Rio Tinto Alcan inc.

Programme de gestion de l’érosion des plages et des berges du lac Saint-Jean 2028-2037

Étude d’impact sur l’environnement

Volume 3 de 3 : Annexes A5 à A8

Lac Saint-Jean

DÉCEMBRE 2025

Référence WSP : CA0023135.4873

Version finale

RIO TINTO ALCAN INC.

PROGRAMME DE GESTION DE L'ÉROSION DES PLAGES ET DES BERGES DU LAC SAINT-JEAN 2028-2037

ÉTUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT

LAC SAINT-JEAN

RÉFÉRENCE WSP : CA0023135.4873

DÉCEMBRE 2025

WSP CANADA INC.
125, RUE RACINE EST
CHICOUTIMI (QUÉBEC) G7H 1R5
CANADA

TÉLÉPHONE : +1-418-698-4488
TÉLÉCOPIEUR : +1-418-698-6677

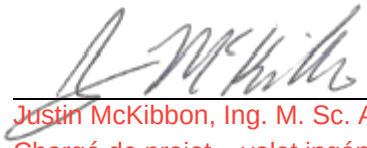
WSP.COM

SIGNATURES

PRÉPARÉ PAR

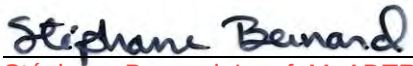
Luc Bouchard, biologiste M. Sc.
Chargé de projet – volet biologie

18 décembre 2025
Date



Justin McKibbon, Ing. M. Sc. A. (OIQ nº 5000352)
Chargé de projet – volet ingénierie

18 décembre 2025
Date



Stéphane Bernard, Ing. f. M. ADTR
Chargé de projet – volet milieu humain

18 décembre 2025
Date

Stéphanie Desjardins, B. Sc. geogr., LL. M. jur.

18 décembre 2025
Date

APPROUVÉ PAR

Jean-François Poulin, biologiste M. Sc.
Gestionnaire principal – Études d'impact

18 décembre 2025
Date

LIMITATIONS

WSP Canada Inc. (« WSP ») a préparé ce rapport uniquement pour son destinataire Rio Tinto Alcan inc., conformément à la convention de consultant convenue entre les parties. Advenant qu'une convention de consultant n'ait pas été exécutée, les parties conviennent que les Modalités générales à titre de consultant de WSP régiront leurs relations d'affaires, lesquelles vous ont été fournies avant la préparation de ce rapport.

Ce rapport est destiné à être utilisé dans son intégralité. Aucun extrait ne peut être considéré comme représentatif des résultats de l'évaluation.

Les conclusions présentées dans ce rapport sont basées sur le travail effectué par du personnel technique, entraîné et professionnel, conformément à leur interprétation raisonnable des pratiques d'ingénierie et techniques courantes et acceptées au moment où le travail a été effectué.

Le contenu et les opinions exprimées dans le présent rapport sont basés sur les observations et/ou les informations à la disposition de WSP au moment de sa préparation, en appliquant des techniques d'investigation et des méthodes d'analyse d'ingénierie conformes à celles habituellement utilisées par WSP et d'autres ingénieurs/techniciens travaillant dans des conditions similaires, et assujettis aux mêmes contraintes de temps, et aux mêmes contraintes financières et physiques applicables à ce type de projet.

WSP dénie et rejette toute obligation de mise à jour du rapport si, après la date du présent rapport, les conditions semblent différer considérablement de celles présentées dans ce rapport; cependant, WSP se réserve le droit de modifier ou de terminer ce rapport sur la base d'informations, de documents ou de preuves additionnels.

WSP ne fait aucune représentation relativement à la signification juridique de ses conclusions.

La divulgation de tout renseignement faisant partie du présent rapport relève uniquement de la responsabilité de son destinataire. Si un tiers utilise, se fie, ou prend des décisions ou des mesures basées sur ce rapport, ledit tiers en est le seul responsable. WSP n'accepte aucune responsabilité quant aux dommages que pourrait subir un tiers suivant l'utilisation de ce rapport ou quant aux dommages pouvant découler d'une décision ou mesure prise basée sur le présent rapport.

WSP a exécuté ses services offerts au destinataire de ce rapport conformément à la convention de consultant convenue entre les parties tout en exerçant le degré de prudence, de compétence et de diligence dont font habituellement preuve les membres de la même profession dans la prestation des mêmes services ou de services comparables à l'égard de projets de nature analogue dans des circonstances similaires. Il est entendu et convenu entre WSP et le destinataire de ce rapport que WSP n'offre aucune garantie, expresse ou implicite, de quelque nature que ce soit. Sans limiter la généralité de ce qui précède, WSP et le destinataire de ce rapport conviennent et comprennent que WSP ne fait aucune représentation ou garantie quant à la suffisance de sa portée de travail pour le but recherché par le destinataire de ce rapport.

En préparant ce rapport, WSP s'est fié de bonne foi à l'information fournie par des tiers, comme indiqué dans le rapport. WSP a raisonnablement présumé que les informations fournies étaient correctes et WSP ne peut donc être tenu responsable de l'exactitude ou de l'exhaustivité de ces informations.

Les bornes et les repères d'arpentage utilisés dans ce rapport servent principalement à établir les différences d'élévation relative entre les emplacements de prélèvement et/ou d'échantillonnage et ne peuvent servir à d'autres fins. Notamment, ils ne peuvent servir à des fins de nivelage, d'excavation, de construction, de planification, de développement, etc.

Les recommandations de conception fournies dans ce rapport s'appliquent uniquement au projet et aux zones décrites dans le texte, et uniquement si elles sont construites conformément aux détails indiqués dans le présent rapport. Les commentaires fournis dans ce rapport sur les problèmes potentiels pouvant subvenir lors de la construction et sur les différentes méthodologies possibles sont uniquement destinés à guider le concepteur. Le nombre d'emplacements de prélèvement et/ou d'échantillonnage peut ne pas être suffisant pour évaluer l'ensemble des facteurs pouvant affecter la construction, les méthodologies et les coûts. WSP nie toute responsabilité pouvant découler de décisions ou actions prises découlant de ce rapport, sauf si WSP en est spécifiquement informé et y participe. Advenant une telle situation, la responsabilité de WSP sera déterminée et convenue à ce moment.

Les conditions générales d'un site ne peuvent être extrapolées au-delà des zones définies et des emplacements de prélèvement et d'échantillonnage. Les conditions d'un site entre les emplacements de prélèvement et d'échantillonnage peuvent différer des conditions réelles. La précision et l'exactitude de toute extrapolation et spéculation au-delà des emplacements des prélèvements et d'échantillonnage dépendent des conditions naturelles, de l'historique de développement du site et des changements entraînés par la construction et des autres activités sur le site. De plus, l'analyse a été effectuée pour les paramètres chimiques et physiques déterminés seulement, et il ne peut pas être présumé que d'autres substances chimiques ou conditions physiques ne sont pas présentes. WSP ne fournit aucune garantie et ne fait aucune représentation contre les risques environnementaux non décelés ou contre des effets négatifs causés à l'extérieur de la zone définie.

L’original du fichier électronique que nous vous transmettons sera conservé par WSP pour une période minimale de dix ans. WSP n’assume aucune responsabilité quant à l’intégrité du fichier qui vous est transmis et qui n’est plus sous le contrôle de WSP. Ainsi, WSP n’assume aucune responsabilité quant aux modifications faites au fichier électronique suivant sa transmission au destinataire.

Ces limitations sont considérées comme faisant partie intégrante du présent rapport.

TABLE DES MATIÈRES

A5-1 Adaptation de la gestion hydrique aux changements climatiques – Saguenay–Lac-Saint-Jean

A5-2 Étude de résilience aux changements climatiques

A6-1 Revue de littérature sur les approches et techniques de gestion de l'érosion en milieux côtiers

A6-2 Photographie présentant des exemples de travaux réalisés

A6-3 Inventaire et analyse des plages et des berges, etc.

A6-4 Estimation des émissions de gaz à effet de serre (GES) générées par le PGEPBLSJ 2028-2037

A7-1 Compte rendu Consultation MELCCFP sur l'Avis de projet

A8-1 Évolution des strates de végétation entre l'état de référence et 2020 pour les milieux humides et localisation des ouvertures de cours d'eau et des parcelles d'inventaire de la végétation visitées en 2024

A8-2 Faune aviaire : compilation de diverses sources de données et de la revue de littérature

ANNEXE

A5-1 *Adaptation de la gestion hydrique aux changements climatiques – Saguenay–Lac-Saint-Jean*

Rio Tinto

ADAPTATION DE LA GESTION HYDRIQUE AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES

Saguenay-Lac Saint-Jean

Gestion Ressources Hydriques

Hiver 2025

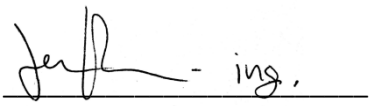
Cette étude a été réalisée par et pour le bénéfice de Groupe ressources hydriques de Rio Tinto. Le sommaire présenté dans le présent rapport se veut une synthèse de la méthodologie visant à intégrer les signaux des changements climatiques dans la gestion opérationnelle du système hydrique. Il présente également un portrait de l'influence des changements climatiques sur l'opération des réservoirs. Les travaux réalisés ont permis de développer une série de données hydrologiques plus représentative du climat actuel et futur. Ces données ont été à la base de la projection des niveaux de gestion du lac Saint-Jean et de la comparaison des différentes variantes de scénarios de gestion évaluées dans le cadre de l'étude d'impact environnementale en vue du renouvellement du prochain décret du programme de gestion de l'érosion des berges du lac Saint-Jean.

Étude réalisée par :

Gabrielle Dallaire, ing., M.Sc.A. Date : 1er décembre 2024

Ingénieure analyste et ressources hydriques

Étude vérifiée par :



Jean Paquin, ing., M.Sc.A. Date : 1er décembre 2024

Conseiller principal Hydrologie

Autres collaborations :

Marco Latraverse, RTA – spécialiste et R&D

Kenjy Demeester, ing. RTA – analyste, spécialiste en optimisation de système hydrique

Ouranos, - Consortium de recherche en changements climatiques

TABLE DES MATIÈRES

Contenu

Table des matières 3

Lexique 4

Mise en contexte 5

Méthodologie 7

1. Projections futures 7

2. Données climatiques 9

3. Modélisation des tendances climatiques 11

4. Applications sur les données historiques & modélisation hydrologique 12

Impacts sur le climat et l'hydrologie 13

Impacts sur la gestion hydrique 17

Conclusion 22

Références bibliographiques 23

LEXIQUE

Changements climatiques : Changement continu à long terme – une tendance (à la hausse ou à la baisse) par rapport à la période historique

CMIP : Projet d'intercomparaison de modèles couplés

Crue : Montée du niveau de l'eau d'une rivière nettement au-dessus des niveaux habituels

ESPO : Ensemble de Simulations Post-traitées d'Ouranos

Étiage : Niveau minimal d'un cours d'eau pendant les périodes sèches

GIEC : Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat *(IPCC en anglais)*

GRH : Groupe Ressources Hydriques de Rio Tinto

SSP : Trajectoires communes d'évolution socio-économique, *de l'anglais Shared Socio-economic Pathways.*

Variabilité climatique : Tendance à court-terme qui n'est pas attribuable aux changements climatiques

MISE EN CONTEXTE

Il est maintenant indéniable que les changements climatiques ont déjà des impacts sur la gestion hydrique des systèmes hydroélectriques de Rio Tinto au Canada. Depuis une dizaine d'années, le Groupe Ressources Hydriques (GRH) travaille en partenariat avec le milieu scientifique, tel que le Consortium Ouranos ainsi que des partenariats universitaires, afin d'identifier les impacts des changements climatiques sur ses territoires.

En 2014, un premier rapport en collaboration avec Ouranos a été produit afin d'appuyer les démarches d'adaptation aux changements climatiques sur le système hydroélectrique du Saguenay-Lac Saint-Jean de Rio Tinto. Ce rapport était basé sur la modélisation climatique provenant de l'ensemble CMIP3 *(Coupled Model Intercomparaion Project).*

Ce rapport a été mis à jour en 2016 *(Seiller, 2016)* avec la nouvelle génération de modélisation climatique (CMIP5) et les scénarios d'émissions de gaz à effet de serre *(RCP – Representative Concentration Pathway).* Il a permis de dresser un portrait de l'impact des changements climatiques sur le régime hydrique du Saguenay-Lac Saint-Jean, en analysant le signal d'amplitude et de direction du changement via des indicateurs hydrologiques pour l'horizon 2050. Le *Tableau 1* présente les principales conclusions de ce rapport.

Tableau 1 – Récapitulatif du signal de changement au Saguenay-Lac Saint-Jean *(Seiller, 2016)*

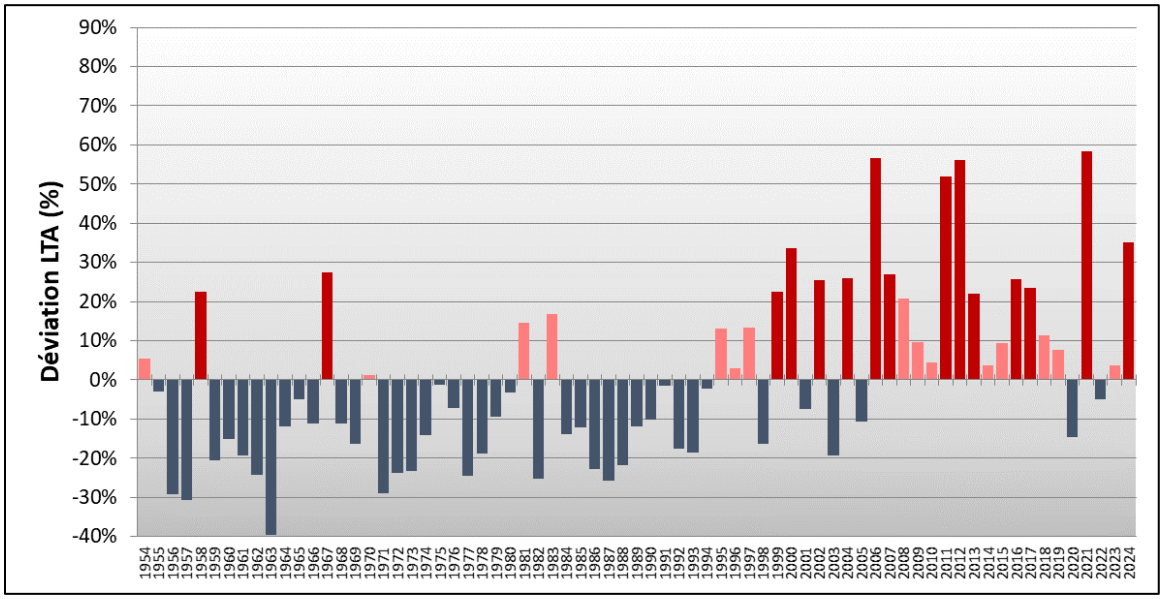
Indicateur hydrologique	Passes Dangereuses (PD)	Lac Manouane (LM)	Lac Saint-Jean (LSJ)	Chute-du-Diable (CD)	Chute-à-la-Savane (CS)
Débit moyen annuel (Qmoy)	+6.5 %	+7.5 %	+1.3 %	+0.2 %	+0.9 %
Débit moyen hivernal ($Qmoy_h$)	+17.6 %	+15.7 %	+22.8 %	+33.0 %	+29.4 %
Débit moyen printanier ($Qmoy_p$)	+21.2 %	+27.2 %	+13.2 %	+12.4 %	+8.4 %
Débit moyen estival ($Qmoy_e$)	-10.9 %	-9.5 %	-15.8 %	-23.1 %	-16.5 %
Débit moyen automnal ($Qmoy_a$)	+5.8 %	+6.0 %	-5.0 %	-6.2 %	-5.8 %
Volume de la crue printanière (V_p)	+8.5 %	+12.6 %	+6.0 %	+1.9 %	+2.6 %
Débit maximal de la crue printanière ($Qmax_p$)	+2.7 %	+6.7 %	-2.1 %	-4.5 %	-3.1 %
Date de départ de la crue printanière (J_p)	-8.8 j	-9.0 j	-11.5 j	-10.8 j	-11.6 j
Durée du régime hivernal (NJ_h)	-17.9 j	-17.8 j	-8.2 j	-5.9 j	+5.2 j
Durée du régime printanier (NJ_p)	+0.3 j	+1.1 j	+4.8 j	+3.4 j	+4.1 j
Durée du régime estival (NJ_e)	+2.7 j	+2.9 j	-0.8 j	+0.5 j	-2.9 j
Durée du régime automnal (NJ_a)	+15.1 j	+12.9 j	+4.1 j	+3.2 j	-3.5 j

Entre 2016 et 2023, plusieurs travaux de recherche visant à évaluer les impacts des changements climatiques sur l'eau du bassin versant Nechako en Colombie-Britannique ont eu lieu en partenariat avec l'*Institut national de la recherche scientifique* (INRS), l'*École de technologie supérieure* (ÉTS), l'*University of Northern British-Columbia* (UNBC) et le consortium *Ouranos*.

Dans les dernières années, plusieurs événements ont permis de prendre conscience que la gestion hydrique est déjà touchée par des changements, présentant des changements plus récurrents que la simple variabilité climatique.

La Figure 1 présente l'évolution de 1954 à 2024 des déviations par rapport à la moyenne des apports hivernaux moyens au Lac Saint-Jean pour la période de décembre à mars. Il y a visiblement une augmentation du ruissellement hivernal, alors que 13 sur 15 des années les plus fortes hydrologiquement pendant l'hiver se situent après 2000. Dans les dernières années, une augmentation des redoux hivernaux est aussi observable – ce qui correspond aux projections de la littérature scientifique. La Figure 1 permet de prendre conscience qu'il est nécessaire de redéfinir la normale, puisque la moyenne historique de 1954 à aujourd'hui n'est plus représentative du climat actuel.

Figure 1 - Apports hivernaux moyens au Lac Saint-Jean - Décembre à Mars (1954 - 2024)

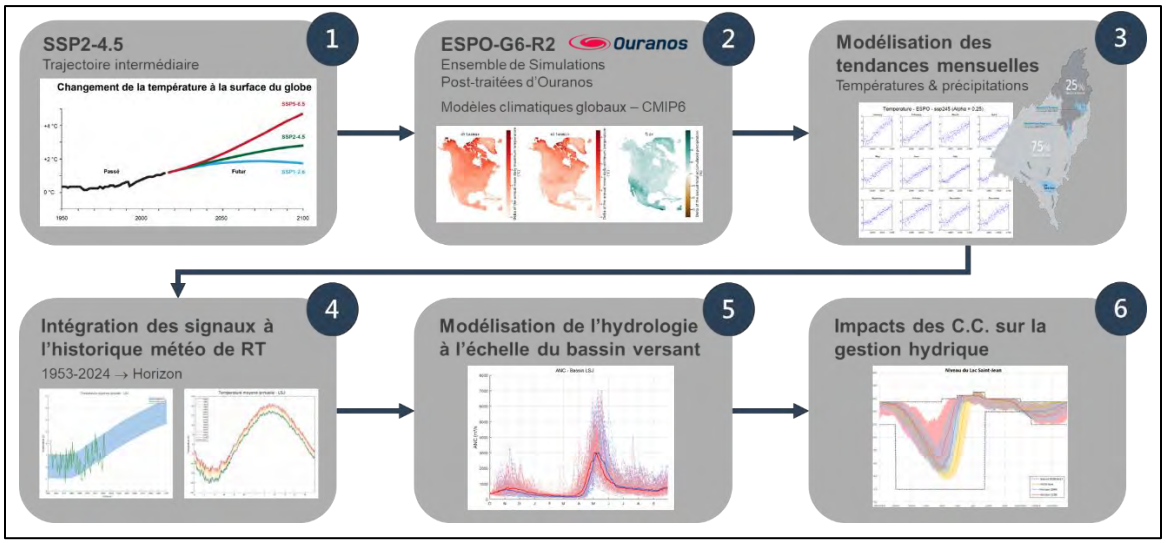


En 2022, le GRH a fait le choix d'intégrer les signaux des changements climatiques dans les processus quotidiens afin d'assurer une gestion hydrique diligente.

MÉTHODOLOGIE

La méthodologie de la chaîne d'intégration des signaux de changements climatiques sur la gestion hydrique du Lac Saint-Jean est présentée à la Figure 2.

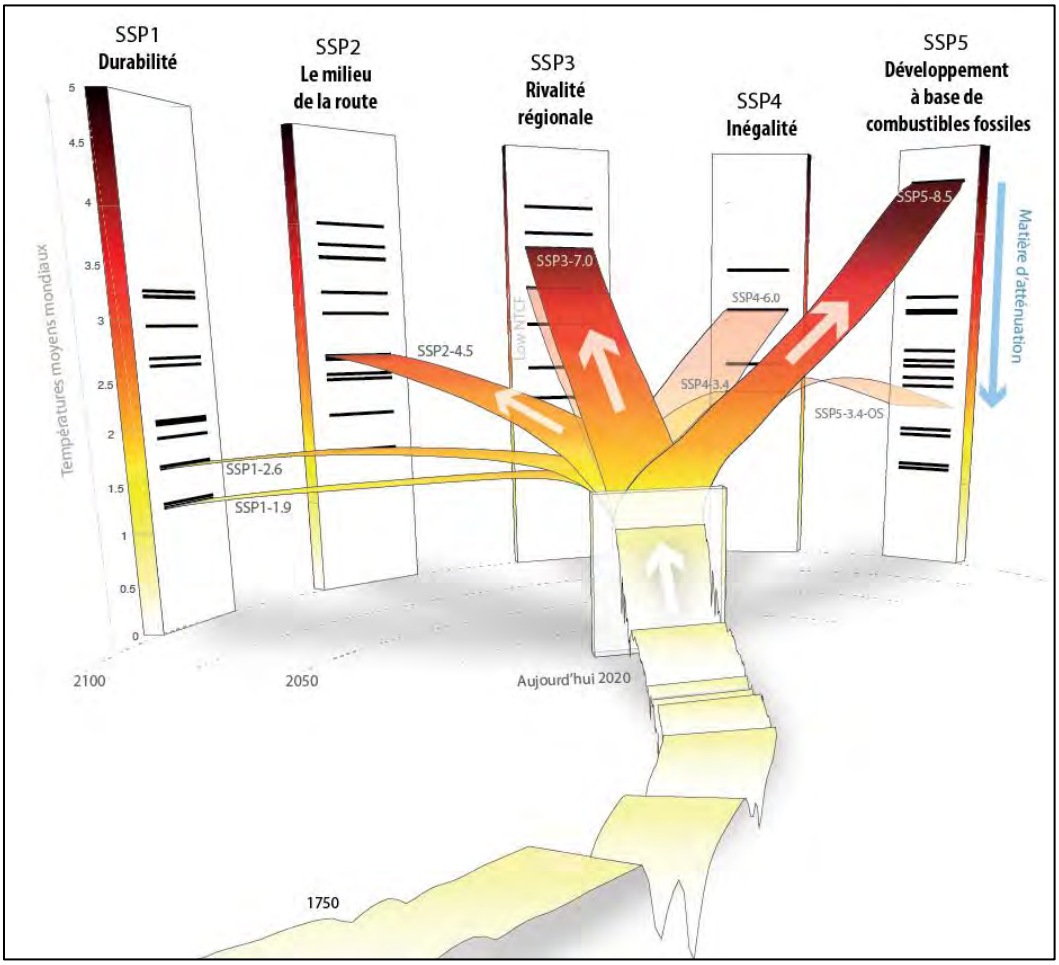
Figure 2 - Chaîne d'intégration des changements climatiques sur la gestion hydrique du lac Saint-Jean



1. PROJECTIONS FUTURES

Dans CMIP6, les projections d'émissions de gaz à effet de serre sont considérées en utilisant des trajectoires communes d'évolution socio-économique *(Shared Socio-economic Pathways – SSP),* qui sont des scénarios définis par le Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat (GIEC). Les années de 2015 à 2100 sont souscrites aux SSP pour le projet CMIP6.

Figure 3 - Les scénarios de SSP et leurs familles socioéconomiques *(Meinshausen et coll., 2020)*



Voici les 5 scénarios principaux :

- SSP 1-1.9 : Scénario très faible qui prévoit une évolution croissante vers des pratiques durables avec un réchauffement attendu entre 1.0 ˚C et 1.8 ˚C d'ici 2100 [1.4 ˚C]. C'est le scénario qui permet de respecter les objectifs de l'accord de Paris.

- SSP 1-2.6 : Scénario faible qui prévoit une évolution croissante vers des pratiques durables avec un réchauffement attendu entre 1.3˚C et 2.4 ˚C d'ici 2100 [1.8 ˚C]. Ce scénario permet également de respecter les objectifs de l'accord de Paris.

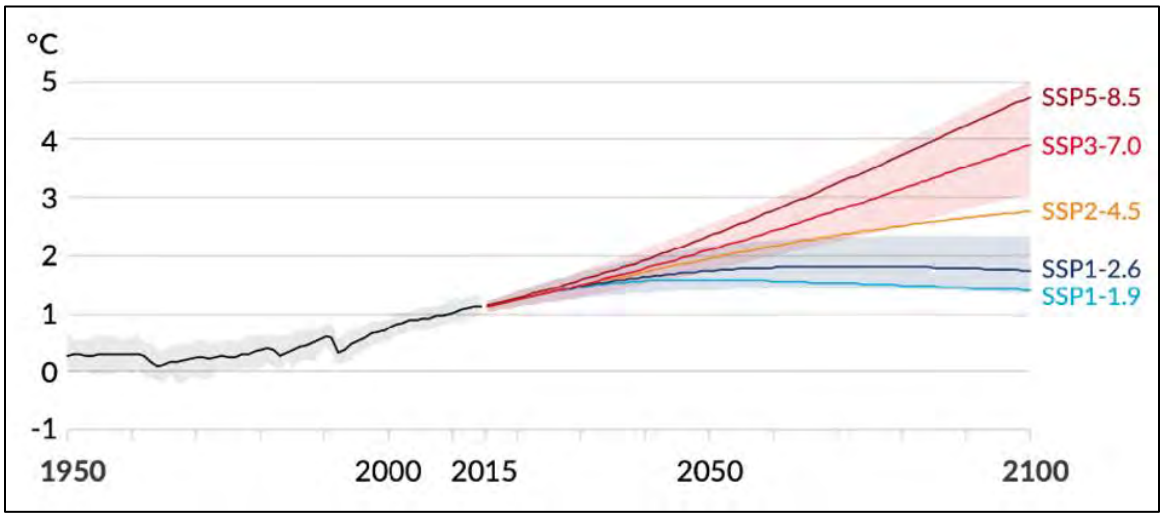
- SSP 2-4.5 : Scénario intermédiaire qui conserve l'accroissement socio-économique historique avec un réchauffement attendu entre 2.1 ˚C et 3.5 ˚C d'ici 2100 [2.7 ˚C]. C'est un scénario milieu de route qui considère les engagements climatiques actuels.

- SSP 3-7.0 : Scénario élevé de développement qui donne la priorité à la sécurité régionale avec un réchauffement attendu entre 2.8 ˚C et 4.6 ˚C d'ici 2100 [3.6 ˚C]. Dans ce scénario, les pays se concentrent sur la réalisation de leurs objectifs de sécurité énergétique et alimentaire interne au détriment d'un développement global.

- SSP 5-8.5 : Scénario extrême de développement basé sur les énergies fossiles avec un réchauffement attendu entre 3.3 ˚C et 5.7 ˚C d'ici 2100 [4.4 ˚C]. C'est donc le scénario le plus pessimiste, où il est possible d'observer les changements climatiques les plus marquants.

La Figure 4, *provenant du rapport du GIEC (Arias et al., 2021),* présente l'évolution de la température globale moyenne par rapport à la période préindustrielle, soit 1850-1900, selon le scénario SSP.

Figure 4 - Trajectoires du réchauffement planétaire selon les SSP par rapport à la période 1850-1900



Dans l'étude actuelle, le SSP 2-4.5, soit le scénario intermédiaire avec un réchauffement global attendu de 2.7 ˚C, est pris en compte afin d'intégrer le signal des changements climatiques à la gestion hydrique. D'ici 2050, la différence entre les différents scénarios a peu d'impact, la divergence se produisant de façon plus marquée après cette période.

2. DONNÉES CLIMATIQUES

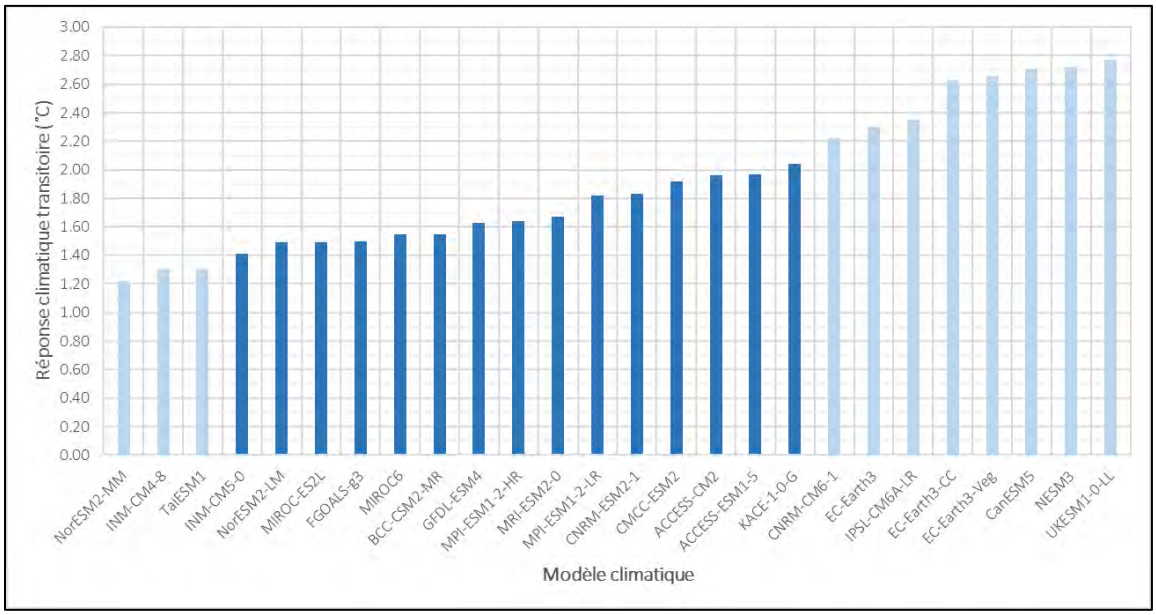
Les données climatiques utilisées proviennent de l'Ensemble de Simulations Post-traitées d'Ouranos – ESPO-G6-R2 *(Lavoie et al., 2023).* Les modèles climatiques globales de cet ensemble proviennent de l'ensemble CMIP6 (*Coupled Model Intercomparaison Project*). Les simulations couvrent la période 1950 à 2100 et incluent les variables suivantes : (1) la

température minimum journalière - *tasmin*, (2) la température maximum journalière - *tasmax* et (3) le flux de précipitations moyen journalier - *pr.* La résolution de la base de données est de 0.1˚, soit 10 km, sur le domaine nord-américain *(179.9˚W à 10.0˚W et de 10.0˚N à 83.3˚N)*. Afin d'éviter le « problème des modèles chauds » de CMIP6, seuls les modèles ayant une réponse climatique transitoire, i.e. une sensibilité climatique, dans la plage probable (1.4˚C à 2.2 ˚C) font partie de l'ensemble officiel.

La sensibilité climatique représente la réponse du modèle climatique à un forçage radiatif. La variabilité des sensibilités climatiques des modèles considérés dans cette étude permet de prendre en compte l'incertitude future. Les sensibilités climatiques présentées à la Figure 5 proviennent de *Hausfather (2019)*. Les modèles climatiques inclus dans l'ensemble ESPO-G6-R2 sont en bleu foncé alors que ceux exclus sont en bleu pâle.

Un effort important a été réalisé en vue de capturer le meilleur estimateur du signal de changement climatique pour l'ensemble du bassin versant de 73 800 km² en vue d'une mise à niveau des variables hydrologiques. La mise en évidence d'une tendance d'un aléa climatique pour une zone précise pour un scénario donné à un horizon particulier ne nécessite pas le même niveau d'analyse et de représentativité. L'une sert de guide dans le cadre d'une étude de risque et de résilience tandis que l'autre, présentée dans ce rapport, se veut une méthode pour le développement d'outils d'aide à la décision quotidienne en plus d'un outil en continu d'anticipation et de prévisions moyen long terme.

Figure 5 – Plage des réponses climatiques transitoires des modèles climatiques de CMIP6 (avec les modèles climatiques conservés dans l'ESPO-G6-R2 en bleu foncé)

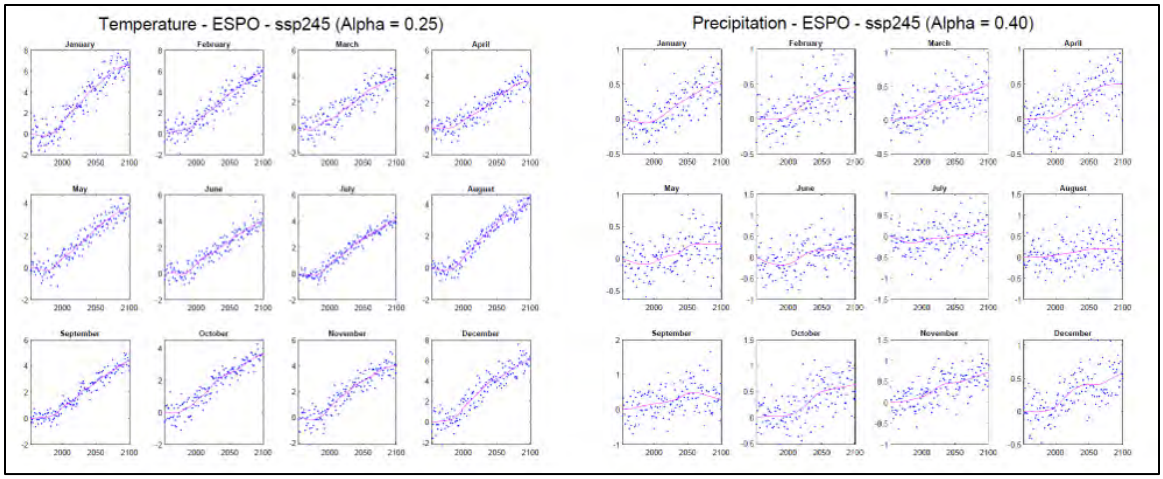


3. MODÉLISATION DES TENDANCES CLIMATIQUES

Les données des scénarios climatiques provenant du scénario SSP2-4.5 de l'ensemble ESPO-G6-R2 sont utilisées afin de modéliser l'évolution des variables climatiques (température et précipitations). La modélisation des tendances se fait à l'échelle des statistiques mensuelles. La méthodologie est basée sur l'utilisation de la théorie des processus stochastiques stationnaires autour de leur tendance *(Mudelsee, 2019).* L'analyse se fait sur l'ensemble des modèles climatiques, donc une tendance moyenne.

La Figure 6 présente la modélisation des tendances des changements climatiques par mois de 1950 à 2100, pour la température à gauche et pour les précipitations à droite.

Figure 6 - Modélisation des tendances mensuelles des changements climatiques de ESPO SSP2-4.5



4. APPLICATIONS SUR LES DONNÉES HISTORIQUES & MODÉLISATION HYDROLOGIQUE

Les tendances déterminées à l'étape précédente sont appliquées à l'historique de données climatiques observées de Rio Tinto de 1953 à aujourd'hui. L'objectif est de moderniser chacune des années vers l'horizon désiré. Donc plus l'année est loin de l'horizon, plus la correction sera significative.

Les modifications des données de températures sont additives, donc le delta de la tendance pour un horizon est additionné à la température moyenne de chaque jour de l'historique. Pour les précipitations, les modifications sont multiplicatives, donc la tendance est évaluée en quantité mensuelle (mm/mois) et la proportion des précipitations du mois est conservée.

Par exemple pour l'horizon 2040, chacune des années de 1953 à 2024 est corrigée pour représenter le climat 2040. Ainsi, l'année 1953 aura une plus grande correction pour se rendre en 2040 que l'année 2020. L'horizon futur pris en compte pour l'étude d'impacts est 2040, étant donné que cet horizon concorde avec la fin du prochain décret.

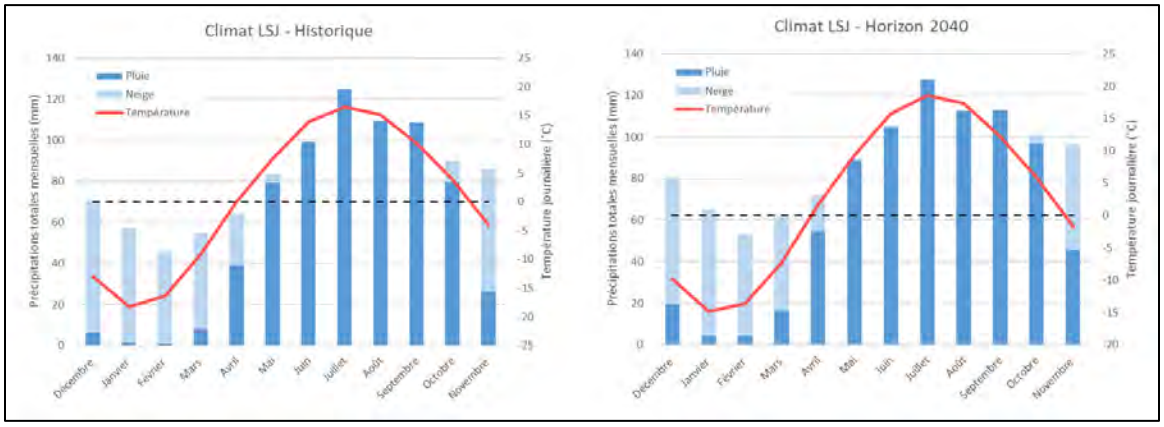
Par la suite, le ruissellement en climat 2040 est simulé dans le modèle hydrologique en utilisant les données climatiques corrigées à cet horizon, ce qui permet de déterminer les impacts sur le régime hydrologique ainsi que sur la gestion hydrique des niveaux d'eau du Lac Saint-Jean.

IMPACTS SUR LE CLIMAT ET L'HYDROLOGIE

La Figure 7 présente les graphiques du cycle annuel du régime climatique pour la période historique (à gauche) et pour l'horizon 2040 (à droite). La courbe rouge illustre la température moyenne alors que l'histogramme présente les précipitations totales par mois, sous forme de pluie en bleu foncé et sous forme de neige en bleu pâle.

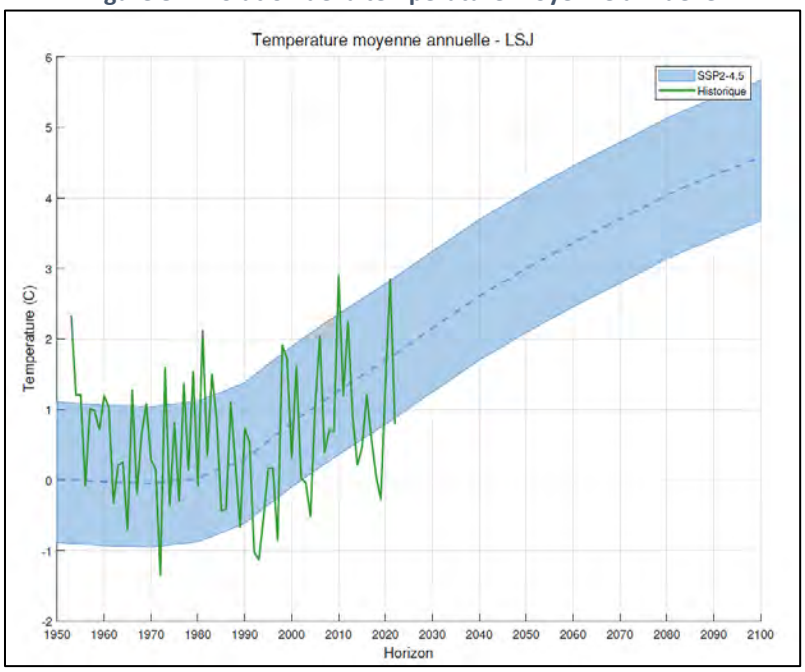
Pour la période historique, de 1953 à 2023, la température moyenne annuelle est de 0.6˚C. Les précipitations totales annuelles moyennes sont de 993 mm, distribué en 683 mm sous forme de pluie et 310 mm sous forme de neige. À l'horizon 2040, la température moyenne annuelle est de 2.9 ˚C (+ 2.3˚C). Les précipitations totales annuelles moyennes sont de 1076 mm (+ 83 mm), distribué en 788 mm (+ 105 mm) sous forme de pluie et 288 mm (- 22 mm) sous forme de neige. Il y a donc augmentation de la pluie mais une diminution de la neige. Il est également possible d'observer une augmentation (voir une apparition) des précipitations sous forme de pluie dans les mois de novembre à avril.

Figure 7 - Cycle annuel de la température et des précipitations (pluie et neige)



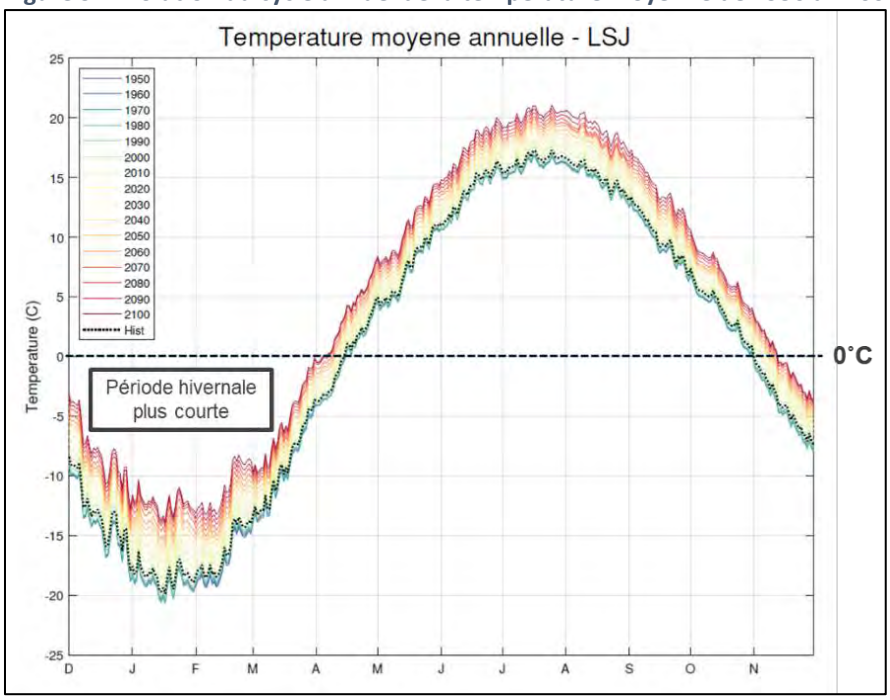
La Figure 8 présente l'évolution de la température moyenne annuelle sur le bassin Lac Saint-Jean. Sur les graphiques suivants, la ligne verte illustre les observations de 1953 à 2024, la courbe pointillée bleue illustre la médiane des simulations pour le SSP2-4.5 et la plage bleue présente l'intervalle 20% à 80%. Il est possible d'observer une augmentation de la température moyenne dans le futur, avec une augmentation de 2.5˚C à l'horizon 2050 par rapport à la référence de 1950.

Figure 8 - Évolution de la température moyenne annuelle



La Figure 9 présente le cycle annuel de la température à intervalle de 10 ans, de 1950 à 2100, alors que la courbe noire est la moyenne historique. La période où la température est sous le point de congélation, qui est historiquement de novembre à mi-avril, sera réduite ce qui mène à un retard de gel des réservoirs et une période hivernale plus courte.

Figure 9 - Évolution du cycle annuel de la température moyenne de 1950 à 2100

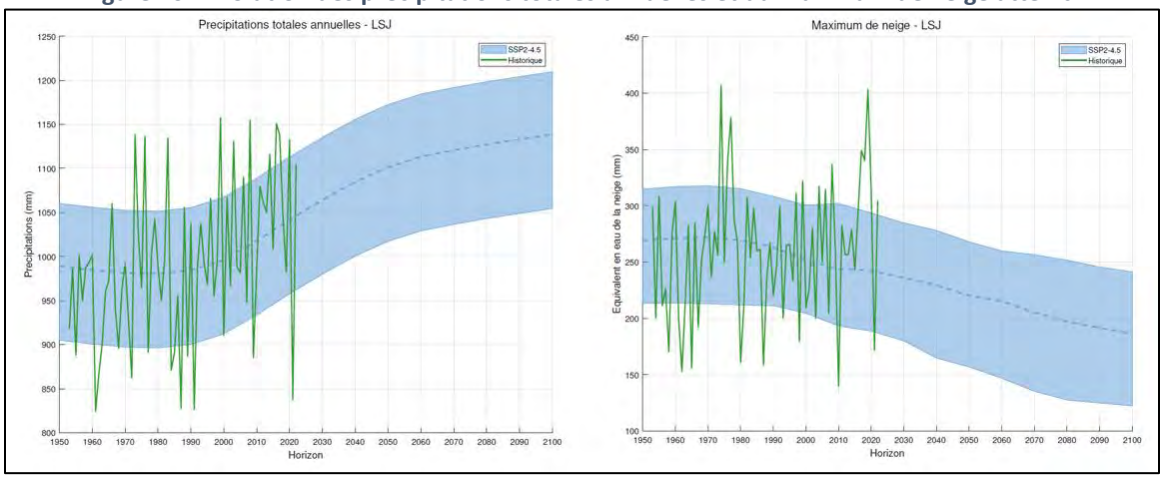


La Figure 10 présente l'évolution de la quantité de précipitations annuelles sur le bassin Lac Saint-Jean (à gauche) et le maximum atteint du couvert neigeux pendant la période hivernale (à droite).

Les résultats démontrent une augmentation des précipitations totales annuelles, mais une diminution du maximum de neige atteint pendant l'hiver. Étant donné que la saison hivernale sera raccourcie avec l'augmentation des températures et qu'il y aura donc plus de redoux hivernaux ce qui augmentera les épisodes de pluie sur neige, l'accumulation du couvert neigeux diminue.

En tant que bassin versant nordique où l'hydrologie est dirigée par l'accumulation et la fonte de la neige, des changements sur ces processus ont beaucoup d'impacts sur la gestion hydrique. Si le couvert neigeux est plus faible, la gestion hydrique doit être adaptée alors que le besoin d'emmagasinement du volume d'eau de fonte lors de la crue printanière est réduit.

Figure 10 - Évolution des précipitations totales annuelles et du maximum de neige atteint



La Figure 11 présente l'évolution temporelle des apports en eau sur le bassin Lac Saint-Jean, par intervalle de 10 ans de 1950 à 2100. Les points clés de l'évolution du cycle hydrologique sont :

- L'augmentation du ruissellement hivernale (Figure 12 - gauche) causée par l'augmentation des températures, ce qui mène à plus de redoux hivernaux et plus d'événements de pluie sur neige qui augmente les apports en eau pendant l'hiver;
- Les crues printanières hâtives avec des pointes de crue atténuées causés par les températures plus chaudes qui devancent la fonte du couvert neigeux et la diminution du couvert de neige qui réduit le volume d'eau associé à la fonte;
- La diminution du ruissellement estivale (Figure 12 - droite) causée par la période d'été qui débute plus tôt et l'augmentation de la température qui augmente l'évapotranspiration ce qui contribue à réduire l'eau disponible en été malgré l'augmentation des précipitations.

