemble des espèces végétales présentes. Pour une parcelle de surface déterminée, une estimation visuelle de la couverture des plantes nectarifères est accordée : 1 (trace, <1 %), 2 (faible 1 %-5 %), 3 (moyen, 5 %-20 %) et 4 (élevé, >20 %).

Ce score floral permet de relativiser l'importance relative des plantes nectarifères entre divers types de milieux (p. ex. champ cultivé, bande riveraine, habitat naturel). La répartition spatiale des plantes nectarifères dans les différents types de milieux peut aussi être mesurée afin d'obtenir un aperçu de la densité et de l'abondance des plantes nectarifères.

Unité(s) de mesure :

- Score floral par type de milieu (importance relative des plantes nectarifères).

Coût estimé :

Faible (\$) ☐

Moyen (\$\$) ☒

Élevé (\$\$\$) ☐

Fréquence de suivi :

Variable selon les occasions.

Annexe 11 –Fiche n° 10 – Concentration de pesticides, turbidité, MES

Fiche n° 10 – Concentration de pesticides, turbidité, MES

Mesuré localement

Description de l'indicateur :

L'indicateur de la turbidité de l'eau à large échelle (télédétection; voir **Fiche no 1** – Occupation du sol, habitat et qualité de l'eau) serait combiné à des mesures sur le terrain, à des fins de validation. Lors de ces campagnes, différents paramètres de la qualité de l'eau ainsi que les pesticides pourraient être mesurés à des sites précis, notamment afin d'obtenir des réponses des habitats à la suite de travaux de restauration (ex. approche avant-après ou amont-aval). Ces mesures pourraient être prises à des sites où des données de référence sont disponibles. Lors de la validation sur le terrain des données de turbidité estimées par télédétection à large échelle, divers paramètres physicochimiques de l'eau pourraient être mesurés, ainsi que les pesticides. Il s'agit d'un indicateur intégrant les pressions exercées dans les bassins versants et la zone littorale.

Valeurs de référence :

Voir le répertoire de projets ([cliquez ici](#)) (Groupe de travail suivi de l'état du Saint-Laurent, 2024) et les études du Pôle d'expertise (Pôle, 2024; Campeau et collab., 2024).

Méthodologie proposée :

Divers paramètres de la qualité de l'eau pourront être mesurés, par exemple :

- Concentration en azote et en phosphore;
- Concentration de pesticides;
- Turbidité;
- MES;
- Matière organique dissoute.

Unité(s) de mesure :

Variable selon le paramètre.

Coût estimé :

Faible (\$) ☐

Moyen (\$\$) ☐

Élevé (\$\$\$) ☒

Fréquence de suivi :

Variable selon les occasions.

Annexe 12 – Fiche n° 11 – Santé du sol

Fiche n° 11 – Santé du sol

Mesuré localement

Description de l'indicateur :

L'usage des terres dans le littoral du LSP a modifié la biomasse vivante en place au sein du sol (Maire, 2024). En général, plus l'intensité des perturbations augmente, moins les sols accumulent de la biomasse racinaire, microbienne et d'ADN (Maire, 2024). Lorsque l'intensité de la perturbation des sols diminue, le système est davantage en mesure de capter le CO₂ et le CH₄ de l'atmosphère. Il est proposé d'utiliser la biomasse d'ADN du sol, qui reflète la quantité de matériel végétal, animal et microbien des sols. Une approche avant-après restauration pourrait être intéressante pour quantifier les gains associés au changement d'usage. Cet indicateur est complémentaire à l'indicateur à grande échelle Productivité nette du biome (bilan carbone) (Fiche no 1 – Occupation du sol, habitat et qualité de l'eau).

Valeurs de référence :

Voir les travaux du Pôle d'expertise (Maire, 2024; Fugère, 2024).

Méthodologie proposée :

Échantillonnage des sols (et mesures *in situ*) et dosage de la biomasse d'ADN en laboratoire. En complément, il pourrait être envisageable de mesurer les teneurs en contaminants et nutriments dans les sols du littoral (p. ex. teneur en phosphore, pesticides), puisque ces concentrations devraient changer lors des modifications de pratique agricole.

Unité(s) de mesure :

- Tonnes/ha + voir commentaire.

Coût estimé :

Faible (\$) ☐

Moyen (\$\$) ☐

Élevé (\$\$\$) ☒

Fréquence de suivi :

Variable selon les occasions.



Environment and
Climate Change Canada
Environnement et
Changement climatique Canada

**Environnement,
Lutte contre
les changements
climatiques,
Faune et Parcs**

Québec 