Figure 11 - Évolution de l'hydrogramme moyen annuel du bassin Lac Saint-Jean de 1950 à 2100

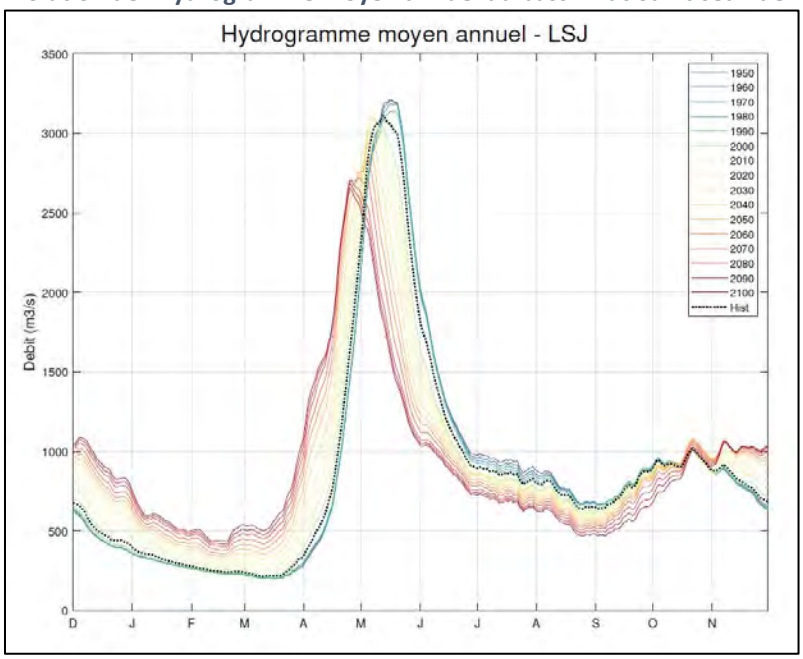
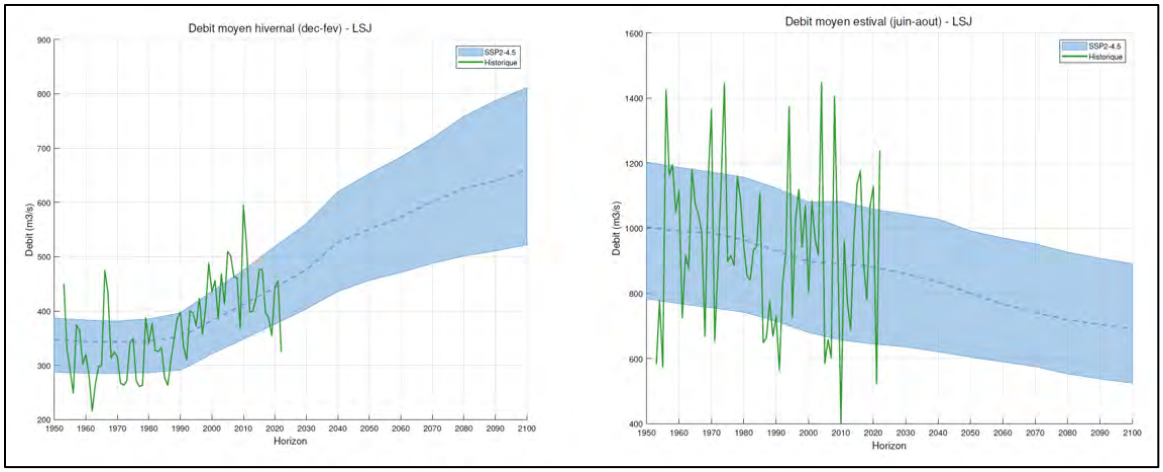


Figure 12 - Évolution du ruissellement moyen hivernal et estival



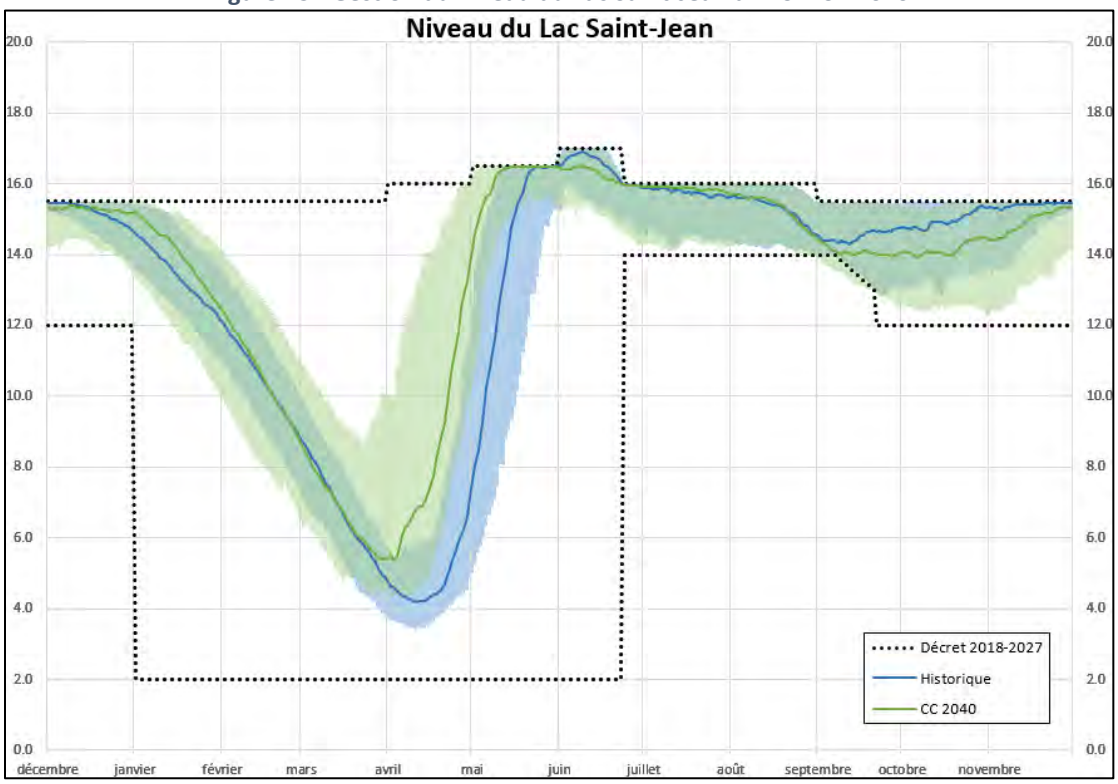
IMPACTS SUR LA GESTION HYDRIQUE

Le cycle hydrologique adapté au climat à l'horizon 2040 a été intégré dans un modèle d'optimisation de la gestion hydrique afin de modéliser le niveau d'eau dans le Lac Saint-Jean entre autres. La Figure 13 présente la comparaison des niveaux du Lac Saint-Jean en climat historique et en climat à l'horizon 2040, avec les limites du scénario de gestion du décret 2018 à 2027. Cette figure présente la gestion médiane, alors qu'il y aura encore de la variabilité naturelle avec des années qui diffèrent du scénario médian. La plage présente l'intervalle 10% à 90% de l'ensemble des simulations.

Les principales modifications de la gestion hydrique à l'horizon 2040 sont les suivants :

- Le niveau minimum (pied de crue printanière) est plus élevé et devancé vu l'augmentation du ruissellement hivernal et la diminution du volume d'eau de fonte ce qui diminue le besoin d'emmagasinement de cette eau;
- La crue printanière est plus hâtive avec l'augmentation des températures donc la température passe au-dessus du point de congélation plus tôt;
- La pointe de crue printanière est atténuée puisque le volume de crue est laminé sur une plus longue période;
- L'étiage estival est plus sévère vu le début hâtif de la période d'été et la diminution du ruissellement estival avec l'augmentation des températures et l'augmentation de l'évapotranspiration ce qui diminue la quantité d'eau disponible pour ruisseler sur le bassin versant;
- L'augmentation du risque de ne pas respecter la limite minimale de gestion pour les périodes estivale et automnale étant donné l'étiage estival plus sévère.

Figure 13 - Gestion du niveau du Lac Saint-Jean à l'horizon 2040

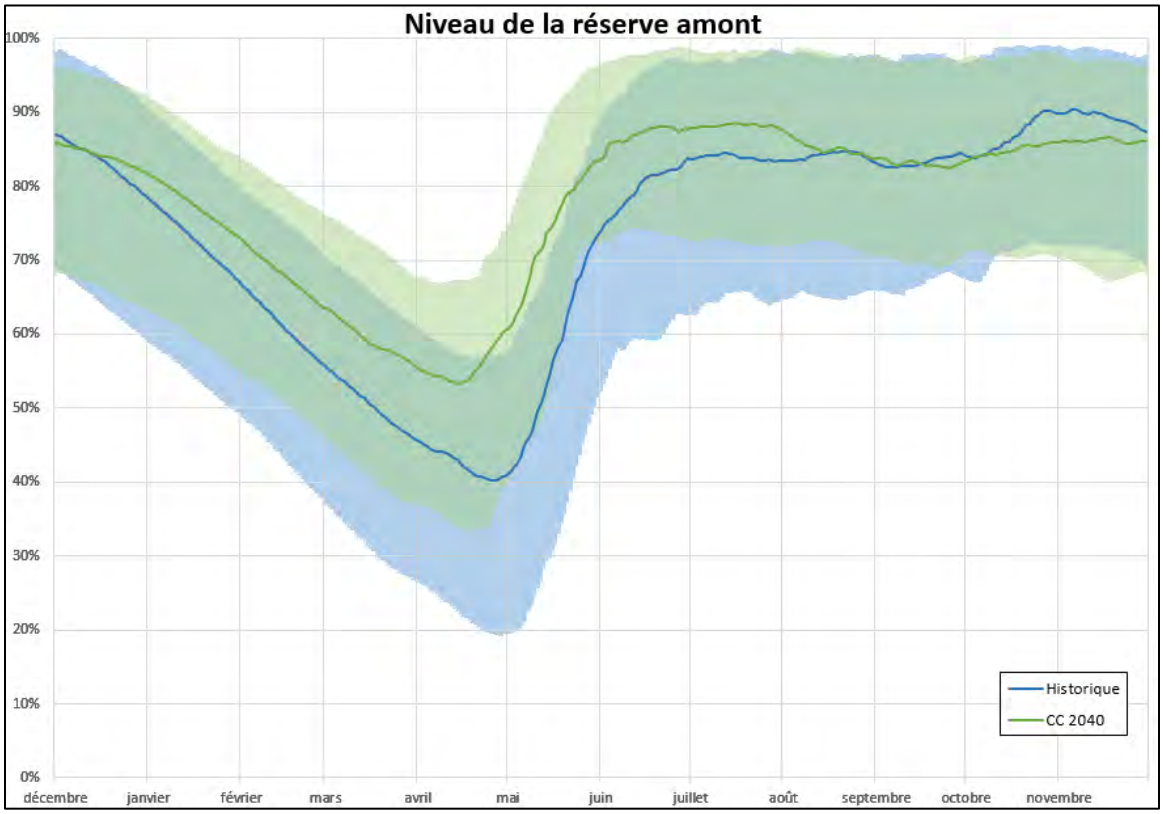


La figure 14, présente un portrait de l'impact des changements climatiques à l'horizon 2040 sur les niveaux du réservoir en amont de la centrale Chute-des-Passes (réserve amont) qui constitue un outil de gestion et de régulation de l'eau acheminée au lac Saint-Jean via la rivière Péribonka.

On peut y voir essentiellement les mêmes constats que pour le lac Saint-Jean, soit une vidange moins prononcée en période hivernale inhérente au redoux, un cycle de remplissage devancé et un prélèvement d'eau plus marquée en été (août – septembre) relatif aux périodes d'étiage plus intense.

Ainsi, pour les grands bassins avec réservoirs, une partie des changements climatiques a pour effet d'apporter un effet s'apparentant à celui d'un réservoir. Cet effet consiste à accumuler de l'eau excédentaire en période de crue ou de fonte des neiges pour la redistribuer à l'hiver suivant ou lors des périodes hydrologiquement faible. Cet effet s'avère donc bénéfique en matière de gestion de l'eau en favorisant un apport d'eau naturelle plus régulier en cours d'année (augmentation du débit en hiver) et en atténuant une partie de la crue de printemps en étalant cette dernière sur une plus grande période (départ hâtif) et en y réduisant le volume de neige à fondre.

Figure 14 - Gestion de la réserve amont à l'horizon 2040



D'un point de vue uniquement hydrologique, une partie du volume d'eau historiquement déversé lors de la crue printanière sera produit pendant la période hivernale vu le décalage la fonte du couvert neigeux pendant l'hiver. Il y a donc une meilleure répartition de l'eau pendant l'année, ce qui est favorable à la production hydroélectrique en hiver et au printemps.

Cependant, la crue printanière plus hâtive et donc, des conditions estivales plus tôt, la diminution du ruissellement en été et en automne ainsi que l'augmentation du risque d'événements extrêmes tels que le verglas et les feux de forêt, peuvent rendre les des périodes estivale et automnale sensibles ou critiques.

Il est important de distinguer le climat et les changements qui y sont apportés d'un événement météo singulier. Le climat se définit sur une longue période, généralement 30 ans, et se veut un portrait de statistiques et de variabilité pour un ensemble paramètres définissant le dit climat (température, précipitation…). La méthode d'intégration des changements climatiques de RTA se veut une approche pour améliorer l'anticipation des masses d'eau saisonnière et les changements liés à la temporalité (ex.

le devancement des crues). La prise en compte et la diligence en gestion opérationnelle de scénarios météos extrêmes associés aux changements climatiques est réalisée à la source par un système en continu et roulant de prévision météo d'ensemble sur un horizon de 14 jours permettant d'adapter la gestion du système hydrique à l'occurrence d'événements dits extrêmes. Cette méthode dépasse du cadre de l'étude d'impact et de l'évaluation des scénarios de gestion et ne fera pas l'objet d'un chapitre détaillé au présent rapport.

Les figures 15 et 16 présentent les enveloppes de projections de niveaux du lac Saint-Jean et de la réserve en amont mais cette fois en y superposant les résultats à l'horizon 2100. Les principaux constats demeurent les mêmes avec cependant une amplification des changements, l'abaissement réduite du niveau minimum, le devancement de la période de remplissage et des niveaux bas à la fin de l'été et à l'automne plus soutenus.

Figure 15 - Gestion du niveau du Lac Saint-Jean à l'horizon 2040 et 2100

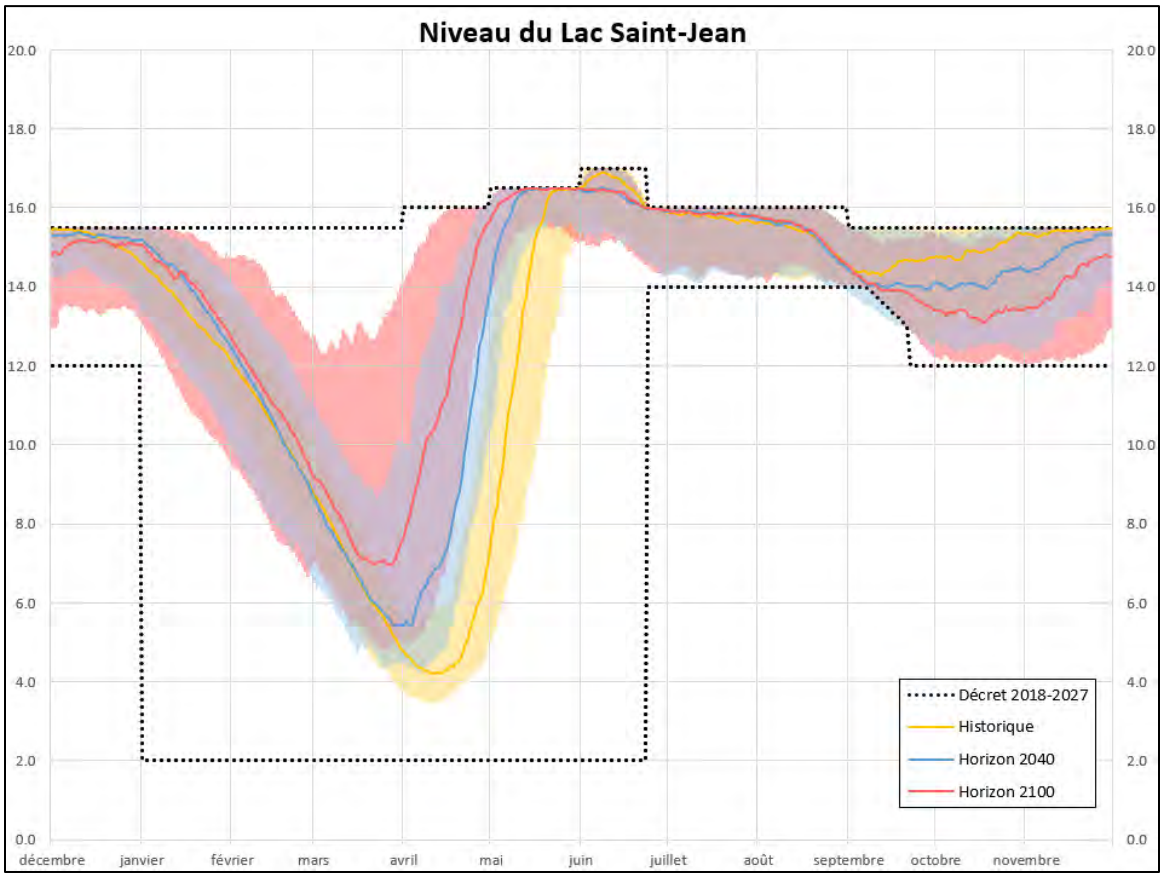
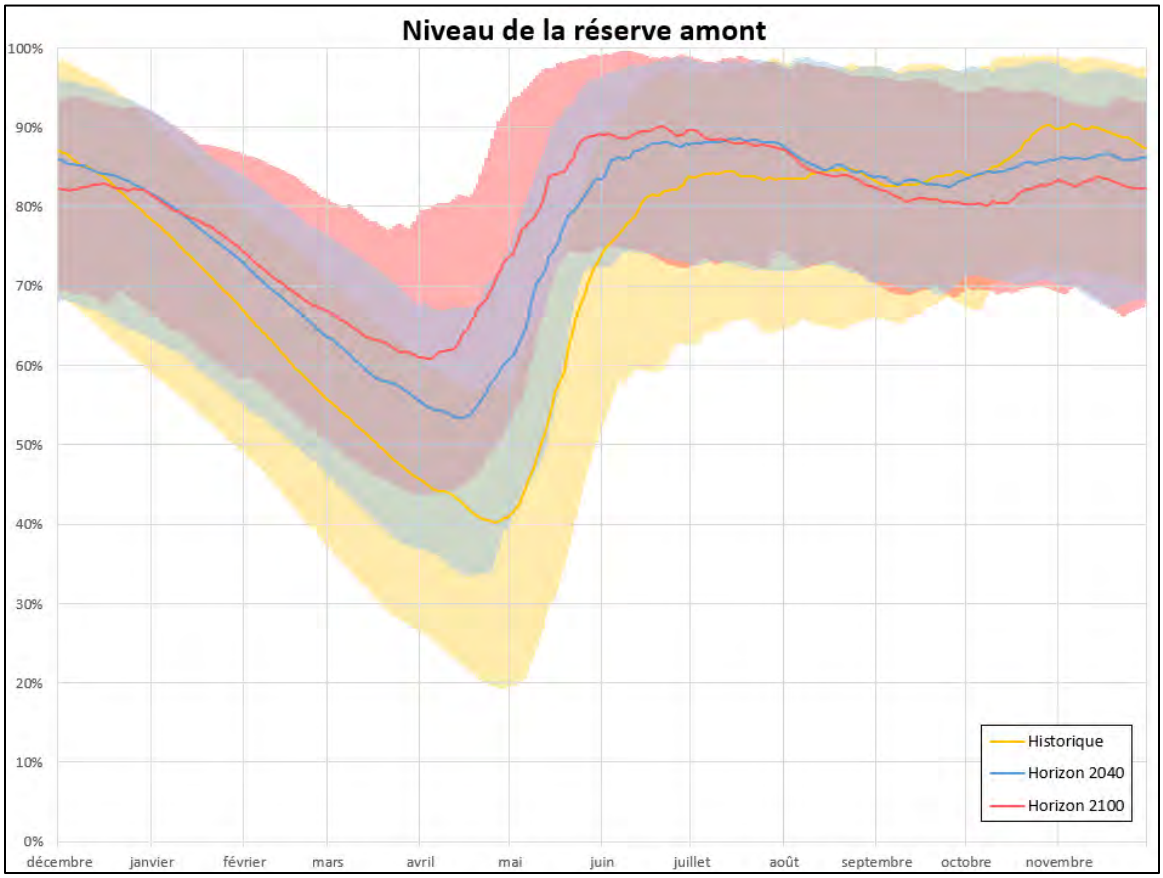


Figure 16 - Gestion de la réserve amont à l'horizon 2040



Cette analyse permet de mettre en lumière des enjeux face à l'évolution du climat. L'approvisionnement hydrologique est par nature très variable, ce qui amène le gestionnaire à devoir s'adapter constamment en vue de respecter un cadre de gestion. Les changements climatiques apportent une variabilité accrue et un changement fonctionnel dans les approvisionnements d'eau. Un redoux hivernal qui pouvait historiquement survenir aux 15 ans est maintenant la normalité et un hiver froid sans fonte demeure toujours possible. Un scénario de gestion du lac Saint-Jean présentant certains degrés de liberté afin de faciliter la gestion serait un outil à privilégier pour renforcer la résilience et performance en développement durable. On parle d'options de niveau plus en harmonie avec les changements ou variations de la chaines d'approvisionnement hydrique. Par exemple, d'avoir des options de gestion du niveau maximal lorsque des redoux hivernaux nécessitent l'ouverture de vannes pour éviter un dépassement de quelques de centimètres lorsque l'érosion n'est pas un enjeu (ceinture de glace sur les berges). Avoir des options de gestion de niveau pour faciliter le maintien au-dessus du minimum estival lors des périodes de sécheresse et d'étiage.

CONCLUSION

La prise en compte des changements climatiques dans l'opération du système hydrique du lac Saint-Jean a constituée un changement important et s'inscrit dans une politique de gestion diligente, plus sécuritaire et plus efficace des plans d'eau. Les méthodes et approches utilisées, résumées au présent rapport, auront permis une plateforme pour évaluer, en tenant compte du climat actuel et son évolution, divers scénarios de gestion. Les résultats générés auront à leur tour permis d'évaluer leur potentiel érosif et un ensemble d'autres variables nécessaires à la matrice d'évaluation basée sur les 3 pôles du développement durable.

La méthode utilisée se veut imparfaite et fait l'objet d'analyse et d'évolution constante. Cependant, une évaluation des scénarios avec une méthode classique basée sur l'historique hydrologique aurait été encore plus imparfaite. Le processus hydrologique est par nature très variable. Cependant, à travers cette grande variabilité, des tendances claires mises en évidence par les projections climatiques et leur intégration permettent un portrait plus clair des défis et enjeux à venir.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Arias, P., Bellouin, N., Coppola, E., Jones, R., Krinner, G., Marotzke, J., ... & Zickfeld, K. (2021). Climate Change 2021: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change; technical summary.

Hausfather, Z. (2019). CMIP6: the next generation of climate models explained, CarbonBrief. Repéré à https://www.carbonbrief.org/cmip6-the-next-generation-of-climate-models-explained/

Lavoie, J., Bourgault, P., Smith, T. J., Logan, T., Leduc, M., Caron, L. P., ... & Braun, M. (2024). An ensemble of bias-adjusted CMIP6 climate simulations based on a high-resolution North American reanalysis. *Scientific Data*, *11*(1), 64.

Meinshausen, M., Nicholls, Z. R., Lewis, J., Gidden, M. J., Vogel, E., Freund, M., ... & Wang, R. H. (2020). The shared socio-economic pathway (SSP) greenhouse gas concentrations and their extensions to 2500. *Geoscientific Model Development, 13*(8), 3571-3605.

Mudelsee, M. (2019). Trend analysis of climate time series: A review of methods. Earth-science reviews, 190, 310-322.

Seiller, G. (2016). *Impact des changements climatiques sur les régimes hydriques du Saguenay-Lac Saint-Jean.*

ANNEXE

A5-2 *Étude de résilience aux changements climatiques*

Confidentiel

Rio Tinto Alcan inc.

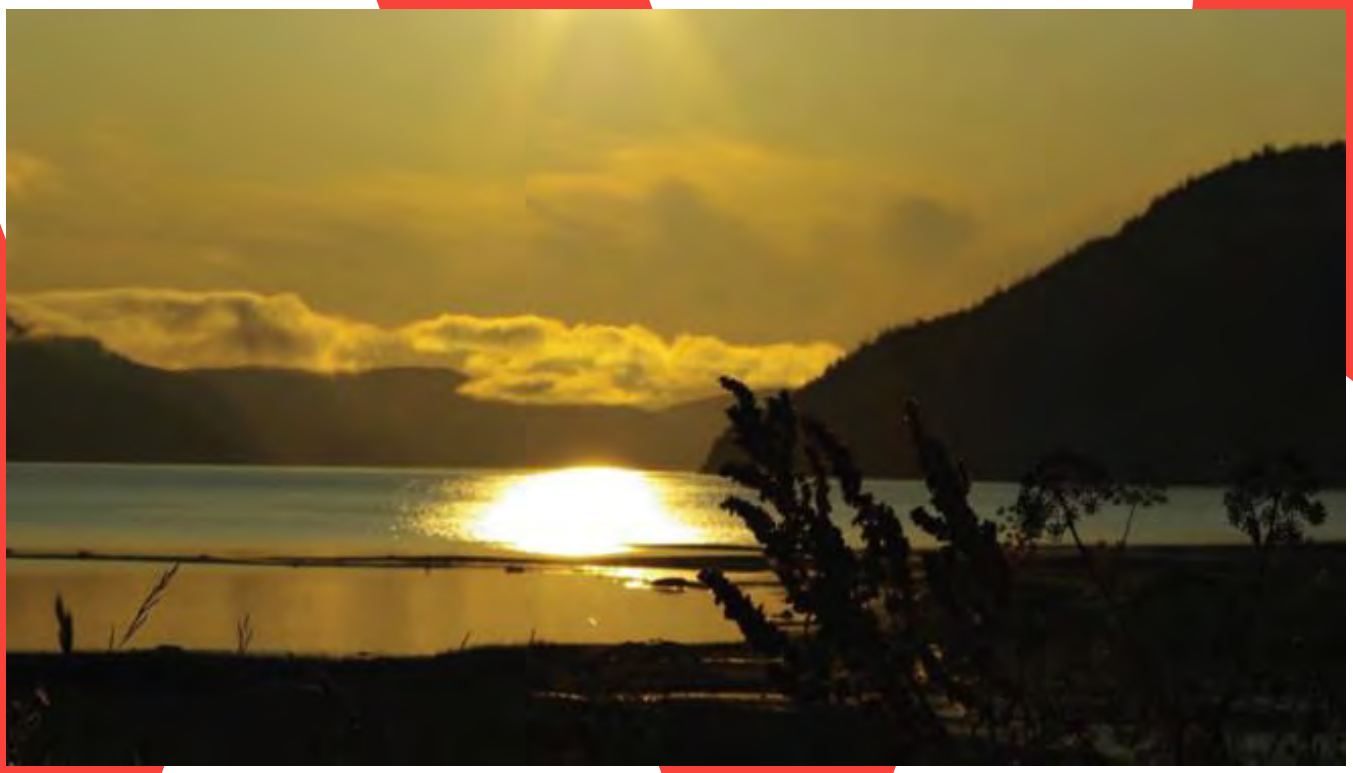
Étude d’impact sur l’environnement – Programme de gestion de l’érosion des plages et des berges du lac Saint-Jean 2028-2037

Étude de résilience aux changements climatiques

NOVEMBRE 2025

Référence WSP : CA0023135.4873

Version finale



RIO TINTO ALCAN INC.

ÉTUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT – PROGRAMME DE GESTION DE L'ÉROSION DES PLAGES ET DES BERGES DU LAC SAINT-JEAN 2028-2037

ÉTUDE DE RÉSILIENCE AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES

VERSION FINALE
CONFIDENTIEL

RÉFÉRENCE WSP : CA0023135.4873

NOVEMBRE 2025

WSP CANADA INC.
1135, BOULEVARD LEBOURGNEUF
QUÉBEC (QUÉBEC) G2K 0M5
CANADA

TÉLÉPHONE : +1-418-623-2254
TÉLÉCOPIEUR : +1-418-624-1857

WSP.COM

SIGNATURES

PRÉPARÉ PAR

Stephanie Greenough, ing.
Conseillère – Risques climatiques et résilience

26 novembre 2025
Date

RÉVISÉ PAR

Nicolas Sbarrato, ing., M. Sc., PMP®
Conseiller responsable – Risques climatiques et résilience

26 novembre 2025
Date

LIMITATIONS

WSP Canada Inc. (« WSP ») a préparé ce rapport uniquement pour son destinataire Rio Tinto Alcan inc., conformément à la convention de consultant convenue entre les parties. Advenant qu'une convention de consultant n'ait pas été exécutée, les parties conviennent que les Modalités générales à titre de consultant de WSP régiront leurs relations d'affaires, lesquelles vous ont été fournies avant la préparation de ce rapport.

Ce rapport est destiné à être utilisé dans son intégralité. Aucun extrait ne peut être considéré comme représentatif des résultats de l'évaluation.

Les conclusions présentées dans ce rapport sont basées sur le travail effectué par du personnel technique, entraîné et professionnel, conformément à leur interprétation raisonnable des pratiques d'ingénierie et techniques courantes et acceptées au moment où le travail a été effectué.

Le contenu et les opinions exprimées dans le présent rapport sont basés sur les observations et/ou les informations à la disposition de WSP au moment de sa préparation, en appliquant des techniques d'investigation et des méthodes d'analyse d'ingénierie conformes à celles habituellement utilisées par WSP et d'autres ingénieurs/techniciens travaillant dans des conditions similaires, et assujettis aux mêmes contraintes de temps, et aux mêmes contraintes financières et physiques applicables à ce type de projet.

WSP dénie et rejette toute obligation de mise à jour du rapport si, après la date du présent rapport, les conditions semblent différer considérablement de celles présentées dans ce rapport; cependant, WSP se réserve le droit de modifier ou de terminer ce rapport sur la base d'informations, de documents ou de preuves additionnels.

WSP ne fait aucune représentation relativement à la signification juridique de ses conclusions.

La divulgation de tout renseignement faisant partie du présent rapport relève uniquement de la responsabilité de son destinataire. Si un tiers utilise, se fie, ou prend des décisions ou des mesures basées sur ce rapport, ledit tiers en est le seul responsable. WSP n'accepte aucune responsabilité quant aux dommages que pourrait subir un tiers suivant l'utilisation de ce rapport ou quant aux dommages pouvant découler d'une décision ou mesure prise basée sur le présent rapport.

WSP a exécuté ses services offerts au destinataire de ce rapport conformément à la convention de consultant convenue entre les parties tout en exerçant le degré de prudence, de compétence et de diligence dont font habituellement preuve les membres de la même profession dans la prestation des mêmes services ou de services comparables à l'égard de projets de nature analogue dans des circonstances similaires. Il est entendu et convenu entre WSP et le destinataire de ce rapport que WSP n'offre aucune garantie, expresse ou implicite, de quelque nature que ce soit. Sans limiter la généralité de ce qui précède, WSP et le destinataire de ce rapport conviennent et comprennent que WSP ne fait aucune représentation ou garantie quant à la suffisance de sa portée de travail pour le but recherché par le destinataire de ce rapport.

En préparant ce rapport, WSP s'est fié de bonne foi à l'information fournie par des tiers, comme indiqué dans le rapport. WSP a raisonnablement présumé que les informations fournies étaient correctes et WSP ne peut donc être tenu responsable de l'exactitude ou de l'exhaustivité de ces informations.

Les bornes et les repères d'arpentage utilisés dans ce rapport servent principalement à établir les différences d'élévation relative entre les emplacements de prélèvement et/ou d'échantillonnage et ne peuvent servir à d'autres fins. Notamment, ils ne peuvent servir à des fins de nivelage, d'excavation, de construction, de planification, de développement, etc.

L'original du fichier électronique que nous vous transmettons sera conservé par WSP pour une période minimale de dix ans. WSP n'assume aucune responsabilité quant à l'intégrité du fichier qui vous est transmis et qui n'est plus sous le contrôle de WSP. Ainsi, WSP n'assume aucune responsabilité quant aux modifications faites au fichier électronique suivant sa transmission au destinataire.

Ces limitations sont considérées comme faisant partie intégrante du présent rapport.

CLIENT

RIO TINTO ALCAN INC.

Conseillère séniore	Caroline Jolette

ÉQUIPE DE RÉALISATION

WSP CANADA INC. (WSP)

Chargé de projet et conseiller Risques climatiques et résilience	Nicolas Sbarrato
Directrice technique Risques climatiques et résilience	Virginia Sarrazin
Conseillère Risques climatiques et résilience	Stephanie Greenough
Spécialiste milieu biologique	Luc Bouchard
Spécialiste Érosion et solutions	Justin McKibbon (LaSalle)
Édition	Nancy Laurent, DEC, adjointe administrative

RÉFÉRENCE À CITER

WSP. 2025. *Étude d'impact sur l'environnement – Programme de gestion de l'érosion des plages et des berges du lac Saint-Jean 2028-2037. Étude de résilience aux changements climatiques.* . Rapport produit pour Rio Tinto Alcan inc.. Référence WSP : CA0023135.4873. 60 pages et annexes.

SOMMAIRE

Une étude d'impact sur l'environnement (ÉIE) du **Programme de gestion de l'érosion des plages et des berges du lac Saint-Jean de 2028 à 2037** (le « Programme ») est en cours. Le Programme est encadré par un décret du gouvernement du Québec, qui précise notamment les paramètres d'intervention pour les travaux de protection de berges et de plages du lac Saint-Jean. Le décret actuel arrive à échéance en décembre 2027. L'étude d'impact sur l'environnement est donc réalisée dans le contexte de la demande de renouvellement planifiée pour la période 2028-2037. La Directive reçue du ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs (MELCCFP) demande une prise en compte des changements climatiques. Ce rapport vise donc à présenter la méthodologie et les résultats obtenus dans le cadre de l'étude de résilience climatique.

Cette étude de résilience climatique évalue les risques et la vulnérabilité liés aux changements climatiques du Programme selon les exigences du MELCCFP et de la lettre transmise le 14 février 2025 concernant la modification de la méthodologie pour l'appréciation et le traitement des risques liés aux changements climatiques pour la réalisation d'études d'impacts[1]. Les activités liées au mandat seront alignées avec les recommandations des normes ISO 31000:2018 *Management du risque – Lignes directrices* et ISO14091:2021 *Adaptation aux changements climatiques – Lignes directrices sur la vulnérabilité*. La méthodologie suit également les recommandations du Guide pour les organismes municipaux d'Ouranos et du MELCCFP intitulé « Élaborer un plan d'adaptation aux changements climatiques » (Ouranos et MELCCFP, 2024) et de celles du document du MELCCFP intitulé « Les changements climatiques et l'évaluation environnementale : Guide à l'intention de l'initiateur de projet » (MELCC, 2021).

Sur la base des données recueillies, la présente étude établit la portée du projet, les tendances climatiques et les risques associés. Elle se concentre sur l'influence des changements climatiques prévus sur les composantes du Programme, à savoir : 1) les approches de gestion de l'érosion; 2) le mécanisme de participation du milieu; 3) le Programme de contrôle et de suivi. L'étude s'intéresse également aux mesures d'adaptation pertinentes aux risques identifiés.

Le cadre conceptuel utilisé est basé sur le sixième rapport du Groupe intergouvernemental d'experts sur l'évolution du climat (GIEC), selon lequel le risque est défini comme le produit de la probabilité d'observer des impacts liés au climat et de la sévérité des conséquences de ces impacts (GIEC, 2021). Il est à noter que cette étude n'aborde pas les effets des changements climatiques sur le scénario de gestion des niveaux d'eau du lac Saint-Jean qui est abordé dans le chapitre 7 de l'ÉIE.

L'étude examine les interactions entre dix (10) aléas climatiques et trois (3) groupes de composantes du Programme, soit les ouvrages de protection contre l'érosion (infrastructures grises, infrastructures écologiques, secteurs non protégés et inclus dans le Programme), l'environnement naturel (milieux humides et hydriques couverts par le Programme) et les activités et travaux (opérations de construction, opérations de contrôle et de suivi). Douze (12) impacts ont été identifiés et évalués pour leur niveau de risque. Les projections climatiques ont été extraites pour le

[1] Il est à noter que cette lettre annonce une modification de la méthodologie dont les détails n'ont pas été partagés au moment de ce rapport. Néanmoins, WSP a été en contact avec certaines personnes à la Direction de l'adaptation aux changements climatiques du MELCCFP qui ont confirmé que cette modification n'affectait pas de manière significative l'approche utilisée par WSP.

court terme (2028-2057), le moyen terme (2050-2079) et le long terme (2071-2100), selon deux (2) scénarios d'émissions (SSP2-4,5 et SSP5,-8,5) tel que recommandé par le Guide d'Ouranos afin de « tenir compte d'une grande partie de l'éventail possible des projections climatiques » (Ouranos, 2024). Les horizons temporels ont été choisis en consultation avec RTA afin de tenir compte de l'horizon temporel du prochain décret, la durée de vie des infrastructures déjà en place et la durée de vie des infrastructures qui seront mises en place dans le prochain décret. Pour comprendre les changements climatiques, la période historique (1991-2020) a été utilisée comme référence de base.

Principaux risques et mesures d'adaptation proposées

Les résultats de l'étude démontrent que les scores de risque (avant application des mesures d'adaptation) restent constants, quels que soient l'horizon temporel et le scénario d'émission, comme démontré dans le profil de risque ci-dessous.

Niveau de risque	Nombre d'impacts					
	SSP2-4,5			SSP5-8,5		
	2028-2057	2050-2079	2071-2100	2028-2057	2050-2079	2071-2100
Classe I	5	5	5	5	5	5
Classe II	5	5	5	5	5	5
Classe III	1	1	1	1	1	1
Classe IV	0	0	0	0	0	0
Opportunité	1	1	1	1	1	1

Les niveaux de risques se définissent comme suit :

Niveau de risque	Description
Classe I	Les risques se situent en dessous du seuil de tolérance et ne nécessitent pas de gestion active.
Classe II	Les risques atteignent le seuil de tolérance et nécessitent une vigilance active.
Classe III	Les risques dépassent le seuil de tolérance et nécessitent une gestion proactive.
Classe IV	Les risques dépassent de beaucoup le seuil de tolérance et nécessitent une attention urgente et immédiate.

Résumé des risques classe II et classe III :

- Les redoux hivernaux, la pluie et les niveaux du lac Saint-Jean affectent les opérations de construction sur l'ensemble des sites d'intervention. Les redoux hivernaux ou les conditions météorologiques extrêmes peuvent occasionner une suspension des travaux pendant quelques jours. L'abaissement plus tardif des niveaux d'eau à l'hiver, combiné à une période de dégel plus hâtive au printemps, peut raccourcir de plusieurs jours, voire quelques semaines, la fenêtre de temps disponible pour réaliser les travaux puisque les travaux se font principalement en période hivernale lors de l'abaissement des niveaux du lac Saint-Jean (classe III).

- Certains événements extrêmes, combinés ou pas, pourraient détruire ou endommager certains végétaux des infrastructures écologiques, des milieux humides et hydriques sensibles de l'habitat en général ou associés à des travaux de protection de berge ou à des aménagements fauniques (classe II).
- Les secteurs non protégés et inclus dans le Programme sont proportionnellement plus vulnérables et moins résilients aux aléas extrêmes et imprévus que les secteurs protégés (classe II). Malgré la faible augmentation attendue du potentiel érosif (1 à 7 %), les éventements ponctuels extrêmes pourraient occasionner des dommages modérés aux secteurs non protégés et pourraient nécessiter une addition au budget d'opération et de maintenance planifié (travaux d'urgence). L'érosion pourrait affecter des secteurs sensibles qui pourrait occasionner un enjeu auprès des communautés (stress, augmentation des échanges, etc.).
- Certains événements extrêmes, combinés ou pas, pourraient détruire ou endommager certains végétaux des milieux humides et hydriques sensibles de l'habitat en général ou associés à des travaux de protection de berge ou à des aménagements fauniques (classe II).
- Le potentiel érosif pourrait détruire la végétation stabilisatrice des berges, compromettant la résistance à l'érosion en général et dans les secteurs de travaux de protection, et pourrait détruire la végétation associée à des aménagements fauniques (classe II)
- Les changements climatiques rendront les événements plus extrêmes en termes de fréquence et d'intensité et peuvent causer l'imprévisibilité des saisons d'activités de contrôle et de suivi. Les conditions météorologiques extrêmes peuvent occasionner une suspension ou un report des inventaires de terrain pendant quelques jours. L'impact des changements climatiques peut affecter les périodes pendant lesquels les suivis doivent être réalisés (devancer ou retarder) (classe II).
- Les changements climatiques devraient engendrer un allongement de la saison estivale ce qui représente une opportunité pour la planification des opérations de contrôle et de suivi.

Résumé des mesures d'adaptation recommandées :

- Exiger au devis des critères de qualité des pierres pour privilégier des lithologies et des propriétés mécaniques adaptées en termes de résistance aux cycles de gel-dégel.
- Privilégier des aménagements et des matériaux flexibles et résilients aux cycles de gel-dégel (p. ex. empierrements semi-statiques, techniques mixtes, perrés avec pentes adoucies).
- Prévoir des inspections terrain extraordinaires dans les secteurs sensibles connus en cas d'événements extrêmes atypiques.
- Assurer une vigilance particulière des infrastructures écologiques lors des survols et inspections de terrain annuels, advenant l'occurrence d'événements extrêmes atypiques dans le cas où les végétaux jouent un rôle important dans l'intégrité structurale des ouvrages de protection.
- Si la perte des végétaux menace l'intégrité structurale des ouvrages de protection des berges, remplacer les végétaux morts.
- Selon « l'exceptionnalité » de l'événement, réévaluer le type de solution utilisée pour protéger la berge (augmenter le niveau de robustesse et résilience, gestion adaptative, migrer vers des ouvrages mixtes, etc.).
- Prévoir une inspection des infrastructures écologiques après le passage d'un feu de forêt (le cas échéant).
- Documenter les zones non protégées et le niveau de vulnérabilité (exposition, infrastructures à risque, etc.), et mettre à jour aux 3 à 5 ans.

- Adapter le programme de suivi des conditions érosives pour s'assurer de caractériser les sollicitations dans les secteurs sensibles.
- Considérer le risque aux opérations de construction en amont (nécessité de modifier le calendrier des travaux selon la fenêtre anticipée pour la réalisation de travaux) dans le processus de conception et planification des travaux (inclure dans la revue de constructibilité).
- Faire une revue périodique des normes de Santé, Sécurité, Environnement et Communautés (SSEC) pour ajuster les plans de travail spécifiques (PTS) aux nouveaux risques émergents.
- Prévoir des délais appropriés dans le calendrier des travaux pour imprévus/intempéries.
- Prévoir avec les entrepreneurs retenus des mesures permettant d'accélérer le calendrier des travaux, si requis (p. ex. équipes doubles, heures de travail prolongées, travail les fins de semaine, etc.).
- Prévoir des mesures d'atténuation pour prolonger les travaux pendant la période de dégel au printemps (p. ex. devancer le transport des matériaux avant le dégel et entreposer sur le site, effectuer le transport avec charges réduites pendant la période de dégel, protéger les chemins d'accès à la berge pendant le dégel et prévoir des travaux de remise en état plus substantiels, prévoir des accès alternatifs plus résilients aux intempéries, etc.).
- Adapter la programmation des travaux à la capacité de la main-d'œuvre et la fenêtre de temps disponible (reporter les travaux moins urgents à l'année suivante, prévoir des aménagements de protection temporaire, etc.).
- Prévoir la réalisation des travaux à d'autres moments de l'année (p. ex. plus tôt à l'automne) et possiblement avec d'autres méthodes de travail et des mesures d'atténuation supplémentaires.

Les études de résilience doivent être considérées comme un processus continu. Il est donc recommandé que RTA réexamine périodiquement les vulnérabilités, les risques et les mesures de contrôle présentés dans ce rapport à mesure que de nouvelles informations sont disponibles.

TABLE DES MATIÈRES

1 Introduction 1
1.1 Contexte 1
1.2 Objectifs 1
1.3 Approche méthodologique 2

2 Étape 1 – Démarrage de l'étude de résilience 5

3 Étape 2 – Établissement des objectifs, de la portée et du cadrage de la démarche 7
3.1 Objectifs 7
3.2 Composantes 7
3.3 Aléas et indicateurs climatiques 10
3.4 Horizons temporels 11
3.5 Scénarios d'émissions 11
3.6 Échelles d'analyse 12
3.6.1 Vulnérabilité 12
3.6.2 Vraisemblance de l'aléa 14
3.6.3 Vraisemblance de l'impact 14
3.6.4 Conséquence 15
3.6.5 Risque 15

4 Étape 3 – Analyse de l'exposition 17
4.1 Identification des impacts 17
4.2 Projections climatiques 17
4.2.1 Méthodologie 17
4.2.2 Analyse du climat 24

5 Étape 4 – Analyse de la vulnérabilité et de la vraisemblance de l'impact 35
5.1 Analyse de la vulnérabilité 35
5.2 Scores de vraisemblance des aléas 41
5.3 Analyse de la vraisemblance de l'impact 42

6 Étape 5 – Analyse des risques 45
6.1 Profil de risque par niveau 45
6.2 Profil de risque par composante 46
6.2.1 Infrastructures grises 48
6.2.2 Infrastructures écologiques 48
6.2.3 Secteurs non protégés 49
6.2.4 Milieux humides et hydriques 49

6.2.5 Opérations de construction 49
6.2.6 Opérations de contrôle et de suivi 50

7 Étape 6 – Traitement des risques climatiques 51

8 Conclusion 57

Références bibliographiques 59

Tableaux

Tableau 1 Composantes retenues pour l'étude de résilience 8
Tableau 2 Aléas et indicateurs climatiques pertinents 10
Tableau 3 Horizons temporels de l'étude de résilience 11
Tableau 4 Matrice d'évaluation de la vulnérabilité 13
Tableau 5 Échelles de vraisemblance de l'aléa utilisées 14
Tableau 6 Matrice d'évaluation de la vraisemblance de l'impact 15
Tableau 7 Matrice d'évaluation du risque 16
Tableau 8 Interactions composante-aléa climatique identifiées avec description de l'impact potentiel 19
Tableau 9 Changements projetés de la température de surface mondiale par rapport à 1850-1900 21
Tableau 10 Changements projetés de température 27
Tableau 11 Changements projetés dans les précipitations 27
Tableau 12 Changements projetés de la vitesse soutenue du vent 33
Tableau 13 Changements prévus de la pluie verglaçante 33
Tableau 14 Changements projetés du potentiel érosif 33
Tableau 15 Changements projetés des feux de forêt 33
Tableau 16 Changements projetés du nombre d'impacts d'éclairs 33
Tableau 17 Score et justification de vulnérabilité pour chaque impact potentiel identifié 37
Tableau 18 Scores de vraisemblance de l'aléa climatique 41
Tableau 19 Mesures d'adaptation 53

Figures

Figure 1	Diagramme des étapes méthodologiques	3
Figure 2	Représentation des changements de température à la surface du globe (par rapport aux niveaux préindustriels) selon quatre scénarios d'émissions basés sur les SSP	18
Figure 3	Vingt cellules de grille utilisées pour caractériser les températures, les précipitations, les vents	22
Figure 4	Huit cellules de grille utilisées pour caractériser la pluie verglaçante	23
Figure 5	Quatre cellules de grille utilisées pour caractériser les feux de forêt	24
Figure 6	Nombre de risques par niveau de risque et par horizon temporel pour le scénario d'émission SSP2-4,5	45
Figure 7	Nombre de risques par niveau de risque et par horizon temporel pour le scénario d'émission SSP5-8,5	46
Figure 8	Nombre de risques par composante pour le scénario SSP2-4,5	47
Figure 9	Nombre de risques par composante pour le scénario SSP5-8,5	47

Annexes

A **Note technique potentiel érosif**

B **Analyse statistique des données climatiques**

C **Registre de risque**

ABRÉVIATIONS ET GLOSSAIRE

Abréviations

CAPE	Énergie potentielle disponible convective
CMIP5	Phase 5 du projet d'inter-comparaison de modèles couplés
CMIP6	Phase 6 du projet d'inter-comparaison de modèles couplés
CRM5	Modèle climatique régional canadien, version 5
CVE	Composantes valorisées de l'environnement
ECCC	Environnement et Changement climatique Canada
ÉIE	Étude d'impact sur l'environnement
ESCER	Centre d'étude et de simulation du climat à l'échelle régionale
GES	Gaz à effet de serre
GIEC	Groupe intergouvernemental d'experts sur l'évolution du climat
IFM	Indice forêt-météo
MCG	Modèles climatiques mondiaux
MELCCFP*	Ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs
NHC	Northwest Hydraulic Consultants
O&M	Opérations et maintenance
PCIC	Pacific Climate Impacts Consortium
Programme	Programme de gestion de l'érosion des plages et des berges du lac Saint-Jean de 2028 à 2037
PTS	Plans de travail spécifiques
RCP	Représentatifs d'évolution de concentration

RTA	Rio Tinto Aluminium
SSEC	Santé, Sécurité, Environnement et Communautés
SSP	Trajectoires socio-économiques partagées

* Par le passé, ce ministère a été désigné par les différentes appellations suivantes :
Ministère de l'Environnement (MENVIQ; 1974 - 1994);
Ministère de l'Environnement et de la Faune (MEF; 1994 - 1998);
Ministère de l'Environnement (MENV; 1998 - 2005);
Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP; 2005 - 2012);
Ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs (MDDEFP; 2012 - 2014);
Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC; 2014 - 2018);
Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC; 2018 - 2022).

Glossaire

Adaptation	Processus d'ajustement au climat actuel ou futur et à ses conséquences. Dans la société actuelle et pour les projets d'infrastructure, l'adaptation vise généralement à atténuer ou à éviter les dommages, ou à exploiter les possibilités offertes par le changement climatique. Dans certains écosystèmes, l'intervention humaine peut faciliter l'adaptation.
Aléa climatique	Événement climatique ou d'origine climatique, tel qu'une tempête, une sécheresse ou une inondation, qui a une probabilité plus ou moins élevée de se produire et peut causer des dommages aux populations, aux biens et aux milieux.
Capacité d'adaptation	Le potentiel ou la capacité d'un système, d'une région ou d'une communauté à s'adapter aux effets ou aux impacts du changement climatique. Le renforcement de la capacité d'adaptation représente un moyen pratique de faire face aux changements et aux incertitudes climatiques, y compris la variabilité et les extrêmes (GIEC, 2021).
Changement climatique	Tout changement significatif à long terme des tendances attendues des conditions météorologiques moyennes d'une région sur une période significative, généralement sur une moyenne d'au moins 30 ans.
Climat	Les conditions météorologiques qui prévalent dans une région en général sur une longue période, généralement un minimum de 30 ans. Le climat diffère de la météo en ce sens que la météo reflète les conditions atmosphériques à court terme (minute, heure, jour, semaine, saison) et n'indique pas les tendances à long terme.
Conséquence	Mesure représentant le niveau de dommage potentiel qu'un impact sélectionné aura sur le projet.
Données historiques	Données collectées par les stations météorologiques disponibles à proximité d'un lieu spécifique au cours d'une période donnée.
Échelle de risque	L'évaluation du niveau de risque au moyen d'une échelle prédéfinie.
Impact	Effet des conditions météorologiques extrêmes, des aléas climatiques extrêmes et du changement climatique sur l'environnement humain, l'économie et l'environnement. Un impact fait généralement référence aux effets sur la vie, les moyens de subsistance, la santé, les écosystèmes, les économies, les sociétés, les cultures, les services et les infrastructures causés par l'interaction entre le changement climatique ou les aléas et la vulnérabilité d'une société ou d'un système exposé.
Infrastructure écologique	Solution d'ingénierie végétale de protection des berges.
Infrastructure grise	Solutions d'ingénierie traditionnelle de protection des berges.
Interaction	Présence de personnes, moyens de subsistance, actifs, services, ressources ou infrastructures en place dans une région spécifique qui pourraient être affectés par le changement climatique.

Modèle climatique global	Programmes informatiques complexes couramment utilisés pour simuler l'atmosphère ou l'océan de la Terre et projeter les tendances climatiques à l'échelle mondiale. Les modèles mathématiques sont basés sur la circulation générale de l'atmosphère planétaire et appliquent la thermodynamique pour calculer le rayonnement et la chaleur latente afin d'établir un bilan de masse et d'énergie à l'échelle mondiale.
Niveau de confiance	Les niveaux de confiance (de très faible à très élevé) augmentent à mesure que les preuves décrites deviennent plus solides et que l'accord scientifique augmente. Lorsqu'un grand nombre de modèles s'accordent sur une tendance ou une ampleur, on peut être certain que l'effet n'est pas le résultat d'un biais du modèle, mais qu'il s'agit d'une caractéristique physique réelle. Les preuves sont plus solides si elles sont basées sur des recherches multiples, cohérentes et indépendantes de haute qualité. Le degré d'accord scientifique est plus élevé si les preuves présentées sont bien établies dans la communauté scientifique, plutôt que basées sur des résultats concurrents ou spéculatifs.
Potentiel érosif	Combinaison d'effets du régime de tempête, du couvert de glace et du niveau d'eau du lac Saint-Jean ayant pour effet l'érosion des berges.
Projection climatique	Évaluation de l'état du système climatique à une période future prédéfinie (à ne pas confondre avec les prévisions météorologiques).
Résilience	La capacité d'un système à absorber les perturbations tout en conservant la même structure de base et les mêmes modes de fonctionnement.
Risque	Produit de la probabilité d'observer des impacts liés au climat et de la sévérité des conséquences de ces impacts.
Scénario	Représentation plausible du climat futur, basée sur un ensemble cohérent d'hypothèses concernant les principales forces motrices (p. ex. le taux d'évolution technologique et les prix) et les relations. Les scénarios sont utilisés comme données d'entrée dans les modèles climatiques pour déterminer les projections climatiques futures.
Sensibilité	Mesure représentant le degré auquel un système est affecté de manière défavorable ou favorable par un danger ou par le changement climatique. Son effet peut être direct (p. ex. une modification du rendement des cultures en réponse à un changement de température) ou indirect (p. ex. les dommages causés par une augmentation de la fréquence des inondations fluviales en raison de l'élévation du niveau de la mer).
Vraisemblance	Mesure représentant la vraisemblance qu'un événement se produise. Dans cette étude, deux vraisemblances distinctes sont examinées : la vraisemblance qu'un aléa climatique se produise au cours d'une période donnée (sur la base de données historiques et de projections climatiques) et la vraisemblance que cet aléa ait un impact sur le projet (sur la base du niveau de vulnérabilité du projet).
Vulnérabilité	Une mesure selon laquelle un service ou un actif peut faire face à un impact du changement climatique donné. La vulnérabilité est fonction du caractère, de l'ampleur et du taux des variations climatiques auxquelles un système est exposé, de sa sensibilité et de sa capacité d'adaptation.

1 Introduction

1.1 Contexte

Rio Tinto Aluminium (RTA) a mandaté WSP afin de fournir des services professionnels pour réaliser l'étude d'impact sur l'environnement (ÉIE) du Programme de gestion de l'érosion des plages et des berges du lac Saint-Jean de 2028 à 2037 (le Programme). Le Programme est régi par un décret du gouvernement du Québec, qui précise notamment les paramètres d'intervention pour les travaux de protection de berges et de plages du lac Saint-Jean. Le décret actuel arrive à échéance en décembre 2027. L'étude d'impact sur l'environnement est donc réalisée dans le contexte de la demande de renouvellement planifiée pour la période 2028-2037.

La Directive reçue du ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs (MELCCFP) demande une prise en compte des changements climatiques. Ce rapport vise donc à présenter la méthodologie et les résultats obtenus dans le cadre de l'étude de résilience climatique.

1.2 Objectifs

L'objectif général de la présente étude est d'appliquer une méthodologie d'évaluation des risques liés aux changements climatiques afin d'évaluer les vulnérabilités et les risques aux changements climatiques du Programme selon les exigences du MELCCFP et de la lettre transmise le 14 février 2025 concernant la modification de la méthodologie pour l'appréciation et le traitement des risques liés aux changements climatiques pour la réalisation d'études d'impacts[2]. La méthodologie retenue est basée sur les lignes directrices et les bonnes pratiques reconnues aux niveaux national et international. Notamment, les activités liées au mandat seront alignées avec les recommandations des normes ISO 31000:2018 *Management du risque – Lignes directrices* et ISO14091:2021 *Adaptation aux changements climatiques – Lignes directrices sur la vulnérabilité*. La méthodologie suit également les recommandations du Guide pour les organismes municipaux d'Ouranos MELCCFP « Élaborer un plan d'adaptation aux changements climatiques » (Ouranos et MELCCFP, 2024) et de celles du document du MELCCFP « Les changements climatiques et l'évaluation environnementale : Guide à l'intention de l'initiateur de projet » (MELCC, 2021). Plus précisément, les objectifs spécifiques de ce rapport sont :

- d'identifier et évaluer les différents risques associés aux changements climatiques pour toutes les composantes du Programme, pendant la durée de vie des ouvrages;
- d'identifier les mesures d'adaptation pour atténuer les risques identifiés.

Il est à noter que la présente étude se base sur la sélection d'indicateurs climatiques et de description de projections climatiques adaptées au niveau de détail requis pour évaluer la résilience du Programme. Ainsi, la mise en évidence d'une tendance d'un aléa climatique pour une zone précise pour un scénario donné à un horizon particulier ne nécessite pas le même niveau d'analyse et de représentativité. L'une, comme dans le présent rapport, sert de guide

[2] Il est à noter que cette lettre annonce une modification de la méthodologie dont les détails n'ont pas été partagés au moment de ce rapport. Néanmoins, WSP a été en contact avec certaines personnes à la Direction de l'adaptation aux changements climatiques du MELCCP qui ont confirmé que cette modification n'affectait pas de manière significative l'approche utilisée par WSP.

dans le cadre d'une étude de risque et de résilience tandis que l'autre, nécessitant une précision et analyse de biais accrue, présentée au rapport de RTA (chapitre 6), se veut une méthode pour le développement d'outils d'aide à la décision quotidienne de l'opération du système hydrique de RTA, en plus d'un outil en continu d'anticipation et de prévisions moyen long terme.

1.3 Approche méthodologique

La méthodologie suit six (6) grandes étapes listées ci-dessous et décrites plus en détail dans la figure 1 et les sections subséquentes :

- **Étape 1 : Démarrage de l'étude de résilience.** Cette première étape permet à l'équipe de se familiariser avec le projet en examinant la documentation fournie.
- **Étape 2 : Établissement des objectifs, de la portée et du cadrage de la démarche.** Cette étape comprend l'identification des composantes et des aléas climatiques qui seront pris en compte dans l'analyse, le choix des horizons temporels et les scénarios d'émissions de l'étude et la définition des échelles d'analyse (vulnérabilité, vraisemblance de l'aléa, vraisemblance de l'impact, conséquence, risque). Le ou les indicateurs climatiques les plus pertinents pour représenter chaque aléa climatique sont également sélectionnés à cette étape.
- **Étape 3 : Analyse de l'exposition.** Cette étape permet de déterminer si les composantes sont exposées ou non aux aléas climatiques, c'est-à-dire de déterminer s'il y a une interaction possible entre chaque composante et chaque aléa. À cette étape, les projections climatiques sont également extraites pour la région de référence englobant le lac Saint-Jean.
- **Étape 4 : Analyse de la vulnérabilité et de la vraisemblance de l'impact.** Cette étape vise à déterminer la propension ou la prédisposition d'une composante à subir des dommages lorsqu'exposée à un aléa climatique due à sa vulnérabilité. La vulnérabilité est évaluée en prenant en compte la sensibilité et la capacité d'adaptation des composantes. Par la suite, la vraisemblance qu'un impact identifié se produise est analysée, en considérant la vulnérabilité de la composante et la probabilité de changement de l'aléa climatique dans le futur obtenu en complétant les projections.
- **Étape 5 : Analyse des risques.** Le risque est analysé en prenant en compte les résultats de l'évaluation de la vraisemblance de l'impact à l'Étape 4 et du pointage de conséquence de l'impact. Cette étape implique d'établir un score de conséquence pour chaque composante (exposée et vulnérable) afin d'établir un score de risque.
- **Étape 6 : Traitement des risques climatiques.** Cette étape comprend l'analyse des résultats afin de développer des mesures d'adaptation pour atténuer les risques identifiés.

Le risque est calculé en fonction des résultats de chaque étape présentée à la figure 1, selon les équations ci-dessous. Il convient de noter que l'ordre dans lequel les équations sont énumérées correspond à l'ordre du flux de travail. Chaque étape est examinée plus en détail tout au long du document.

$$Vulnérabilité = f(Sensibilité, Capacité\ d'adaptation)$$

$$Vraisemblance\ de\ l'impact = f(Vulnérabilité, Vraisemblance\ de\ l'aléa)$$

$$Risque = f(Vraisemblance\ de\ l'impact, Conséquence)$$

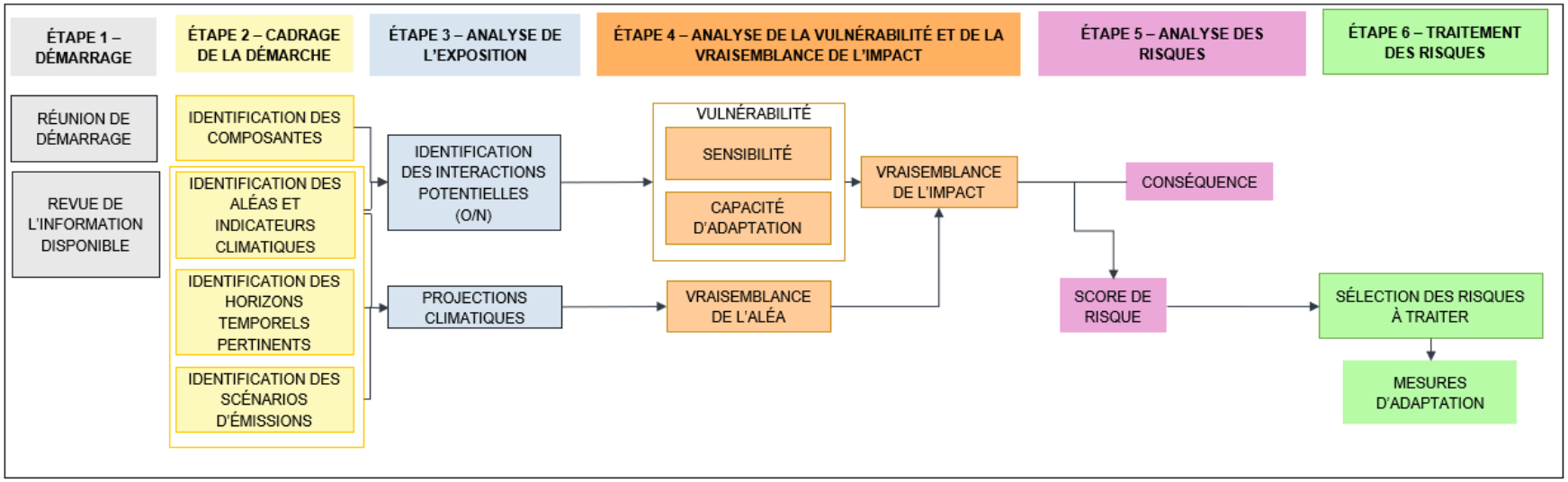


Figure 1 **Diagramme des étapes méthodologiques**

2 Étape 1 – Démarrage de l’étude de résilience

Les informations pertinentes ont été consultées pour comprendre le système général d’évaluation des risques de RTA et de comprendre le Programme faisant partie de la présente évaluation. Les documents consultés ont aidé à établir le contexte de l’analyse et à dresser le portrait du Programme. Les documents disponibles et consultés jusqu’à présent incluent :

- le système d’évaluation des risques de Rio Tinto;
- la note technique de l’analyse du potentiel érosif du lac Saint-Jean de Lasalle | Northwest Hydraulic Consultants (NHC) (2025) (annexe A);
- la présentation de l’analyse des impacts structurée par enjeux (choix des enjeux et composantes valorisées de l’environnement [CVE]);
- l’avis de projet du Programme de stabilisation des berges du lac Saint-Jean (2016-2026);
- l’avis de projet du Programme de gestion de l’érosion des plages et des berges du lac Saint-Jean (2028-2037);
- l’ÉIE du Programme de stabilisation des berges du lac Saint-Jean 2017-2026 (WSP, 2015);
- l’adaptation de la gestion hydrique aux changements climatiques – Saguenay–Lac-Saint-Jean (Rio Tinto, 2025);
- la directive du MELCCFP (2024).

3 Étape 2 – Établissement des objectifs, de la portée et du cadrage de la démarche

3.1 Objectifs

L'objectif est d'évaluer les vulnérabilités et les risques aux changements climatiques du Programme et de proposer des mesures d'adaptation pour les risques identifiés. Les résultats de l'évaluation peuvent ensuite être utilisés pour accroître la résilience générale du Programme et mieux comprendre les changements climatiques et la manière dont ils peuvent affecter les composantes du Programme.

3.2 Composantes

Les composantes de cette étude de résilience réfèrent à l'ensemble des composantes du Programme, soit :

- les approches de gestion de l'érosion,
- le mécanisme de participation du milieu et
- le Programme de contrôle et de suivi.

Cette liste de composantes a été arrimée avec les enjeux et les CVE de l'ÉIE. Les composantes prises en compte dans le cadre de cette étude, ainsi que les hypothèses utilisées, sont présentées dans le tableau 1.

Exclusions

Il est important de noter que seules les composantes faisant directement partie du Programme sur le territoire d'intervention couvert ont été incluses dans cette étude de résilience. Tous les autres éléments énumérés ci-dessous ont été exclus, avec une explication des raisons de cette exclusion.

Le niveau d'eau du lac Saint-Jean n'a pas été considéré comme une composante spécifique de l'étude de résilience. Cependant, les impacts des changements climatiques sur la gestion hydrique ont été pris en compte par l'équipe de RTA dans l'analyse des scénarios de gestion (voir chapitre 7).

Même si plusieurs éléments liés à la gestion de l'érosion des berges seront fort probablement impactés par les changements climatiques, ils ont été exclus de l'analyse de résilience, car ceux-ci ne font pas partie du mandat du Programme, par exemple l'acheminement des matériaux et des travailleurs pour la construction.

Finalement, l'impact des opérations de construction sur les changements climatiques est également exclu de cette étude de résilience, car ceci est couvert par l'étude de gaz à effet de serre (GES) résumée au chapitre 8.

Tableau 1 Composantes retenues pour l'étude de résilience

Composante du Programme	Composante de l'étude de résilience	Groupe	Notes	Arrimage enjeux et CVE ÉIE
Approche de gestion de l'érosion	Infrastructures grises	Ouvrages de protection contre l'érosion	Les infrastructures grises de protection contre l'érosion (p. ex. perrés, épis, brise-lames, géotubes, empierrement, rechargement) et les infrastructures suivantes : rampes de mise à l'eau, escaliers, trottoirs de bois sur épis, etc.	Enjeu n° 1 : Maintien de la sécurité des résidents, des usagers et des biens; CVE : Stabilité des plages et des berges : travaux réalisés pour la protection des infrastructures, des résidences et de la sécurité des personnes. Enjeu n° 4 : Conciliation des usages du territoire; CVE : Stabilité des plages et des berges : usage sécuritaire des plages, des berges et des accès à l'eau.
Approche de gestion de l'érosion	Infrastructures écologiques	Ouvrages de protection contre l'érosion	Les infrastructures écologiques de protection contre l'érosion (p. ex. génie végétal, couches ou lit de plançons, fascine à deux pieds, branches anti-sapes) incluant celles qui protègent les milieux humides et les aménagements fauniques.	Enjeu n° 1 : Maintien de la sécurité des résidents, des usagers et des biens; CVE : Stabilité des plages et des berges : travaux réalisés pour la protection des infrastructures, des résidences et de la sécurité des personnes. Enjeu n° 4 : Conciliation des usages du territoire; CVE : Stabilité des plages et des berges : usage sécuritaire des plages, des berges et des accès à l'eau.
Approche de gestion de l'érosion	Secteurs non protégés (mais inclus dans la zone d'intervention du Programme)	Ouvrages de protection contre l'érosion	Ces secteurs couvrent les secteurs non protégés par le Programme actuel, mais qui sont inclus dans sa zone d'intervention et qui pourraient devenir des secteurs à protéger (p. ex. berges sans ouvrage de protection, plages en équilibres ou vulnérables).	Enjeu n° 1 : Maintien de la sécurité des résidents, des usagers et des biens; CVE : Stabilité des plages et des berges : travaux réalisés pour la protection des infrastructures, des résidences et de la sécurité des personnes. Enjeu n° 4 : Conciliation des usages du territoire; CVE : Stabilité des plages et des berges : usage sécuritaire des plages, des berges et des accès à l'eau.

Tableau 1 Composantes retenues pour l'étude de résilience (suite)

Composante		Groupe	Notes	Arrimage enjeux et CVE ÉIE
du Programme	de l'étude de résilience			
Approche de gestion de l'érosion	Milieux humides et hydriques (situés dans la zone d'intervention du Programme)	Environnement naturel	Les milieux humides et hydriques remplissent d'indispensables fonctions écologiques et constituent également des maillons déterminant de la biodiversité. Les milieux couverts par cette analyse sont ceux situés sur le territoire couvert par le Programme et sont utilisés comme outils de suivi.	Enjeu n° 3 : Maintien de la biodiversité; CVE : Milieux humides, Milieux hydriques-rives, Faune benthique et habitats, Faune ichtyenne et habitats, Espèces floristiques et fauniques à statut particulier, Espèces floristiques et fauniques exotiques envahissantes.
Approche de gestion de l'érosion	Opérations de construction	Réalisation de travaux	Ceci couvre l'ensemble des opérations pour la construction des infrastructures du Programme pour la période de novembre à mars, incluant l'accès aux sites d'intervention.	N/A
Programme de contrôle et de suivi	Opérations de contrôle et suivi	Réalisation des activités de suivi	Ceci couvre l'ensemble des activités de suivi des infrastructures du Programme, incluant le suivi environnemental, l'accès aux sites d'intervention et le déplacement de la main-d'œuvre (pour l'ensemble de l'année).	N/A

3.3 Aléas et indicateurs climatiques

Les aléas climatiques pertinents pour cette évaluation sont listés au tableau 2. Pour chaque aléa, un ou plusieurs indicateurs ont été sélectionnés, comme montré au tableau 2. Les données climatiques utilisées dans cette étude sont résumées dans la section 4.2.

Tableau 2 Aléas et indicateurs climatiques pertinents

Aléa climatique	Indicateur	Description
Chaleur extrême et augmentation des températures	Nombre de jours où les températures minimales et maximales sont supérieures à 18 °C et 31 °C, respectivement (3 jours consécutifs)	Une vague de chaleur survient lorsque les moyennes sur 3 jours des températures minimale et maximale quotidiennes dépassent T_{min}>18ºC, T_{max}>31ºC (classe 2).
	Périodes de températures maximales supérieures à 40 °C (3 jours consécutifs)	Le nombre de périodes annuelles où la température dépasse 40 °C pendant 3 jours consécutifs.
	Nombre annuel de jours de températures maximales supérieures à 34 °C	Le nombre total de jours où la température dépasse 34 °C dans une année.
	Durée de la saison de croissance	Nombre de jours entre la première occurrence d'une série de 6 jours avec une température quotidienne moyenne supérieure à 5 °C et la première occurrence d'une série de 6 jours avec une température quotidienne moyenne inférieure à 5 °C
Froid intense	Nombre annuel de jours avec une température minimale inférieure à -15 °C	Le nombre total de jours où la température est inférieure à -15 °C dans une année.
	Périodes de températures minimales inférieures à -20 °C (3 jours consécutifs)	Le nombre de périodes annuelles où la température est inférieure à -20 °C pendant 3 jours consécutifs.
Cycles de gel-dégel	Cycles quotidiens de gel-dégel	Nombre de jours annuel où la température minimale est inférieure à -2 °C et la température maximale supérieure à 2 °C.
Forte pluie	Pluie maximale en 1 jour	Maximum des précipitations cumulées sur 1 jour.
	Pluie maximale en 5 jours	Maximum des précipitations cumulées sur 5 jours consécutifs.
	Nombre annuel de jours avec plus de 20 mm de pluie	Nombre de jours où la précipitation atteint 20 mm.
Pluie verglaçante	Heures de pluie verglaçante	Nombre annuel d'heures de pluie verglaçante.
Accumulation de neige	Nombre annuel de jours avec plus de 25 cm de neige	Nombre de jours avec plus de 25 cm de neige.
Potentiel d'érosion	% écart relatif d'énergie érosive par rapport à l'horizon 2024	Analyse du potentiel érosif effectuée par Lasalle (2025).
Tempêtes et vents extrêmes	Vitesse maximale annuelle du vent soutenu	La moyenne des vitesses maximales annuelles du vent soutenu.

Tableau 2 Aléas et indicateurs climatiques pertinents (suite)

Aléa climatique	Indicateur	Description
Foudre	Qualitatif (Nombre d'impacts d'éclairs)	Les éclairs sont un indicateur indirect de l'activité des orages convectifs.
Feux de forêt/Fumée	Qualitatif (Indice forêt-météo [IFM], moyenne mai à septembre)	Analyse qualitative à l'aide de l'outil de projections météorologiques avancées pour les feux de forêt de donneesclimatiques.ca. L'IFM est une mesure globale de l'intensité potentielle des incendies de forêt. La métrique moyenne pour mai à septembre représente la moyenne de la valeur journalière au cours de la période de mai à septembre (la saison des feux centrale approximative).
	Qualitatif (Indice forêt-météo [IFM], 95^{e} percentile pour mai à septembre)	Analyse qualitative à l'aide de l'outil de projections météorologiques avancées pour les feux de forêt de donneesclimatiques.ca. L'IFM est une mesure globale de l'intensité potentielle des incendies de forêt. La métrique 95^{e} percentile pour mai à septembre représente le 95^{e} centile de la valeur journalière au cours de la période de mai à septembre (la saison des feux centrale approximative).

3.4 Horizons temporels

Les projections climatiques ont été extraites pour le court terme (2028-2057), le moyen terme (2050-2079) et le long terme (2071-2100), comme le montre le tableau 3, pour la plupart des aléas/indicateurs climatiques. Pour comprendre les changements climatiques, la période historique (1991-2020) a été utilisée comme référence de base. Pour certains aléas et indicateurs climatiques, les horizons temporels diffèrent en fonction des données disponibles (par exemple, pour les feux de forêt, le potentiel érosif, la pluie verglaçante), comme le montre le tableau 3. Les horizons temporels ont été choisis en consultation avec RTA afin de tenir compte de l'horizon temporel du prochain décret, la durée de vie des infrastructures déjà en place et la durée de vie des infrastructures qui seront mises en place dans le cadre du prochain décret. Les indicateurs climatiques sont moyennés sur la période de trente (30) ans de chaque terme, de sorte que les valeurs reportées reflètent les tendances climatiques plutôt que la variabilité annuelle.

Tableau 3 Horizons temporels de l'étude de résilience

Horizon temporel utilisé pour	Historique	Court terme	Moyen terme	Long terme
Aléas et indicateurs de température, précipitation (liquide et solide), cycles de gel-dégel, vent, foudre	1991-2020	2028-2057	2050-2079	2071-2100
Potentiel érosif[1]	1958-2023	Horizon 2040	Horizon 2060	Horizon 2080
Pluie verglaçante et feux de forêt	1991-2020	2031-2060	2051-2080	2071-2100

1 Voir la note technique (voir l'annexe A) pour plus de détails.

3.5 Scénarios d'émissions

Afin de comprendre comment le climat pourrait évoluer à l'avenir, des projections climatiques sont utilisées, c'est-à-dire des ensembles de modèles climatiques utilisés par les praticiens dans de nombreux domaines pour les projections de variables climatiques et les indicateurs climatiques dérivés. La génération actuelle de ces modèles,

appelée Phase 6 du projet d'inter-comparaison de modèles couplés (CMIP6), utilise des combinaisons de scénarios de développement mondiaux avec des scénarios de forçage radiatif ciblés pour fournir un ensemble de modèles qui décrivent les façons possibles dont le système climatique mondial pourrait être affecté par le développement et les politiques d'atténuation et d'adaptation au climat (trajectoires socio-économiques partagées [SSP]). La génération précédente de ces modèles (Phase 5 du projet d'inter-comparaison de modèles couplés [CMIP5]) utilisait les profils représentatifs d'évolution de concentrations (RCP) qui étaient basés sur les scénarios de forçage radiatif. Les SSP représentent donc une mise à jour et un raffinement des RCP. Dans cette étude, les projections climatiques seront basées sur deux scénarios d'émissions :

- SSP2-4,5 : défis moyens en matière d'atténuation et d'adaptation avec un objectif de forçage radiatif de 4,5 W/m^2;
- SSP5-8,5 : défis élevés en matière d'atténuation et peu de défis à l'adaptation avec un objectif de forçage radiatif de 8,5 W/m^2.

Le scénario d'émission SSP2-4,5 a été choisi, car il s'aligne sur les autres travaux en cours (par exemple, les modélisations du régime hydrique et la sélection du scénario de gestion du niveau d'eau). Bien que le scénario SSP5-8,5 soit considéré comme étant peu probable (Riahi et coll., 2022), ce dernier a été retenu pour permettre de faire ressortir les risques dans l'évaluation de projet de conception d'infrastructures.

Selon le Groupe de travail III du plus récent rapport du GIEC, le SSP5-8.5 (tout comme le RCP8.5) ne représente pas un scénario typique du statu quo et est considéré comme peu probable. Il n'est utile qu'à titre de scénario à haut risque, représentatif de la limite supérieure des scénarios « sans politique climatique ».

Le scénario d'émission SSP3-7,0, caractérisé par des défis élevés en matière d'atténuation et d'adaptation avec un objectif de forçage radiatif de 7,0 W/m^2, n'a pas été utilisé puisque l'étude s'est concentrée sur le scénario SSP2-4.5 et sur le scénario SSP5-8.5 afin d'obtenir une évaluation couvrant un scénario central et un scénario plus extrême.

Lorsque les projections climatiques basées sur les scénarios SSP n'étaient pas disponibles, les scénarios d'émissions RCP4,5 et RCP8,5 ont été utilisés pour caractériser les changements climatiques.

3.6 Échelles d'analyse

Les différentes matrices et échelles utilisées dans cette évaluation sont présentées dans les sections suivantes.

3.6.1 Vulnérabilité

La vulnérabilité d'une composante à un impact potentiel est évaluée en combinant sa sensibilité et sa capacité d'adaptation. Pour établir les scores de vulnérabilité, la matrice d'évaluation de la vulnérabilité présentée au tableau 4 a été utilisée.

Les échelles de sensibilité, de capacité d'adaptation et de vulnérabilité retenues sont inspirées des échelles proposées dans le Guide pour les organismes municipaux d'Ouranos et du MELCCFP « Élaborer un plan d'adaptation aux changements climatiques » (Ouranos et MELCCFP, 2024) et du système d'évaluation des risques de RTA.

Tableau 4 Matrice d'évaluation de la vulnérabilité

Vulnérabilité		Capacité d'adaptation				
		Très faible	**Faible**	**Modérée**	**Élevée**	**Très élevée**
Sensibilité	Très faible	Très faible	Très faible	Très faible	Très faible	Très faible
	Faible	Faible	Faible	Faible	Très faible	Très faible
	Modérée	Modérée	Modérée	Faible	Faible	Faible
	Élevée	Élevée	Élevée	Modérée	Modérée	Faible
	Très élevée	Très élevée	Élevée	Élevée	Modérée	Modérée

Les niveaux de sensibilité et de capacité d'adaptation sont définis comme suit :

	Sensibilité		**Capacité d'adaptation**
Très faible	Les probabilités que le projet soit affecté par l'aléa sont minimales.	Très faible	Les mesures d'adaptation sont inexistantes. OU Le coût de mise en place des mesures d'adaptation dépasse la valeur du projet.
Faible	Les probabilités que les composantes principales du projet soient affectées par l'aléa sont minimales.	Faible	La mise en place des mesures d'adaptation est longue et peu efficace. Le coût de mise en place des mesures d'adaptation est similaire à la valeur du projet. OU Les mesures d'adaptation en place sont insuffisantes.
Modérée	Il y a de faibles probabilités que les composantes principales soient affectées par l'aléa.	Modérée	Il existe des mesures d'adaptation, mais leur coût, leur temps de mise en place ou leur efficacité rend leur implantation questionnable. OU Les mesures d'adaptation en place sont faiblement efficaces.
Élevée	Il y a de fortes probabilités que le projet soit directement affecté par l'aléa.	Élevée	Les mesures d'adaptation sont facilement mises en place et efficaces. OU Les mesures d'adaptation en place sont moyennement efficaces.
Très élevée	Il y a de très fortes probabilités que le projet soit directement affecté par l'aléa.	Très élevée	Les mesures d'adaptation sont très facilement mises en place et efficaces. OU Les mesures d'adaptation sont déjà en place et pleinement efficaces.

3.6.2 Vraisemblance de l'aléa

Les échelles de vraisemblance de l'aléa utilisées pour cette évaluation sont présentées au tableau 5. Différentes échelles ont été utilisées en fonction des données disponibles au moment de l'évaluation.

L'échelle « A » a été utilisée pour les indicateurs de température, précipitation, cycle de gel-dégel, feux de forêt et de vent. L'échelle « B » a été utilisée pour caractériser le potentiel érosif. L'échelle « C » a été utilisée pour les indicateurs de foudre et de pluie verglaçante.

L'approche des échelles A et C consiste à comparer la valeur seuil de l'indicateur climatique (dans ce cas, le 50^{e} centile des valeurs historiques) à la distribution des quantiles des périodes futures. En fonction de la position du seuil par rapport à ces quantiles futurs, un score de probabilité est attribué. L'échelle B est plutôt une analyse de criticité. Le score de vraisemblance de l'aléa est une estimation de l'occurrence d'un aléa climatique. La vraisemblance de l'aléa est évaluée selon une échelle de 1 (rare) à 5 (presque certain). Les échelles de vraisemblance retenues sont inspirées des échelles proposées dans le Guide pour les organismes municipaux d'Ouranos et du MELCCFP « Élaborer un plan d'adaptation aux changements climatiques » (Ouranos et MELCCFP, 2024) et du système d'évaluation des risques de RTA.

Pour chaque indicateur climatique, le 50^{e} centile de la valeur historique a été utilisé pour établir la vraisemblance de changement de l'aléa pour les différents horizons futurs.

Tableau 5 Échelles de vraisemblance de l'aléa utilisées

Échelle de vraisemblance	Niveaux de vraisemblance				
	1 – Rare	2 – Improbable	3 – Possible	4 – Probable	5 – Presque certain
Échelle A (température, précipitation, cycle de gel-dégel, feux de forêt, vent)	0 % – 5 % de probabilité (c.-à-d. pourrait se produire dans des circonstances exceptionnelles)	5 % - 20 % de probabilité (c.-à-d. pourrait se produire parfois)	20 % - 50 % de probabilité (se produira parfois)	50 % - 70 % de probabilité (c.-à-d. se produira probablement dans la majorité des cas)	> 75 % de probabilité (c.-à-d. est attendu souvent ou dans la majorité des cas)
Échelle B (potentiel érosif)	Ne deviendra probablement pas critique au cours de la période	Deviendra probablement critique dans 30 à 50 ans	Deviendra probablement critique dans 10 à 30 ans	Deviendra probablement critique dans une décennie	Deviendra probablement critique dans quelques années
Échelle C (foudre, pluie verglaçante)	0 % – 1 % de probabilité (c.-à-d. pourrait se produire dans des circonstances exceptionnelles)	1 % - 10 % de probabilité (c.-à-d. pourrait se produire parfois)	10 % - 50 % de probabilité (c-.à-d. se produira parfois)	50 % - 90 % de probabilité (c.-à-d. se produira probablement dans la majorité des cas)	> 90 % de probabilité (c.-à-d. est attendu souvent ou dans la majorité des cas)

3.6.3 Vraisemblance de l'impact

La vraisemblance de l'impact représente la probabilité qu'un impact se produise en raison de la vulnérabilité d'une composante et de la probabilité de changement d'un aléa climatique. La vraisemblance de l'impact est obtenue en croisant la vulnérabilité de la composante dérivée des résultats de l'analyse de la vulnérabilité, avec la vraisemblance de l'aléa causant cet impact (obtenue grâce aux projections climatiques). Le tableau 6 présente la

matrice utilisée pour établir les scores de vraisemblance de l'impact. Cette étape permet de comprendre si chaque impact identifié est susceptible de se produire ou non, dans un contexte de changement climatique.

Cette matrice a été élaborée à partir des principes méthodologiques en vigueur (développé par WSP et inspiré de Ouranos, MELCCFP) et ajustée afin de s'arrimer avec le système de gestion du risque de RTA.

Tableau 6 Matrice d'évaluation de la vraisemblance de l'impact

Vraisemblance de l'impact		Vulnérabilité				
		Très faible	**Faible**	**Modérée**	**Élevée**	**Très élevée**
Vraisemblance de l'aléa	Presque certain	Improbable	Possible	Probable	Presque certain	Presque certain
	Probable	Improbable	Possible	Probable	Probable	Presque certain
	Possible	Improbable	Improbable	Possible	Probable	Probable
	Improbable	Rare	Improbable	Improbable	Possible	Possible
	Rare	Rare	Rare	Improbable	Improbable	Possible

3.6.4 Conséquence

La conséquence est une mesure de la sévérité de l'impact anticipé d'un aléa sur une composante. La conséquence de chaque impact est identifiée sur la base de quatre dimensions :

- les conséquences sur la santé et la sécurité des personnes;
- les conséquences sur la communauté;
- les conséquences sur l'environnement;
- les conséquences financières.

Pour chaque interaction, un score de conséquence est attribué à chacune des dimensions de conséquences sur une échelle de 5 points allant de Très faible (1) à Très élevée (5). Pour conserver une approche conservatrice et ne pas sous-estimer les conséquences d'une interaction, le score final des conséquences correspond au score maximal parmi les cinq (5) dimensions de conséquence. L'échelle de conséquence retenue et les descripteurs de conséquences qui lui sont associés sont inspirés de l'échelle d'évaluation des risques du système de gestion des risques de RTA. Les conséquences ont été évaluées selon quatre dimensions : la santé et la sécurité des personnes, la communauté, l'environnement et les finances.

3.6.5 Risque

Le risque associé à chaque interaction potentielle est analysé en combinant la vraisemblance de l'impact et le score maximal des conséquences. Le tableau 7 présente la matrice utilisée pour établir les scores de risque. L'échelle de risque retenue est celle utilisée par RTA dans son système de gestion corporative des risques.

Tableau 7 Matrice d'évaluation du risque

Risque		Conséquence				
		Très faible	**Faible**	**Modérée**	**Élevée**	**Très élevée**
Vraisemblance de l'impact	**Presque certain**	Classe II	Classe III	Classe III	Classe IV	Classe IV
	Probable	Classe II	Classe III	Classe III	Classe IV	Classe IV
	Possible	Classe I	Classe II	Classe III	Classe IV	Classe IV
	Improbable	Classe I	Classe I	Classe II	Classe III	Classe IV
	Rare	Classe I	Classe I	Classe II	Classe III	Classe III

Les niveaux de risques se définissent comme suit :

Niveau de risque	Description
Classe I	Les risques se situent en dessous du seuil de tolérance et ne nécessitent pas de gestion active
Classe II	Les risques atteignent le seuil de tolérance et nécessitent une vigilance active
Classe III	Les risques dépassent le seuil de tolérance et nécessitent une gestion proactive
Classe IV	Les risques dépassent de beaucoup le seuil de tolérance et nécessitent une attention urgente et immédiate

4 Étape 3 – Analyse de l’exposition

Cette étape vise à (1) déterminer quelles sont les interactions possibles entre les composantes et les aléas climatiques (analyse d’exposition ou analyse oui/non) et (2) à compléter les projections climatiques.

4.1 Identification des impacts

Cette étape vise à déterminer si les composantes sont exposées ou non aux aléas climatiques. Les composantes exposées seront alors retenues pour la suite de la démarche. L’analyse d’exposition permet d’identifier les interactions entre chaque composante et chaque aléa climatique, de façon à identifier les impacts potentiels (tableau 8). Chaque case marquée d’un « O » indique une interaction (N = pas d’interaction). Chaque interaction et impact sont ensuite évalués dans le cadre de l’évaluation des risques.

4.2 Projections climatiques

Cette section fournit des détails sur la méthodologie des projections climatiques et présente les données climatiques qui ont été utilisées pour évaluer les risques liés aux changements climatiques.

4.2.1 Méthodologie

4.2.1.1 Scénarios climatiques

Le Projet d’inter-comparaison de modèles couplés (CMIP) est un effort international visant à développer des modèles climatiques mondiaux (MCG) dans le but de mieux comprendre les changements climatiques passés, présents et futurs. L’un des résultats du CMIP sont des ensembles de modèles climatiques utilisés par les praticiens dans de nombreux domaines pour les projections de variables climatiques et les indicateurs climatiques dérivés.

La génération actuelle de ces modèles, appelée CMIP6, utilise des combinaisons de scénarios de développement mondiaux avec des scénarios de forçage radiatif ciblés pour fournir un ensemble de modèles qui décrivent les façons possibles dont le système climatique mondial est affecté par le développement et les politiques d’atténuation et d’adaptation au climat. Riahi et coll. (2017) fournit un aperçu complet des scénarios de développement (appelés trajectoires socio-économiques partagées [SSP]) et O’Neill et coll. (2016) décrit les scénarios avec le forçage.

Parmi les nombreuses combinaisons possibles de SSP et de scénarios de forçage radiatif, plusieurs ont été sélectionnés comme représentatifs des futurs possibles (Riahi et coll., 2017). Les scénarios décrivent divers niveaux d’atténuation et d’adaptation combinés à des cibles de forçage radiatif. La figure 2 montre la plage projetée d’augmentations modélisées de la température mondiale pour plusieurs SSP. Plus le forçage radiatif est élevé, plus l’augmentation de la température globale est élevée.

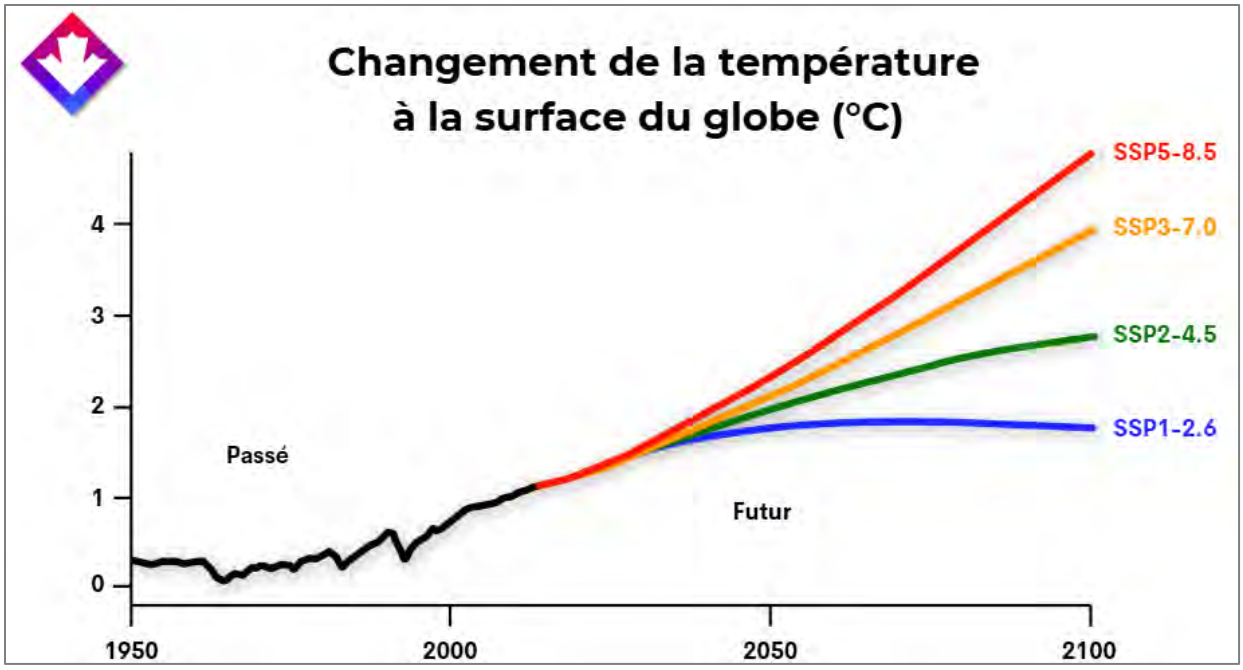


Figure 2 **Représentation des changements de température à la surface du globe (par rapport aux niveaux préindustriels) selon quatre scénarios d'émissions basés sur les SSP**

Source : (Donneesclimatiques.ca, 2025a)

Un ensemble de modèles est associé à chaque SSP. Il s'agit d'une collection qui provient de plusieurs institutions à travers le monde. Chaque modèle est exécuté avec un ensemble d'hypothèses, de paramétrisations et de méthodologies de simulation. Lorsque de nombreux modèles s'entendent sur une tendance ou une ampleur, on a confiance que l'effet n'est pas le résultat du biais d'un modèle, mais qu'il s'agit d'une caractéristique physique réelle.

Le SSP2-4.5 est un scénario intermédiaire pour lequel les tendances sociales, économiques et technologiques ne changent pas sensiblement des modèles historiques, avec des défis modérés tant en matière d'adaptation que l'atténuation. Le SSP3-7,0 est un scénario avec des émissions élevées et se caractérise par de nombreux défis tant en matière d'adaptation que d'atténuation. Le scénario SSP5-8.5 est un scénario de « développement alimenté aux combustibles fossiles » avec des émissions très élevées. Ce scénario décrit un avenir mondial avec des défis élevés pour l'atténuation du changement climatique et peu de défis à l'adaptation, avec un objectif de forçage radiatif de 8,5 W/m^2. Le tableau 9 présente les projections de la température mondiale pour le SSP2-4.5, SSP3-7,0 et le SSP5-8.5.

Tableau 8 Interactions composante-aléa climatique identifiées avec description de l'impact potentiel

Composante		Groupe	Chaleur extrême et [illegible]	Froid intense	Cycles de gel-dégel	Forte pluie	Pluie verglaçante	Accumulation de neige	Potentiel d'érosion	Tempêtes et vents [illegible]	Foudre	Feux de forêt/Fumée	Impact potentiel
du Programme	**de l'étude de résilience**												
Approche de gestion de l'érosion	Infrastructures grises	Ouvrages de protection contre l'érosion	N	N	O	N	N	N	N	N	N	N	L'alternance de gel-dégel peut engendrer des dommages ou une instabilité de certaines composantes des infrastructures grises situées dans la zone de gel (moins de 1 m de la surface). Par exemple, certaines structures en pierres (épis, brise-lames, perrés) peuvent s'effriter. Un autre exemple est la dilatation et la compression des sols du fait du gel pouvant engendrer une instabilité des perrés ou un mouvement pouvant affecter l'intégrité d'un géotube.
Approche de gestion de l'érosion	Infrastructures grises	Ouvrages de protection contre l'érosion	N	N	N	N	N	N	O	N	N	N	Le potentiel d'érosion pourrait affecter certaines infrastructures grises. Par exemple, la structure de l'enrochement pourrait être fragilisée. Un autre exemple est l'accélération de l'érosion des plages nécessitant des rechargements plus fréquents.
Approche de gestion de l'érosion	Infrastructures écologiques	Ouvrages de protection contre l'érosion	N	N	N	O	O	O	N	O	N	N	Certains événements extrêmes, combinés ou pas, pourraient détruire ou endommager certains végétaux des infrastructures écologiques incluant celles qui protègent les milieux humides et les aménagements fauniques. Par exemple, une tempête de verglas couplée à des vents pourrait engendrer des dommages significatifs. Un autre exemple est l'érosion de sol de surface en cas de forte précipitation.
Approche de gestion de l'érosion	Infrastructures écologiques	Ouvrages de protection contre l'érosion	N	N	N	N	N	N	O	N	N	N	Le potentiel érosif pourrait affecter certaines infrastructures écologiques. Par exemple, certains végétaux pourraient être arrachés.
Approche de gestion de l'érosion	Infrastructures écologiques	Ouvrages de protection contre l'érosion	N	N	N	N	N	N	N	N	N	O	Les feux de forêt pourraient atteindre la végétation des infrastructures écologiques et les endommager, voire les détruire.
Approche de gestion de l'érosion	Secteurs non protégés et inclus dans le Programme	Ouvrages de protection contre l'érosion	N	N	N	N	N	N	O	N	N	N	Le potentiel érosif pourrait affecter les berges et les plages des secteurs non protégés et couverts par le Programme et générer des interventions à réaliser par le Programme.
Approche de gestion de l'érosion	Milieux humides et hydriques (sur le territoire du Programme)	Environnement naturel	N	N	N	O	O	O	N	O	N	N	Certains événements extrêmes, combinés ou pas, pourraient détruire ou endommager certains végétaux des milieux humides et hydriques sensibles de l'habitat en général ou associés à des travaux de protection de berge ou à des aménagements fauniques. Par exemple, une tempête de verglas couplée à des vents pourrait engendrer des dommages significatifs. Les épisodes de pluie verglaçante peuvent notamment entraîner : – Dommages à la biodiversité en général : bris de branches, stress physiologique des végétaux, perte de couvert végétal dans les milieux humides. – Détruire la végétation associée à des travaux de protection de berges ou à des aménagements fauniques, compromettant la résistance à l'érosion ou leur efficacité d'utilisation par la faune. – Perturbations hydrologiques : accumulation de glace pouvant modifier les écoulements et provoquer des embâcles ou des inondations localisées aux embouchures de cours d'eau. Modification et dommages aux milieux humides et hydriques sensibles entraînant des modifications d'habitat à considérer dans les suivis.
Approche de gestion de l'érosion	Milieux humides et hydriques (sur le territoire du Programme)	Environnement naturel	N	N	N	N	N	N	O	N	N	N	Le potentiel érosif pourrait détruire la végétation stabilisatrice des berges, compromettant la résistance à l'érosion en général et dans les secteurs de travaux de protection et pourrait détruire la végétation associée à des aménagements fauniques. L'érosion des berges peut notamment entraîner : – Perte et transit de matériaux granulaires. – Modification de la dynamique sédimentaire. – Perturber le patrimoine archéologique. – Perturber les paysages naturels. – Dommages à la biodiversité : perte de couvert végétal dans les milieux humides et hydriques. – Dommage aux aménagements de protection ou fauniques réalisés. Modification et dommages aux milieux humides et hydriques sensibles entraînant des modifications d'habitat à considérer dans les suivis.

Tableau 8 Interactions composante-aléa climatique identifiées avec description de l’impact potentiel (suite)

Composante		Groupe	Chaleur extrême et [illegible]	Froid intense	Cycles de gel-dégel	Forte pluie	Pluie verglaçante	Accumulation de neige	Potentiel d’ érosion	Tempêtes et vents [illegible]	Foudre	Feux de forêt/Fumée	Impact potentiel
du Programme	**de l’étude de résilience**												
Approche de gestion de l’érosion	Milieux humides et hydriques (sur le territoire du Programme)	Environnement naturel	N	N	N	N	N	N	N	N	N	O	Certains événements extrêmes, combinés ou pas, pourraient détruire ou endommager certains végétaux des milieux humides et hydriques sensibles de l’habitat en général ou associés à des travaux de protection de berge ou à des aménagements fauniques. Les feux de forêt pourraient atteindre la végétation des milieux humides et hydriques sensibles et pourraient engendrer des dommages significatifs. Les feux de forêt peuvent notamment entraîner les dommages suivants : – Destruction des sections d’ouvrages en bois (p. ex. passerelle ou seuil en bois). – Destruction de la végétation stabilisatrice des berges, compromettant la résistance à l’érosion. – Altération des milieux humides riverains, qui jouent un rôle crucial dans la biodiversité et la régulation hydrologique. – Augmentation de la vulnérabilité des infrastructures (ouvrages de protection de berges ou aménagements fauniques) en cas de perte de couverture végétale stabilisatrice. – Modification et dommages aux milieux humides et hydriques sensibles entraînant des modifications d’habitat à considérer dans les suivis.
Programme de contrôle et de suivi	Opérations de construction	Réalisation des travaux	N	O	O	O	O	O	N	O	N	N	Certains événements extrêmes, combinés ou pas, pourraient affecter les délais et la durée des opérations de construction, qui doivent être suspendues lors des conditions défavorables.
Programme de contrôle et de suivi	Opérations de contrôle et suivi	Réalisation des travaux	O	O	N	O	O	O	N	O	O	O	Certains événements extrêmes, combinés ou pas, pourraient affecter les délais et la durée des opérations de contrôle et de suivi, qui doivent être suspendues lors des conditions défavorables.
Programme de contrôle et de suivi	Opérations de contrôle et suivi	Réalisation des travaux	O	N	N	N	N	N	N	N	N	N	L’augmentation des températures annuelles modifie la durée de la saison estivale ce qui représente une opportunité pour les opérations de contrôle et de suivi.

Tableau 9 Changements projetés de la température de surface mondiale par rapport à 1850-1900

Scénario	2021-2040		2041-2060		2081-2100	
	Meilleure estimation (°C)	Plage très probable (°C)	Meilleure estimation (°C)	Plage très probable (°C)	Meilleure estimation (°C)	Plage très probable (°C)
SSP2-4.5	1,5	1,2 à 1,8	2,0	1,6 à 2,5	2,7	2,1 à 3,5
SSP3-7,0	1,5	1,2 à 1,8	2,1	1,7 à 2,6	3,6	2,8 à 4,6
SSP5-8.5	1,6	1,3 à 1,9	2,4	1,9 à 3,0	4,4	3,3 à 5,7

Source : GIEC (2021), Tableau SPM.1 page 14.

Le résumé à l'intention des décideurs du rapport d'évaluation du GIEC6 (GIEC, 2021) comprend certaines déclarations pertinentes pour le Canada qui devraient être prises en considération pour toute analyse climatique :

- Il est pratiquement certain que les températures extrêmes (y compris les vagues de chaleur) sont devenues plus fréquentes et plus intenses dans la plupart des régions terrestres depuis les années 1950, tandis que les températures extrêmes (y compris les vagues de froid) sont devenues moins fréquentes et moins graves, avec une grande confiance que les changements climatiques d'origine humaine sont le principal moteur de ces changements (page 8, A.3.1).
- De nombreux changements dans le système climatique deviennent plus importants en relation directe avec l'augmentation du réchauffement climatique. Il s'agit notamment de l'augmentation de la fréquence et de l'intensité des chaleurs extrêmes, des vagues de chaleur marines, des fortes précipitations et, dans certaines régions, des sécheresses agricoles et écologiques; une augmentation de la proportion de cyclones tropicaux intenses; et la réduction de la glace de mer, de la couverture de neige et du pergélisol dans l'Arctique (page 15, B2).
- Les fortes précipitations s'intensifieront et deviendront plus fréquentes dans la plupart des régions. À l'échelle mondiale, les précipitations extrêmes quotidiennes devraient s'intensifier d'environ 7 % pour chaque 1 °C de réchauffement climatique (niveau de confiance élevé). La proportion de cyclones tropicaux intenses (catégories 4 à 5) et la vitesse maximale des vents des cyclones tropicaux les plus intenses devraient augmenter à l'échelle mondiale avec l'augmentation du réchauffement de la planète (niveau de confiance élevé) (page 16, B.2.4).

4.2.1.2 Ensembles de données climatiques

Les projections climatiques sont faites sur une grille qui couvre une région de la terre. Chaque cellule de grille englobe une zone, de sorte que les données climatiques de la cellule de grille sont une estimation des données climatiques pour chaque point de la cellule de grille.

Données de température, précipitation, vent

Les données du Pacific Climate Impacts Consortium (PCIC) sont des données mondiales du modèle CMIP6 qui ont été réduites par PCIC pour l'ensemble du Canada. La mise à l'échelle est le processus qui consiste à prendre un modèle à basse résolution (généralement un modèle global) et à utiliser des techniques statistiques ou dynamiques pour créer un modèle à plus haute résolution (PCIC, 2024). Il y avait 26 modèles au total pour les années 1950 à 2099 (150 ans). Ces données sont utilisées pour les indicateurs de températures et de précipitations.

Les données NEX-GDDP sont un ensemble de données CMIP6 globalement réduit (Thrasher et coll., 2021, 2022). Il s'agit d'une résolution inférieure à celle du PCIC, mais elle inclut certaines variables nécessaires qui ne sont pas incluses dans le jeu de données PCIC. Ces données sont utilisées pour les indicateurs de vent.

Vingt cellules de grille ont été utilisées pour caractériser le climat autour du lac Saint-Jean (figure 3). Les données climatiques utilisées pour cette étude ont donc été extraites pour l'ensemble des 20 cellules de grille.

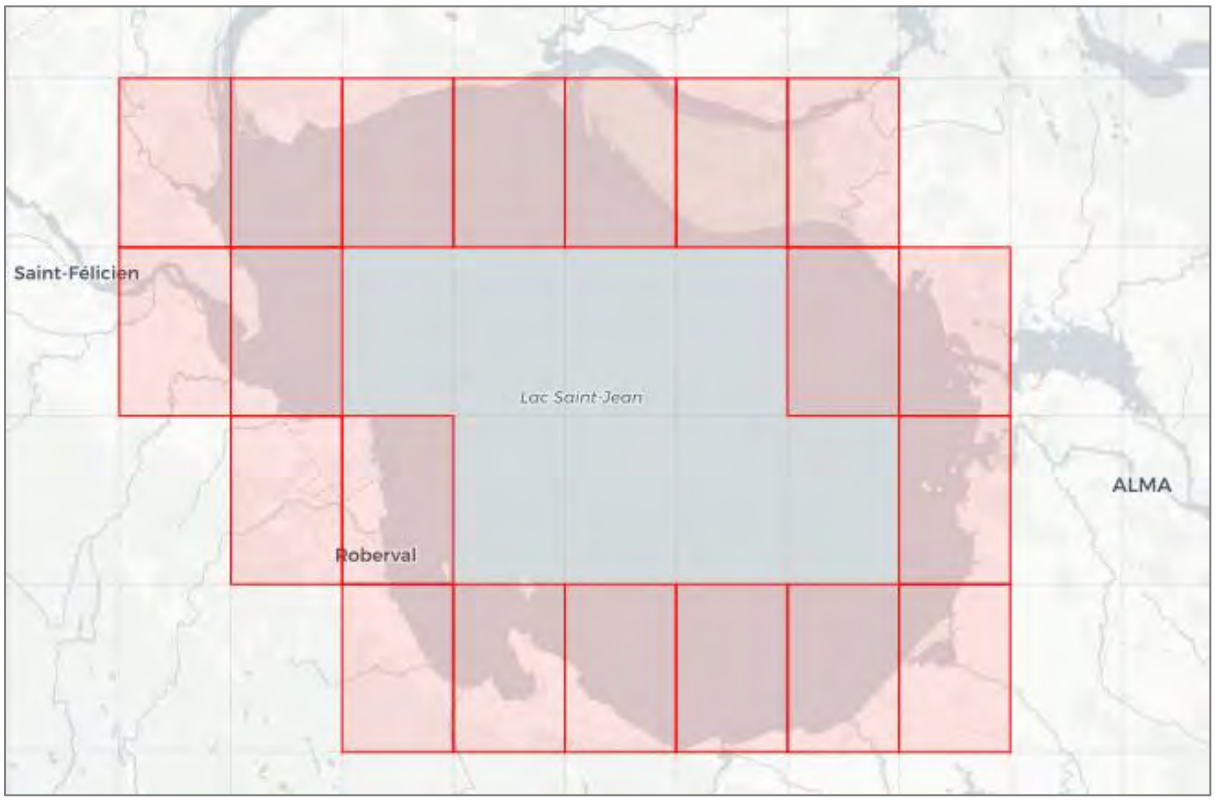


Figure 3 **Vingt cellules de grille utilisées pour caractériser les températures, les précipitations, les vents**

Les données extraites pour chacune des 20 cellules ont été analysées statistiquement afin d'analyser leur variabilité et de déterminer le profil utilisé pour l'établissement des vraisemblances. Dans un premier temps, les valeurs des percentiles de chaque indicateur ont été comparées pour chaque horizon temporel et chacun des deux horizons.

Dans un second temps, une analyse de la variabilité de la vraisemblance de chaque indicateur a été effectuée, pour chaque horizon temporel et chaque horizon.

Données du potentiel érosif

Les données du potentiel érosif proviennent de la Note technique préparée par Lasalle (annexe A).

Le potentiel érosif a été estimé en analysant les flux énergétiques atteignant le talus riverain. Cette approche repose sur deux variables principales qui influencent conjointement l'intensité des sollicitations sur les berges, soit l'énergie associée aux trains de vagues et les hauteurs de niveau d'eau.

Le scénario retenu pour l'analyse est la reconduite du scénario M.

Les résultats obtenus par Lasalle démontrent les écarts relatifs projetés de l'énergie érosive pouvant solliciter les berges aux horizons 2040, 2060, 2080 et 2100, par rapport à l'horizon 2024. Ces écarts sont calculés à partir des valeurs de kWh par mètre de côte linéaire, regroupées en 11 sites, obtenus pour la période d'eau libre complète de chaque horizon. Les résultats des horizons 2060 et 2080 ont été obtenus par interpolation linéaire à partir des résultats des horizons 2040 et 2100.

Les sites ont été regroupés en quatre secteurs selon leur répartition géographique autour du lac et la similarité des régimes de tempêtes auxquels ils sont exposés. Étant donné que les écarts d'énergie par rapport à l'horizon 2024 demeurent entre 1 et 7 % pour tous les horizons analysés, il est estimé que les besoins en matière d'interventions de stabilisation des berges ne deviendront probablement pas critiques par rapport aux besoins actuels au courant de la période étudiée.

Données de la pluie verglaçante

Les projections de pluie verglaçante proviennent du Portrait climatique d'Ouranos. En 2024, Ouranos a rendu disponibles des projections sur les changements climatiques pour divers indicateurs de pluie verglaçante. Ouranos est un consortium sur la climatologie régionale et l'adaptation aux changements climatiques basé au Québec. Les projections sont produites à l'aide de simulations tirées du Modèle climatique régional canadien, version 5 (CRM5). CRM5 a été développé par le Centre d'étude et de simulation du climat à l'échelle régionale (ESCER) de l'Université du Québec à Montréal avec la collaboration d'Environnement et Changement climatique Canada (ECCC). Les simulations sont basées sur l'ensemble MRCC5-CMIP5 qui a été produit à partir de quatre modèles climatiques mondiaux de la génération CMIP5.

Huit cellules de grille ont été utilisées pour caractériser la pluie verglaçante autour du lac Saint-Jean (figure 4). Les données climatiques utilisées pour cette étude ont donc été extraites pour l'ensemble des 8 cellules de grille.

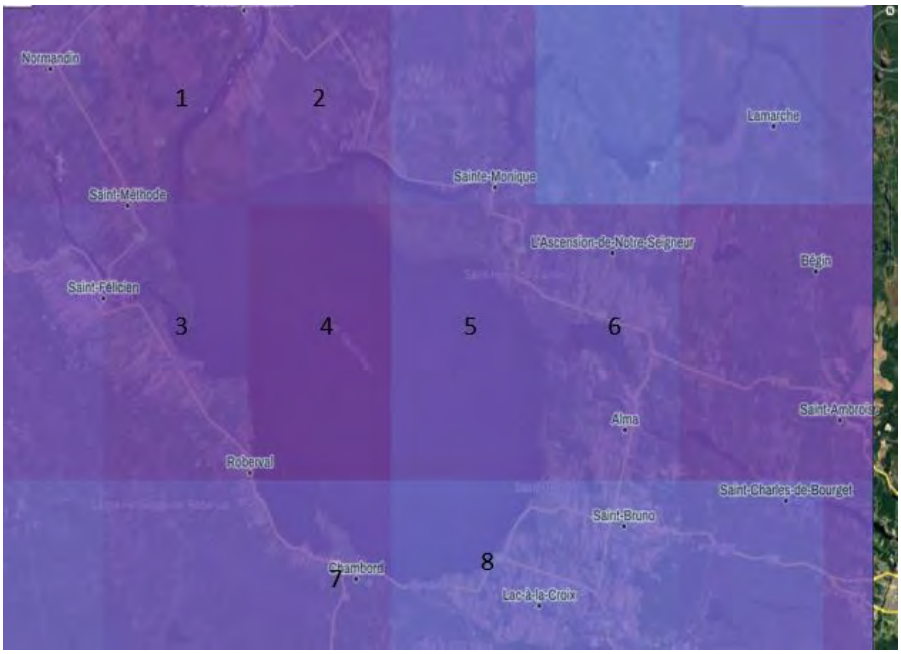


Figure 4 Huit cellules de grille utilisées pour caractériser la pluie verglaçante

Données de feux de forêt

Les données de feux de forêt ont été extraites de l'outil de projections météorologiques avancées pour les feux de forêt de donneesclimatiques.ca. Les données présentées dans l'outil proviennent de l'ensemble des données CanLEAD-FWI des projections météo des feux futurs élaborées par ECCC.

Quatre cellules de grille ont été utilisées pour caractériser les feux de forêt autour du lac Saint-Jean (figure 5). Les données climatiques utilisées pour cette étude ont donc été extraites pour l'ensemble des 4 cellules de grille.

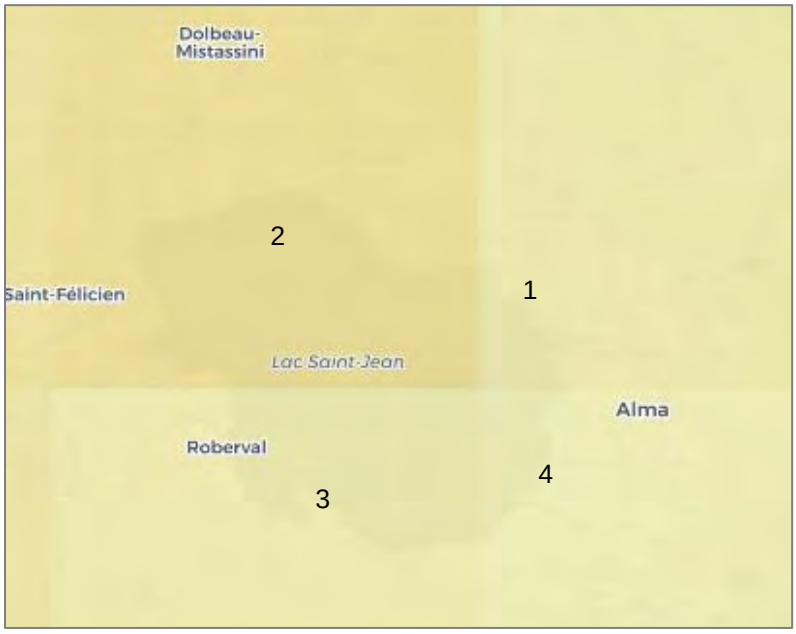


Figure 5 Quatre cellules de grille utilisées pour caractériser les feux de forêt

Données de foudre

Pour certains indicateurs climatiques utilisés dans cette étude (foudre), les projections futures ne sont pas disponibles à partir des modèles climatiques présentés ci-dessus. Pour ces indicateurs, les projections et les scores de probabilité ont été estimés à l'aide d'études climatiques régionales et nationales. Le niveau de confiance des données extraites de la littérature est généralement faible.

4.2.2 Analyse du climat

4.2.2.1 Analyse statistique pour les données de température, précipitations et vent

L'analyse statistique a permis de conclure que les données des 20 cellules étaient dans l'ensemble statistiquement similaires et pouvaient être agrégées afin de simplifier la suite de l'analyse.

Comme présenté à l'Annexe B, les valeurs des percentiles de chaque indicateur présentent peu de variabilité et seront représentées par leur moyenne sur les 20 cellules pour la suite de l'analyse. Au niveau des scores de

vraisemblance, bien que ceux-ci soient généralement similaires, il a été choisi de considérer le score de vraisemblance le plus haut de manière conservatrice.

4.2.2.2 Température

Les indicateurs climatiques de températures de chaleur extrême et de froid intense fournissent des informations sur les événements extrêmes, qui peuvent générer des effets négatifs aigus sur la santé et la sécurité du personnel lors des interventions et travaux en lien avec le Programme. Les indicateurs de cycles de gel-dégel fournissent des informations sur les changements de la température. Ces changements peuvent causer la contraction et expansion des matériaux et peuvent affecter le calendrier des travaux.

Le tableau 10 présente le 50^{e} centile des projections des indicateurs liés à la température pour la période historique (1991-2020) et les périodes tricennales futures (2028-2057, 2050-2079, 2071-2100), selon deux scénarios d'émissions (SSP2-4,5 et SSP5-8,5). Le tableau présente la moyenne de l'ensemble des 20 cellules de grille.

Les données montrent que les extrêmes de chaleur seront plus nombreux et les vagues de chaleur seront plus fréquentes, tandis que les extrêmes de froid seront moins nombreux (réduction du nombre et de la sévérité des journées froides. Les vagues de chaleur, historiquement inexistantes dans la région, commenceront à se produire à l'avenir. Le nombre de jours avec des températures supérieures à 34 °C, également historiquement inexistantes, pourrait se produire 1,6 fois par an et 3,8 fois par an dans le moyen terme (2050-2079) selon le scénario d'émission SSP2-4,5 et SSP5-8,5 respectivement. Les températures n'attendront pas les 40 °C même dans un climat futur. L'augmentation générale des températures annuelles engendrera un allongement de la saison estivale. L'augmentation prévue de la température se traduit par une saison hivernale plus douce. Cependant, la survenue de vagues de froid hivernales ne peut être écartée. Le nombre de jours avec des températures inférieures à -15 °C pourrait diminuer de 19 % à court terme, de 28 % à moyen terme et de 38 % à long terme (selon le scénario SSP2-4,5). Le nombre de jours avec des températures inférieures à -20 °C, quant à eux, pourrait diminuer de 25 % à court terme, de 40 % à moyen terme et de 57 % à long terme (selon le scénario SSP2-4,5). Bien que le nombre annuel de cycles de gel-dégel puisse diminuer, il y aura un changement dans la répartition des cycles au cours de l'année, se concentrant davantage pendant les mois hivernaux. Cela suggère que les températures hivernales pourraient se réchauffer suffisamment pour permettre les jours de dégel hivernal. Les cycles de gel-dégel hivernal sont appelés « profonds » et sont généralement plus dommageables puisqu'ils se produisent lorsque le sol est gelé en profondeur. Ainsi, l'infiltration d'eau provenant de la fonte à l'intérieur d'éléments des infrastructures grises (épis, brise-lames, perrés) peut causer plus de dommages en raison de son expansion rapide pendant le regel.

4.2.2.3 Précipitations

Les précipitations peuvent tomber sous forme de pluie, de neige et d'autres variations entre l'eau et la glace. Outre les conditions météorologiques défavorables lorsque les précipitations tombent rapidement et intensément, les précipitations peuvent causer l'érosion du sol et des inondations. Le tableau 11 présente le 50e centile des projections des indicateurs liés aux précipitations (liquides et solides) pour la période historique (1991-2020) et les périodes tricennales futures (2028-2057, 2050-2079, 2071-2100), selon deux scénarios d'émissions (SSP2-4,5 et SSP5-8,5). Le tableau présente la moyenne de l'ensemble des 20 cellules de grille. Les changements prévus dans les précipitations sont une augmentation de l'intensité des précipitations, à la fois pour les événements de courte (1 jour) et de plus longue durée (5 jours) et une augmentation de la fréquence des événements plus extrêmes (20 mm). En ce qui concerne les événements de neige abondante susceptibles de modifier les interventions et les travaux du Programme (25 cm), aucun changement n'est prévu.

Tableau 10 Changements projetés de température

Aléa climatique	Indicateur	Unités	Valeur historique 1991-2020 50e centile	SSP2-4,5			SSP5-8,5			Tendance générale
				Projection 2028-2057 50e centile	Projection 2050-2079 50e centile	Projection 2071-2100 50e centile	Projection 2028-2057 50e centile	Projection 2050-2079 50e centile	Projection 2071-2100 50e centile	
Chaleur extrême et augmentation des températures	Nombre de jours où les températures minimales et maximales sont supérieures à 18 °C et 31 °C (3 jours consécutifs)	Jours	0,0	0,1	1,0	1,0	0,6	1,9	4,0	↑
	Périodes de températures maximales supérieures à 40 °C (3 jours consécutifs)	Périodes	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	Stable
	Nombre annuel de jours de température maximale >34 °C	Jours	0,0	0,8	1,6	2,6	1,0	3,8	12,1	↑
	Durée de la saison de croissance	Jours	177	191	198	205	196	208	223	↑
Froid intense	Nombre annuel de jours avec une température minimale inférieure à -15 °C	Jours	71,2	57,6	51,2	44,2	53,8	39,5	22,9	↓
	Périodes de températures minimales inférieures à -20 °C (3 jours consécutifs)	Périodes	6	4,5	3,6	2,6	4,1	2,2	0,5	↓
Cycles de gel-dégel	Cycles quotidiens de gel-dégel	Cycles	36,1	31,9	30,7	29,8	31,3	28,7	26,3	↓

Source : WSP, adapté de (PCIC, 2024).

Tableau 11 Changements projetés dans les précipitations

Aléa climatique	Indicateur	Unités	Valeur historique 1991-2020 (50e centile)	SSP2-4,5			SSP5-8,5			Tendance générale
				Projection 2028-2057 50e centile	Projection 2050-2079 50e centile	Projection 2071-2100 50e centile	Projection 2028-2057 50e centile	Projection 2050-2079 50e centile	Projection 2071-2100 50e centile	
Forte pluie	Pluie maximale en 1 jour	mm	34,1	37,5	38,7	39,2	36,8	38,7	40,7	↑
	Pluie maximale en 5 jours	mm	60,8	66,0	66,6	66,6	63,5	67,0	71,6	↑
	Nombre annuel de jours avec plus de 20 mm de pluie	Jours	4,0	5,0	5,2	5,7	5,0	5,8	7,0	↑
Accumulation de neige	Nombre annuel de jours avec plus de 25 cm de neige	Jours	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	Aucun changement

Source : WSP, adapté de (PCIC, 2024).

4.2.2.4 Vent

Le vent est un phénomène très local. La topographie et les structures environnantes influencent la vitesse et la direction du vent, ce qui rend une caractérisation spécifique au lac Saint-Jean difficile, sans relevés locaux du vent. Le tableau 12 présente le 50e centile des projections des indicateurs liés au vent pour la période historique (1991-2020) et les périodes tricennales futures (2028-2057, 2050-2079, 2071-2100), selon deux scénarios d'émissions (SSP2-4,5 et SSP5-8,5). Le tableau présente la moyenne de l'ensemble des 20 cellules de grille. Les seules projections climatiques disponibles pour le vent concernent la moyenne de la vitesse maximale annuelle du vent soutenu. Les données du tableau ne montrent aucun changement de la vitesse maximale soutenue du vent. Il convient de noter que l'indicateur ne s'agit pas d'une vitesse maximale des rafales de vent, qui est souvent la vitesse du vent susceptible d'endommager les infrastructures et impacter les opérations.

4.2.2.5 Pluie verglaçante

La pluie verglaçante peut entraîner des répercussions négatives sur les infrastructures, les écosystèmes, les interventions et les travaux du Programme. Le tableau 13 présente le 50e centile des projections des indicateurs liés à la pluie verglaçante pour la période historique (1991-2020) et les périodes tricennales futures (2031-2060, 2051-2080, 2071-2100), selon deux scénarios d'émissions (RCP4,5 et RCP8,5). Les horizons temporels et les scénarios d'émissions diffèrent des autres indicateurs climatiques basés sur les données disponibles pour la pluie verglaçante. Le tableau présente la moyenne de l'ensemble des 8 cellules de grille. En raison de la hausse prévue des températures hivernales, les épisodes de pluie verglaçante devraient diminuer, les précipitations tombantes simplement sous forme de pluie.

4.2.2.6 Potentiel érosif

Le potentiel érosif peut avoir un impact sur les besoins en matière d'interventions de stabilisation des plages et des berges du lac Saint-Jean. Une note technique a été préparée par Lasalle (Annexe A) pour analyser le potentiel érosif et est utilisée comme intrant dans cette étude de résilience. Le prolongement projeté de la période d'eau libre est l'un des indicateurs principaux utilisés pour estimer les effets des changements climatiques sur le potentiel érosif. Le potentiel érosif, quant à lui, a été estimé en analysant les flux énergétiques atteignant le talus riverain. Le potentiel érosif est alors influencé conjointement par l'énergie associée au train de vagues et les hauteurs de niveau d'eau. Le scénario retenu pour l'analyse, soit la reconduite du scénario M, prend en compte les modélisations effectuées par l'équipe de RTA pour les horizons 2040 et 2100. De plus, une interpolation a été effectuée pour les horizons 2060 et 2080.

Lasalle a évalué ces deux variables de manière probabiliste et les a combinées afin d'obtenir un indicateur de la sollicitation des berges. Le tableau 14 présente la moyenne (sur 8 sites) des écarts relatifs projetés de l'énergie érosive pouvant solliciter les berges aux horizons 2040, 2060, 2080, 2100, par rapport à l'horizon 2024 (voir Annexe A pour l'analyse complète). La moyenne des écarts montre une augmentation entre 2,4 et 3,0 % par rapport à 2024. L'augmentation peut varier entre 1 et 7 % selon le site (voir Annexe A). Le moteur principal de cette érosion est une augmentation de la période d'eau libre combinée à l'impact des changements climatiques sur le régime hydrologique du lac Saint-Jean (voir chapitre 6).

4.2.2.7 Feux de forêt

Les feux de forêt sont courants dans l'ensemble du Canada. En moyenne, il y a 8 000 incendies qui brûlent en moyenne 2,1 millions d'hectares annuellement (Ressources naturelles Canada, 2024). La probabilité qu'une ville soit directement brûlée par un feu de forêt est historiquement faible, mais lorsque cela se produit, cela a un impact important.

Certaines projections des feux de forêt sont fondées sur l'indice forêt-météo (IFM) du système canadien d'indice météorologique des feux de forêt (Ressources naturelles Canada, 2024) qui intègre plusieurs composants, y compris la température, les précipitations, le vent et l'humidité du carburant. Deux indicateurs d'IFM ont été extraits de l'outil de projections météorologiques avancées pour les feux de forêt de donneesclimatiques.ca ((Donneesclimatiques.ca, 2025b), soit la moyenne de l'IFM et le 95^{e} percentile pour la période de mai à septembre. Ces indicateurs donnent une idée de l'IFM moyen et l'IFM extrême pour la région. Le tableau 15 présente la moyenne de l'IFM et le 95^{e} percentile pour la période de mai à septembre pour la période historique (1991-2020) et les périodes tricennales futures (2031-2060, 2051-2080, 2071-2100), selon deux scénarios d'émissions (RCP4,5 et RCP8,5). Historiquement, la moyenne de l'IFM était plutôt basse (3). Selon le scénario RCP4,5, l'IFM n'augmentera pas significativement (3,25) mais pourrait monter jusqu'à 4,25 d'ici 2100 selon le scénario RCP8,5. Une IFM avec une valeur supérieure à 10 est considérée comme un danger élevé. Historiquement, la valeur extrême (95^{e} percentile) était de 10,25 et pourrait monter jusqu'à 14 d'ici 2100 selon le scénario RCP8,5. Ces valeurs montrent que, de manière générale, la région ne présente pas un risque élevé de feux de forêt puisque celle-ci constitue la ceinture immédiate autour du lac Saint-Jean.

La dégradation de la qualité de l'air due à la fumée des feux de forêt dépasse la région dans laquelle se trouve le feu. Flannigan et coll. (2005) a étudié le changement prévu dans la superficie brûlée au Canada à l'aide de certains modèles climatiques mondiaux. L'étude a montré que, bien qu'il y ait eu une variabilité considérable, aucune région du Canada ne connaît de diminution de la superficie brûlée par les feux de forêt. Il faut donc s'attendre à ce que toutes les régions du Canada continuent à subir la fumée de feux de forêt.

4.2.2.8 Foudre

Des données historiques sur les coups de foudre sont disponibles pour certaines villes canadiennes, avec des données recueillies de 1999 à 2018. Les valeurs sont le nombre total d'éclairs nuage-sol dans un rayon de 25 km du centre-ville (Gouvernement du Canada, 2019). Pour le site à l'étude, Alma est la ville la plus proche répertoriée (Gouvernement du Canada, 2019), avec 13 519 éclairs nuage-sol entre 1999-2018 (676/année historiquement).

Les projections des changements climatiques pour la foudre sont fondées sur des conditions atmosphériques à grande échelle. Romps et coll. (2014) a utilisé l'énergie potentielle disponible convective (CAPE) et les précipitations de 11 modèles CMIP5 pour obtenir une relation entre le changement de température globale moyenne et l'activité de la foudre sur les États-Unis de 12 % par degré de réchauffement climatique (±5 %).

Les environnements d'orages violents (encore une fois, au-dessus des États-Unis) devraient augmenter, les jours propices aux orages devenant plus susceptibles d'avoir également un CAPE élevé (Diffenbaugh et coll., 2013), même pour le niveau modéré de 2 °C de réchauffement climatique.

Même si les études sont pour les États-Unis, les principes physiques devraient tenir pour d'autres régions. Il y a une grande confiance dans la projection d'une augmentation de l'activité de la foudre en raison de l'accord entre les

études. Toutefois, comme les études n'ont pas été fournies directement pour le Canada, la confiance à l'égard du taux d'augmentation est faible.

Selon les valeurs futures de calcul des bâtiments de Climatedata (Climatedata.ca, consulté le 2025-01-30), l'horizon 2028-2057 correspond à un réchauffement planétaire de 1 °C et 1,5 °C pour le scénario RCP4,5 et RCP8,5 respectivement. L'horizon à moyen terme 2050-2079 correspond à un réchauffement planétaire de 1,5 °C et 2,5 °C pour le scénario RCP4,5 et RCP8,5 respectivement. L'horizon à long terme 2071-2100 correspond à un réchauffement planétaire de 1,5 °C et 3,0 °C pour le scénario RCP4,5 et RCP8,5 respectivement. À partir de ces informations et des relations établies par Romps et coll. (2014), il est possible de déterminer les projections relatives aux nombres d'impacts d'éclairs.

Le tableau 16 représente le nombre d'éclairs projeté pour le site du projet.

Tableau 12 Changements projetés de la vitesse soutenue du vent

Aléa climatique	Indicateur	Unités	Valeur historique 1991-2020 (50e centile)	SSP2-4,5			SSP5-8,5			Tendance générale
				Projection 2028-2057 50e centile	Projection 2050-2079 50e centile	Projection 2071-2100 50e centile	Projection 2028-2057 50e centile	Projection 2050-2079 50e centile	Projection 2071-2100 50e centile	
Tempêtes et vents extrêmes	Vitesse maximale annuelle du vent soutenu	km/h	27,3	27,0	27,0	27,0	27,0	27,1	27,1	Relativement stable

Source : WSP, adapté de (PCIC, 2024).

Tableau 13 Changements prévus de la pluie verglaçante

Aléa climatique	Indicateur	Unités	Valeur historique 1981-2010 (50e centile)	RCP4,5			RCP8,5			Tendance générale	Notes
				Projection 2031-2060 50e centile	Projection 2051-2080 50e centile	Projection 2071-2100 50e centile	Projection 2031-2060 50e centile	Projection 2051-2080 50e centile	Projection 2071-2100 50e centile		
Pluie verglaçante	Heures de pluie verglaçante	Heures	30,9	27,3	27,5	26,6	27,9	26,6	24,1	↓	Données du Portraits climatiques d'Ouranos

Source : Portrait climatique d'Ouranos (Ouranos, 2025).

Tableau 14 Changements projetés du potentiel érosif

Aléa climatique	Indicateur	Unités	Horizon 2024	Horizon 2040	Horizon 2060	Horizon 2080	Horizon 2100	Tendance générale	Notes
Potentiel d'érosion*	% écart relatif d'énergie des périodes d'eau libre par rapport à l'horizon 2024	-	-	3,0 %	2,8 %	2,6 %	2,4 %	↑	Voir note technique préparée par Lasalle (annexe A)

Source : Note technique Lasalle (annexe A).

Tableau 15 Changements projetés des feux de forêt

Aléa climatique	Indicateur	Unités	Valeur historique 1991-2020	RCP4,5			RCP8,5			Tendance générale	Notes
				Projection 2031-2060	Projection 2051-2080	Projection 2071-2100	Projection 2031-2060	Projection 2051-2080	Projection 2071-2100		
Feux de forêt/Fumée	Qualitatif (IFM, moyenne mai à septembre)	-	3,00	3,25	3,25	3,25	3,25	4,00	4,25	↑	Les données se réfèrent à la moyenne
Feux de forêt/Fumée	Qualitatif (IFM, 95e percentile pour mai à septembre)	-	10,25	11,25	12,00	12,25	12,00	13,00	14,00	↑	Les données se réfèrent au 95e percentile

Source : (Donneesclimatiques.ca, 2025b).

Tableau 16 Changements projetés du nombre d'impacts d'éclairs

Aléa climatique	Indicateur	Unités	Valeur historique 1999-2018	RCP4,5			RCP8,5			Tendance générale	Notes
				Projection 2028-2057	Projection 2050-2079	Projection 2071-2100	Projection 2028-2057	Projection 2050-2079	Projection 2071-2100		
Foudre	Qualitatif (Nombre d'impacts d'éclairs)	Nombre	676[1]	757	801	801	801	897	950	↑	

1 Pour cette évaluation, les données ont été consultées pour Alma en tant que ville la plus proche avec des données de foudre (Gouvernement du Canada, 2019).

5 Étape 4 – Analyse de la vulnérabilité et de la vraisemblance de l’impact

5.1 Analyse de la vulnérabilité

Cette étape vise à déterminer la propension ou la prédisposition d’une composante à subir des dommages lorsqu’exposé à un aléa climatique due à sa vulnérabilité. La vulnérabilité est évaluée en prenant en compte la sensibilité et la capacité d’adaptation de la composante. La sensibilité d’une composante aux changements climatiques considère les caractéristiques de la composante qui peuvent la rendre plus ou moins sensible aux aléas climatiques. La capacité d’adaptation est l’aptitude d’un système à s’ajuster aux changements climatiques, y compris à la variabilité du climat et aux phénomènes extrêmes, afin d’éviter les dommages potentiels, de tirer parti des opportunités ou de faire face aux conséquences. La capacité d’adaptation peut réduire la vulnérabilité d’un ouvrage aux impacts potentiels. Il est donc important de considérer le fait que cette infrastructure peut déjà posséder un niveau intrinsèque de capacité d’adaptation aux changements climatiques ou qu’une mesure peut facilement être mise en place pour réduire sa sensibilité. La vulnérabilité de chaque composante de l’étude a été évaluée en collaboration avec des experts dans le domaine et à travers divers ateliers collaboratifs organisés avec RTA.

Un sommaire des résultats de l’analyse de la vulnérabilité est fourni au tableau 17. Les résultats complets de l’analyse de la vulnérabilité sont fournis dans le registre des risques à l’Annexe C.

Tableau 17 Score et justification de vulnérabilité pour chaque impact potentiel identifié

Composante		Groupe	Impact potentiel	Score de vulnérabilité	Justification
du Programme	**de l'étude de résilience**				
Approche de gestion de l'érosion	Infrastructures grises	Ouvrages de protection contre l'érosion	L'alternance de gel-dégel peut engendrer des dommages ou une instabilité de certaines composantes des infrastructures grises situées dans la zone de gel (moins de 1 m de la surface). Par exemple, certaines structures en pierres (épis, brise-lames, perrés) peuvent s'effriter. Un autre exemple est la dilatation et la compression des sols du fait du gel pouvant engendrer une instabilité des perrés ou un mouvement pouvant affecter l'intégrité d'un géotube.	Faible	**Sensibilité :** Les infrastructures sont sensibles aux cycles de gel-dégel. Lorsqu'il contient de l'eau dans ses pores, cette eau peut geler et se dilater, exerçant une pression et provoquant des fissures et de l'écaillage. Les cycles de gel-dégel peuvent causer des fissures et de l'érosion dans les structures, ainsi que des mouvements dans les sols qui affectent la stabilité des infrastructures. **Capacité d'adaptation/contrôles existants :** La résistance des matériaux au gel-dégel dépend de leurs propriétés mécaniques et ne peut pas être modifiée après leur mise en place. Les devis incluent des exigences de qualité pour privilégier des propriétés mécaniques résistantes aux cycles de gel-dégel. Le registre de requêtes disponible permet d'identifier rapidement les besoins d'inspection lorsque des déformations majeures sont déclarées. Vol annuel en hélicoptère. Suivi des actifs.
Approche de gestion de l'érosion	Infrastructures grises	Ouvrages de protection contre l'érosion	Le potentiel d'érosion pourrait affecter certaines infrastructures grises. Par exemple, la structure de l'enrochement pourrait être fragilisée. Un autre exemple est l'accélération de l'érosion des plages nécessitant des rechargements plus fréquents.	Faible	**Sensibilité :** Les variations du niveau d'eau, les tempêtes de vent et l'absence de glace peuvent déplacer ou emporter l'enrochement, causant des dommages significatifs. **Capacité d'adaptation/contrôles existants :** Bien que certaines mesures d'adaptation puissent être mises en place, comme le renforcement de l'enrochement ou l'ajout de structures de protection, ces infrastructures peuvent nécessiter des améliorations pour mieux résister aux conditions changeantes. Les ouvrages sont conçus pour tenir compte du potentiel d'érosion (p. ex. renforcement de l'enrochement, taux de rechargements). Le registre de requêtes disponible permet d'identifier rapidement les besoins d'inspection lorsque des situations d'érosion sont déclarées par les usagers. Vol annuel en hélicoptère. Suivi des actifs. Inspections terrain extraordinaires dans les secteurs sensibles connus en cas d'événement extrême atypique. Réparation proactive des ouvrages détériorés. Gestion adaptative de la conception des ouvrages en fonction des nouveaux risques émergents, selon les besoins.
Approche de gestion de l'érosion	Infrastructures écologiques	Ouvrages de protection contre l'érosion	Certains événements extrêmes, combinés ou pas, pourraient détruire ou endommager certains végétaux des infrastructures écologiques incluant celles qui protègent les milieux humides et les aménagements fauniques. Par exemple, une tempête de verglas couplée à des vents pourrait engendrer des dommages significatifs. Un autre exemple est l'érosion de sol de surface en cas de forte précipitation.	Faible	**Sensibilité :** Les végétaux sont sensibles aux stress externes tels que le poids de la pluie verglaçante et/ou la neige et des vents forts. **Capacité d'adaptation/contrôles existants :** Certaines mesures d'adaptation peuvent être mises en place, comme la sélection de plantes résistantes aux événements extrêmes. Un suivi des végétaux est réalisé après leur plantation et le remplacement des plants morts est effectué dans certaines conditions.
Approche de gestion de l'érosion	Infrastructures écologiques	Ouvrages de protection contre l'érosion	Le potentiel érosif pourrait affecter certaines infrastructures écologiques. Par exemple, certains végétaux pourraient être arrachés.	Faible	**Sensibilité :** Le niveau d'eau du lac, couplé aux régimes des tempêtes, vents extrêmes et couvert de glace, pourrait affecter des infrastructures écologiques qui n'étaient pas submergées auparavant par ces aléas. Les infrastructures sont réservées pour les endroits à faible énergie érosive et devraient rester en dehors des secteurs où les conditions érosives risquent de changer le plus. **Capacité d'adaptation/contrôles existants :** Un suivi des végétaux est réalisé après leur plantation et le remplacement des plants morts est effectué dans certaines conditions.
Approche de gestion de l'érosion	Infrastructures écologiques	Ouvrages de protection contre l'érosion	Les feux de forêt pourraient atteindre la végétation des infrastructures écologiques et les endommager, voire les détruire.	Très faible	**Sensibilité :** Les ouvrages de protection sont localisés dans des secteurs plutôt urbanisés et d'une faible superficie. **Capacité d'adaptation/contrôles existants :** Certaines mesures d'adaptation peuvent être mises en place, comme la création de pare-feu et le remplacement des végétaux en cas de destruction et/ou de mortalité totale. Un suivi des végétaux est réalisé après leur plantation et le remplacement des plants morts est effectué dans certaines conditions.
Approche de gestion de l'érosion	Secteurs non protégés et inclus dans le Programme	Ouvrages de protection contre l'érosion	Le potentiel érosif pourrait affecter les berges et les plages des secteurs non protégés et générer des interventions à réaliser par le Programme.	Élevée	**Sensibilité :** Les variations du niveau d'eau, les tempêtes, les vents extrêmes et l'absence de glace peuvent causer des dommages significatifs aux secteurs actuellement non protégés, nécessitant des interventions par le Programme. Les secteurs non protégés sont proportionnellement plus vulnérables et moins résilients aux aléas extrêmes et imprévus que les secteurs protégés. **Capacité d'adaptation/contrôles existants :** Des secteurs actuellement non protégés peuvent devenir des secteurs protégés nécessitant des interventions. Les secteurs non protégés ne font l'objet d'aucune mesure d'adaptation en ce moment. Le registre de requêtes disponible permet d'identifier rapidement les besoins d'inspection lorsque des situations d'érosion sont déclarées par les usagers. Vol annuel en hélicoptère. Suivi des actifs.

Tableau 17 Score et justification de vulnérabilité pour chaque impact potentiel identifié (suite)

Composante		Groupe	Impact potentiel	Score de vulnérabilité	Justification
du Programme	**de l'étude de résilience**				
Approche de gestion de l'érosion	Milieux humides et hydriques (sur le territoire du Programme)	Environnement naturel	Certains événements extrêmes, combinés ou pas, pourraient détruire ou endommager certains végétaux des milieux humides et hydriques sensibles de l'habitat en général ou associés à des travaux de protection de berge ou à des aménagements fauniques. Par exemple, une tempête de verglas couplée à des vents pourrait engendrer des dommages significatifs. Les épisodes de pluie verglaçante peuvent notamment entraîner : – Dommages à la biodiversité en général : bris de branches, stress physiologique des végétaux, perte de couvert végétal dans les milieux humides. – Détruire la végétation associée à des travaux de protection de berges ou à des aménagements fauniques, compromettant la résistance à l'érosion ou leur efficacité d'utilisation par la faune. – • Perturbations hydrologiques : accumulation de glace pouvant modifier les écoulements et provoquer des embâcles ou des inondations localisées aux embouchures des cours d'eau. Modification et dommages aux milieux humides et hydriques sensibles entraînant des perturbations d'habitat à considérer dans les suivis (par exemple : des protocoles spécifiques de suivi de l'état de végétation et de ses strates en lien avec des événements extrêmes pourront être préparés : documentation de la présence de branches cassées, de déracinement… après un événement spécifique).	Faible	**Sensibilité :** Les végétaux des milieux humides et hydriques en général ou associés à des travaux de protection de berge ou à des aménagements fauniques peuvent être brisés par le poids de la neige, de la glace et/ou du vent, mais ces événements ne devraient pas détruire l'entièreté des végétaux en place. Les modifications et dommages causés par les changements climatiques peuvent influencer les résultats du suivi des milieux humides. **Capacité d'adaptation/contrôles existants :** Un suivi des principaux milieux humides riverains au lac Saint-Jean est réalisé. Des suivis spécifiques associés aux aménagements fauniques sont effectués.
Approche de gestion de l'érosion	Milieux humides et hydriques (sur le territoire du Programme)	Environnement naturel	Le potentiel érosif pourrait détruire la végétation stabilisatrice des berges, compromettant la résistance à l'érosion en général et dans les secteurs de travaux de protection et pourrait détruire la végétation associée à des aménagements fauniques. Modification et dommages aux milieux humides et hydriques sensibles entraînant des perturbations d'habitat à considérer dans les suivis (par exemple : suivis particuliers des berges pour valider les décrochages de talus, les arbres déracinés et effondrés).	Modérée	**Sensibilité :** L'érosion amplifiée par les changements climatiques peut engendrer des travaux de protection supplémentaire et influencer les résultats des suivis. **Capacité d'adaptation/contrôles existants :** Bien que certaines mesures d'adaptation puissent être mises en place, comme la protection des habitats et la gestion adaptative, ces milieux peuvent nécessiter des améliorations pour mieux résister aux conditions changeantes et maintenir leur pertinence comme outils de suivi. Un suivi des principaux milieux humides riverains au lac Saint-Jean est réalisé. Des suivis spécifiques associés aux aménagements fauniques sont effectués.
Approche de gestion de l'érosion	Milieux humides et hydriques (sur le territoire du Programme)	Environnement naturel	Certains événements extrêmes, combinés ou pas, pourraient détruire ou endommager certains végétaux des milieux humides et hydriques sensibles de l'habitat en général ou associés à des travaux de protection de berge ou à des aménagements fauniques. Les feux de forêt pourraient atteindre la végétation des milieux humides et hydriques sensibles et pourraient engendrer des dommages significatifs. Les feux de forêt peuvent notamment entraîner : – Détruire des sections d'ouvrages en bois (p. ex. passerelle ou seuil en bois). – Détruire la végétation stabilisatrice des berges, compromettant la résistance à l'érosion. – Altérer les milieux humides riverains, qui jouent un rôle crucial dans la biodiversité et la régulation hydrologique. – Augmenter la vulnérabilité des infrastructures (ouvrages de protection de berges ou aménagements fauniques) en cas de perte de couverture végétale. – Modification et dommages aux milieux humides et hydriques sensibles entraînant des perturbations d'habitat à considérer dans les suivis (par exemple : des protocoles spécifiques de suivi de l'état de végétation en lien avec les feux de forêt pourront être préparés. Par exemple, documentation de la destruction par brûlage des végétaux, des secteurs brûlés, des strates de végétation et des plantes affectées).	Faible	**Sensibilité :** Les végétaux des milieux humides et hydriques en général ou associés à des travaux de protection de berge ou à des aménagements fauniques peuvent être perdus à la suite des feux de forêt, mais ces événements ne devraient pas détruire l'entièreté des végétaux en place. Les modifications et dommages causés par les changements climatiques peuvent influencer les résultats du suivi des milieux humides. **Capacité d'adaptation/contrôles existants :** Un suivi des principaux milieux humides riverains au lac Saint-Jean est réalisé. Des suivis spécifiques associés aux aménagements fauniques sont effectués.

Tableau 17 Score et justification de vulnérabilité pour chaque impact potentiel identifié (suite)

Composante		Groupe	Impact potentiel	Score de vulnérabilité	Justification
du Programme	**de l'étude de résilience**				
Approche de gestion de l'érosion	Opérations de construction	Réalisation des travaux	Certains événements extrêmes, combinés ou pas, pourraient affecter les délais et de la durée des opérations de construction, qui doivent être suspendues lors des conditions défavorables.	Faible	**Sensibilité :** Les changements climatiques rendront les événements météorologiques plus extrêmes en termes de fréquence et d'intensité. Les redoux hivernaux, la pluie et le niveau du lac Saint-Jean affectent grandement les opérations sur l'ensemble des sites d'intervention en même temps. Effet cumulatif. **Capacité d'adaptation/contrôles existants :** Cela pourrait nécessiter une modification des calendriers de maintenance opérationnelle et de construction et/ou des ajustements aux plans d'urgence des travailleurs. La fenêtre de temps disponible pour réaliser les travaux demeure plutôt courte et ne permet pas une marge de manœuvre élevée. Le calendrier des opérations est ajusté en fonction des conditions météorologiques. De plus, les protocoles Sécurité, Santé, Environnement (SSE) de RTA sont appliqués.
Programme de contrôle et de suivi	Opérations de contrôle et suivi	Réalisation des travaux	Certains événements extrêmes, combinés ou pas, pourraient affecter les délais et de la durée des opérations de contrôle et de suivi, qui doivent être suspendues lors des conditions défavorables.	Faible	**Sensibilité :** Les changements climatiques rendront les événements plus extrêmes en termes de fréquence et d'intensité et peuvent causer l'imprévisibilité des saisons d'activités de contrôle et de suivi. **Capacité d'adaptation/contrôles existants :** Cela pourrait nécessiter une modification des calendriers d'opérations de contrôle et suivi. Capacité d'adaptation plus élevée que les opérations de construction, car la durée des activités terrain est moins longue et la fenêtre de temps disponible plus grande (et en augmentation…). Le calendrier des opérations est ajusté en fonction des conditions météorologiques. De plus, les protocoles SSE de RTA sont appliqués.
Programme de contrôle et de suivi	Opérations de contrôle et suivi	Réalisation des travaux	L'allongement de la saison estivale représente une opportunité pour les opérations de contrôle et suivi	**OPPORTUNITÉ**	

5.2 Scores de vraisemblance des aléas

Le score de vraisemblance de l'aléa est une estimation de l'occurrence d'un aléa climatique et est obtenu en analysant les données historiques et les données des projections climatiques. Comme expliqué à la section 4.2, les projections climatiques ont été extraites pour plusieurs cellules entourant le lac Saint-Jean. Ainsi, chacun des ensembles de données possède donc ses propres scores de vraisemblance des aléas. L'analyse des données a montré que les scores de vraisemblance ne variaient pas de manière significative entre les cellules. Aux fins de l'évaluation, le score de vraisemblance de l'aléa le plus élevé pour chaque indicateur parmi les cellules a été retenu pour caractériser l'aléa, de manière à garder une approche conservatrice. Les scores de vraisemblance des aléas utilisés dans le cadre de l'étude de résilience sont présentés au tableau 18. Les scores de vraisemblance ont été attribués selon les échelles fournies au tableau 5.

Tableau 18 Scores de vraisemblance de l'aléa climatique

Aléa climatique	Indicateur	Vraisemblance de l'aléa					
		SSP2-4,5			SSP5-8,5		
		2028-2057	2050-2079	2071-2100	2028-2057	2050-2079	2071-2100
Chaleur extrême et augmentation des températures	Températures minimales et maximales supérieures à 18 °C et 31 °C (3 jours consécutifs)	4	4	4	4	5	5
	Périodes de températures maximales supérieures à 40 °C (3 jours consécutifs)	1	1	1	1	1	2
	Nombre annuel de jours de température maximale > 34 °C	4	4	5	4	5	5
	Durée de la saison de croissance	5	5	5	5	5	5
Froid intense	Nombre annuel de jours avec une température minimale inférieure à -15 °C	2	2	1	2	1	1
	Périodes de températures minimales inférieures à -20 °C (3 jours consécutifs)	3	3	2	3	2	1
Cycles de gel-dégel	Cycles quotidiens de gel-dégel	3	3	3	3	3	3
Forte pluie	Pluie maximale en 1 jour	4	4	4	4	4	4
	Pluie maximale en 5 jours	4	4	4	4	4	4
	Nombre annuel de jours avec plus de 20 mm de pluie	5	5	5	5	5	5
Pluie verglaçante	Heures de pluie verglaçante	3	3	3	3	3	2
Accumulation de neige	Nombre annuel de jours avec plus de 25 cm de neige	3	3	3	3	3	3

Tableau 18 Scores de vraisemblance de l'aléa climatique (suite)

Aléa climatique	Indicateur	Vraisemblance de l'aléa					
		SSP2-4,5			SSP5-8,5		
		2028-2057	2050-2079	2071-2100	2028-2057	2050-2079	2071-2100
Potentiel d'érosion*	Période annuelle d'eau libre du lac Saint-Jean	1	1	1	1	1	1
Tempêtes et vents extrêmes	Vitesse maximale annuelle du vent soutenu	3	3	3	3	3	4
Foudre*	Nombre d'impacts d'éclairs	3	3	3	3	3	3
Feux de forêt/Fumée	Qualitatif	1	1	1	1	1	1

Légende :

5 – Presque certain	4 – Probable	3 – Possible	2 – Improbable	1 – Rare

5.3 Analyse de la vraisemblance de l'impact

La vraisemblance de l'impact est obtenue en croisant la vulnérabilité de la composante dérivée des résultats de l'analyse de la vulnérabilité, avec la vraisemblance de l'aléa causant cet impact. Les résultats de l'analyse de la vraisemblance de l'impact sont fournis dans le registre de risque à l'Annexe C. En résumé :

- Il est « improbable » que certaines composantes des infrastructures grises subissent des dommages ou deviennent instables en raison des augmentations des cycles de gel-dégel futurs.
- Il sera « rare » que les infrastructures grises de protection (p. ex., structure de l'enrochement) soient affectées ou fragilisées dû à l'augmentation du potentiel érosif. Il est estimé que les besoins en matière d'interventions de stabilisation des berges ne deviendront probablement pas critiques par rapport aux besoins actuels au courant de la période étudiée.
- Il est « possible » que certains événements extrêmes, combinés ou pas, puissent détruire ou endommager certains végétaux des infrastructures écologiques.
- Il sera « rare » que les infrastructures écologiques soient endommagées ou arrachées dû au potentiel érosif.
- Il sera « rare » que la végétation des infrastructures écologiques soit endommagée ou détruite par les feux de forêt.
- Il est « improbable » que le potentiel érosif puisse affecter les berges et les plages des secteurs non protégés.
- Il est « possible » que certains événements extrêmes, combinés ou pas, puissent détruire ou endommager certains végétaux des milieux humides et hydriques sensibles de l'habitat en général ou associés à des travaux de protection de berge ou à des aménagements fauniques.
- Il est « improbable » que le potentiel érosif puisse détruire la végétation stabilisatrice des berges, compromettant la résistance à l'érosion en général et dans les secteurs de travaux de protection et/ou détruire la végétation associée à des aménagements fauniques.

- Il sera « rare » que les feux de forêt puissent atteindre la végétation des milieux humides et hydriques sensibles et qu'ils puissent engendrer des dommages significatifs.
- Il est « possible » que certains événements extrêmes, combinés ou pas, puissent affecter les délais et de la durée des opérations de construction, qui doivent être suspendues lors des conditions défavorables.
- Il est « possible » que certains événements extrêmes, combinés ou pas, puissent affecter les délais et de la durée des opérations de contrôle et de suivi, qui doivent être suspendues lors des conditions défavorables.

6 Étape 5 – Analyse des risques

Le registre des risques détaillé est fourni à l'Annexe C. Cette section fournit un profil du risque et une analyse des scores de risque.

6.1 Profil de risque par niveau

Au total, l'évaluation a identifié 12 impacts potentiels entre les aléas climatiques et les composantes du Programme, qui ont été évalués pour trois horizons temporels (2028-2057, 2050-2079, 2071-2100) et deux scénarios d'émissions (SSP2-4,5, SSP5-8,5). La figure 6 présente le profil de risque résultant, pour les horizons à court terme (années 2028-2057, colonne de gauche), à moyen terme (années 2050-2079, colonne du milieu) et à long terme (années 2071-2100, colonne de droite) pour le scénario d'émission SSP2-4,5, avec une ventilation du nombre d'interactions climat-composante correspondant à chaque niveau de risque. La figure 7 présente le profil de risque pour le scénario d'émission SSP5-8,5).

Figure 6 **Nombre de risques par niveau de risque et par horizon temporel pour le scénario d'émission SSP2-4,5**

Figure 7 **Nombre de risques par niveau de risque et par horizon temporel pour le scénario d'émission SSP5-8,5**

Les résultats de l'étude démontrent que les scores de risque restent constants, quels que soient l'horizon temporel et le scénario d'émission. Comme il n'y a aucune différence, les graphiques dans les sections suivantes sont applicables à l'horizon à court terme (2028-2057), à moyen terme (2050-2079) et à long terme (2071-2100), et selon le scénario d'émission SSP2-4,5 et SSP5-8,5. Les résultats complets de l'analyse se trouvent à l'annexe C.

On s'attend à ce que les risques de niveau Classe I puissent être gérés en grande partie grâce aux normes de conception existantes et aux opérations et maintenance standards. Par conséquent, les mesures d'adaptation qui suivront (section 7.0) se concentreront davantage sur les risques de niveau Classe II et Classe III.

6.2 Profil de risque par composante

Les figures 8 et 9 présentent le profil de risque par composante. En analysant les risques selon les composantes, l'étude démontre que :

- Les infrastructures écologiques et les milieux humides et hydriques présentent le plus grand nombre de risques (tous niveaux confondus). Étant donné que ces infrastructures et milieux sont exposés et sont naturels, ils sont plus susceptibles d'être affectés par les changements climatiques.
- Les milieux humides et hydriques présentent le plus grand nombre de risques Classe II (2), suivi des infrastructures écologiques, les secteurs non protégés et les opérations de contrôle et de suivi qui ont chacun un risque de Classe II.
- Les opérations de construction sont à l'origine du seul risque de Classe III.

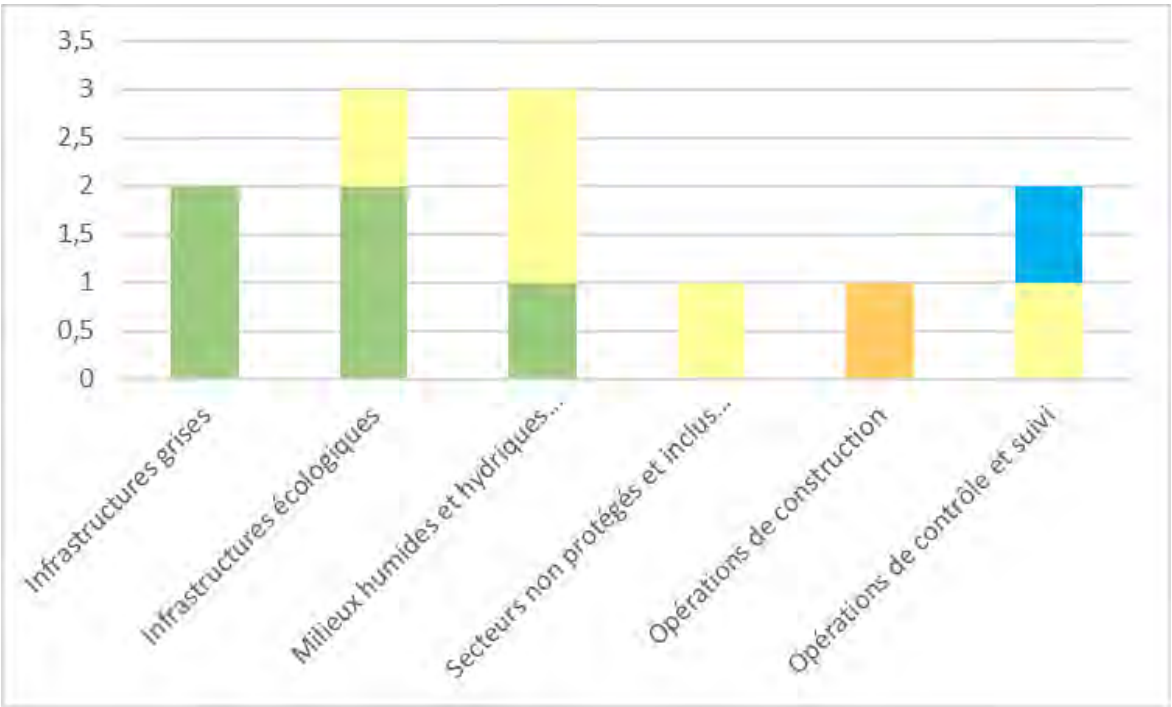


Figure 8 **Nombre de risques par composante pour le scénario SSP2-4,5**

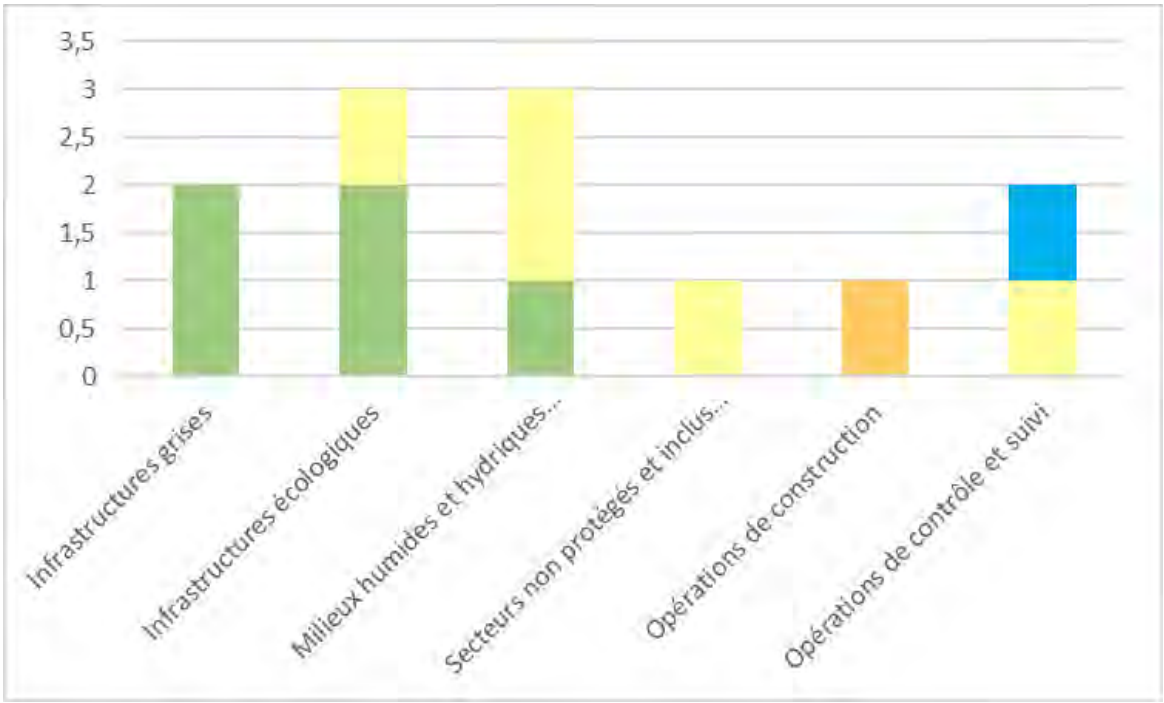


Figure 9 **Nombre de risques par composante pour le scénario SSP5-8,5**

6.2.1 Infrastructures grises

Les infrastructures grises ne présentent que des risques de Classe I.

Les cycles de gel-dégel plus fréquents pourraient accélérer la déformation des sols et des infrastructures grises menant à un vieillissement prématuré. Les dégradations et la perte de fonctionnalité potentielle des ouvrages pourraient mener à un devancement des coûts de réfection. La sensibilité des ouvrages à cet aléa demeure malgré tout relativement faible et l'envergure des changements appréhendés ne devrait pas altérer grandement le comportement des infrastructures face à cet aléa.

Les écarts d'énergie par rapport à l'horizon 2024 demeurent entre 1 et 7 % pour tous les horizons analysés par Lasalle, il est donc estimé que les besoins en matière d'interventions de stabilisation des berges ne deviendront probablement pas critiques par rapport aux besoins actuels au courant de la période étudiée. Malgré ces prévisions, le risque d'observer des événements ponctuels extrêmes demeure accru, sans pouvoir être quantifié. Les événements extrêmes imprévus pourraient occasionner une érosion atypique des plages ou des dommages ponctuels aux ouvrages de protection qui pourraient réduire la fonctionnalité des ouvrages. Bien que des solutions temporaires puissent généralement être mises en place en quelques semaines pour réduire les impacts sur la communauté et l'environnement, la mise en place de solutions plus permanentes peut s'échelonner sur une période pouvant atteindre 1 à 2 ans et nécessiter des budgets pris en charge par la contingence d'opération et de maintenance pour effectuer une surcharge de travaux de réfection.

6.2.2 Infrastructures écologiques

Les infrastructures écologiques présentent deux risques de Classe I et un risque de Classe II.

Certains événements extrêmes, combinés ou pas, pourraient détruire ou endommager certains végétaux des infrastructures écologiques, résultant en un risque de Classe II. L'augmentation du potentiel érosif appréhendé (1 à 7 %) ne deviendra probablement pas critique par rapport aux besoins actuels au courant de la période étudiée. Le risque d'observer des événements ponctuels extrêmes demeure cependant accru, sans pouvoir être quantifié. Les événements extrêmes imprévus pourraient occasionner une détérioration rapide et atypique des végétaux dans les infrastructures écologiques, résultant en un risque de Classe I. Étant donné que les infrastructures écologiques sont placées en bordure du lac, même en cas d'augmentation des conditions propices aux feux de forêt, le risque demeure Classe I.

Pour les techniques de génie végétal, la perte des végétaux pourrait affecter la capacité des aménagements d'assurer la protection des berges. La perte de fonctionnalité des ouvrages pourrait s'échelonner sur une période de jusqu'à 1 an et nécessiter des budgets pris en charge par la contingence d'opération et de maintenance pour les travaux de réfection. Dans les ouvrages mixtes, le rôle que jouent les végétaux dans la protection des berges demeure relativement mineur. La dégradation des végétaux ne devrait pas affecter de manière significative l'intégrité et la fonctionnalité des ouvrages.

6.2.3 Secteurs non protégés

Les secteurs non protégés et inclus dans le Programme présentent un risque de Classe II. Les secteurs non protégés sont proportionnellement plus vulnérables et moins résilients aux aléas extrêmes et imprévus que les secteurs protégés. Malgré la faible augmentation du potentiel érosif appréhendée (1 à 7 %), les éventements ponctuels extrêmes pourraient occasionner des dommages modérés aux secteurs non protégés et pourraient nécessiter une addition au budget d'opération et de maintenance planifié (travaux d'urgence). L'érosion pourrait affecter des secteurs sensibles résultant en une perte de biodiversité ce qui pourrait occasionner un enjeu important auprès des communautés (stress, augmentation des échanges, etc.).

6.2.4 Milieux humides et hydriques

Les milieux humides et hydriques (sur le territoire du Programme) présentent un risque de Classe I et deux risques de Classe II.

Certains événements extrêmes, combinés ou pas, pourraient détruire ou endommager certains végétaux des milieux humides et hydriques sensibles de l'habitat en général ou associés à des travaux de protection de berge ou à des aménagements fauniques (risque de Classe II). Le potentiel érosif pourrait détruire la végétation stabilisatrice des berges, compromettant la résistance à l'érosion en général et dans les secteurs de travaux de protection et pourrait détruire la végétation associée à des aménagements fauniques (risque Classe II).

Les végétaux des milieux humides et hydriques en général ou associés à des travaux de protection de berge ou à des aménagements fauniques pourraient être perdus à la suite des feux de forêt, mais ce risque est de Classe I.

Des dommages ou changements aux milieux humides et hydriques sensibles pourraient entraîner des modifications d'habitat à considérer dans les suivis.

6.2.5 Opérations de construction

Les changements climatiques posent un risque de Classe III aux opérations de construction.

Les changements climatiques rendront les événements plus extrêmes en termes de fréquence et d'intensité. Les redoux hivernaux, la pluie et les niveaux du lac Saint-Jean affectent grandement les opérations sur l'ensemble des sites d'intervention en même temps. Les redoux hivernaux ou les conditions météorologiques extrêmes peuvent occasionner une suspension des travaux pendant quelques jours. L'abaissement plus tardif des niveaux d'eau à l'hiver et la période de dégel plus hâtive au printemps peut raccourcir de plusieurs jours, voire quelques semaines, la fenêtre de temps disponible pour réaliser les travaux. Il y a une faible capacité de prendre en charge plus de travaux en parallèle (ressources RTA, consultants, surveillants, entrepreneurs). De plus, la fenêtre de temps disponible pour réaliser les travaux demeure plutôt courte et ne permet pas une marge de manœuvre élevée. Les impacts des événements météorologiques ont déjà été constatés et ont eu des impacts sur les opérations de construction dans les années récentes. L'accélération des travaux, la mise en place de mesures de gestion des eaux de surface et/ou le report des travaux peuvent avoir une incidence sur les coûts d'opération et nécessiter une addition au budget d'opération et de maintenance planifié. Le report des travaux peut augmenter les dommages subis à la berge ou nécessiter la mise en place de mesures temporaires pour assurer la protection des berges. Le report des travaux ou la

réalisation des travaux à une autre période de l'année peut avoir un impact sur la communauté et un impact réputationnel sur RTA.

6.2.6 Opérations de contrôle et de suivi

Les changements climatiques posent un risque de Classe II aux opérations de contrôle et de suivi. Les changements climatiques rendront les événements plus extrêmes en termes de fréquence et d'intensité et peuvent causer l'imprévisibilité des saisons d'activités de contrôle et de suivi. Les conditions météorologiques extrêmes peuvent occasionner une suspension ou un report des inventaires de terrain pendant quelques jours. L'impact des changements climatiques peut affecter les périodes pendant lesquels les suivis doivent être réalisés (devancer ou retarder). L'impact des changements climatiques peut augmenter les risques de propagation de maladies vectorielles. Cependant, les activités de terrain sont moins longues et la fenêtre de temps disponible est plus grande comparativement aux opérations de construction et le prolongement de la saison « chaude » peut augmenter la fenêtre de temps disponible pour réaliser les suivis (quelques jours/semaines).

7 Étape 6 – Traitement des risques climatiques

Les mesures d'adaptation et les recommandations ont été développées pour orienter RTA vers une gestion et une conception résiliente du Programme de gestion de l'érosion des plages et des berges du lac Saint-Jean de 2028 à 2037. De manière générale, les changements climatiques présentent des enjeux reliés à :

- L'augmentation du potentiel érosif appréhendé (1 à 7 %) qui pourrait détruire ou endommager certains végétaux des infrastructures écologiques. Malgré la faible augmentation du potentiel érosif appréhendée, les événements ponctuels extrêmes pourraient occasionner des dommages modérés aux secteurs non protégés et pourraient nécessiter une addition au budget d'opération et de maintenance planifié (travaux d'urgence). L'érosion pourrait affecter des secteurs sensibles résultant en une perte de biodiversité ce qui pourrait occasionner un enjeu important auprès des communautés (stress, augmentation des échanges, etc.). De plus, le potentiel érosif pourrait détruire la végétation stabilisatrice des berges, compromettant la résistance à l'érosion en général, et dans les secteurs de travaux de protection, et pourrait détruire la végétation associée à des aménagements fauniques.
- Certains événements extrêmes, combinés ou pas, pourraient détruire ou endommager certains végétaux des milieux humides et hydriques sensibles de l'habitat en général ou associés à des travaux de protection de berge ou à des aménagements fauniques.
- L'augmentation de la fréquence et de l'intensité des événements extrêmes qui peut affecter les opérations de construction et les opérations de contrôle et de suivi. Les redoux hivernaux, la pluie et les niveaux du lac Saint-Jean affectent grandement les opérations sur l'ensemble des sites d'intervention en même temps. Les redoux hivernaux ou les conditions météorologiques extrêmes peuvent occasionner une suspension des travaux pendant quelques jours. L'abaissement plus tardif des niveaux d'eau à l'hiver et la période de dégel plus hâtive au printemps peut raccourcir de plusieurs jours, voire quelques semaines, la fenêtre de temps disponible pour réaliser les travaux. Ces changements peuvent aussi causer l'imprévisibilité des saisons d'activités de contrôle et de suivi. Les conditions météorologiques extrêmes peuvent occasionner une suspension ou un report des inventaires de terrain pendant quelques jours. L'impact des changements climatiques peut affecter les périodes pendant lesquels les suivis doivent être réalisés (devancer ou retarder).

  Le tableau 19 présente une liste de recommandations visant à réduire les risques identifiés. Les scores de risques ne changent pas à travers les horizons temporels et sont identiques pour le scénario d'émission SSP2-4,5 et SSP5-8,5.

  Un niveau de risque résiduel est également fourni dans le tableau. Ce niveau est évalué de façon subjective en considérant la mise en place des mesures d'adaptation proposées et devrait être confirmé lorsque la sélection finale des mesures d'adaptation pour le projet est complétée.

Tableau 19 Mesures d'adaptation

Aléas climatiques	Description de l'impact potentiel	Score de risque avant mise en œuvre des mesures d'adaptation	Mesures d'adaptation proposées	Estimation du score de risque résiduel après mise en œuvre des mesures d'adaptation
Cycles de gel-dégel	L'alternance de gel-dégel peut engendrer des dommages ou une instabilité de certaines composantes des infrastructures grises situées dans la zone de gel (moins de 1 m de la surface). Par exemple, certaines structures en pierres (épis, brise-lames, perrés) peuvent s'effriter. Un autre exemple est la dilatation et la compression des sols du fait du gel pouvant engendrer une instabilité des perrés ou un mouvement pouvant affecter l'intégrité d'un géotube.	Classe I	**Révision des critères de qualité des pierres et flexibilité/résilience des aménagements** – Exiger au devis des critères de qualité des pierres pour privilégier des lithologies et des propriétés mécaniques adaptées en termes de résistance aux cycles de gel-dégel. – Privilégier des aménagements et des matériaux flexibles et résilients aux cycles de gel-dégel (p. ex. empierrements semi-statiques, techniques mixtes, perrés avec pentes adoucies).	Classe I
Potentiel érosif	Le potentiel d'érosion pourrait affecter certaines infrastructures grises. Par exemple, la structure de l'enrochement pourrait être fragilisée. Un autre exemple est l'accélération de l'érosion des plages nécessitant des rechargements plus fréquents.	Classe I	Aucune action. Il est attendu que ce risque puisse être géré en grande partie grâce aux normes de conception existantes et aux opérations et maintenances standards.	Classe I
Forte pluie, pluie verglaçante, accumulation de neige, tempêtes et vents extrêmes	Certains événements extrêmes, combinés ou pas, pourraient détruire ou endommager certains végétaux des infrastructures écologiques. Par exemple, une tempête de verglas couplée à des vents pourrait engendrer des dommages significatifs. Un autre exemple est l'érosion de sol de surface en cas de forte précipitation.	Classe II	– Prévoir des inspections terrain extraordinaires dans les secteurs sensibles connus en cas d'événement extrême atypique. – Assurer une vigilance particulière à ces infrastructures lors des survols et inspections de terrain annuels, advenant l'occurrence d'événements extrêmes atypique dans le cas où les végétaux jouent un rôle important dans l'intégrité structurale des ouvrages de protection, incluant celles qui protègent les milieux humides et les aménagements fauniques. – Si la perte des végétaux menace l'intégrité structurale des ouvrages de protection des berges, remplacer les végétaux morts. – Selon « l'exceptionnalité » de l'événement, réévaluer le type de solution utilisée pour protéger la berge (augmenter le niveau de robustesse et résilience, gestion adaptative, migrer vers des ouvrages mixtes, etc.).	Classe II*
Potentiel érosif	Le potentiel érosif pourrait affecter certaines infrastructures écologiques. Par exemple, certains végétaux pourraient être arrachés.	Classe I	– Prévoir des inspections terrain extraordinaires dans les secteurs sensibles connus en cas d'événement extrême atypique dans le cas où les végétaux jouent un rôle important dans l'intégrité structurale des ouvrages de protection. – Assurer une vigilance particulière à ces infrastructures lors des survols et inspections de terrain annuels, advenant l'occurrence d'événements extrêmes atypique. – Si la perte des végétaux menace l'intégrité structurale des ouvrages de protection des berges, remplacer les végétaux morts. – Selon « l'exceptionnalité » de l'événement d'érosion, réévaluer le type de solution utilisée pour protéger la berge (augmenter le niveau de robustesse et résilience, gestion adaptative, migrer vers des ouvrages mixtes, etc.).	Classe I
Feux de forêt/fumée	Les feux de forêt pourraient atteindre la végétation des infrastructures écologiques et les endommager, voire les détruire.	Classe I	– Prévoir une inspection des infrastructures écologiques après le passage d'un feu de forêt (le cas échéant). – Si la perte des végétaux menace l'intégrité structurale des ouvrages de protection des berges, remplacer les végétaux morts en cas de feu de forêt.	Classe I
Potentiel érosif	Le potentiel érosif pourrait affecter les berges et les plages des secteurs non protégés et générer des interventions à réaliser par le Programme.	Classe II	– Documenter les zones non protégées et le niveau de vulnérabilité (exposition, infrastructures à risque, etc.) et mettre à jour aux 3 à 5 ans. – Prévoir des inspections terrain extraordinaires dans les secteurs sensibles connus en cas d'événement extrême atypique. – Assurer une vigilance particulière à ces infrastructures lors des survols et inspections de terrain annuels, advenant l'occurrence d'événements extrêmes atypique. – Adaptation du programme de suivi des conditions érosives pour s'assurer de caractériser les sollicitations dans les secteurs sensibles.	Classe I

Tableau 19 Mesures d’adaptation (suite)

Aléas climatiques	Description de l’impact potentiel	Score de risque avant mise en œuvre des mesures d’adaptation	Mesures d’adaptation proposées	Estimation du score de risque résiduel après mise en œuvre des mesures d’adaptation
Forte pluie, pluie verglaçante, accumulation de neige, tempêtes et vents extrêmes	Certains événements extrêmes, combinés ou pas, pourraient détruire ou endommager certains végétaux des milieux humides et hydriques sensibles de l’habitat en général ou associés à des travaux de protection de berge ou à des aménagements fauniques. Par exemple, une tempête de verglas couplée à des vents pourrait engendrer des dommages significatifs. Les épisodes de pluie verglaçante peuvent notamment entraîner : – Dommages à la biodiversité en général : bris de branches, stress physiologique des végétaux, perte de couvert végétal dans les milieux humides. – Détruire la végétation associée à des travaux de protection de berges ou à des aménagements fauniques, compromettant la résistance à l’érosion ou leur efficacité d’utilisation par la faune. – Perturbations hydrologiques : accumulation de glace pouvant modifier les écoulements et provoquer des embâcles ou des inondations localisées aux embouchures des cours d’eau.	Classe II	– Considérer ces événements exceptionnels dans l’analyse des résultats d’inventaires et de suivis.	Classe II*
Forte pluie, pluie verglaçante, accumulation de neige, tempêtes et vents extrêmes	Le potentiel érosif pourrait détruire la végétation stabilisatrice des berges, compromettant la résistance à l’érosion en général et dans les secteurs de travaux de protection et pourrait détruire la végétation associée à des aménagements fauniques. L’érosion des berges peut notamment entraîner : – Perte et transit de matériaux granulaires. – Modification de la dynamique sédimentaire. – Perturber le patrimoine archéologique. – Perturber les paysages naturels. – Dommages à la biodiversité : perte de couvert végétal dans les milieux humides et hydriques. – Dommage aux aménagements de protection ou fauniques réalisés.	Classe II	– Prévoir des inspections terrain extraordinaires dans les secteurs sensibles connus en cas extrême atypique. – Assurer une vigilance particulière à ces infrastructures lors des survols et inspections de terrain annuels, advenant l’occurrence d’événements extrêmes atypique. – Considérer ce facteur dans l’analyse des résultats d’inventaires de suivis.	Classe I
Feux de forêt/fumée	Certains événements extrêmes, combinés ou pas, pourraient détruire ou endommager certains végétaux des milieux humides et hydriques sensibles de l’habitat en général ou associés à des travaux de protection de berge ou à des aménagements fauniques. Les feux de forêt pourraient atteindre la végétation des milieux humides et hydriques sensibles et pourraient engendrer des dommages significatifs. Les feux de forêt peuvent notamment entraîner : – Détruire des sections d’ouvrages en bois (p. ex. passerelle ou seuil en bois). – Détruire la végétation stabilisatrice des berges, compromettant la résistance à l’érosion. – Altérer les milieux humides riverains, qui jouent un rôle crucial dans la biodiversité et la régulation hydrologique. – Augmenter la vulnérabilité des infrastructures (ouvrages de protection de berges ou aménagements fauniques) en cas de perte de couverture végétale.	Classe I	– Considérer ces événements exceptionnels dans l’analyse des résultats d’inventaires et de suivis.	Classe I

Tableau 19 Mesures d’adaptation (suite)

Aléas climatiques	Description de l’impact potentiel	Score de risque avant mise en œuvre des mesures d’adaptation	Mesures d’adaptation proposées	Estimation du score de risque résiduel après mise en œuvre des mesures d’adaptation
Froid intense, cycles de gel-dégel, forte pluie, pluie verglaçante, accumulation de neige, tempêtes et vents extrêmes	Certains événements extrêmes, combinés ou pas, pourraient affecter les délais et de la durée des opérations de construction, qui doivent être suspendues lors des conditions défavorables.	Classe III	– Considérer ce risque en amont dans le processus de conception et la planification des travaux (inclure dans la revue de constructibilité). – Prévoir des délais appropriés dans le calendrier des travaux pour imprévus/intempéries. – Prévoir avec les entrepreneurs retenus des mesures permettant d’accélérer le calendrier des travaux, si requis (p. ex., équipes doubles, heures de travail prolongées, travail les fins de semaine, etc.). – Prévoir des mesures d’atténuation pour prolonger les travaux pendant la période de dégel au printemps (p. ex. devancer le transport des matériaux avant le dégel et entreposage sur le site, effectuer le transport avec charges réduites pendant la période de dégel, protéger les chemins d’accès à la berge pendant le dégel et prévoir des travaux de remise en état plus substantiels, prévoir des accès alternatifs plus résilients aux intempéries, etc.). – Adapter la programmation des travaux à la capacité de la main-d’œuvre et la fenêtre de temps disponible (reporter les travaux moins urgents à l’année ultérieure, prévoir des aménagements de protection temporaire, etc.). – Prévoir la réalisation des travaux à d’autres moments de l’année (plus tôt à l’automne) et possiblement avec d’autres méthodes de travail et des mesures d’atténuation supplémentaires.	Classe II
Chaleur extrême et augmentation des températures, froid intense, forte pluie, pluie verglaçante, accumulation de neige, tempêtes et vents extrêmes, foudre, feux de forêt/fumée	Certains événements extrêmes, combinés ou pas, pourraient affecter les délais et de la durée des opérations de contrôle et de suivi, qui doivent être suspendues lors des conditions défavorables.	Classe II	– Faire une revue périodique des normes SSE pour ajuster les plans de travail spécifiques (PTS) aux nouveaux risques émergents.	Classe I

Notes : * Le niveau de risque est considéré inchangé, car celui-ci est principalement dicté par la vraisemblance de l’aléa climatique sur laquelle le Programme n’a pas de contrôle.

8 Conclusion

Cette étude de la résilience aux changements climatiques a évalué les vulnérabilités et les risques du Programme de gestion de l'érosion des plages et des berges du lac Saint-Jean de 2028 à 2037 (le Programme). Ces risques ont été évalués sur trois horizons temporels futurs (2028-2057, 2050-2079, 2071-2100) et selon deux scénarios d'émissions (SSP2-4,5, SSP5-8,5). Les résultats de l'étude démontrent que les scores de risque restent constants, quels que soient l'horizon temporel et le scénario d'émission, comme démontré dans le profil de risque ci-dessous.

Niveau de risque	Nombre d'impacts					
	SSP2-4,5			SSP5-8,5		
	2028-2057	2050-2079	2071-2100	2028-2057	2050-2079	2071-2100
Classe I	5	5	5	5	5	5
Classe II	5	5	5	5	5	5
Classe III	1	1	1	1	1	1
Classe IV	0	0	0	0	0	0
Opportunité	1	1	1	1	1	1

Les niveaux de risques se définissent comme suit :

Niveau de risque	Description
Classe I	Les risques se situent en dessous du seuil de tolérance et ne nécessitent pas de gestion active.
Classe II	Les risques atteignent le seuil de tolérance et nécessitent une vigilance active.
Classe III	Les risques dépassent le seuil de tolérance et nécessitent une gestion proactive.
Classe IV	Les risques dépassent de beaucoup le seuil de tolérance et nécessitent une attention urgente et immédiate.

Les résultats de l'étude démontrent que certaines composantes du Programme sont exposées à certains risques liés à une augmentation de la fréquence et de l'intensité des événements extrêmes et l'augmentation du potentiel érosif.

L'augmentation du potentiel érosif appréhendé (1 à 7 %) ne deviendra probablement pas critique par rapport aux besoins actuels au courant de la période étudiée. Malgré ces prévisions, le risque d'observer des événements ponctuels extrêmes demeure accru, sans pouvoir être quantifié. Les événements extrêmes imprévus pourraient occasionner une érosion atypique des plages ou des dommages ponctuels aux ouvrages de protection qui pourraient réduire la fonctionnalité des ouvrages.

Des mesures d'adaptation ont été proposées pour chaque impact identifié, afin de réduire les risques dans les conditions climatiques futures. La performance des mesures mises en œuvre devrait être surveillée tout au long de la durée du Programme. Si les mesures d'adaptation sont mises en œuvre, la résilience climatique peut s'avérer être un investissement offrant des avantages futurs considérables. La résilience climatique est beaucoup plus difficile et coûteuse à mettre en œuvre de manière réactive, lorsque des réparations ou des remises à neuf sont nécessaires pour répondre aux dommages causés par des événements météorologiques extrêmes et des impacts climatiques.

Les données contenues dans ce rapport sont à jour au moment de la rédaction. Toutefois, la disponibilité, l'exactitude et la précision des données climatiques évoluent constamment. La vulnérabilité, les risques et les mesures de résilience pris en compte dans cette évaluation doivent être réexaminés à mesure que de nouvelles informations sont disponibles (p. ex. le prochain décret), y compris des changements dans les projections climatiques, les paramètres de fonctionnement et les conditions locales, ou lorsque d'importants projets sont prévus.

Références bibliographiques

Climatedata.ca. (n.d.). Future Building Design Value Summaries. *ClimateData.Ca*. Retrieved January 30, 2025, from https://climatedata.ca/explore/variable/

Diffenbaugh, N. S., Scherer, M. & Trapp, R. J. (2013). Robust increases in severe thunderstorm environments in response to greenhouse forcing. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *110*(41), 16361–16366. https://doi.org/10.1073/pnas.1307758110

Donneesclimatiques.ca. (2025a). *Comprendre les trajectoires communes d'évolution socio-économique (SSP)*. https://donneesclimatiques.ca/ressource/comprendre-les-trajectoires-communes-devolution-socioeconomique-ssp/?_gl=1*acnhed*_ga*NzE0MDI2NTEwLjE3MjczNTk3NjU.*_ga_3330ZYEQPW*czE3NTUyNjk1NzQkbzQwJGcxJHQxNzU1MjcwMzEwJGo2MCRsMCRoMA.

Donneesclimatiques.ca. (2025b). *En profondeur : Projections météorologiques avancées pour les feux de forêt*. https://donneesclimatiques.ca/feux-de-foret/

Evora, N. (2014). *Impact des changements climatiques sur les indicateurs hydrologiques à l'échelle du système hydrique du Saguenay-Lac-Saint-Jean*. Rio Tinto Gestion des Ressources Hydriques.

Flannigan, M. D., Logan, K. A., Amiro, B. D., Skinner, W. R., & Stocks, B. J. (2005). Future Area Burned in Canada. *Climatic Change*, *72*(1-2 [September 2005]), 1–16.

GIEC. (2021). *Changement climatique 2021 : Les bases scientifiques physiques : Résumé à l'intention des décideurs : Contribution du groupe de travail I au sixième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat*.

Government of Canada. (2019). *Lightning activity statistics—Canada.ca*. https://www.canada.ca/en/environment-climate-change/services/lightning/statistics.html

MELCC. (2021). *Les changements climatiques et l'évaluation environnementale : Guide à l'intention de l'initiateur de projet*. www.environnement.gouv. qc.ca/evaluations/directive-etude-impact/guideintention-initiateur-projet.pdf

O'Neill, B. C., Tebaldi, C., van Vuuren, D. P., Eyring, V., Friedlingstein, P., Hurt, G., & Knutti, R. (2016). The Scenario Model Intercomparison Project (ScenarioMIP) for CMIP6. *Geoscientific Model Development*, *9*(9), 3461–3482. https://doi.org/doi:https://doi.org/10.5194/gmd-9-3461-2016

Ouranos. (2025). *Portraits climatiques*. https://www.ouranos.ca/fr/portraits-climatiques

Ouranos et MELCCFP. (2024). *ÉLABORER UN PLAN D'ADAPTATION AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES - Guide pour les organismes municipaux* (p. 138 pages).

PCIC. (2024). *Statistically Downscaled Climate Scenarios (CMIP6)*. https://pacificclimate.org/

Ressources naturelles Canada. (2024). *Feux de forêt*. Ressources naturelles Canada. https://ressources-naturelles.canada.ca/nos-ressources-naturelles/forets/feux-insectes-perturbations/feux-foret/13144

Riahi, K., Schaeffer, R., Arango, J., Calvin, K., Guivarch, C., Hasegawa, T., Jiang, K., Kriegler, E., Matthews, R., Peters, G. P., Rao, A., Robertson, S., Sebbit, A. M., Steinberger, J., Tavoni, M., & van Vuuren, D. P. (2022). Mitigation pathways compatible with long-term goals. In *Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press. https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/downloads/report/IPCC_AR6_WGIII_FullReport.pdf#page=330

Riahi, K., van Vuuren, D. P., Kriegle, E., Edmonds, J., O'Neill, B. C., Fujimori, S., & Bauer, N. (2017). The shared socioeconomic pathways and their energy, land use, and greenhouse gas emissions implications: An overview. *Global Environmental Change*, *42*, 153–168.

Rio Tinto Energy and Climate (RTEC). (2024, February 7). *Rio Tinto Leading Practice Guideline – Incorporating Climate Change into Mine Water Management Planning*. Rio Tinto.

Romps, D. M., Seeley, J. T., Vollaro, D., & Molinari, J. (2014). Projected increase in lightning strikes in the United States due to global warming. *Science*, *346*(6211), 851–854. https://doi.org/10.1126/science.1259100

Seiller, G. (2016). *Impact des changements climatiques sur les régimes hydriques du Saguenay-Lac-Saint-Jean*. Rio Tinto Gestion des Ressources Hydriques.

Thrasher, B., Wang, W., Michaelis, A., Melton, F., Lee, T., & Nemani, R. (2022). NASA Global Daily Downscaled Projections, CMIP6. *Scientific Data*, *9*(1), 262. https://doi.org/10.1038/s41597-022-01393-4

Thrasher, B., Wang, W., Michaelis, A., & Nemani, R. (2021). *NASA Earth Exchange Global Daily Downscaled Projections (NEX-GDDP-CMIP6) | NASA Center for Climate Simulation*. https://www.nccs.nasa.gov/services/data-collections/land-based-products/nex-gddp-cmip6

WSP. (2015). *Programme de stabilisation des berges du lac Saint-Jean 2017-2026, Étude d'impact sur l'environnement*.

ANNEXE

A

NOTE TECHNIQUE POTENTIEL ÉROSIF

MÉMO

À :	Nicolas Sbarrato	**Date :**	28 avr. 25
De :	William Lapointe	**Référence LNI No. :**	8008881
Objet :	MÀJ Note technique - Analyse du potentiel érosif LSJ		

1 INTRODUCTION

Lasalle | NHC a développé une analyse du potentiel érosif afin de comparer différents scénarios de gestion hydraulique du lac Saint-Jean envisagés par Rio Tinto en vue du renouvellement du décret ministériel encadrant son programme de stabilisation des berges. La présente note technique a pour but de présenter un survol de la méthodologie utilisée dans la production des résultats, ainsi que de mettre en lumière les limitations associées.

2 MÉTHODOLOGIE

2.1 Approche générale

Il est anticipé qu'une hausse des températures moyennes de l'air aura un impact sur les taux d'érosion des berges en prolongeant la période annuelle d'eau libre du lac Saint-Jean. Celle-ci, définie comme étant le nombre de jours sans couvert de glace à la surface, joue un rôle important dans les processus d'érosion puisqu'elle représente l'exposition des berges à l'action des vagues. Le prolongement projeté de la période d'eau libre est donc l'un des indicateurs principaux utilisés pour estimer les effets des changements climatiques sur le potentiel érosif.

Le potentiel érosif, quant à lui, peut être estimer en analysant les flux énergétiques atteignant le talus riverain. Cette approche repose sur deux variables principales qui influencent conjointement l'intensité des sollicitations sur les berges, soit l'énergie associée aux trains de vagues et les hauteurs de niveau d'eau. Un potentiel érosif élevé se manifeste lorsque, simultanément, des vagues déferlent avec une forte intensité et les niveaux d'eau sont suffisamment élevés pour leur permettre d'atteindre les portions vulnérables de la berge. Dans le présent cas, ces deux variables sont évaluées de manière probabiliste et sont combinées afin d'obtenir un indicateur de la sollicitation des berges pour les huit secteurs cibles désignés conjointement avec Rio Tinto (Figure 2.1).

Figure 2.1 Localisation des points d'extraction des caractéristiques de vagues pour les huit secteurs cibles

2.2 Impacts des changements climatiques sur la période d'eau libre

Comme dans plusieurs régions nordiques, le réchauffement climatique anticipé laisse présager une diminution du couvert de glace sur le lac Saint-Jean et, donc, un prolongement de la période d'eau libre. Lorsque présent, le couvert de glace protège les berges contre l'érosion en atténuant la formation de vagues sur le plan d'eau, ou en limitant leur propagation jusqu'au rivage. Un prolongement de la période d'eau libre expose davantage les berges aux sollicitations par les vagues et, possiblement, à un plus grand nombre d'évènements de tempête, augmentant ainsi le risque d'érosion potentiel.

2.2.1 Séries temporelles de température de l'air

Des séries temporelles de températures de l'air anticipées en conditions futures ont été fournies par Rio Tinto. Ces données sont constituées de valeurs de température moyenne journalière (une

valeur par jour), et elles représentent l'intrant principal sur lequel le prolongement de la période d'eau libre est estimé.

Le jeu de données fourni regroupe 5 séries temporelles exprimant les températures de l'air pour différentes périodes. La série historique correspond aux données issues de la station météorologique de Roberval pour la période historique de 1958 à 2023 (65 années complètes). Des facteurs d'ajustement (ou « deltas ») ont ensuite été appliqués par Rio Tinto sur cette même période de référence pour représenter l'ampleur estimée du réchauffement climatique sur quatre horizons de temps, soit 2014, 2024, 2040 et 2070. La figure 2.2 illustre schématiquement la procédure utilisée pour générer les séries temporelles.

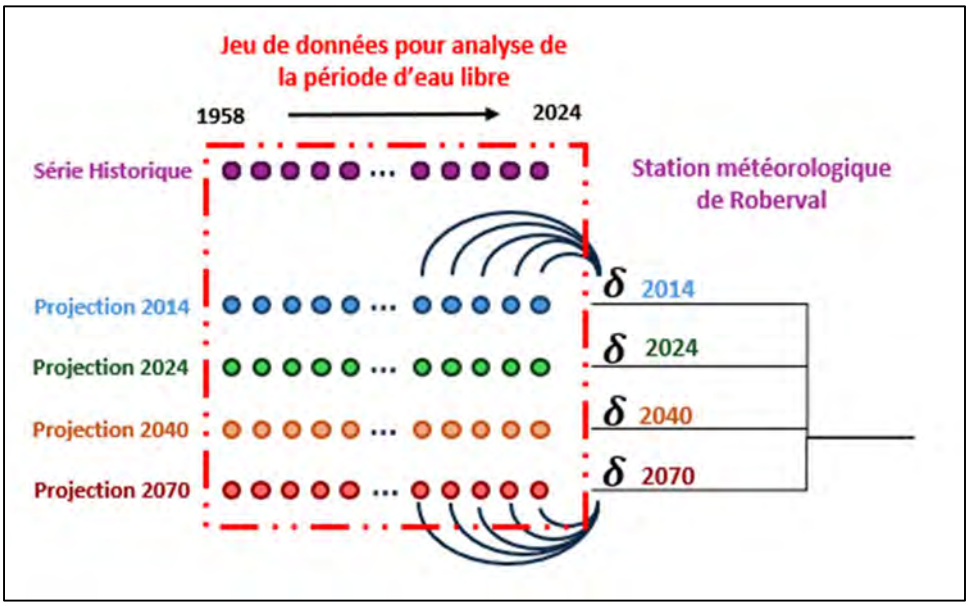


Figure 2.2 Schéma illustrant la procédure utilisée pour générer les séries temporelles de température de l'air en conditions futures.

2.2.2 Seuils de degré-jours de réchauffement ou de gel

Afin de tenir compte de l'impact appréhendé des changements climatiques sur la période d'eau libre, le concept de degrés-jours cumulatifs de réchauffement ou de gel est utilisé pour déterminer les dates de départ et de prise des glaces projetées pour chaque année de la série temporelle fournie (1958-2023). La période d'eau libre est ensuite caractérisée par le nombre de jours séparant les deux événements.

Des seuils ont été établis à partir des observations visuelles sur le terrain (enregistrées depuis 1986, utilisées pour le départ des glaces) et par images satellites (disponibles depuis 2004, utilisées pour la prise des glaces). À partir de ces informations et d'une analyse détaillée, il a été établi que le départ des glaces survenait au lac, en moyenne, lorsque les températures de l'air cumulaient

135°C-jours de réchauffement à partir du premier jour où une température moyenne positive est enregistrée pendant 9 jours consécutifs sur 11 (méthode 2, Figure 2.3).

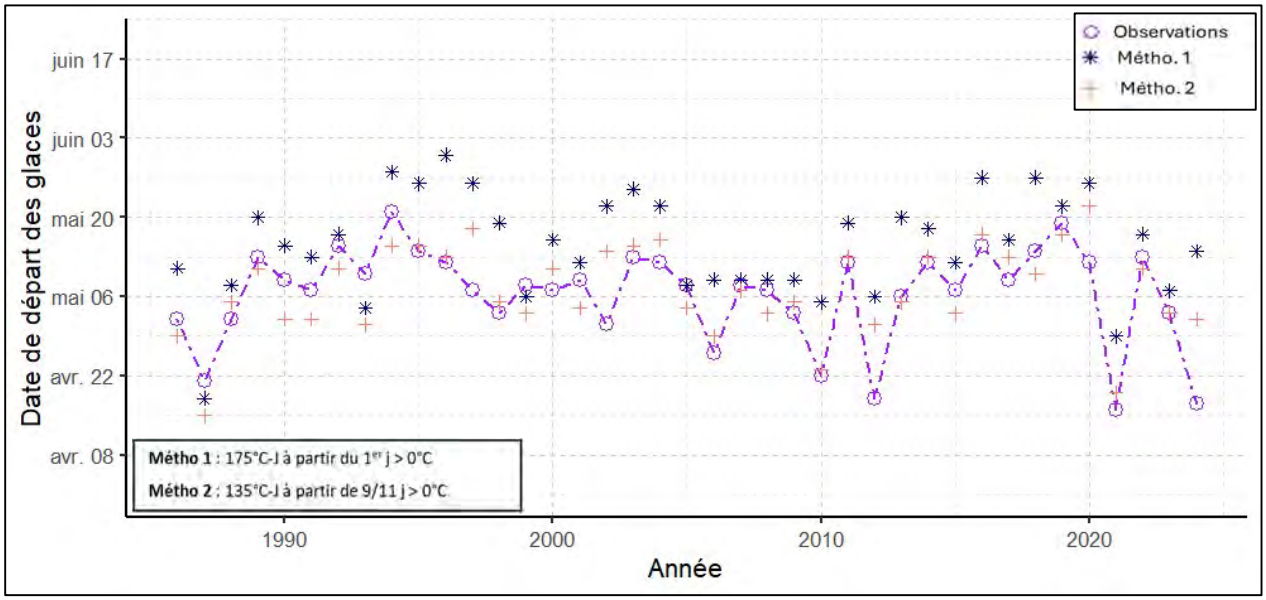


Figure 2.3 Étalonnage de deux définitions du seuil de degré-jour de réchauffement pour identifier la date de départ des glaces pour les années 1986-2023. La méthode 2 représente plus fidèlement les observations sur le terrain (obtenues de départdesglaces.org)

La définition du seuil de prise des glaces représentant le mieux les observations des images satellites a été quant à elle établi comme étant lorsque les températures de l'air cumulaient -140 °C-jours de gel comptabilisés à partir des trois premiers jours consécutifs où la température moyenne est négative à l'automne (méthode 3, Figure 2.4).

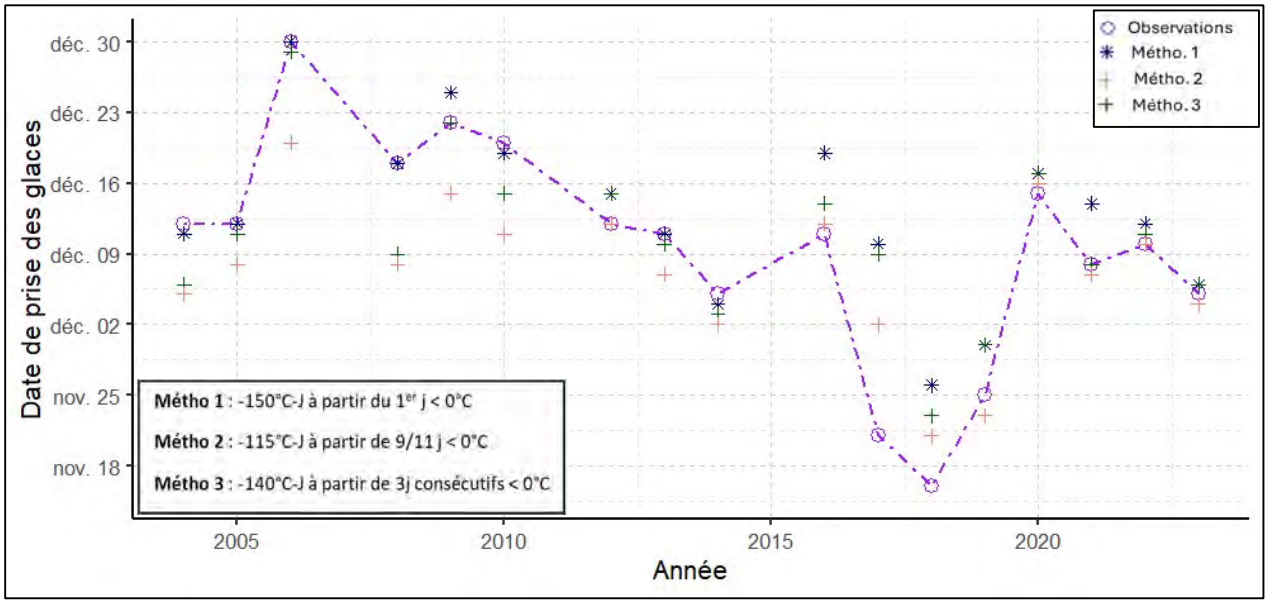


Figure 2.4 Étalonnage de trois définitions du seuil de degré-jours de gel pour identifier la date de prise des glaces pour les années 2004-2023.

2.2.3 Période d'eau libre

Les seuils de degrés-jours cumulatifs de réchauffement et de gel ont été appliqués aux séries temporelles de températures de l'air afin de définir les dates de prise et de départ des glaces, ainsi qu'une longueur de période d'eau libre, pour chaque année de la période de référence 1958-2023. Il était ensuite possible de caractériser une valeur médiane de longueur de période d'eau libre pour chaque série (horizon).

2.2.4 Extension à l'horizon 2100

Afin d'étendre la projection jusqu'à l'horizon 2100, deux modèles de régression ont été appliqués à partir des valeurs médianes de période d'eau libre obtenues. Les résultats indiquent une période d'eau libre projetée de 246.5 jours pour le modèle linéaire, et de 244.1 jours pour le modèle quadratique. Une valeur de 245 jours a été retenue, correspondant à un delta de +32 jours par rapport à la série temporelle historique. Cette différence concorde tout à fait avec les projections d'Ouranos pour l'indicateur « saison sans gel » disponible dans leur outil *Portraits climatiques* (Figure 4.1, Annexe B).

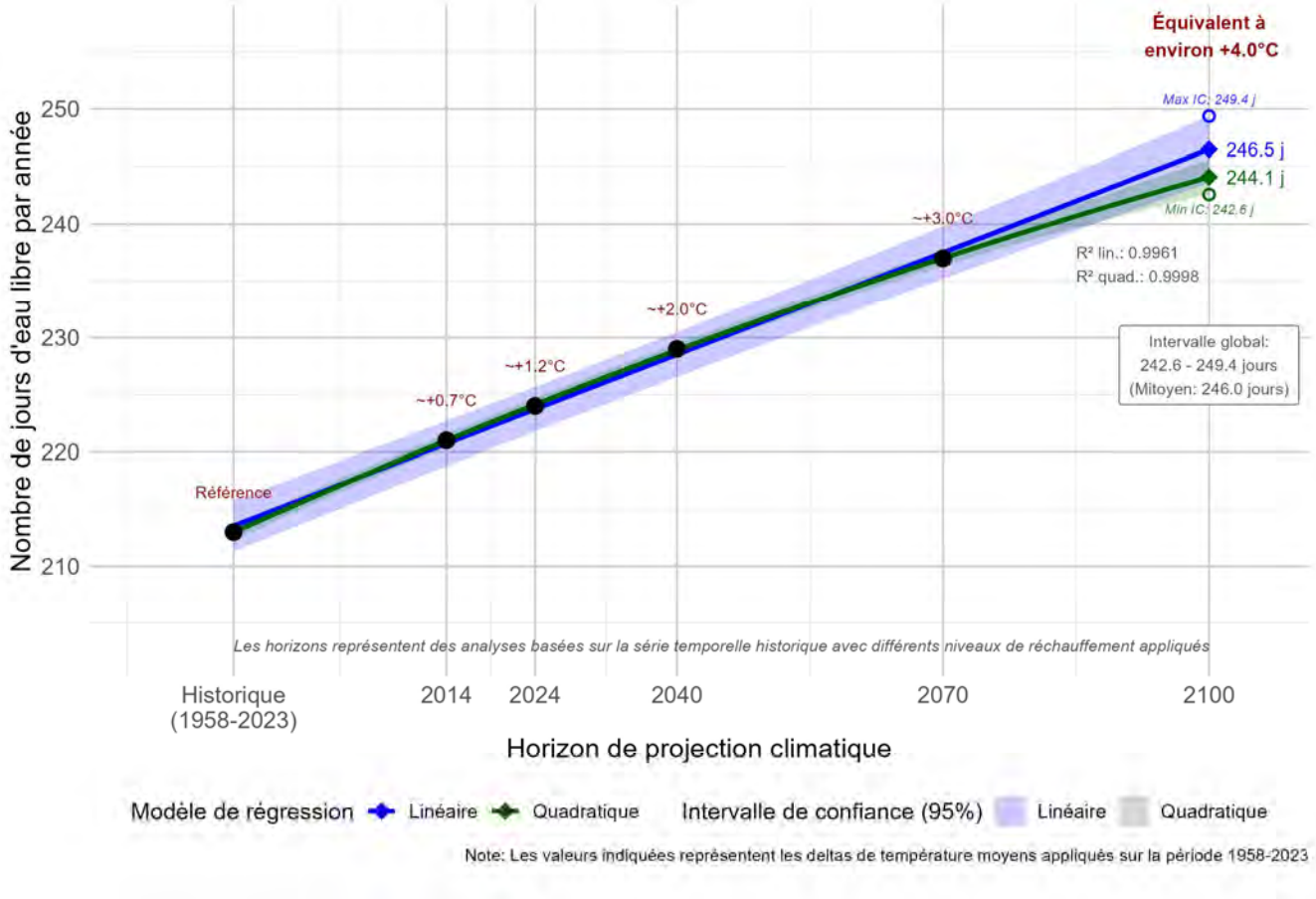


Figure 2.5 Projections de la période d'eau libre pour l'horizon 2100 selon deux modèles de régression

Tableau 2.1. Dates de départ et de prise des glaces, longueur et delta médians des périodes d'eau libre pour tous les horizons considérés

Horizons	Départ date médiane	Prise date médiane	Periode libre (j)	delta (j)
Historique	10-mai	09-déc	213	-
2014	05-mai	12-déc	221	8
2024	04-mai	14-déc	224	11
2040	02-mai	17-déc	229	16
2060	29-avr	19-déc	234	21
2070	29-avr	21-déc	236	23
2080	27-avr	22-déc	240	27
2100	24-avr	25-déc	245	32
			Extrapolé par régression	

2.3 Évaluation du potentiel érosif – intrants

2.3.1 Séries de niveaux d'eau

Des séries temporelles de niveaux d'eau ont été fournies par Rio Tinto pour les besoins de l'analyse. Chaque série comprend des données journalières de niveau d'eau (une valeur par jour) couvrant les années 1959 à 2024, soit une période de 66 ans, issues de modélisations hydrologiques du bassin versant du lac Saint-Jean réalisée par Rio Tinto. Ces modélisations ont été effectuées selon deux horizons, soit 2040 et 2100.

Courbes classées

Des courbes classées ont été générées à partir des séries temporelles fournies. Cet exercice permet de déterminer les probabilités de dépassement associées aux différents niveaux d'eau observés pendant les 66 années. En d'autres termes, ces courbes illustrent la fréquence relative à laquelle une élévation donnée est dépassée. Les probabilités de dépassement sont calculées selon l'équation 2.1 ci-dessous, où *P (NE>ne)* est la probabilité de dépassement pour un niveau d'eau *ne* donné, *N* le nombre total de données dans la série temporelle, et *R* le rang de la donnée lorsque les niveaux sont classés en ordre croissant.

$$P\ (NE > ne) = \frac{R}{N+1} \qquad (2.1)$$

Fréquences relatives des niveaux d'eau

Les niveaux d'eau ont été regroupés en intervalles de 0,5 pied, allant de 10 à 17,5 pieds, afin d'obtenir des matrices de fréquences relatives à partir des courbes classées. Le Tableau 2.2 présente un exemple de la matrice obtenue pour la période d'eau libre projetée des horizons 2024, 2040 et 2100. Le printemps est défini à partir du départ des glaces jusqu'au 23 juin, l'été du 24 juin au 21 septembre, et l'automne commence le 22 septembre et dure jusqu'à la prise des glaces. Les dates de prise et de départ des glaces varient annuellement et ont été calculées selon la méthodologie présentée à la section 2.2.

Tableau 2.2 Table de fréquences relatives des niveaux d'eau pour la période d'eau libre des horizons 2024, 2040 et 2100

NE \ Période	Climat 2024				Climat 2040				Climat 2100			
	Eau libre complète	Printemps	Été	Automne	Eau libre complète	Printemps	Été	Automne	Eau libre complète	Printemps	Été	Automne
10	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.1%	0.3%	0.0%	0.0%
10.5	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.1%	0.0%	0.0%
11	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.1%	0.0%	0.0%	0.1%	0.2%	0.0%	0.0%
11.5	0.0%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.1%	0.0%	0.0%	0.1%	0.3%	0.0%	0.0%
12	2.2%	0.0%	0.0%	5.9%	2.2%	0.1%	0.0%	5.7%	5.5%	0.1%	0.0%	14.7%
12.5	2.7%	0.1%	0.0%	7.2%	2.7%	0.1%	0.0%	7.0%	4.2%	0.3%	0.0%	10.6%
13	5.2%	0.6%	5.0%	8.3%	5.2%	0.9%	5.0%	8.1%	6.2%	0.8%	3.4%	12.3%
13.5	6.3%	0.6%	5.9%	10.3%	6.3%	1.0%	5.9%	9.9%	6.7%	1.3%	6.9%	10.2%
14	12.1%	1.9%	16.8%	13.1%	11.9%	2.1%	16.8%	12.7%	11.5%	2.1%	20.4%	8.9%
14.5	10.7%	3.9%	11.8%	13.5%	10.8%	4.2%	11.8%	13.7%	10.8%	4.5%	12.2%	13.8%
15	18.2%	8.2%	15.0%	27.4%	18.5%	8.5%	15.0%	28.2%	16.0%	8.2%	14.1%	22.7%
15.5	19.3%	13.9%	26.9%	14.4%	19.3%	13.9%	26.9%	14.7%	16.4%	13.9%	27.6%	6.8%
16	14.8%	33.0%	18.6%	0.0%	14.7%	32.3%	18.6%	0.0%	13.8%	32.4%	15.5%	0.0%
16.5	7.9%	35.4%	0.0%	0.0%	7.8%	34.2%	0.0%	0.0%	8.3%	33.8%	0.0%	0.0%
17	0.5%	2.3%	0.0%	0.0%	0.5%	2.3%	0.0%	0.0%	0.4%	1.7%	0.0%	0.0%
17.5	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%

N.B. Le climat 2100 utilise des séries de niveaux d'eau issue d'une modélisation distincte

Les valeurs associées à chaque niveau d'eau représentent la proportion d'observations de la série temporelle qui se situent dans un intervalle donné. Par exemple, selon le tableau ci-dessus, 18.2% des niveaux d'eau observés pour la période d'eau libre complète à l'horizon 2024 se trouvent entre 15 et 15,49 pieds. Regrouper les fréquences en intervalles de la sorte permet de simplifier leur représentation et d'offrir une estimation plus conservatrice pour mieux gérer les incertitudes liées aux projections.

Il est important de noter que les climats 2024 et 2040 représentent les séries temporelles obtenues de la modélisation hydrologique de Rio Tinto pour l'horizon 2040, alors que le climat 2100 fait plutôt usage de la modélisation pour l'horizon 2100. En outre, ce qui fait varier les distributions des horizons 2024 et 2040 est leur longueur de période d'eau libre respective.

2.3.2 Modélisation du climat de vagues

La modélisation des vagues a été réalisée à l'aide du module MIKE 21 SW (Spectral Waves) de la firme danoise *DHI Water & Environment*, un outil de pointe pour simuler la génération et la transformation des vagues en eaux profondes et côtières. Cette modélisation vise à caractériser le régime global des vagues du lac Saint-Jean afin d'en extraire les caractéristiques nécessaires à l'évaluation du flux énergétique pouvant solliciter les berges de chaque secteur étudié. Le modèle de génération de vagues du lac Saint-Jean est celui conçu et mis à jour régulièrement par Lasalle | NHC dans le cadre de ses activités de suivi annuel de conditions érosives et d'expert technique pour le PSBLSJ de Rio Tinto depuis 2016 (Figure 2.6). Les principaux intrants requis pour le fonctionnement du modèle sont des données de vents et de niveaux d'eau du lac couvrant une

période suffisamment étendue pour être représentative des conditions prévalentes. La période de référence simulée pour ce modèle est de 1992 à 2023.

À partir de ces informations, le modèle simule l'ensemble des processus influençant la propagation des vagues sur le lac, tels que la génération par le vent, la réfraction, la diffraction, le déferlement et l'interaction avec les courants. Les résultats sont disponibles sous forme de cartes ou de séries temporelles pour diverses variables, notamment la hauteur significative, la période, et la direction des vagues. Le tableau 2.2 illustre un échantillon des caractéristiques de vagues extraites du modèle à l'un des points d'extraction (voir Figure 2.1).

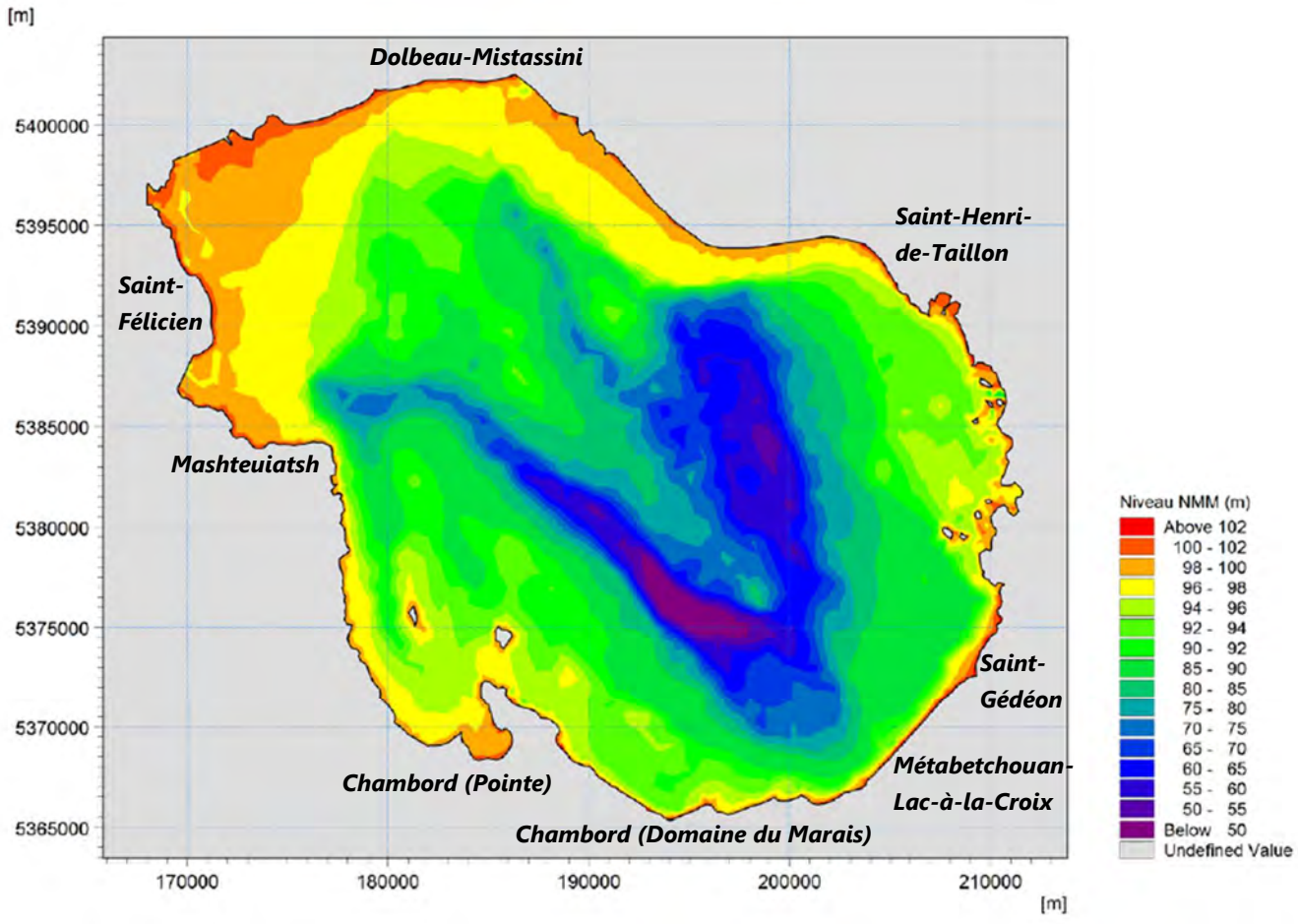


Figure 2.6 Représentation du modèle MIKE21 utilisé pour la simulation du climat de vagues

Tableau 2.3 Échantillon des résultats extraits pour le point de Pointe Chambord (BI14)

Date & Heure	Hs (m)	Tp (s)	MWD (degree)
1992-04-05 01:00	0.195752	1.415	331.21

Date & Heure	Hs (m)	Tp (s)	MWD (degree)
1992-04-05 02:00	0.335518	2.25432	352.994
1992-04-05 03:00	0.370367	2.64607	4.83669
...	...	...	...
2023-12-31 21:00	0.0914465	1.68565	2.29961
2023-12-31 22:00	0.074715	1.58188	5.24664
2023-12-31 23:00	0.0646025	1.50406	359.433
N = 173 968			

En utilisant les résultats extraits de la modélisation du climat de vagues et les séries de niveaux d'eau, il est possible d'évaluer le potentiel érosif.

2.4 Évaluation du potentiel érosif – Énergie cumulative

2.4.1 Notions théoriques

L'énergie d'une vague par unité de largeur peut être décrite selon l'équation suivante (Dean et Dalrymple, 2002) :

$$E = \frac{\rho g}{16} {H_s}^2 \quad (2.2)$$

Où :
E = énergie (J/m^2);
ρ = masse volumique de l'eau (kg/m^3);
g = accélération gravitationnelle (9.81 m/s^2);
H_s = Hauteur de vague significative (m)

Tel que mentionné précédemment, le potentiel érosif est évalué en estimant les flux énergétiques atteignant les berges. La dégradation survient principalement lorsque la combinaison du niveau d'eau et de la remontée de la vague (le « *runup* ») atteint et excède le pied du talus riverain. L'énergie est nulle lorsque cette combinaison atteint tout juste le pied du talus (profil bleu, Figure 2.7), tandis qu'elle est maximale lorsque le niveau d'eau est plus élevé et que la profondeur au pied du talus est égale à celle au déferlement de la vague (profil rouge). Pour les conditions intermédiaires (profil vert) l'énergie totale représente une fraction de l'énergie maximale. Dans le contexte des berges du lac, l'élévation du pied de talus est fixée à 101.54 m au-dessus du niveau de la mer correspondant à un niveau d'eau de 16.5 pieds.

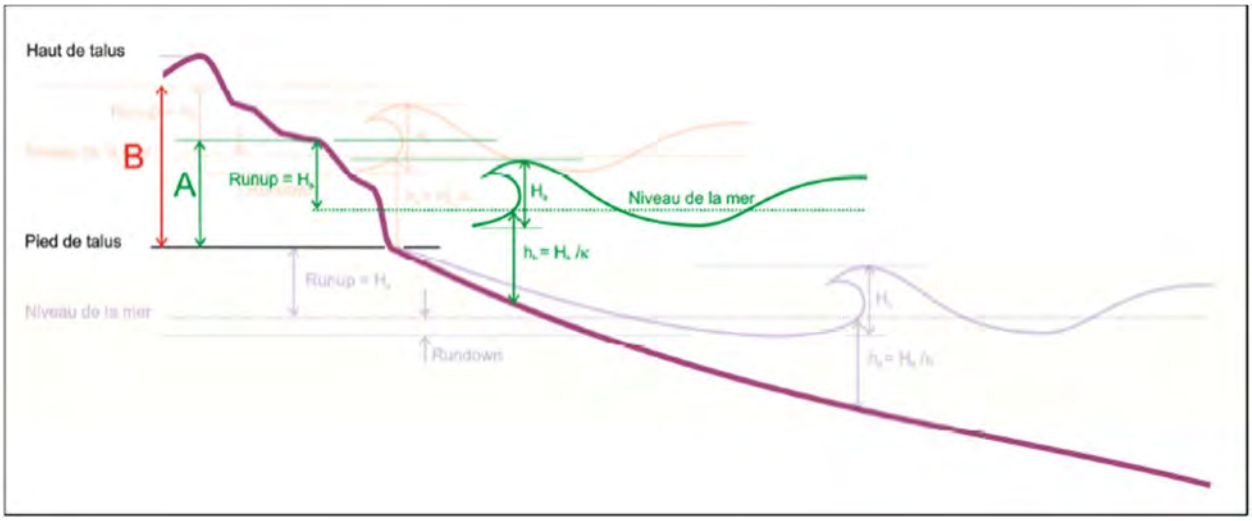


Figure 2.7 Schéma représentant les conditions d'énergie maximale (rouge), intermédiaire (vert) et minimale (bleu) sollicitant le talus riverain

Afin d'évaluer le potentiel d'érosion sur une période prolongée, il est pertinent de considérer le travail effectué par les vagues, lequel peut être calculé à l'aide de l'équation suivante où L_b est la longueur d'onde au déferlement :

$$W = \frac{A}{B} E L_b \quad (2.3)$$

Il est alors possible d'évaluer la valeur moyenne du travail accompli par les vagues sur le talus pour une période d'intérêt.

Orientation des vagues

Pour chacun des huit secteurs cibles, les résultats de vagues ont été filtrés en fonction de leur direction de provenance. Seules les vagues se propageant dans une plage directionnelle de 90° par rapport au profil type ont été retenues. Celles dont la direction ne concordait pas avec le filtre ont été assignées une hauteur de vague nulle en raison de leur contribution négligeable à l'érosion. La Figure 2.8 illustre un exemple des limites de provenance considérées pour le secteur de Pointe Chambord.

Figure 2.8 Limites de la plage directionnelle considérée (en rouge) pour les vagues pouvant solliciter le secteur de Pointe Chambord (direction du profil type en blanc)

Fréquences relatives des hauteurs de vagues

De manière similaire aux niveaux d'eau, les hauteurs de vagues significatives extraites à chacune des points d'extraction ont été regroupés en intervalles afin de générer des matrices de fréquences relatives pour la période modélisée. Celles-ci ont été déterminées depuis l'équation ci-dessous.

$$P\ (H_s > h_s) = \frac{R}{N+1} \quad (2.4)$$

Calcul du travail

Le travail exercé par l'action des vagues sur les berges de chaque secteur est estimé à partir des données contenues dans les matrices de fréquences relatives des niveaux d'eau et des hauteurs de vagues significatives. Tout d'abord, les probabilités d'occurrence de chaque combinaison possible de ces deux variables sont déterminées en utilisant l'équation 2.5 :

$$P_{NE,Hs} = P(NE) \cdot P(H_s) \qquad (2.5)$$

Où *P(NE)* est la fréquence relative d'un niveau d'eau *NE*

P(Hs) est la fréquence relative d'une hauteur de vague significative *Hs*

La probabilité d'occurrence jointe $P_{NE,Hs}$ est ensuite multipliée par le travail des vagues W_i, calculé à partir des équations 2.2 et 2.3, afin d'obtenir une valeur nominale du travail pour chaque combinaison de niveau d'eau et de hauteur de vagues. Enfin, ces valeurs sont additionnées selon l'équation 2.6 pour calculer le travail total effectué par les vagues en J/m.

$$\mathrm{W} = \sum_i^n W_i \, P_{NE,Hs} \qquad (2.6)$$

Ce total est calculé pour la période d'eau libre complète, ainsi que pour chacune des périodes printanière, estivale et automnale précédemment définie. Les totaux obtenus ainsi peuvent ensuite être convertis en Watt-heure, puis multipliés par le nombre d'heures de chacune de ces périodes pour avoir une valeur d'énergie cumulative plus intuitive.

3 RÉSULTATS

Les résultats obtenus sont colligés dans le Tableau 4.1 situé à l'annexe A. Le tableau recense les écarts relatifs projetés de l'énergie érosive pouvant solliciter les berges aux horizons 2040, 2060, 2080 et 2100, par rapport à l'horizon 2024. Ces écarts sont calculés à partir des valeurs de kWh par mètre de côte linéaire obtenus pour la période d'eau libre complète de chaque horizon. Les résultats des horizons 2060 et 2080 ont été obtenus par interpolation linéaire à partir des résultats des horizons 2040 et 2100.

Les sites ont été regroupés en quatre secteurs selon leur répartition géographique autour du lac et la similarité des régimes de tempêtes auxquels ils sont exposés. Des cotes de vraisemblance d'occurrence ont également été intégrées aux résultats afin de mieux s'arrimer à l'analyse de résilience en cours. Ces cotes sont basées sur l'échelle de criticité C proposée dans le guide d'Ouranos (Tableau 3.1). Étant donné que les écarts d'énergie par rapport à l'horizon 2024 demeurent entre 1 et 7% pour tous les horizons analysés, il est estimé que les besoins en matière d'interventions de stabilisation des berges ne deviendront probablement pas critiques par rapport aux besoins actuels au courant de la période étudiée.

Tableau 3.1 Échelles de vraisemblance proposées pour quantifier les risques associés aux aléas climatiques

Échelles de vraisemblance	Niveaux de vraisemblance				
	Très improbable	Improbable	Probable	Très probable	Presque certain
	1	2	3	4	5
Échelle A qualitative	Pourrait se produire dans des circonstances exceptionnelles	Pourrait se produire parfois	Se produira parfois	Se produira probablement dans la majorité des cas	Est attendu souvent ou dans la majorité des cas
Échelle B de probabilité	Probabilité inférieure à 5%	Probabilité entre 5 et 29 %	Probabilité entre 30% et 69%	Probabilité entre 70% et 94%	Probabilité de 95%
Échelle C de criticité	Ne deviendra probablement pas critique au cours de la période	Deviendra probablement critique dans 30 à 50 ans	Deviendra probablement critique dans 10 à 30 ans	Deviendra probablement critique dans une décennie	Deviendra probablement critique dans quelques années
Échelle D de récurrence	< 1 en 1 000 ans	1 en 100 ans	1 en 20 ans	1 en 10 ans	1 en 5 ans

4 LIMITATIONS

Bien que la méthodologie préconisée dans le cadre de cet exercice se veuille rigoureuse et représentative des impacts appréhendés du réchauffement climatique, il convient de souligner quelques limitations.

4.1 Variables physiques

Outre la température de l'air, plusieurs autres variables peuvent également influencer le comportement du couvert de glace, comme le rayonnement solaire, l'albédo de la glace, l'épaisseur de la neige, le type de précipitations, les vents, la température de l'eau et les échanges

rétroaction dans le milieu et modifier le dynamisme des processus. L'eau conserve une capacité importante pour emmagasiner la chaleur. Or, une augmentation de sa température pourrait nécessiter une période de refroidissement prolongée à l'automne avant d'observer la formation du couvert de glace. Les températures hivernales moins froides et les précipitations liquides plus fréquentes pourraient quant à elles limiter l'épaisseur du couvert de glace, nécessitant un réchauffement moins important au printemps avant d'observer sa fonte.

Dans ce contexte, l'hypothèse comme quoi les seuils de degrés-jours cumulatifs requis pour observer la fonte et la formation du couvert de glace demeurent fixes semble inexacte. L'évolution plus probable verrait plutôt une augmentation progressive du nombre de degrés-jours de gel requis à l'automne et une diminution progressive du nombre de degrés-jours de réchauffement requis au printemps.

L'influence précise des variables alternatives sur le comportement du couvert de glace demeure cependant très complexe à quantifier et sort du cadre du présent mandat. L'approche recommandée pour interpréter les résultats présentés est donc de les considérer avec discernement, selon le contexte d'application, et de conserver à l'esprit que l'augmentation de la période d'eau libre pourrait être en excès des prévisions présentées.

4.2 Géométrie des profils de plage

La méthodologie présentée pour l'évaluation de l'énergie cumulative ne prend pas en compte la géométrie réelle des profils de plages des huit secteurs étudiés, fixant plutôt le pied de talus à une élévation uniforme de 101.54 m. En pratique, les profils diffèrent considérablement et il est probable que des vagues déferlant à une même élévation engendrent des sollicitations érosives variées selon les secteurs.

4.3 Patrons historiques

Les projections des données sur lesquelles reposent les analyses sont basées des tendances climatiques historiques (vents, niveaux d'eau, températures). Ceci limite leur capacité à représenter pleinement les nouvelles interactions potentielles et effets de rétroaction que pourraient générer des conditions futures, notamment au niveau de l'évolution du régime hydrodynamique.

Mémo préparée par :

William Lapointe, CPI, biol.
Ingénieur de projet
No. OIQ : 6038446

Mémo révisée par :

Justin McKibbon, Ing., M.Sc.A.
Chargé de projet, associé
No OIQ : 5000352

Nicolas Sbarrato | William Lapointe

ANNEXE A

TABLEAU DE RÉSULTATS

Tableau 4.1. **Synthèse des écarts relatifs d'énergie des périodes d'eau libre complète par rapport à l'horizon 2024, calculé en kWh par mètre de côte linéaire**

	Horizon 2040			Horizon 2060			Horizon 2080			Horizon 2100		
Site	% écart p/r 2024	Max % écart	Vraisemblance (criticité)	% écart p/r 2024	Max % écart	Vraisemblance (criticité)	% écart p/r 2024	Max % écart	Vraisemblance (criticité)	% écart p/r 2024	Max % écart	Vraisemblance (criticité)
StGedeon BI19	2.96%	2.99%	Très improbable	2.54%	2.68%	Très improbable	2.11%	2.36%	Très improbable	1.69%	2.05%	Très improbable
StGedeon BI26	2.78%			2.23%			1.67%			1.12%		
MLAC BI19	2.90%			2.62%			2.33%			2.05%		
MLAC BI35	2.99%			2.68%			2.36%			2.05%		
DomMarais, BI19	2.92%	2.97%	Très improbable	2.51%	2.51%	Très improbable	2.10%	2.10%	Très improbable	1.69%	1.69%	Très improbable
Chambord Pointe, BI	2.97%			2.41%			1.86%			1.30%		
Mashteuiatsh BI4	2.40%			1.79%			1.18%			0.57%		
StFelicien BI47	4.19%	4.19%	Très improbable	3.96%	4.40%	Très improbable	3.73%	4.65%	Très improbable	3.50%	4.90%	Très improbable
Dolbeau BI85	4.14%			4.40%			4.65%			4.90%		
SHDT Nord BI1	2.31%	2.43%	Très improbable	3.74%	3.74%	Très improbable	5.17%	5.17%	Très improbable	6.60%	6.60%	Très improbable
SHDT Nord BI17	2.43%			2.08%			1.72%			1.36%		

ANNEXE B

PROJECTIONS D'OURANOS

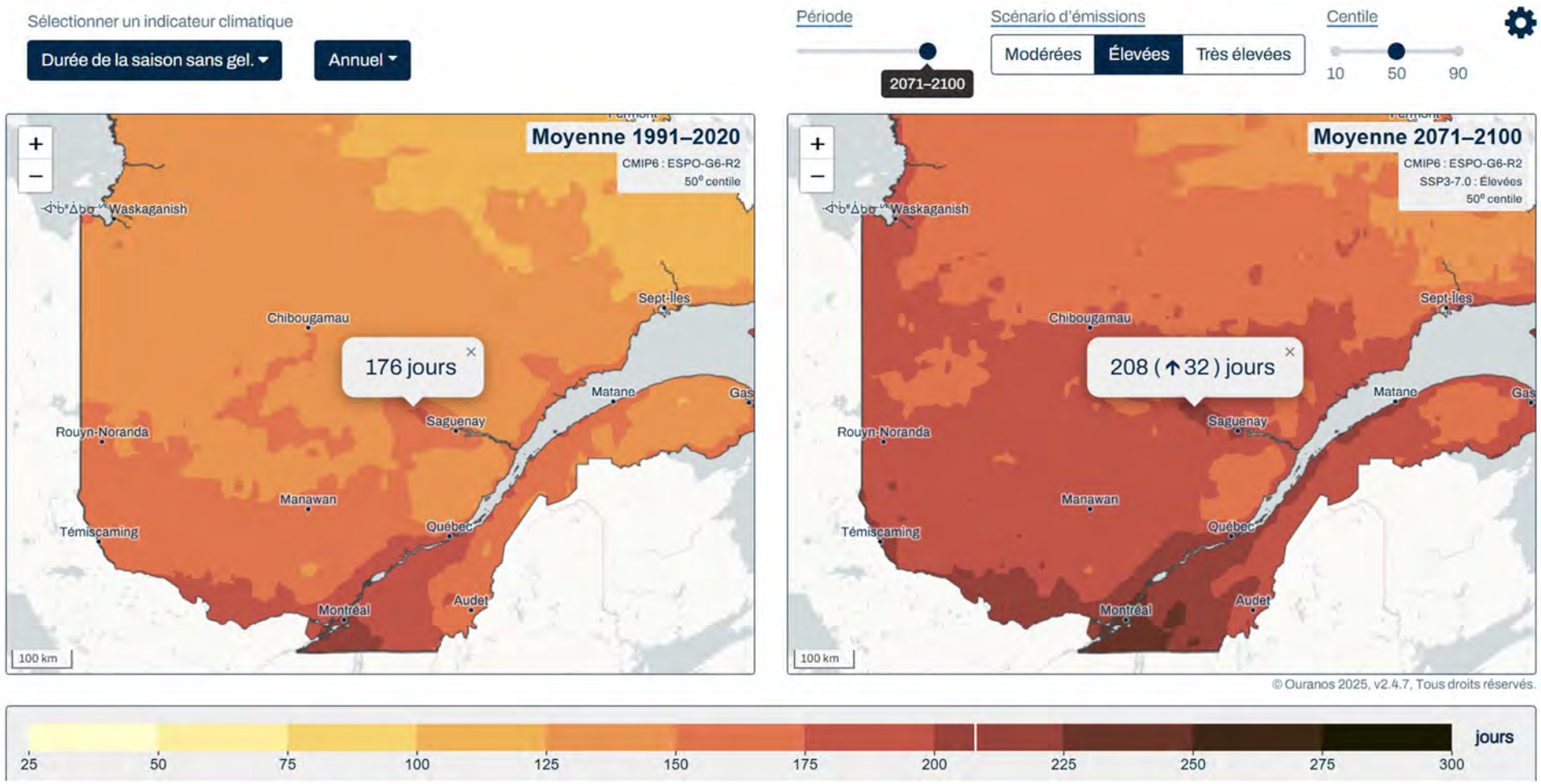


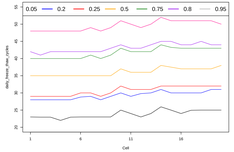
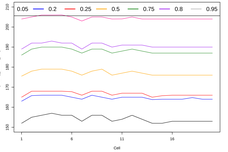
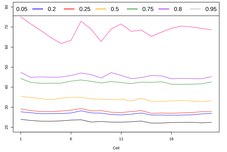
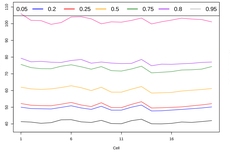
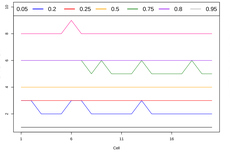
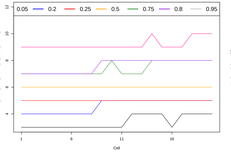
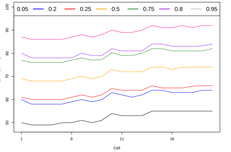
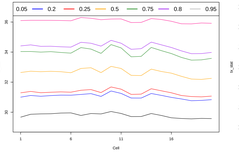
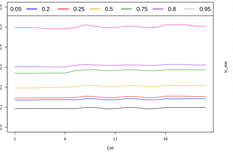
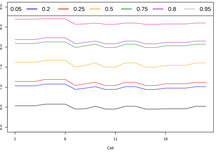
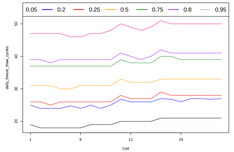
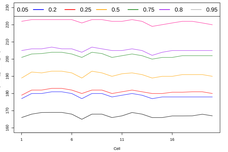
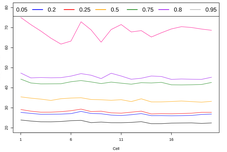
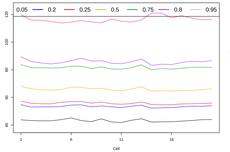
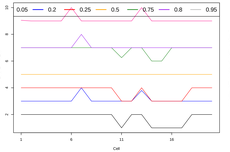
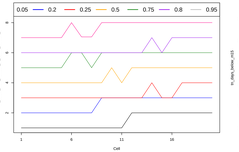
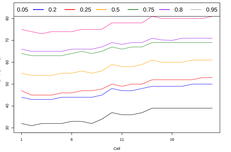
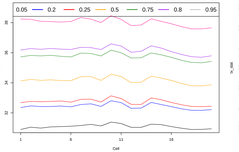
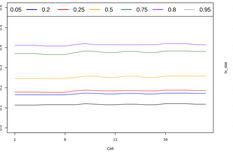
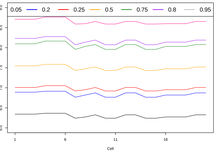
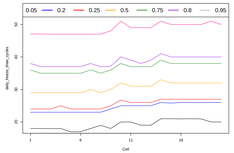
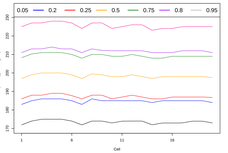
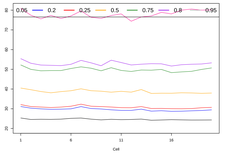
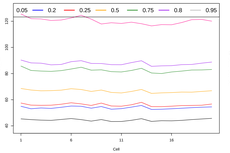
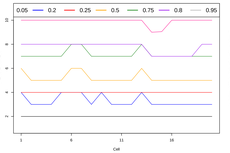
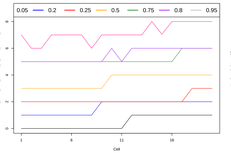
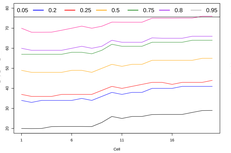
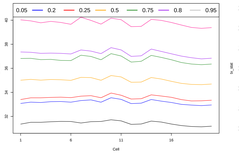
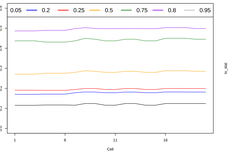
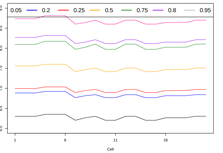
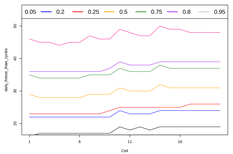
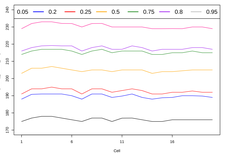
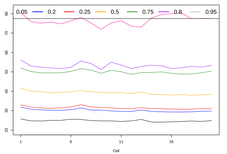
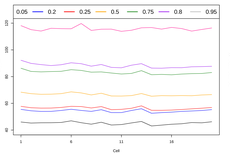
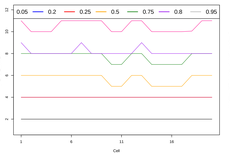
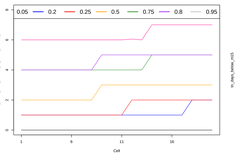
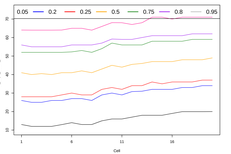
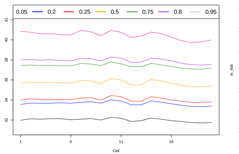
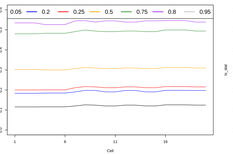
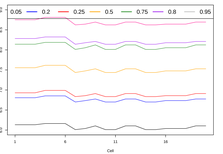
Figure 4.1 Projections pour l'indicateur climatique *Durée de la saison sans gel* à l'horizon 2071-2100 selon un scénario d'émission élevées. La valeur entre parenthèses représente le delta entre la moyenne 1991-2020 et l'horizon 2071-2100 (https://portraits.ouranos.ca)

ANNEXE

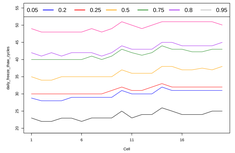
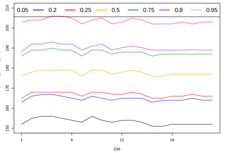
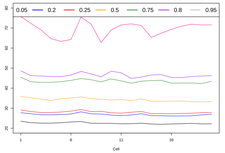
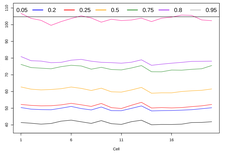
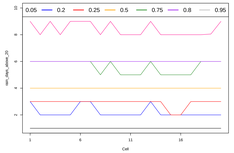
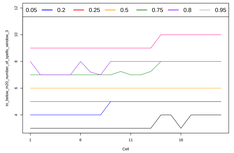
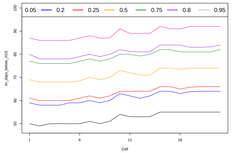
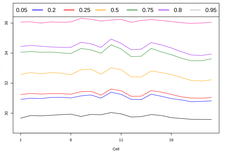
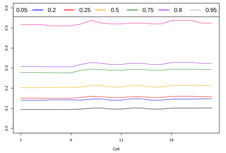
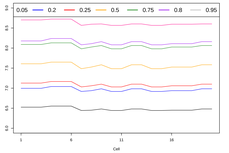
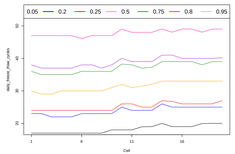
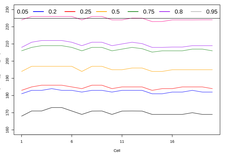
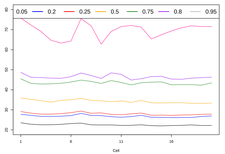
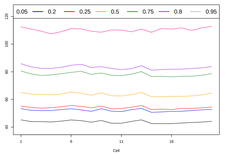
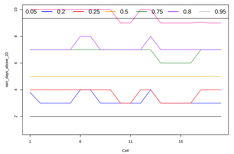
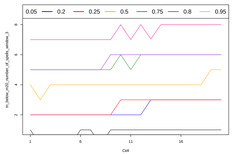
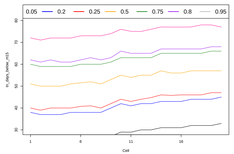
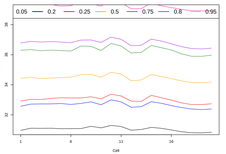
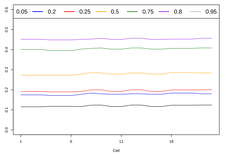
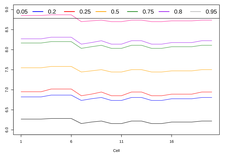
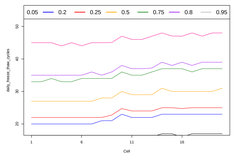
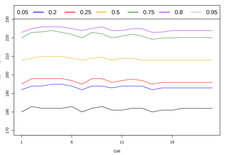
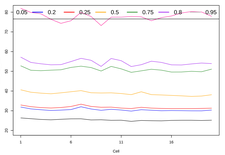
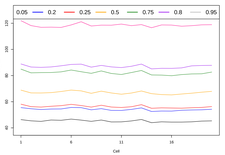
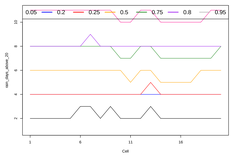
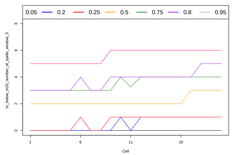
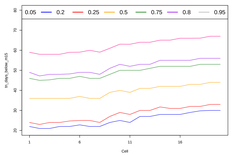
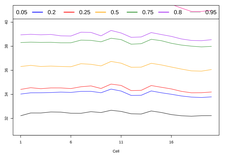
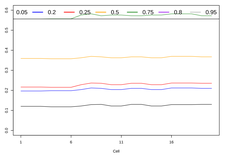
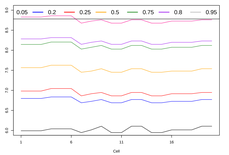
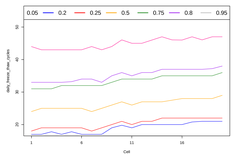
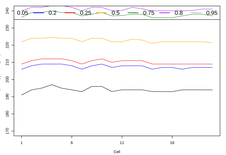
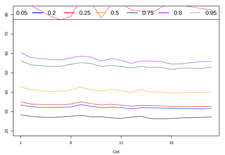
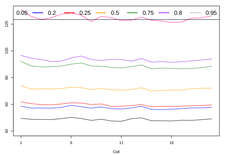
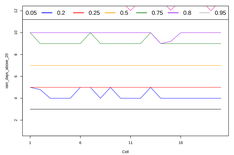
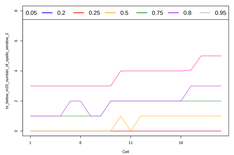
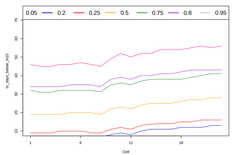
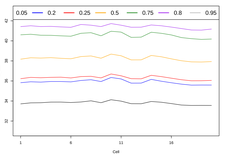
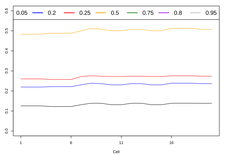
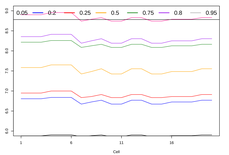
B

ANALYSE STATISTIQUE DES DONNÉES CLIMATIQUES

Représentation graphique de la distribution statistique des valeurs de chaque indicateur climatique par cellule d'extraction - SSP2-4.5

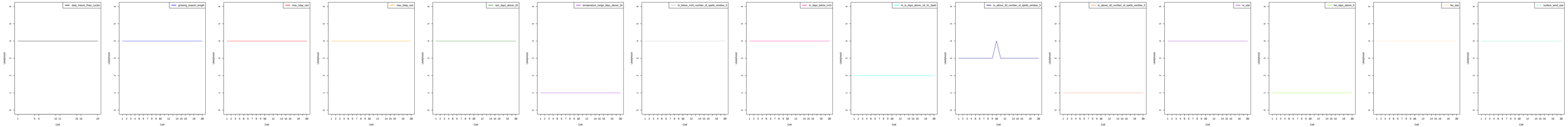
	daily_freeze_thaw_cycles	growing_season_length	max_1day_rain	max_5day_rain	rain_days_above_20	m20_number_of_spells_	tn_days_below_m15	tx_stat	fwi_stat	surface_wind_stat
1991 − 2020										
2028 − 2057										
2050 − 2079										
2071 − 2100										

Représentation graphique de la distribution statistique des valeurs de chaque indicateur climatique par cellule d'extraction - SSP5-8.5

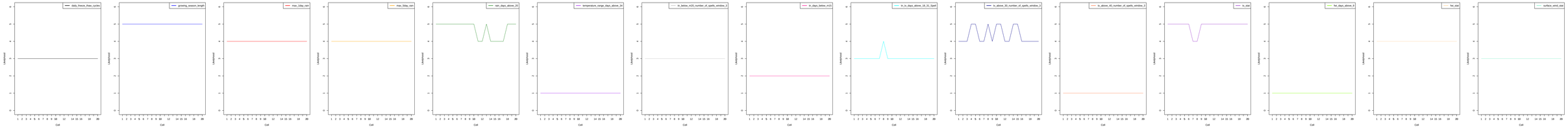
	daily_freeze_thaw_cycles	growing_season_length	max_1day_rain	max_5day_rain	rain_days_above_20	m20_number_of_spells_	tn_days_below_m15	tx_stat	fwi_stat	surface_wind_stat
1991 − 2020										
2028 − 2057										
2050 − 2079										
2071 − 2100										

Représentation graphique de la distribution statistique des vraisemblances de chaque indicateur climatique par cellule d'extraction - SSP2-4.5

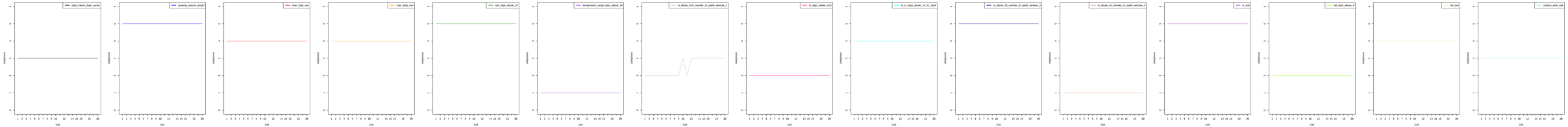
1991 − 2020



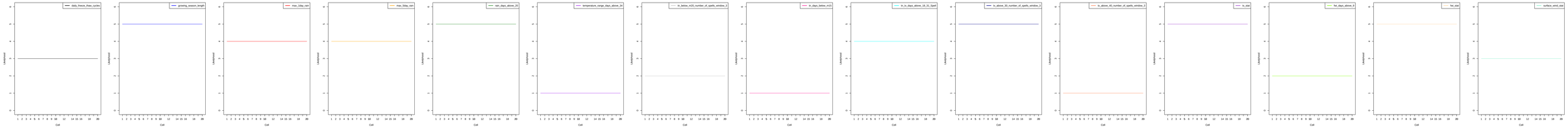
2028 − 2057



2050 − 2079

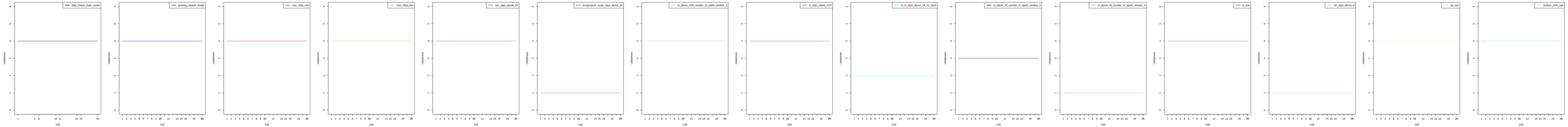


2071 − 2100

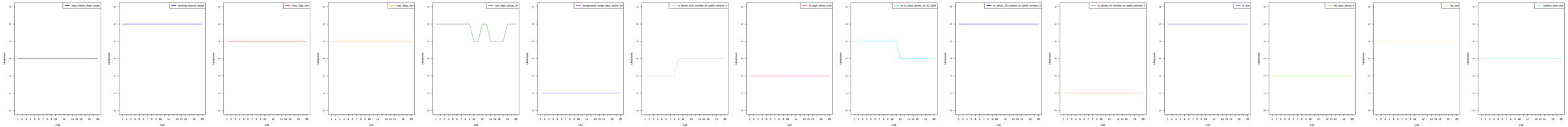


Représentation graphique de la distribution statistique des vraisemblances de chaque indicateur climatique par cellule d'extraction - SSP2-4.5

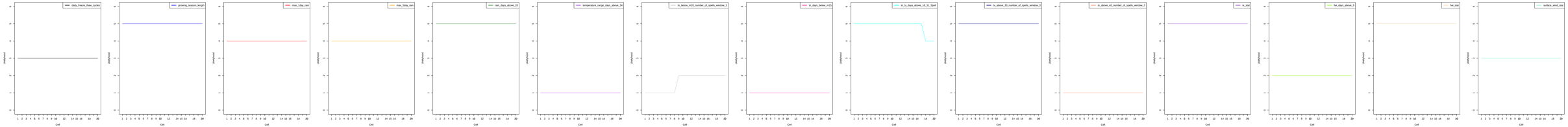
1991 − 2020



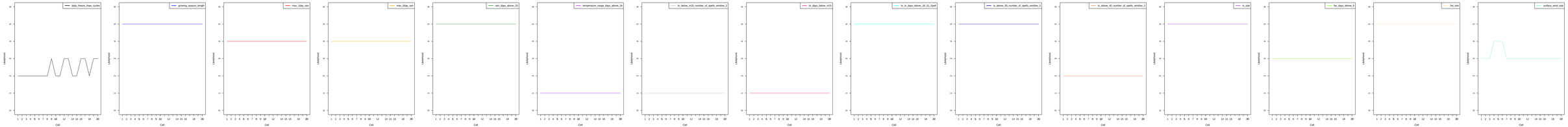
2028 − 2057



2050 − 2079



2071 − 2100



ANNEXE

C REGISTRE DE RISQUE

Composantes du Programme	Groupe	Composante de l'étude de résilience	Aléas climatiques: Chaleur extrême et augmentation des températures	Aléas climatiques: Aridité/sécheresse	Aléas climatiques: Cycles de gel-dégel	Aléas climatiques: Feux de forêt	Aléas climatiques: Pluie extrême	Aléas climatiques: Accumulation de neige	Aléas climatiques: Tempêtes de vents extrêmes	Aléas climatiques: Foudre	Aléas climatiques: Feux de forêt / Fumée	ID	Impacts potentiels	Sensibilité	Justification (sensibilité)	Capacité d'adaptation	Justification (capacité d'adaptation)	[RTA] Contrôles existants	Score de vulnérabilité	Aléa(s) pertinent(s)	Choix indicateurs	Indicateur pour évaluation de la probabilité (max.)	Vraisemblance de l'aléa, SSP2-4.5, 2028-2057	Vraisemblance de l'aléa, SSP2-4.5, 2058-2079	Vraisemblance de l'aléa, SSP2-4.5, 2071-2100	Vraisemblance de l'aléa, SSP5-8.5, 2028-2057	Vraisemblance de l'aléa, SSP5-8.5, 2058-2079	Vraisemblance de l'aléa, SSP5-8.5, 2071-2100	Vraisemblance de l'impact, SSP2-4.5, 2028-2057	Vraisemblance de l'impact, SSP2-4.5, 2058-2079	Vraisemblance de l'impact, SSP2-4.5, 2071-2100	Vraisemblance de l'impact, SSP5-8.5, 2028-2057	Vraisemblance de l'impact, SSP5-8.5, 2058-2079	Vraisemblance de l'impact, SSP5-8.5, 2071-2100	[RTA] Health & Safety	[RTA] Communities	[RTA] Environment	[RTA] Business Value	Score de conséquences mm.	Score de risque, SSP2-4.5 2028-2057	Score de risque, SSP2-4.5 2058-2079	Score de risque, SSP2-4.5 2071-2100	Score de risque, SSP5-8.5 2028-2057	Score de risque, SSP5-8.5 2058-2079	Score de risque, SSP5-8.5 2071-21005	[RTA] Actions
Approche de gestion de l'érosion	Ouvrages de protection contre l'érosion	Infrastructures grises										1	L'adhérence de gel-dégel peut engendrer des dommages ou une instabilité de certaines composantes des infrastructures grises situées dans la zone de gel (excès de 1 m de la surface). Par exemple, certaines structures en pierres (riple, brise-lames, perrés) peuvent s'effriter. Un autre exemple est la dilatation et la compression des sols du fait du gel peuvent engendrer une instabilité des perrés ou un mouvement pouvant affecter l'intégrité d'un géotube.	Faible	les infrastructures sont sensibles aux cycles de gel-dégel. Lorsqu'il contient de l'eau dans ses pores, cette eau peut geler et se dilater, exerçant une pression sur le béton et provoquant des fissures et des éclatements. Les cycles répétés peuvent causer des fissures et de l'érosion dans les structures, ainsi que des mouvements dans les sols qui affectent la stabilité des infrastructures.	Très faible	La résistance des matériaux au gel-dégel dépend de leurs propriétés mécaniques et ne peut pas être modifiée après leur mise en place.	Les devis incluent des exigences de qualité pour protéger des propriétés mécaniques résistantes aux cycles de gel-dégel Le registre de requêtes disponible permet d'identifier rapidement les besoins d'inspection lorsque des déformations majeures sont détectées Voir annuel en hélicoptère. Suivi des actifs.	Faible	Cycles de gel-dégel	Cycles quotidiens de gel-dégel	Probable	Probable	Probable	Probable	Probable	Probable	Improbable	Improbable	Improbable	Improbable	Improbable	Improbable	Très faible	Très faible	N/A	Très faible	Très faible	Classe I	Classe I	Classe I	Classe I	Classe I	Classe I	Révision des critères de qualité des pierres et faisibilité/résilience des aménagements Exiger un devis des critères de qualité des pierres pour protéger des lithologies et des propriétés mécaniques adaptées en termes de résistance aux cycles de gel-dégel. Privilégier des aménagements et des matériaux flexibles et résilients aux cycles de gel-dégel (ex. empierrements semi-doubles, techniques mixtes, perrés avec parties obturées)
Approche de gestion de l'érosion	Ouvrages de protection contre l'érosion	Infrastructures grises										2	Le potentiel d'érosion pourrait affecter certaines infrastructures grises. Par exemple, la structure de l'enrochement pourrait être fragilisée. Accélération de l'érosion des plages & rechargements plus fréquents	Modérée	Les variations du niveau d'eau, les tempêtes de vent et l'absence de glace peuvent déplacer ou emporter l'enrochement, causant des dommages significatifs. Les secteurs protégés sont plus résilients à une augmentation du potentiel érosif et aux aléas imprévus.	Modérée	Bien que certaines mesures d'adaptation puissent être mises en place, comme le renforcement de l'enrochement ou l'ajout de structures de protection, ces infrastructures peuvent nécessiter des améliorations pour mieux résister aux conditions changeantes.	Les ouvrages sont conçus pour tenir compte du potentiel érosif (ex. : pente, granulométrie) lors d'enrochement, taux de rechargement. Le registre de requêtes disponible permet d'identifier rapidement les besoins d'inspection lorsque des situations d'érosion sont déclarées par les usagers Voir annuel en hélicoptère. Suivi des actifs Inspections terrain extraordinaires dans les secteurs sensibles connus en cas d'événement extrême atypique Réparation pro-active des ouvrages détériorés Gestion adaptative de la conception des ouvrages en fonction des nouveaux risques émergents, selon les besoins	Faible	Potentiel d'érosion	Potentiel érosif (Combinaison du niveau d'eau RTA, le régime des vents et tempêtes RTA et la période d'eau libre RTA)	Potentiel érosif	Rare	Rare	Rare	Rare	Rare	Rare	Rare	Rare	Rare	Rare	Rare	Rare	Rare	Très faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Classe I	Classe I	Classe I	Classe I	Classe I	Classe I	Aucune action
Approche de gestion de l'érosion	Ouvrages de protection contre l'érosion	Infrastructures écologiques										3	Certains événements extrêmes, combinés ou pas, pourraient détruire ou endommager certains végétaux des infrastructures écologiques. Par exemple, une tempête de vergers coupée à des vents pourraient engendrer des dommages significatifs. Erosion de sol de surface en cas de forte précipitation.	Faible	Les végétaux sont sensibles aux stress externes tels que le poids de la pluie verglaçante et/ou la neige et des vents forts.	Modérée	Certaines mesures d'adaptation peuvent être mises en place, comme la création de parc-feux et le remplacement des végétaux morts est effectué aux événements extrêmes.	Un suivi des végétaux est réalisé après leur plantation et le remplacement des plants morts est effectué dans certaines conditions.	Faible	Forte pluie, pluie verglaçante, accumulation de neige, tempêtes et vents extrêmes	Pluie maximale en 1 jour Pluie maximale en 5 jours Nombre annuel de jours avec plus de 30 mm de pluie Nombre annuel de jours avec plus de 25 cm de neige Heures de pluie verglaçante Vitesse maximale annuelle du vent soutenu	Nombre annuel de jours avec plus de 20 mm de pluie	Presque certain	Presque certain	Presque certain	Presque certain	Presque certain	Presque certain	Possible	Possible	Possible	Possible	Possible	Possible	N/A	Très faible	Très faible	Faible	Faible	Classe II	Classe II	Classe II	Classe II	Classe II	Classe II	Prévoir inspections terrain extraordinaires dans les secteurs sensibles connus en cas d'événement extrême atypique Assurer une vigilance particulière à ces infrastructures lors des suivis & inspections terrain annuels, advenant l'occurrence d'événements extrêmes atypique Si la perte des végétaux menace l'intégrité structurale des ouvrages de protection des berges, remplacer les végétaux morts Selon "Encyclopédie de l'aménagement" de l'événement d'érosion, réévaluer le type de solution utilisée pour protéger la berge (augmenter le niveau de robustesse & résilience, gestion adaptative, migrer vers des ouvrages mixtes, etc.)
Approche de gestion de l'érosion	Ouvrages de protection contre l'érosion	Infrastructures écologiques										4	Le potentiel érosif pourrait affecter certaines infrastructures écologiques. Par exemple, certains végétaux pourraient être arrachés.	Faible	Le niveau d'eau du lac, couplé aux régimes des tempêtes, vents extrêmes et couvert de glace, pourrait affecter des infrastructures écologiques qui ne peuvent pas submergés supérieurs par voir aléas. Les infrastructures sont observées pour les endroits à faible énergie érosive et devraient rester en dehors des secteurs où les conditions érosives risquent de changer le plus.	Faible	Un suivi des végétaux est réalisé après leur plantation et le remplacement des plants morts est effectué dans certaines conditions.	Un suivi des végétaux est réalisé après leur plantation et le remplacement des plants morts est effectué dans certaines conditions.	Faible	Potentiel d'érosion	Potentiel érosif (Combinaison du niveau d'eau RTA, le régime des vents et tempêtes RTA et la période d'eau libre RTA)	Potentiel érosif	Rare	Rare	Rare	Rare	Rare	Rare	Rare	Rare	Rare	Rare	Rare	Rare	Rare	Rare	N/A	Très faible	Très faible	Faible	Faible	Classe I	Classe I	Classe I	Classe I	Classe I	Classe I	Prévoir inspections terrain extraordinaires dans les secteurs sensibles connus en cas d'événement extrême atypique dans le cas où les végétaux jouent un rôle important dans l'intégrité structurale des ouvrages de protection Assurer une vigilance particulière à ces infrastructures lors des suivis & inspections terrain annuels, advenant l'occurrence d'événements extrême atypique Si la perte des végétaux menace l'intégrité structurale des ouvrages de protection des berges, remplacer les végétaux morts Selon "Encyclopédie de l'aménagement" de l'événement d'érosion, réévaluer le type de solution utilisée pour protéger la berge (augmenter le niveau de robustesse & résilience, gestion adaptative, migrer vers des ouvrages mixtes, etc.)
Approche de gestion de l'érosion	Ouvrages de protection contre l'érosion	Infrastructures écologiques										5	Les feux de forêt pourraient atteindre la végétation des infrastructures écologiques et les endommager voire les détruire.	Très faible	Les ouvrages de protection sont localisées dans des secteurs plutôt urbanisés et d'une faible superficie.	Modérée	Certaines mesures d'adaptation peuvent être mises en place, comme la création de parc-feux et le remplacement des végétaux en cas de destruction et/ou de mortalité totale est possible. Survie & reproduction des végétaux les plus robustes...	Un suivi des végétaux est réalisé après leur plantation et le remplacement des plants morts est effectué dans certaines conditions.	Très faible	Feux de forêt/Fumée	Qualitatif	Qualitatif	Rare	Rare	Rare	Rare	Rare	Rare	Rare	Rare	Rare	Rare	Rare	Rare	Rare	Rare	N/A	Très faible	Très faible	Faible	Faible	Classe I	Classe I	Classe I	Classe I	Classe I	Classe I	Prévoir une inspection des infrastructures écologiques après le passage d'un feu de forêt (le cas échéant). Si la perte des végétaux menace l'intégrité structurale des ouvrages de protection des berges, remplacer les végétaux morts en cas de feu de forêt
Approche de gestion de l'érosion	Ouvrages de protection contre l'érosion	Secteurs non protégés et inclus dans le Programme										6	Le potentiel érosif pourrait affecter les berges et les plages des secteurs non protégés et générer des interventions à réaliser par le Programme.	Élevée	Les variations du niveau d'eau, les tempêtes, les vents extrêmes et l'absence de glace peuvent causer des dommages significatifs aux secteurs actuellement non protégés, nécessitant des interventions par le Programme. Les secteurs non protégés sont proportionnellement plus vulnérables et moins résilients aux aléas extrêmes et imprévus que les secteurs protégés.	Faible	Des secteurs actuellement non protégés peuvent devenir des secteurs protégés nécessitant des interventions. Les secteurs non-protégés ne font l'objet d'aucune mesure d'adaptation aux CC.	Le registre de requêtes disponible permet d'identifier rapidement les besoins d'inspection lorsque des situations d'érosion sont déclarées par les usagers. Voir annuel en hélicoptère. Suivi des actifs.	Élevée	Potentiel d'érosion	Potentiel érosif (Combinaison du niveau d'eau RTA, le régime des vents et tempêtes RTA et la période d'eau libre RTA)	Potentiel érosif	Rare	Rare	Rare	Rare	Rare	Rare	Improbable	Improbable	Improbable	Improbable	Improbable	Improbable	Très faible	Modérée	Faible	Modérée	Modérée	Classe II	Classe II	Classe II	Classe II	Classe II	Classe II	Documenter les zones non-protégées & niveau de vulnérabilité (exposition, infrastructures à risque, etc.) et mettre à jour aux 3 à 5 ans Prévoir inspections terrain extraordinaires dans les secteurs sensibles connus en cas d'événement extrême atypique Assurer une vigilance particulière à ces infrastructures lors des suivis & inspections terrain annuels, advenant l'occurrence d'événements extrêmes atypique Adaptation du programme de suivi des conditions érosives pour s'assurer de caractériser les sollicitations dans les secteurs sensibles
Approche de gestion de l'érosion	Environnement naturel	Milieux humides et hydriques (sur le territoire du Programme)										7	Certains événements extrêmes, combinés ou pas, pourraient détruire ou endommager certains végétaux des milieux humides et hydriques sensibles de l'habitat en général ou associés à des travaux de protection de berge ou à des aménagements fluviaux. Par exemple, une tempête de vergers coupées à des vents pourraient engendrer des dommages significatifs. Les épisodes de pluie-verglaçante peuvent notamment entraîner: • Dommages à la biodiversité en général : bris de branches, stress physiologique des végétaux, perte de couvert végétal dans les milieux humides. • Détruire la végétation associées à des travaux de protection de berges ou à des aménagements fluviaques, compromettant la résistance à l'érosion ou leur efficacité à atténuer les vagues. • Perturbations hydrologiques : accumulation de glace pouvant modifier les écoulements et provoquer des embâcles ou des inondations localisées aux embouchures des cours d'eau.	Faible	Les végétaux des milieux humides et hydriques en général ou associés à des travaux de protection de berge ou à des aménagements fluviaques peuvent être brisés par le poids de la neige, de la glace et/ou du vent, mais ces événements ne devraient pas détruire l'entièreté des végétaux en place. Les modifications et dommages causés par les changements climatiques pourront renforcer les milieux humides et hydriques moins pertinents comme outils de suivi.	Modérée	Un suivi des principaux milieux humides riverains au lac Saint-Jean est réalisé.Des suivis spécifiques associés aux aménagement fluviaques sont effectués.	Un suivi des principaux milieux humides riverains au lac Saint-Jean est réalisé. Des suivis spécifiques associés aux aménagement fluviaques sont effectués.	Faible	Forte pluie, pluie verglaçante, accumulation de neige, tempêtes et vents extrêmes, foudre, feux de forêt/fumée	Pluie maximale en 1 jour Pluie maximale en 5 jours Nombre annuel de jours avec plus de 20 mm de pluie Nombre annuel de jours avec plus de 25 cm de neige Heures de pluie verglaçante Vitesse maximale annuelle du vent soutenu Feux de forêt - qualitatif Nombre d'impacts d'éclairs	Nombre annuel de jours avec plus de 20 mm de pluie	Presque certain	Presque certain	Presque certain	Presque certain	Presque certain	Presque certain	Possible	Possible	Possible	Possible	Possible	Possible	N/A	Très faible	Faible	Très faible	Faible	Classe II	Classe II	Classe II	Classe II	Classe II	Classe II	Considérer ces événements exceptionnels dans l'analyse des résultats d'inventaires de suivis
Approche de gestion de l'érosion	Environnement naturel	Milieux humides et hydriques (sur le territoire du Programme)										8	Le potentiel érosif pourrait détruire la végétation stabilisatrice des berges, compromettant la résistance à l'érosion en général et dans les secteurs de travaux de protection et pourrait détruire la végétation associées à des aménagements fluviaques. Les épisodes de pluie-verglaçante peuvent notamment entraîner des perturbations et l'arbitré à considérer dans les suivis (par exemple : suivis particuliers des berges pour valider les décrochages de talus, les arbres déracinés et effondrés).	Modérée	L'érosion amplifiée par les changements climatiques peut rendre exigenter des travaux de protection supplémentaires et influencer les résultats des suivis	Faible	Bien que certaines mesures d'adaptation puissent être mises en place, comme la protection des habitats et la gestion adaptative, ces milieux peuvent nécessiter des interventions pour mieux résister aux conditions changeantes et maintenir leur pertinence comme outils de suivi.	Un suivi des principaux milieux humides riverains au lac Saint-Jean est réalisé. Des suivis spécifiques associés aux aménagement fluviaques sont effectués.	Modérée	Potentiel d'érosion	Potentiel érosif (Combinaison du niveau d'eau RTA, le régime des vents et tempêtes RTA et la période d'eau libre RTA)	Potentiel érosif	Rare	Rare	Rare	Rare	Rare	Rare	Improbable	Improbable	Improbable	Improbable	Improbable	Improbable	N/A	Modérée	Modérée	Très faible	Modérée	Classe II	Classe II	Classe II	Classe II	Classe II	Classe II	Prévoir des inspections terrain extraordinaires dans les secteurs sensibles connus en cas extrême atypique Considérer ce facteur dans l'analyse des résultats d'inventaires de suivis. Assurer une vigilance particulière à ces infrastructures lors des suivis & inspections terrain annuels, advenant l'occurrence d'événements extrêmes atypique.
Approche de gestion de l'érosion	Environnement naturel	Milieux humides et hydriques (sur le territoire du Programme)										9	Certains événements extrêmes, combinés ou pas, pourraient détruire ou endommager certains végétaux des milieux humides et hydriques sensibles de l'habitat en général ou associés à des travaux de protection de berge ou à des aménagements fluviaques. Les feux de forêt pourraient atteindre la végétation des milieux humides et hydriques sensibles et pourraient engendrer des dommages significatifs. Les feux de forêt pourraient notamment entraîner: • Détruire des sections d'ouvrages en bois (ex. passerelle ou seuil en bois). * Détruire la végétation stabilisatrice des berges, compromettant la résistance à l'érosion. • Réduire les milieux humides riverains, qui jouent un rôle crucial dans la biodiversité et la qualité de l'habitat. • Augmenter la vulnérabilité des infrastructures (ouvrages de protection de berges ou aménagements fluviaques) en cas de perte de couverture végétale.	Faible	Les végétaux des milieux humides et hydriques en général ou associés à des travaux de protection de berge ou à des aménagements fluviaques peuvent être perdus suite à des feux de forêt, mais ces événements ne devraient pas détruire l'entièreté des végétaux en place. Les modifications et dommages causés par les changements climatiques pourront rendre les milieux humides et hydriques moins pertinents comme outils de suivi.	Modérée	Un suivi des principaux milieux humides riverains au lac Saint-Jean est réalisé. Des suivis spécifiques associés aux aménagement fluviaques sont effectués.	Un suivi des principaux milieux humides riverains au lac Saint-Jean est réalisé. Des suivis spécifiques associés aux aménagement fluviaques sont effectués.	Faible	Feux de forêt/Fumée	Qualitatif	Qualitatif	Rare	Rare	Rare	Rare	Rare	Rare	Rare	Rare	Rare	Rare	Rare	Rare	Rare	Rare	N/A	Faible	Très faible	Faible	Faible	Classe I	Classe I	Classe I	Classe I	Classe I	Classe I	Considérer ces événements exceptionnels dans l'analyse des résultats d'inventaires de suivis
Programme de contrôle et de suivi	Réalisation des travaux	Opérations de construction										10	Certains événements extrêmes, combinés ou pas, pourraient affecter les délais et de la durée des opérations de construction, qui doivent être suspendues lors des conditions défavorables.	Modérée	Les changements climatiques rendront les événements plus extrêmes en termes de fréquence et d'intensité. Les milieux hivernaux, la pluie et niveaux LGI affectent grandement les opérations sur l'ensemble des sites d'intervention en même temps. Effet cumulatif. Sensibilité "Élevée" pour vulnérabilité "Modérée"	Modérée	Cela pourrait nécessiter une modification des calendriers de maintenance opérationnelle et de construction et/ou des ajustements aux plans d'urgence des travailleurs. La fenêtre de temps disponible pour réaliser les travaux pourrait être plus courte et ne permet pas une marge de manoeuvre élevée. Les conditions météo affectent généralement l'ensemble des sites d'intervention en même temps.	Le calendrier des opérations est ajusté en fonction des conditions météorologiques. De plus, les protocoles SSE de RTA sont appliqués	Faible	Froid intense, cycles de gel-dégel, forte pluie, pluie verglaçante, accumulation de neige, tempêtes et vents extrêmes	Nombre annuel de jours avec plus de 25 cm de neige Cycles quotidiens de gel-dégel Nombre annuel de jours avec plus de 20 mm de pluie Heures de pluie verglaçante Vitesse maximale annuelle du vent soutenu Périodes de températures minimales inférieures à -15°C	Nombre annuel de jours avec plus de 20 mm de pluie	Presque certain	Presque certain	Presque certain	Presque certain	Presque certain	Presque certain	Possible	Possible	Possible	Possible	Possible	Possible	Très faible	Modérée	Faible	Modérée	Modérée	Classe III	Classe III	Classe III	Classe III	Classe III	Classe III	Considérer ce risque en amont dans le processus de conception et la planification des travaux (inclure dans revue de constructibilité). Prévoir des délais appropriés dans le calendrier des travaux pour imprévus/interruptions Prévoir avec les entrepreneurs retenus des mesures permettant d'accélérer le calendrier des travaux, si requis (ex. équipes doubles, heures de travail prolongées, travail les fin-de-semaines, etc.) Prévoir des mesures d'atténuation pour prolonger les travaux pendant la période de dégel ou printemps (ex. devancer le transport des matériaux avant le dégel & entreposage sur le site, effectuer le transport avec charges réduites pendant la période de dégel, protéger les chemins d'accès, etc.) et/ou reporter certains travaux à une période de remise en état plus substantielle, prévoir des accès alternatifs plus résilients aux interruptions, etc.) Adopter le programmation des travaux à la capacité de la main-d'oeuvre et la fenêtre de temps disponible (rejeter les travaux moins urgents à l'année ultérieur, prévoir des aménagements de protection temporaires, etc.) Prévoir la réalisation des travaux à d'autre moment de l'année (plus tôt à l' automne) et ajoutellement avec d'autres méthodes de travail et des mesures d'atténuation supplémentaires
Programme de contrôle et de suivi	Réalisation des travaux	Opérations de contrôle et suivi										11	Certains événements extrêmes, combinés ou pas, pourraient affecter les délais et de la durée des opérations de contrôle et de suivi, qui doivent être suspendues lors des conditions défavorables.	Élevée	Les changements climatiques rendront les événements plus extrêmes en termes de fréquence et d'intensité et peuvent causer l'impossibilité des saisons d'activité de contrôle et de suivi.	Très élevée	Cela pourrait nécessiter une modification des calendriers d'opérations de contrôle et suivi. Capacité d'adaptation plus élevée que opérations de construction, car durée des activités terrain moins longue et fenêtre de temps disponible plus grande (et en augmentation...)	Le calendrier des opérations est ajusté en fonction des conditions météorologiques. De plus, les protocoles SSE de RTA sont appliqués	Faible	Chaleur extrême et augmentation des températures, Froid intense, cycles de gel-dégel, forte pluie, pluie verglaçante, accumulation de neige, tempêtes et vents extrêmes, foudre, feux de forêt/fumée,	Températures minimales et maximales supérieures à 10 degrés Celsius et 31 degrés Celsius (3 jours consécutifs) Périodes de températures maximales supérieures à 40 degrés Celsius (3 jours consécutifs) Périodes de températures minimales inférieures à -20 degrés Celsius (3 jours consécutifs) Nombre annuel de jours de température maximale > 34°C Nombre annuel de jours avec une température minimale inférieure à -15°C Plus maximale en 1 jour Plus maximale en 5 jours Nombre annuel de jours avec plus de 20 mm de pluie Nombre annuel de jours avec plus de 25 cm de neige Heures de pluie verglaçante Vitesse maximale annuelle du vent soutenu Feux de forêt - qualitatif Nombre d'impacts d'éclairs	Nombre annuel de jours avec plus de 20 mm de pluie	Presque certain	Presque certain	Presque certain	Presque certain	Presque certain	Presque certain	Possible	Possible	Possible	Possible	Possible	Possible	Faible	N/A	N/A	Très faible	Faible	Classe II	Classe II	Classe II	Classe II	Classe II	Classe II	Faire une revue périodique des normes SSE pour ajuster les plans de travail spécifiques (PTS) aux nouveaux risques émergents.
Programme de contrôle et de suivi	Réalisation des travaux	Opérations de contrôle et suivi										12	Cofonctionnement de la nature envisagé représente une opportunité pour les opérations de contrôle et suivi	N/A	NA	N/A	NA	NA	N/A	Chaleur extrême et augmentation des températures	Durée de la saison de croissance	Durée de la saison de croissance	Presque certain	Presque certain	Presque certain	Presque certain	Presque certain	Presque certain	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	Opportunité	Opportunité	Opportunité	Opportunité	Opportunité	Opportunité	Ne

wsp.com

ANNEXE

A6-1 *Revue de littérature sur les approches et techniques de gestion de l'érosion en milieux côtiers*

PROGRAMME DE STABILISATION DES BERGES DU LAC SAINT-JEAN 2028-2037

Rapport R0791 – Revue de littérature sur les approches et techniques de gestion de l'érosion en milieux côtiers

Préparé par :

Lasalle|NHC Inc.
5600 Boulevard des Galeries, bureau 530
Québec, QC G2K 2H6
Tel: 514.366.2970
www.lasallenhc.com

Préparé pour :

Rio Tinto – Programme de stabilisation des berges du lac Saint-Jean
600 rue Collard Ouest
Alma, Qc G8B 1N4

Decembre 2025
Finale Rév. 01
Numéro de référence de Lasalle|NHC : 8008668

SUIVI DU DOCUMENT

Date	Révision No.	Révisé par	Émis pour
2025-02-14	**00**	**Justin McKibbon**	**Préliminaire**
2025-12-15	**01**	**Justin McKibbon**	**Finale**

Rapport préparé par :

Laura Dumont-Boyer, ing.
Ingénieure
No OIQ : 6025964

William Lapointe, CPI, biol.
Ingénieur de projet
No. OIQ : 6038446

Rapport révisé par :

Justin McKibbon, ing. M.Sc.
Ingénieur et associé
Chargé de projet
No OIQ : 5000352

Chemin d'accès au fichier LNI : 8008668_PSBLSJ_EIEDecret2028-2037\8_Rapport\01_RevueLitterature\05_VersionFinale

CLAUSE DE LIMITATION DE RESPONSABILITÉ

Ce document a été préparé par Lasalle|NHC de façon conforme aux bonnes pratiques d'ingénierie et est destiné à l'usage exclusif de Rio Tinto – Programme de stabilisation des berges du lac Saint-Jean et de leurs représentants autorisés dans le cadre spécifique du projet de renouvellement du décret ministériel pour le Programme de Stabilisation des berges du lac Saint-Jean (PSBLSJ).

Le contenu de ce document ne peut être appliqué ou utilisé, en tout ou en partie, par ou à l'avantage d'autres parties sans l'autorisation écrite de Lasalle|NHC. Aucune autre garantie, expresse ou tacite, n'est accordée.

Lasalle|NHC et ses directeurs, associés, employés et mandataires n'assument aucune responsabilité à l'utilisation ou au recours du présent document ou de son contenu par des parties autres que Rio Tinto – Programme de stabilisation des berges du lac Saint-Jean.

REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à remercier le personnel de Lasalle|NHC qui a participé à l'étude (dans l'ordre alphabétique) :

- Benoit Ruest
- Karine Robert
- Laura Dumont-Boyer
- Liliane Gonthier
- Nicolas Guillemette
- Sara Dubosq
- Sami Gysin
- Steve Renaud
- Tristan Aubel
- Vincent Métivier
- William Lapointe

Les auteurs tiennent également à remercier le personnel de WSP qui a collaboré à la rédaction du chapitre 7, portant sur les travaux d'urgence, notamment :

- Maxime Audet-Daigle
- Narimene Chertouk
- Noémie Blouin

TABLE DES MATIÈRES

1 MISE EN CONTEXTE 1

2 CONTINUUM DES APPROCHES ET TECHNIQUES DE GESTION DE L'ÉROSION 3

3 NON -INTERVENTION 9
3.1 Description sommaire de l'approche 9
3.2 Variantes de mise en pratique 9
3.3 Conditions optimales pour utiliser cette approche 10
3.4 Conditions pouvant freiner l'utilisation de cette approche 10
3.5 Paramètres à évaluer avant d'adopter cette approche 10
3.6 Exemples de réalisation à l'extérieur du lac Saint-Jean 13
3.7 Exemples de réalisation au lac Saint-Jean 14

4 TECHNIQUES DE STABILISATION ET DE PROTECTION DES PLAGES 17
4.1 Rechargement de plage 17
4.2 Épis 43
4.3 Brise-lames 52
4.4 Plages perchées 61
4.5 Protections enfouies et soutènement de talus 63
4.6 Drainage de plage 66
4.7 Stabilisation dunaire 69

5 TECHNIQUES DE PROTECTION ET DE STABILISATION DES BERGES 73
5.1 Murs chasse-mer et murs de soutènement 73
5.2 Revêtements 75
5.3 Techniques mixtes, végétalisation des ouvrages et phytotechnologies 81

6 SOLUTIONS FONDÉES SUR LA NATURE 97
6.1 Description sommaire de l'approche 97
6.2 Variantes d'aménagement 98
6.3 Conditions optimales pour utiliser cette approche 108
6.4 Conditions pouvant freiner l'utilisation de cette approche 108
6.5 Paramètres à considérer lors de la conception 109
6.6 Exemples de réalisation à l'extérieur du lac Saint-Jean 110
6.7 Exemples de réalisation au lac Saint-Jean 119

7 TRAVAUX D'URGENCE 121
7.1 Description sommaire de l'approche 121
7.2 Digues en sacs de sable 122
7.3 Sacs de sable sans sable (SAP) 127
7.4 Barrages cellulaires (du type gabion) 129
7.5 Barrières gonflables 133
7.6 Géobags 142
7.7 Dragage et reprofilage des plages 145

8 TECHNIQUES EXPÉRIMENTALES 151
8.1 Description sommaire de l'approche 151
8.2 Variantes d'aménagement 151

9 RÉFÉRENCES 159

LISTE DES FIGURES ET TABLEAUX DANS LE TEXTE :

FIGURES

Figure 2-1 Continuum des approches et techniques de gestion de l'érosion en milieux côtiers. 5
Figure 4-1 Différentes variantes de rechargements de plage (Van Rijn, 2010). 18
Figure 4-2 Exemple d'un rechargement du haut de la plage à La Grave aux Îles-de-la-Madeleine (Radio-Canada, 2021) 19
Figure 4-3 Exemple du rechargement d'un cordon dunaire à Saint-Jean-Le-Thomas, en France (Ouest-France, 2020) 20
Figure 4-4 Vue aérienne du projet expérimental de « Moteur de sable » aux Pays-Bas (dezandmotor.nl) 22
Figure 4-5 Exemple d'un rechargement d'une île barrière en Louisiane aux États-Unis (CPRA, 2021) 23
Figure 4-6 Schémas en plan et en section illustrant l'évolution d'un rechargement de plage suivant sa mise en place (Dean, 2003) 27
Figure 4-7 Quelques exemples d'équipements spécialisés utilisés pour le dragage (WSP Canada, 2015) 31
Figure 4-8 Transport des matériaux vers le site de rechargement, gauche : pompe de dragage (Holland Dredge Design, 2025) et droite: par propulsion (IADC Dredging, 2025) 31
Figure 4-9 Reprofilage de plage à l'aide d'un bouteur dans le comté de Norfolk en Angleterre (image tirée du site web TheFloodHub). 34
Figure 4-10 Rechargement de plage à Sainte-Luce (source: Ministère de la Sécurité publique, via Radio-Canada) 37

Figure 4-11 Recharge de plage du secteur de la Grave (source: Municipalité des Îles de la Madeleine, via Radio-Canada) 39
Figure 4-12 Vue aérienne des travaux de Cap-aux-Meules (source: Municipalité des Îles de la Madeleine, via Radio-Canada) 40
Figure 4-13 Ouvrage de rechargement de plage avec boudins de géotextile, Pointe-aux-Loups (source : Radio-Canada) 41
Figure 4-14 Boudins de sable à découvert (source: Radio-Canada) 41
Figure 4-15 Exemples de formes de musoir pour les épis (Mohammadi et Mohammadi, 2015) 47
Figure 4-16 Exemples de formes de musoir pour les épis (Dean, 2003) 48
Figure 4-17 Exemples de perturbations sédimentaires causées par l'implémentation de brise-lames (U.S. Army Corps of Engineers, 2002) 53
Figure 4-18 Coupe-type d'une plage perchée (Dean et Dalrymple, 2002) 61
Figure 4-19 Exemple d'un géotube exposé à la suite d'un événement de tempête sur la côte du Texas (Gibeaut et al., 2003) 66
Figure 4-20 Schéma illustrant l'interaction entre la nappe phréatique et l'onde de ruissellement des vagues. (a) représente un niveau naturel élevé de la nappe phréatique, tandis que (b) montre un niveau abaissé. Les étiquettes vertes mettent en évidence les effets stabilisants et les étiquettes rouges indiquent les effets mobilisateurs (Fischione et al., 2022) 67
Figure 4-21 Utilisation d'arbres de No-el recyclés et de plantes ammophiles sur la plage Cavendish dans le parc national de l'Île-du-Prince-Édouard (Image tirée d'une présentation vidéo sur le projet) 70
Figure 4-22 Exemple d'une dune restauré à Gibraltar Point sur les rives du lac Ontario (TRCA, 2024) 71
Figure 4-23 Inventaire des colonies d'espèces végétales reliques du parc de la Pointe-Taillon, Lac-Saint-Jean, Québec (SÉPAQ, 2012) 72
Figure 5-1 Perré conventionnel en pierres **(U.S. Army Corps of Engineers, 2002)** 76
Figure 5-2 Exemples d'impacts environnementaux des ouvrages de revêtements pour la protection du littoral (Sanitwong-Na-Ayutthaya et al., 2023) 77
Figure 5-3 Exemples de revêtements en géotubes au Bangladesh (à gauche) et en blocs de béton non imbriqués en Malaisie (à droite) (Mangor et al., 2017) 80
Figure 5-4 Exemples de fonctions écologiques fournies par la végétalisation des berges (ESWEG) 81
Figure 5-5 Riverains participant au programme de revégétalisation des bandes riveraines de l'Organisme de bassin versant (OBV) Lac-Saint-Jean 83
Figure 5-6 Lignes directrices pour évaluer la viabilité des phytotechnologies (Tip of the Mitt Watershed Council, 2007). 85
Figure 5-7 Enrochement du pied de berge jumelé à des sacs Envirolok ® sur la partie moins sollicitée (source : Envirolok, lac Geneva). 86
Figure 5-8 Exemple du système Terramesh ® (source : Maccaferri). 86

Figure 5-9 Aménagement de lits de plançons à travers un enrochement conventionnel (source : Terra Erosion). 87
Figure 5-10 Coupe type de mur de soutènement végétalisé Envirolok ®. 88
Figure 5-11 Caissons végétalisés (ADFG, 1995). 90
Figure 5.12 Stabilisation de la Plage Jacques-Cartier à l'aide de techniques mixtes, soit un enrochement avec rangs de plaçons installés sur une matrice de bois et plantation d'arbres en haut de berge. 92
Figure 5.13 Visite technique durant le projet RARE de la Plage Jacques-Cartier, stabilisation par phytotechnologies. 93
Figure 5.14 Exemple couche de plançons à Métabetchouan-Lac-à-la-Croix (Site 98.03.01) un an après les travaux, lors du décret 1996-2006. 94
Figure 5.15 Exemple de perré et génie végétal construit au Domaine Lévesque à Roberval (Site 2000.06.01) lors du décret 1996-2006 95
Figure 6-1 (a) Exemple de ballots de souches et (b) exemple de débris ligneux massifs (extrait de WILSON, 2020). 102
Figure 6-2 Exemple de vérins en billots (conçus par Lasalle|NHC). 103
Figure 6-3 Exemple de récifs de débris ligneux lestés (extrait de Slaney et al., 1997). 103
Figure 6-4 Exemple de brise-lame vivant colonisé par des huitres. 104
Figure 6-5 Exemple de structures de nidification pour la faune aviaire incorporées à la crête d'un brise-lame (conçues par Living Habitats, image tirée du site web de la firme). 105
Figure 6-6 Exemple de structures ayant des formes complexes (Illinois Beach State Park, image tirée de Google Earth, 2024-04-24). 106
Figure 6-7 Exemple de récifs submergés annexés à la base de brise-lames : (a) Illinois Beach State Park, (b) Living Breakwater, Staten Island, NY. 106
Figure 6-8 Schématisation du concept de berge vivante (extrait de WSP Canada, 2015b). 107
Figure 6-9 Projet de restauration du littoral par Brandenburg (image extraite du webinaire offert par l'Association Coastal Zone Canada). 111
Figure 6-10 Projet de restauration du littoral au Illinois Beach State Park (panneau du haut, image extraite du site LinkedIn de l'ASBPA; panneau du bas, image extraite d'une présentation du Illinois Capital Development Board. 113
Figure 6-11 Exemples des bonifications écologiques apportées aux ouvrages de protection du Illinois Beach State Park (image extraite de la page web du Waterfront Alliance). 114
Figure 6-12 Projet de restauration des berges au parc Fort Smallwood, Maryland (image extraite de la page web du Capital Gazette). 115
Figure 6-13 Projet de restauration du marais salin dans la baie Dollar, Texas (image extraite de la page web de HDR). 116
Figure 6-14 Projet de brise-lames « vivants » à Staten Island, NY (image extraite de la page web de SCAPE). 117

Figure 6-15 Protection de l'archipel des Îles-de-la-Paix : Travaux exécutés devant l'Île aux Plaines en 2020 (image extraite de source?). 118
Figure 7-1 Digue en sacs de sable enfouie (Terchunian et Caputo, 2014). 124
Figure 7-2 Digue en sacs de sable avec tranchée (Terchunian et Caputo, 2014). 124
Figure 7-3 Évolution de la berge au site du Centre Plein Air St-Pierre en réponse à la mise en place des interventions d'urgence. 126
Figure 7-4 Évolution de la berge au site du Centre Plein Air St-Pierre en réponse à la mise en place des interventions d'urgence. 127
Figure 7-5 Les sacs SAP (Ref : https://gelsap.com/fr /inondation-sacs-de-sable-sans-sable/). 127
Figure 7-6 Mise en place des sacs SAP dans un cas d'inondation (source : https://gelsap.com/fr /inondation-sacs-de-sable-sans-sable/). 128
Figure 7-7 Barrage cellulaire de HESCO Maccaferri (Réf : www.weldedfencepanel.com/news-everything-you-should-know-about-hesco-barrier). 130
Figure 7-8 Installation de barrage cellulaire HESCO: étirement de la cage (Réf : solution de rechange aux sacs de sable pour une protection temporaire contre les inondations, Octobre 1998). 130
Figure 7-9 Travaux d'installation et de remplissage des barrages HESCO (Réf : solution de rechange aux sacs de sable pour une protection temporaire contre les inondations, Octobre 1998). 131
Figure 7-10 Entreposage des cellules HESCO, gabions repliés (Réf : solution de rechange aux sacs de sable pour une protection temporaire contre les inondations, Octobre 1998). 132
Figure 7-11 Structures tubulaires remplies d'eau: barrages portatifs (Réf : Solution de rechange aux sacs de sable pour une protection temporaire contre les inondations). 134
Figure 7-12 Coupes transversales des systèmes tubulaires remplis d'eau: Tubes internes et externes: WATER STRUCTURE et AQUA DAM (à gauche), cloisons internes AQUA BARRIER (à droite) (Réf : Solution de rechange aux sacs de sable pour une protection temporaire contre les inondations). 134
Figure 7-13 Système tubulaire rempli d'eau (Réf : Solution de rechange aux sacs de sable pour une protection temporaire contre les inondations). 135
Figure 7-14 Système tubulaire rempli d'eau utilisé dans un cas d'urgence en ..... (Réf : Fiche technique Barrière gonflable contre les inondations NoFloods, 2024). 135
Figure 7-15 Système tubulaire TIGER DAM rempli d'eau (www.airsolid.ca/protection-contre-les-inondations.com). 136
Figure 7-16 Structure tubulaire gonflé à air (Réf : Fiche technique de Bariière contre les inondations Tubewall de NOAQ Flood protection AB). 138
Figure 7-17 Fonctionnement du système NOAQ (Réf : fiche technique de Barrière contre les inondations Tubewall de NOAQ Flood protection AB). 138

Figure 7-18 Structure tubulaire gonflable utilisée contre l'inondation (: fiche technique de Bariière contre les inondations Tubewall de NOAQ Flood protection AB). 139
Figure 7-19 Installation des structures tubulaires gonflables de type NOAQ (Ref : fiche technique de Bariière contre les inondations Tubewall de NOAQ Flood protection AB). 139
Figure 7-20 Caractéristiques des digues gonflables (https://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.eptb-loire.fr/wp-content/uploads/2017/03/EPLoire-Digues-amovibles-1.pdf). 140
Figure 7-21 Jonctions des tubes par manchettes en jaune (https://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.eptb-loire.fr/wp-content/uploads/2017/03/EPLoire-Digues-amovibles-1.pdf). 140
Figure 7-22 Géobags installés au niveau d'une côte pour protection contre l'érosion côtière. (Réf : https://oceangeosynthetics.com/products/geo-bags-manufacturers/). 143
Figure 7-23 Différentes configurations des géobags. (Réf : https://www.coastalmanagement.com.au/geotextile-sand-containers-advantages-disadvantages). 144
Figure 7-24 Exemple de dragage à succion et à pelle hydraulique. 147
Figure 7-25 Reprofilage des plages à Cadix et Huelva, 2018 (Source : Réensablement d'urgence des plages de Cadix et Huelva - Dravosa). 147
Figure 7-26 Dragage et Réensablement d'urgence des plages de Cadix et Huelva (Source : Réensablement d'urgence des plages de Cadix et Huelva - Dravosa). 148
Figure 8-1 Exemple schématique de la façon dont les mangroves peuvent altérer différents processus en milieux côtiers (Gijsman et al., 2021) 152
Figure 8-2 Vue conceptuelle des cavités et de leur effet d'absorption de l'énergie dans un canal à vagues **(Euvé et al., 2023)** 153
Figure 8-3 Impression artistique de la stimulation électrique contrôlée pour améliorer la résistance du sable à l'érosion (image extraite du site web de PhysOrg). 154
Figure 8-4 Concept du *Derosion Boat* tiré du site web de la firme *Reshore Technologies* 155
Figure 8-5 Exemples de modules biomimétiques utilisés dans les projets de récifs artificiels (Perricone et al., 2023) 156
Figure 8-6 Un exemple de supports de plantation hexagonale utilisés dans un projet de restauration d'écosystèmes de mangroves en Australie 157

TABLEAUX

Tableau 6.1 Exemples d'unités préfabriquées spécialisées disponibles sur le marché. 100

ANNEXES

Annexe A Réglementation applicable pour les travaux impliquant l'exploitation de bancs d'emprunts subaquatiques

1 MISE EN CONTEXTE

Dans le cadre du processus d'évaluation et d'examen des impacts sur l'environnement visant le renouvellement du décret du Programme de gestion de l'érosion des plages et des berges du lac Saint-Jean pour la période 2028-2037, Rio Tinto souhaite adapter son approche de gestion de l'érosion des berges aux préoccupations contemporaines du milieu, des groupes environnementaux et des interlocuteurs gouvernementaux. Celles-ci ont évolué au cours des dernières années et préconisent aujourd'hui l'adoption d'une vision plus globale du territoire et d'une réflexion stratégique sur les solutions appliquées, afin d'amoindrir les impacts générés par la réalisation de projets à la pièce. Rio Tinto souhaite ainsi incorporer, si possible, de nouvelles façons de faire, fondées sur la nature, et adaptées aux différents secteurs du territoire, tout en maintenant les techniques qui ont fait leurs preuves jusqu'à maintenant.

Cette revue de littérature vise donc à inventorier les approches et techniques de protection des berges utilisées dans le monde pour gérer les phénomènes d'érosion similaires à ceux observés au lac Saint-Jean. Elle présente un état des connaissances actualisé sur les différentes approches de gestion du littoral existantes, comme la non-intervention, les techniques de stabilisation et de protection des plages, les techniques de stabilisation et de protection des berges, les solutions fondées sur la nature, les travaux d'urgence, ainsi que quelques techniques expérimentales novatrices qui pourraient un jour voir une utilisation à plus grande échelle. Elle s'appuie sur une grande variété de sources d'informations, comme des guides techniques, des webinaires et des fiches d'informations offerts par des organismes et des communautés de pratiques œuvrant dans le domaine de la protection côtière, ainsi que des articles de nouvelles pertinents.

Chaque section présente de manière structurée une description sommaire des approches identifiées, les variantes d'aménagement possibles, les conditions optimales favorisant la mise en œuvre des approches, les conditions pouvant freiner leur utilisation, les paramètres de conception pouvant influencer l'envergure et la forme des aménagements, certains exemples de réalisation provenant de l'extérieur du lac Saint-Jean, ainsi que d'autres réalisés au lac Saint-Jean, avec les leçons apprises correspondantes.

Ce document constitue en quelque sorte une mise à jour de la revue de littérature effectuée par WSP Canada lors du renouvellement précédent du décret, en 2015, qui demeure un document utile et contemporain.

2 CONTINUUM DES APPROCHES ET TECHNIQUES DE GESTION DE L'ÉROSION

Les approches et techniques de gestion de l'érosion peuvent être représentées par un continuum opposant les méthodes préventives douces visant la restauration des milieux naturels (priorité accordée aux enjeux écologiques) aux interventions plus fortes visant à contrer l'érosion avec des techniques plus rigides et souvent économiquement compétitives (priorité accordée aux enjeux techniques et économiques). Sur ce continuum (figure 2-1), il est possible de positionner les approches et techniques suivantes :

- La non-intervention
- L'accommodation
- Les solutions douces
- Les solutions flexibles
- Les solutions semi-rigides
- Les solutions fondées sur la nature
- Le verdissement
- Les solutions rigides

Certaines catégories de solutions ont une position modulable, selon leur capacité à s'intégrer au milieu récepteur de manière à atteindre les objectifs de protection désirés, tout en minimisant les impacts négatifs sur l'environnement et en maximisant les co-bénéfices environnementaux et sociaux.

L'approche de la **non-intervention** accorde la priorité au maintien des processus côtiers en laissant évoluer librement la géomorphologie du littoral sous l'influence des régimes locaux, au détriment de la poursuite du recul de la berge et des risques de dommages aux infrastructures riveraines.

L'approche de **l'accommodation** décrit une stratégie selon laquelle les humains s'adaptent aux aléas côtiers en ajustant les usages et les infrastructures de façon à coexister avec les processus naturels d'érosion. Des exemples de cette approche incluent la planification d'infrastructures en fonction du contexte d'érosion ou le déplacement stratégique d'infrastructures.

Les **solutions douces** utilisent des techniques légères comme la végétalisation, l'adoucissement de talus et parfois les rechargements ponctuels légers pour protéger les berges tout en préservant la biodiversité et les processus naturels. Ces techniques sont principalement efficaces dans des situations avec des forces érosives faibles.

Les **solutions flexibles** s'orientent principalement autour des rechargements granulaires visant à combler des déficits sédimentaires. Les interventions sont toutefois plus robustes et d'envergure plus substantielle, afin de s'adapter à des conditions érosives plus fortes. Elles nécessitent habituellement des entretiens récurrents, mais permettent malgré tout de préserver les processus naturels actifs dans la zone littorale.

Les **solutions semi-rigides** combinent des éléments de protection douce ou flexible avec des structures artificielles pour renforcer les berges, tout en minimiser les impacts sur le milieu naturel élargi. Elles permettent normalement de réduire les besoins en entretien et peuvent aussi offrir des opportunités pour bonifier les fonctions écologiques du milieu.

Les **solutions fondées sur la nature** encadrent la façon dont les solutions douces, flexibles et semi-rigides sont combinées et s'intègrent au milieu récepteur de manière à minimiser les impacts négatifs sur l'environnement et maximiser les co-bénéfices environnementaux et sociaux. Elles peuvent s'appliquer autant aux zones de plages que dans les zones sans plages.

Le **verdissement** décrit pour sa part une approche selon laquelle la végétalisation joue un rôle principalement esthétique et dont l'intégration se fait à quasi-postériori lors de la conception des ouvrages.

Enfin, les **solutions rigides** utilisent des structures conventionnelles comme des murs de béton, des perrés non végétalisés et des digues pour fixer le trait de côte et contrer l'érosion des berges à l'aide de techniques souvent économiquement compétitives. Cependant, les ouvrages s'insèrent souvent dans le milieu récepteur sans tenir compte de la vision d'ensemble et peuvent avoir des impacts considérables sur l'écologie et les processus naturels.

Les sections suivantes de ce document offrent davantage d'information quant aux différentes approches et techniques de gestion de l'érosion.

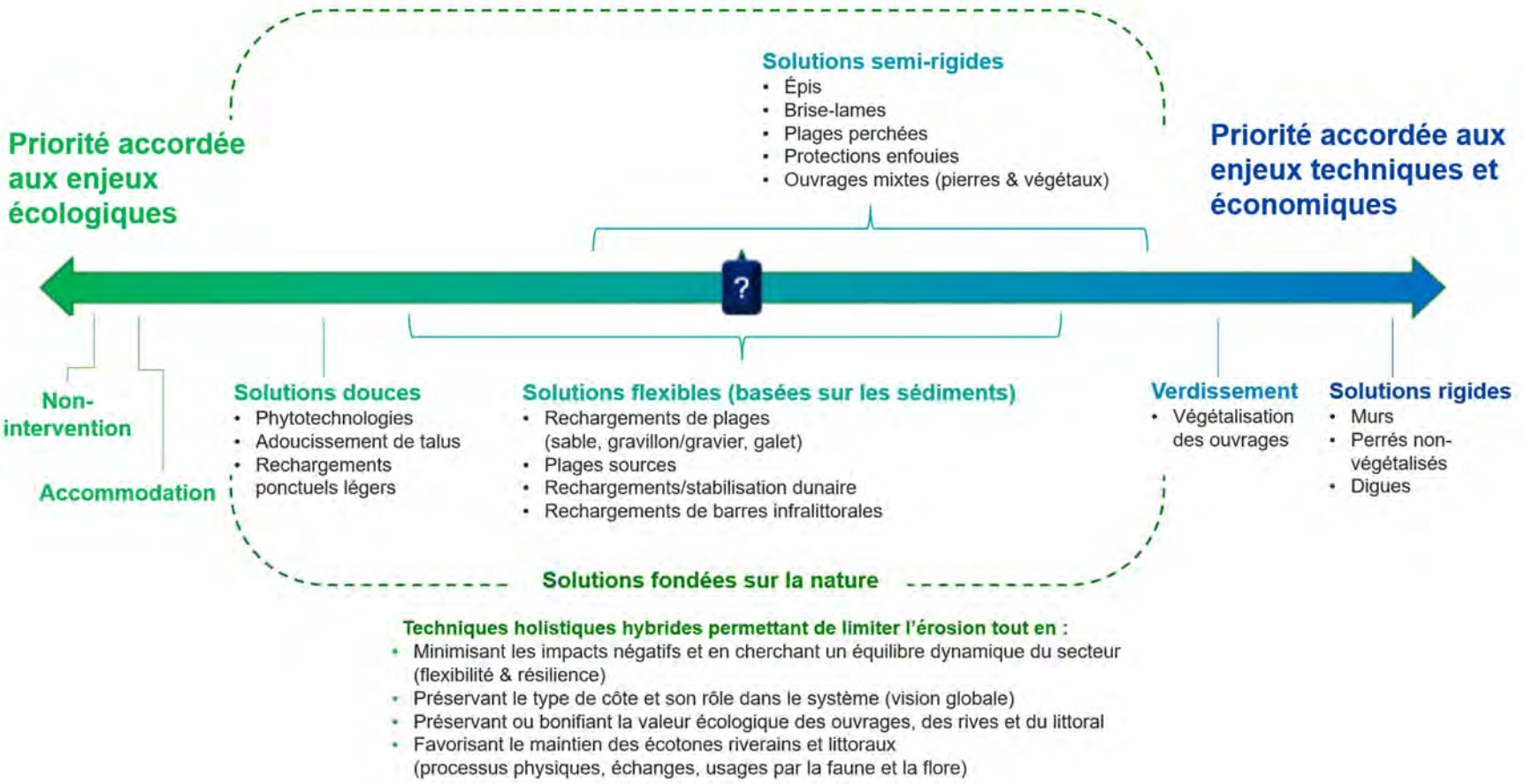


Figure 2-1 Continuum des approches et techniques de gestion de l'érosion en milieux côtiers.

Contexte particulier du lac Saint-Jean

Bien que de nombreuses études de cas et de bonnes pratiques soient répertoriées dans la littérature, l'applicabilité de solutions demeure hautement spécifique aux conditions de chaque site. À cet égard, plusieurs éléments particuliers distinguent le lac Saint-Jean des autres milieux lacustres ou océaniques et font en sorte que certaines approches ou techniques d'intervention répertoriées ailleurs ne puissent être appliquées avec autant de succès au lac.

D'abord, le plan d'eau demeure de grande envergure (44 km par 24 km, soit un peu plus de 1 000 km^2) et permet le soulèvement de vagues pouvant régulièrement atteindre 1 à 2 m de hauteur. Ces conditions exercent des sollicitations importantes sur les rives, pour lesquelles les solutions douces, comme les phytotechnologies, l'adoucissement de talus et les rechargements ponctuels légers, ne suffisent pas à elles-mêmes pour protéger les berges contre l'érosion.

Le lac est également soumis à un marnage important pendant la période hivernale. L'abaissement du niveau d'eau (plus de 3 m) exonde alors le littoral périphérique et l'expose au gel et à la glace. Ces conditions sont peu favorables à la survie des végétaux aquatiques et des espèces sessiles pouvant faire partie des stratégies d'aménagement fondées sur la nature. La régularisation des niveaux d'eau en périodes estivales et automnales fait également en sorte que les berges peuvent subir des sollicitations érosives à des niveaux qui varient peu pendant des périodes prolongées. La conception des ouvrages de protection doit ainsi tenir compte de ces cas de figure, ainsi que du niveau maximum d'exploitation autorisé sur le lac.

Les rives du lac demeurent par ailleurs empreintes d'une forte urbanisation. Les marges de reculs disponibles sont donc généralement très faibles et rendent nécessaire la mise en œuvre de solutions offrant un niveau de protection élevé et fiable. La forte densité d'activités récréatives pratiquées en bordure du littoral peut aussi entrer en conflit avec certains types d'ouvrages de protection, comme les épis et les brise-lames.

Enfin, le calendrier de programmation des travaux, qui privilégie la réalisation des interventions pendant la période hivernale, peut favoriser certains types d'interventions et en freiner d'autres. Par exemple, la présence de sols gelés et d'un littoral exondé favorisent les solutions exploitant les ressources terrestres (par exemple, approvisionnement des matériaux de rechargements à partir de bancs d'emprunts terrestres) et freine l'exploitation de ressources ou de méthode de travail aquatiques (par exemple, approvisionnement des matériaux de rechargements à partir de bancs d'emprunts riverains ou subaquatiques[1]). Les conditions climatiques froides complexifient également l'utilisation de phytotechnologies et de techniques mixtes.

[1] Tel que démontré lors de l'étude d'impact du dernier décret, il a également été démontré que l'approvisionnement aquatique produit des aménagements moins résistants à l'érosion dû à la faible granulométrie des matériaux et entraîne des impacts environnementaux négatifs en zone lacustre.

3 NON -INTERVENTION

3.1 Description sommaire de l'approche

La non-intervention est une approche de gestion de l'érosion qui cadre avec le premier pilier de l'approche d'atténuation des impacts environnementaux « **éviter**-minimiser-compenser ». Dans ce contexte, la priorité est accordée au maintien des processus côtiers en laissant évoluer librement la géomorphologie du littoral sous l'influence des régimes locaux, au détriment de la poursuite du recul de la berge et des risques de dommages aux infrastructures riveraines.

Bien que cette approche puisse sembler défavorable pour le milieu riverain à première vue, il est important de garder en tête que l'érosion reste avant tout un phénomène naturel essentiel à la dynamique sédimentaire et aux fonctions écologiques des environnements côtiers. Toute mesure visant à contrôler ce processus implique certaines perturbations de l'équilibre naturel, et peut parfois engendrer des répercussions non-souhaitables sur les milieux adjacents, qui pourraient à leur tour nécessiter des interventions dans le futur. Lorsqu'elle est soigneusement planifiée et bien adaptée au milieu, la non-intervention peut non seulement favoriser la résilience des milieux naturels, mais aussi offrir des avantages économiques significatifs sur le long terme.

3.2 Variantes de mise en pratique

Considérant que les interventions en protection du littoral sont souvent motivées par l'apparence d'un risque imminent envers un milieu naturel sensible (zone biophysique, milieu humide, etc.) ou une infrastructure humaine (maison, route, etc.), la non-intervention est rarement une approche de gestion durable, lorsqu'employée seule. Elle doit souvent être combinée avec d'autres stratégies permettant de minimiser la vulnérabilité face aux aléas d'érosion, comme :

- L'adoption de mesures règlementaires visant à restreindre ou interdire le développement dans les zones à risque;
- La mise en place de programmes de contrôle et de suivi, ainsi que l'établissement de critères déclencheurs permettant de réévaluer périodiquement la stratégie de gestion de l'érosion;
- L'adaptation des pratiques, activités et infrastructures existantes aux changements anticipés afin de maintenir l'habitabilité des zones côtières malgré l'augmentation des risques (lorsque possible);
- Le retrait stratégique des infrastructures et des populations vulnérables hors des zones à risque (lorsque possible).

3.3 Conditions optimales pour utiliser cette approche

Les conditions optimales permettant d'adopter la non-intervention comme approche de gestion de l'érosion incluent :

- Présence d'une marge importante entre le littoral et les éléments sensibles situés en rive (zones biophysiques, milieux humides, infrastructures humaines, etc.);
- Aléas affectant le territoire de façon relativement prévisible;
- Contexte permettant d'envisager l'adaptation ou la relocalisation (retrait) stratégique des infrastructures vulnérables;
- Contexte où l'envergure d'une solution interventionniste, ou ses impacts appréhendés s'avèrent inacceptables en raison de défis techniques, de coûts trop élevés, de difficultés d'accès au site, de superficies d'empiètement trop importantes, d'impacts négatifs sur le régime hydrosédimentaire local, etc.;
- Contexte offrant suffisamment de temps pour réaliser des études complémentaires et des consultations avec les parties prenantes, lorsque requises.

3.4 Conditions pouvant freiner l'utilisation de cette approche

L'adoption de la non-intervention comme approche de gestion de l'érosion peut ne pas être possible lorsque :

- Une ou plusieurs des conditions énoncées à la section précédente ne peut être rencontrées (milieux sensibles ou infrastructures impossibles à relocaliser, situations d'urgence liées à des évènements météorologiques extrêmes, absence de marge entre le littoral et les infrastructures vulnérables).

Lorsque la non-intervention amène une situation jugée intenable et que l'adaptation ou la relocalisation des infrastructures vulnérables n'est pas possible, une approche de protection interventionniste devient nécessaire. Dans ce contexte, un large éventail de solutions peut être déployé pour tenter de remédier aux problématiques d'érosion (voir chapitres suivants de ce document).

3.5 Paramètres à évaluer avant d'adopter cette approche

Pour prendre une décision éclairée quant à l'adoption de la non-intervention comme approche de gestion du littoral, il est essentiel de faire une analyse rigoureuse de la dynamique côtière anticipée en conditions futures, en tenant compte des impacts appréhendés des changements climatiques. Ainsi, des études préalables devraient être effectuées pour caractériser les éléments énumérés ci-après. L'effort consacré à ces études peut toutefois varier, selon l'envergure de la problématique rencontrée et l'urgence reliée aux impacts envisagés.

- Inventaire des milieux physique, écologique et humain environnant;
- Caractérisation de la problématique d'érosion :
  - Revue des données disponibles et des interventions historiques (si applicables);
  - Caractérisation du régime hydrodynamique (vagues, niveaux d'eau, courants, glaces, dynamique hydrosédimentaire);
  - Caractérisation du contexte hydrogéomorphologique (types de côtes, nature des sols, analyse comparative de photos aériennes mulitdates, taux de recul de la ligne de rivage);
  - Évaluation de bilans sédimentaires;
  - Évaluation des impacts des changements climatiques;
  - Évaluation de la stabilité géotechnique des talus.
- Projection de l'évolution du trait de côte (limites de retrait);
- Identification des éléments vulnérables et évaluation des risques.

Une analyse coûts-avantages (ACA) peut aussi être un outil clé pour comparer différentes stratégies, particulièrement dans des contextes où l'équilibre entre le maintien des processus naturels et les besoins socio-économiques est délicat à atteindre (Boyer-Villemaire et al., 2016).

Sur la base de ces informations, les intervenants du projet devraient être en mesure d'évaluer si la non-intervention constitue une approche acceptable pour la gestion du littoral. Les recherches peuvent également mener à la réalisation d'études complémentaires pour éclaircir certains aspects moins bien documentés, mais importants pour le projet. Enfin, advenant l'adoption de la non-intervention, un mécanisme de suivi et des critères déclencheurs devraient être établis afin de permettre une révision périodique de la stratégie de gestion de l'érosion.

Limites de retrait

Les limites de retrait sont des mesures règlementaires souvent utilisées lorsque la non-intervention est préconisée pour identifier les infrastructures côtières vulnérables à l'érosion sur des horizons moyens à long terme, ou pour restreindre ou interdire le développement dans les zones à risque. Elles tiennent compte des taux de reculs moyens historiques du trait de côte, de l'accélération de l'érosion occasionnée par les changements climatiques, comme le rehaussement du niveau moyen des mers ou l'augmentation de la période d'eau libre (lorsqu'applicable), et du recul maximum pouvant se produire sous l'effet d'une tempête de conception.

Les approches les plus rigoureuses font généralement appel à des études réalisées par des experts dans le domaine du génie côtier ou de l'hydrogéomorphologie côtière pour établir des limites modulables et adaptées aux contextes particuliers de chaque segment de berge homogène étudié. Les coûts et le temps requis pour faire ce genre d'étude peuvent cependant être prohibitifs pour plusieurs projets et organisations. Les résultats peuvent également mener à une certaine confusion au niveau de la population, surtout lorsque les limites varient de façon importante sur des lots situés proches les uns des autres.

Dans ce contexte, les approches les plus courantes préconisent plutôt des méthodes d'évaluation simplifiées et uniformes pour les territoires faisant partie d'une même juridiction. Ces approches prennent alors une des formes suivantes :

- Distance fixe à partir du trait de côte;
- Contour d'élévation prédéterminé;
- Facteur multiplicatif standardisé du taux de recul moyen historique du trait de côte;
- Position de formations littorales distinctives.

De façon générale, les limites de retrait « standardisées » varient entre 30 et 60 m à partir du trait de côte (RIDEOUT, 2012; OMNR, 2001; FEMA, 2013). Au Québec, aucune politique formelle n'existe à ce jour pour encadrer l'établissement de limites de retrait. Ceci a d'ailleurs été mis en évidence dans un rapport de la commissaire au développement durable du Québec (Le Devoir, 2023)[2], (Larose, 2023)[3]. Le laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières (LDGIZC)[4] de l'Université du Québec à Rimouski (UQAR) exploite cependant un vaste réseau de bornes de mesures permettant de documenter le recul du trait de côte à différents endroits dans l'estuaire et le golfe du fleuve Saint-Laurent, ainsi qu'aux Îles-de-la-Madeleine.

En Nouvelle-Écosse, le *Coastal Protection Act* illustre bien la volonté croissante des autorités de gérer les risques côtiers en amont de manière préventive (Parnham, 2023). L'expérience démontre cependant les défis que doit surmonter la mise en place de telles réglementations, surtout au niveau de l'acceptabilité sociale et du partage des responsabilités entre les instances gouvernementales et les propriétaires individuels. Le projet de loi initialement proposé en 2019 a finalement été abandonné en 2024 et sera remplacé par un autre Programme favorisant davantage la diffusion d'information relative aux risques d'aménager les zones côtières et aux bonnes pratiques recommandées[5].

Outils et moyens permettant d'améliorer la prévisibilité

La prévisibilité est un élément clé de la non-intervention, afin d'évaluer la durée pendant laquelle cette approche de gestion de l'érosion peut être soutenue et à quel moment la stratégie de gestion du littoral devrait être réévaluée. Plusieurs outils et moyens existent pour tenter d'améliorer la prévisibilité. Les modèles numériques de transformation des vagues et de transport

[2] https://www.ledevoir.com/environnement/789800/un-quebec-tres-mal-prepare-pour-l-erosion-cotiere

[3] https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/1974568/rapport-commissaire-developpement-durable-erosion-submersion-lacunes

[4] https://ldgizc.uqar.ca/Web

[5] https://www.cbc.ca/news/canada/nova-scotia/coastal-protection-act-environment-tim-halman-climate-change-1.7125745

sédimentaire peuvent notamment aider à mieux comprendre les processus littoraux actifs dans la zone d'intervention et prédire comment le milieu pourrait réagir face à certains aléas futurs.

La mise en place de programmes de contrôle et suivi est aussi un moyen efficace pour documenter l'évolution des lieux et faire une surveillance des secteurs les plus critiques. Ces programmes peuvent inclure la mise en place de bornes de mesures, l'arpentage d'éléments névralgiques, la réalisation d'inspections visuelles régulières ou l'installation de caméras de surveillance[6]. Certaines initiatives peuvent même être mises en place pour solliciter la contribution de la population pour prendre des photos de lieux sensibles et les soumettre à une base de données centralisée[7].

3.6 Exemples de réalisation à l'extérieur du lac Saint-Jean

Au Québec, la relocalisation fut employée à quelques reprises au courant des dernières décennies, notamment à Sainte-Luce et à Sainte-Flavie où une vingtaine de propriétés privées furent relocalisées à la suite de fortes tempêtes hivernales survenues en 2010 (Mineo-Kleiner, 2017). En amont de ces relocalisations, des bornes de mesure du trait de côte avaient été installées et suivies pendant 10 ans afin de mesurer les taux d'érosion des différents secteurs de la municipalité. Ces mesures ont servi à attribuer des cotes de vulnérabilité aux différentes habitations en bordure du Fleuve, dont une trentaine étaient menacées dans un horizon de 10 à 20 ans. Des indemnités couvertes par le ministère de la Sécurité publique étaient offertes aux résidents et un total de 21 habitations ont été cédées de cette manière. Les maisons ont ensuite été revendues aux enchères, sous condition de les déplacer hors de la zone de côte. La Municipalité de Sainte-Luce a suivi le pas, étant sujette aux mêmes problèmes d'érosion (Radio-Canada, 2022)[8].

Dans la municipalité de Maria, en Gaspésie, des relocalisations ont également eu lieu à l'aide de fonds d'urgence du MSP dans le secteur de la Pointe-Verte[9,10]. Ce secteur a été frappé par trois tempêtes majeures en l'espace d'un an, et un total de 53 résidences furent identifiées par le MSP comme étant en danger et à relocaliser. D'ailleurs, l'état d'urgence a été déclaré par la municipalité pour les tempêtes du 10 janvier du 13 janvier. Un budget de 15M$ a été avancé par le Ministère, avec une allocation maximale de 385 000$ par riverain. Comparativement, des coûts de 41M$ étaient estimés pour des travaux de rehaussement des terrains de la Pointe-Verte. Ces relocalisations n'ont pas été acceptées unanimement par la population, et plusieurs riverains ont

[6] https://france3-regions.francetvinfo.fr/occitanie/herault/sete/littoral-des-cameras-et-l-intelligence-artificielle-vont-surveiller-les-vagues-pour-prevoir-les-tempetes-2952689.html

[7] https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/2115147/photo-surveiller-erosion-lac-erie-unuversite-waterloo-ontario

[8] https://ici.radio-canada.ca/recit-numerique/3969/deplacement-erosion-cotes-marees-fleuve-saint-laurent

[9] https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/2073312/erosion-deferlement-tournepierres-maria-changements-climatiques-tempetes

[10] https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/2114268/pointe-verte-inondations-maisons-demenagement

décidé de demeurer sur place, malgré les risques, citant un manque de contre-expertise de la part du Ministère (Radio-Canada, 2024).

Plusieurs kilomètres de tronçons routiers ont également été déplacés sur la Côte Nord par le ministère des Transports depuis 1990 (Mineo-Kleiner, 2017).

Ces cas illustrent la faisabilité et l'efficacité potentielle du retrait stratégique comme outil de gestion des risques côtiers. Cependant, il est à noter que tous les déplacements effectués l'ont été faits de manière volontaire, et que l'acceptabilité sociale de la solution est clé dans les projets de relocalisation d'habitations en zone côtière. De plus, le cas de la municipalité de Maria souligne l'importance de bien documenter les différentes solutions à proposer afin de justifier la relocalisation comme étant la meilleure alternative.

3.7 Exemples de réalisation au lac Saint-Jean

Dans le contexte particulier du lac Saint-Jean, plusieurs mécanismes existent pour faire une planification judicieuse des travaux, évaluer les besoins pouvant être traités via une approche de non-intervention et déterminer lesquels nécessitent une approche interventionniste, puis à quel moment celle-ci est requise.

D'abord, le lac Saint-Jean demeure un plan d'eau régularisé, isolé de l'effet du rehaussement du niveau moyen des mers et peu sensible aux surcotes lors de tempêtes. Ceci offre donc un niveau de confiance élevé sur les niveaux d'eau maximums pouvant être observés dans le lac et atténue le risque que des événements extrêmes imprévus provoquent une érosion atypique des berges.

Le Programme de stabilisation des berges du lac Saint-Jean fait également une surveillance active de l'état des berges (survols héliportés annuels, arpentage annuel des plages, inspections visuelles ad hoc, etc.) et dispose d'un réseau de communication efficace permettant à la population de signaler les détériorations observées et soumettre des requêtes d'interventions. Ces outils permettent de faire un suivi régulier de la progression de l'érosion et de planifier les besoins aux moments opportuns.

L'expérience du Programme et l'historique des travaux fournissent quant à eux un riche inventaire de connaissances à l'égard de la durabilité usuelle des interventions dans différents secteurs du lac. Le support financier de Rio Tinto rend aussi possible le financement de nombreuses études complémentaires permettant d'améliorer les connaissances sur plusieurs composantes des milieux physiques, écologiques et humain et des impacts de l'érosion sur ceux-ci. Ces études permettent aussi parfois de raffiner les critères déclencheurs des interventions.

Le PSBLSJ adopte la non-intervention lorsque les problématiques d'érosion ne cadrent pas avec sa mission, la raison d'être de celle-ci ou lorsque la problématique est hors du territoire couvert.

Dans les années récentes, le PSBLSJ a également adopté la non-intervention dans la gestion de la migration des embouchures des ruisseaux Ptarmigan et Savard, à Dolbeau-Mistassini.

Ces exemples font cependant figure d'exceptions. Les rives du lac demeurent empreintes d'une forte urbanisation et les marges de reculs disponibles sont généralement très faibles, ce qui rend l'adoption de la non-intervention peu envisageable dans bien des cas.

4 TECHNIQUES DE STABILISATION ET DE PROTECTION DES PLAGES

Les zones de plages jouent un rôle clé dans les milieux côtiers, en assurant les fonctions suivantes :

- La dissipation de l'énergie des vagues et des ondes de tempêtes pour protéger les infrastructures situées derrière le trait de côte;
- La préservation de l'accès et l'utilisation récréative des plages pour les riverains.

Pour assurer la protection de ces milieux, différentes techniques peuvent être employées, comme les rechargements de plage, la construction d'épis ou de brise-lames, l'aménagement de plages perchées ou de protections enfouies en haut de talus, le drainage des plages ou, encore, la stabilisation dunaire.

Les sous-sections suivantes de ce document offrent davantage d'information quant aux différentes techniques énumérées.

4.1 Rechargement de plage

4.1.1 Description sommaire de l'approche

Le rechargement de plage est une technique qui vise à contrer l'érosion en augmentant artificiellement le volume et la largeur d'une section de plage avec des matériaux granulaires sacrificiels, tels que le sable, le gravillon, le gravier et les galets. Elle est principalement utilisée pour compenser l'érosion locale et favoriser la création d'une zone tampon qui dissipe l'énergie des vagues et limite ou empêche ces dernières d'atteindre le haut de talus et de causer des dommages.

Le rechargement de plage employé seul ne permet généralement pas d'atteindre un équilibre sédimentaire durable. Les matériaux ajoutés sont graduellement déplacés par l'action des vagues et doivent être remplacés périodiquement en fonction du régime auquel ils sont soumis et de la fréquence des tempêtes.

La durée de vie d'un rechargement de plage peut varier considérablement selon la nature de l'intervention et les conditions physiques et environnementales d'un site (Griggs, 2024). Une analyse récente de l'ensemble des rechargements réalisés aux États-Unis de 1970 à 2020 montre que les cycles moyens de rechargement sont d'environ 5 ans pour la côte Atlantique, 6 ans pour la côte du Golfe, 4 ans pour la côte Pacifique et 3.5 ans dans la région des Grands Lacs (Yousefi et al., 2024). En milieux océaniques fortement exposés, comme sur la côte néerlandaise, l'expérience montre des durées de vie de l'ordre de 2 à 5 ans (Van Rijn, 2011). Enfin, des recherches effectuées par Qui et al. (2020) concernant les fréquences d'intervention observées à 21 sites de

rechargements situés en Caroline du Nord indiquent que des fréquences inférieures à 5 ans peuvent être acceptables lorsque les sources d'approvisionnement sont facilement accessibles et se renouvellent rapidement, tandis que des fréquences supérieures à 5 ans sont plutôt recherchées lorsque les sources d'approvisionnement sont plus difficiles à exploiter. Les sources d'approvisionnement utilisées pour les projets en question provenaient du dragage de chenaux de navigation (sources facilement accessibles et rapidement renouvelables) et du dragage de bancs d'emprunts subaquatiques (sources difficiles d'accès et non renouvelables).

Ce qui rend acceptable ou non la durée de vie d'un rechargement dépend ainsi de plusieurs facteurs uniques à chaque site d'intervention, comme des taux d'érosion et des quantités de matériaux requis, l'exploitabilité des sources d'approvisionnement, la facilité d'accès au site et l'impact des interventions sur le milieu écologique et social environnant. Il revient ainsi à chaque promoteur responsable de la gestion du littoral de déterminer la fréquence d'intervention convenable, selon les contraintes du milieu et les solutions disponibles.

Si l'efficacité du rechargement seul s'avère insuffisante, il est alors possible d'utiliser d'autres méthodes pour stabiliser la plage, soit en aménageant différents types de structures connexes (voir sections suivantes). Peu importe le type d'intervention retenu, cependant, il est recommandé de combiner l'aménagement de structures à un rechargement de plage. Le cas échéant, le rééquilibrage du milieu récepteur selon la nouvelle dynamique hydrosédimentaire s'effectuera aux dépens des matériaux naturels déjà en place, ce qui pourrait déplacer ou exacerber la problématique d'érosion dans les secteurs en aval des structures.

4.1.2 Types de rechargements

La stratégie de rechargement peut cibler différentes parties du profil de plage, selon les contraintes et la dynamique hydrosédimentaire du site (Figure 4-1).

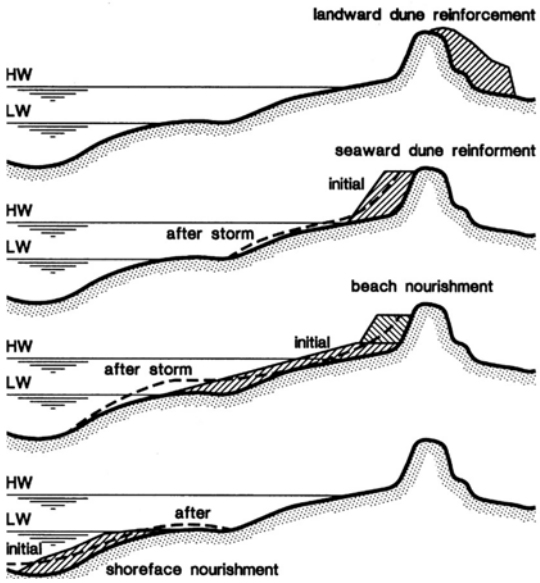


Figure 4-1 Différentes variantes de rechargements de plage (Van Rijn, 2010).

Rechargement du haut de la plage

La méthode de rechargement pratiquée le plus fréquemment est celle qui prévoit l'ajout de matériaux directement sur le haut de la plage dans la zone affectée par l'érosion. Il s'agit, entre autres, de la technique utilisée pour la majorité des interventions de rechargements effectuées au lac Saint-Jean. Le remblai de matériaux mis en place sur la plage forme ainsi une protubérance par rapport au trait de côte, qui s'effacera graduellement par diffusion ou étalement à la suite de l'action de la dérive littorale (transport longitudinal des sédiments) et des vagues de tempêtes (transport perpendiculaire, vers le fond du lac).

Figure 4-2 Exemple d'un rechargement du haut de la plage à La Grave aux Îles-de-la-Madeleine (Radio-Canada, 2021)

Rechargement de versants dunaires

Lorsque l'engraissement du haut de la plage demeure insuffisant pour assurer la protection des infrastructures riveraines, un renforcement de la protection côtière peut être obtenu en ajoutant des matériaux sur les versants dunaires, du côté terrestre ou aquatique. La création d'une dune ou l'augmentation de son volume bonifie la « réserve » de matériaux granulaires présente sur le littoral et pouvant remplacer les sédiments perdus sur la plage lorsque celle-ci subit de l'érosion lors de tempêtes (USACE, 2011). Le rechargement du versant arrière des dunes est généralement plus pérenne que le rechargement du versant avant, car il évite la formation d'une protubérance par rapport au trait de côte, mais l'intervention peut ensevelir des milieux écologiques sensibles ou être freinée par un coincement avec des infrastructures riveraines. En contrepartie, le rechargement du versant avant des dunes peut occasionner moins d'impacts sur le milieu riverain, mais risque de s'effacer plus rapidement.

Cette approche est très souvent accompagnée d'une végétalisation dunaire, ou d'autres techniques similaires, afin de limiter l'érosion éolienne et capter le sable transporté par le vent, favorisant ainsi l'accrétion. Malgré tout, plusieurs éléments peuvent freiner la mise en œuvre de cette technique, comme un espace limité disponible pour aménager une dune entre les résidences

et la plage, les risques de déplacement des lames de sable sur les terrains résidentiels et le blocage de la vue sur le plan d'eau.

Figure 4-3 Exemple du rechargement d'un cordon dunaire à Saint-Jean-Le-Thomas, en France (Ouest-France, 2020)[11]

Rechargement de barres infralittorales

Les barres infralittorales sont des monticules de sédiments naturels dynamiques, qui se forment sur la partie submergée des plages. Lorsqu'elles sont hautes et volumineuses, les barres infralittorales provoquent le déferlement des vagues au large, ce qui protège la plage. Ces formations contribuent également aux échanges sédimentaires dans la zone littorale.

Lorsque les barres infralittorales se trouvent fortement érodées, leur rechargement peut être envisagé pour assurer la protection de la côte. Cette forme de rechargement est surtout utilisée dans les secteurs de plage ayant un fort déficit sédimentaire, de forte énergie avec présence de barres infralittorales, où le transport perpendiculaire est dominant vers le large. Il s'agit d'une technique efficace pour freiner la régression du trait de côte, mais elle s'avère moins favorable pour augmenter la largeur des plages[12]. Lorsque l'approvisionnement en matériaux est réalisé par voies maritimes (dragage), le rechargement de barres infralittorales devient souvent économiquement avantageux, car il simplifie les méthodes de mise en place des matériaux.

[11] https://www.ouest-france.fr/normandie/saint-jean-le-thomas-50530/saint-jean-le-thomas-reensablement-d-urgence-du-cordon-dunaire-6765429

[12] https://www.coastalwiki.org/wiki/Shoreface_nourishment

La dynamique des barres infralittorales demeure toutefois conditionnée par des processus d'action et de rétroaction complexes. La migration et le remodelage des barres sont notamment très sensibles aux variations du régime des vagues et des niveaux d'eau. Ils sont également souvent influencés par des particularités propres à chaque site étudié, qui entrave le transfert des apprentissages d'un secteur à l'autre. L'incertitude sur l'efficacité de l'approche demeure donc souvent importante et l'intervention doit généralement être combinée à un rechargement en haut de plage afin d'assurer la protection visée des infrastructures littorales.

Rechargement de plages sources et engins de sable (*sand motors*)

Le rechargement de plages sources prévoit la mise en place de sédiments en amont du secteur en érosion, afin que la dérive littorale les transporte graduellement vers de la zone vulnérable. Sur la plage source, les matériaux sont habituellement déposés sur le haut de la plage. Cette approche s'avère généralement favorable lorsque les impacts environnementaux ou sociaux d'une intervention sur la plage source sont moins importants que dans la zone d'érosion.

Cette technique nécessite cependant des conditions hydrosédimentaires favorables à la dérive des matériaux vers le secteur visé en quantité suffisante pour assurer sa protection. Le niveau de protection offert en aval d'une plage source peut également s'avérer moins uniforme qu'une intervention directement dans la zone vulnérable.

Les engins de sable (traduction de « *sand motors* » en anglais) sont une extension du principe de plage source (Bittle, 2024). La quantité de sédiments utilisés est cependant beaucoup plus importante et d'au moins un ordre de grandeur plus élevé que les rechargements conventionnels. Le terme « méga-rechargement » est parfois aussi utilisé pour décrire cette technique.

L'objectif d'un engin de sable est principalement d'augmenter la durée de vie du rechargement, afin de réduire la fréquence de perturbation du milieu écologique. La technique peut également modifier la dynamique hydrosédimentaire locale, stimuler la formation dunaire, créer de nouveaux écosystèmes et améliorer les usages récréatifs de la plage (Van Eekelen & Bouw, 2020). Bien entendu, les impacts initiaux occasionnés par la mise en place d'un engin de sable sur le milieu récepteur peuvent être considérables et doivent être pris en compte avant d'adopter cette technique.

La réalisation du tout premier projet pilote d'engin de sable en 2011 au Pays-Bas[13] semble démontrer des résultats satisfaisants et conformes aux attentes. Cinq ans après la mise en place de 18.7 millions de mètres cubes de sable sur la côte de Delfland, une première évaluation de la performance du pilote projette que la durée de vie de l'engin de sable dépassera probablement les 20 ans visés en conception. Cette évaluation révèle également que le projet a augmenté la diversité des environnements côtiers, notamment par la création d'un banc de sable et d'une

[13] https://climate-adapt.eea.europa.eu/en/metadata/case-studies/sand-motor-2013-building-with-nature-solution-to-improve-coastal-protection-along-delfland-coast-the-netherlands

lagune, en plus de contribuer à créer un paysage unique offrant de nouvelles possibilités récréotouristiques (Brière et al., 2018). L'application des principes phares de cette approche est depuis sérieusement envisagée dans plusieurs autres régions du monde, dont le Bénin[14] et le Canada[15].

Figure 4-4 Vue aérienne du projet expérimental de « Moteur de sable » aux Pays-Bas (dezandmotor.nl)

Rechargement de plages barrières

Le rechargement de plages barrières peut être perçu comme une extension au principe de rechargement de barres infralittorales. Dans le cas présent, par contre, les monticules sous-marins sont rechargés jusqu'à ce qu'ils émergent de l'eau, formant ainsi des îles étroites et parallèles au rivage. Le plan d'eau se trouvant derrière se transforme ainsi en une sorte de lagune et la berge naturelle se retrouve isolée des forces érosives soulevées au large.

Les îles peuvent se prolonger sans interruption pendant plusieurs centaines de mètres ou de kilomètres, avec des passages permettant la circulation d'eau dans la lagune. La longueur et la largeur des barrières, ainsi que leur morphologie, varieront en fonction des niveaux d'eau, de l'énergie des vagues, des apports sédimentaires et de la forme du fond marin[16].

[14] https://www.youtube.com/watch?v=RnAbbfC4UTM

[15] https://nrc.canada.ca/en/stories/dredged-sand-used-nature-based-solution-against-coastal-erosion

[16] https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%8Ele_barri%C3%A8re

Figure 4-5 Exemple d'un rechargement d'une île barrière en Louisiane aux États-Unis (CPRA, 2021)[17]

Lorsque naturellement présentes, les plages barrières jouent un rôle crucial dans la protection côtière. Lorsqu'elles doivent être créées artificiellement, en revanche, l'aménagement de plages barrières peut devenir une ambition onéreuse et ayant des impacts environnementaux et sociaux considérables.

4.1.3 Conditions optimales pour utiliser cette technique (seule)

Les conditions optimales permettant d'envisager l'utilisation des rechargements de plage seuls incluent :

- Fréquence d'intervention d'au moins 5 à 7 ans (c.-à-d., pour des conditions érosives et pertes sédimentaires faibles à modérées);
- Disponibilité de matériaux de rechargement de qualité adéquate (fuseau granulométrique respecté et absence de contaminants), à une distance permettant un transport acceptable d'un point de vue économique, social et environnemental;
- Disponibilité de points d'accès à la zone d'intervention acceptables d'un point de vue économique, social et environnemental;

[17] https://coastal.la.gov/news/terrebonne-basin-barrier-island-and-beach-nourishment/

- Régime hydrosédimentaire résilient à l'ajout de sédiments dans le milieu et où la dérive des matériaux n'occasionne pas d'effet intenable dans les secteurs adjacents (par exemple, à l'embouchure de cours d'eau, ou devant des lieux de villégiature, d'infrastructures stratégiques ou de milieux écologiques sensibles).

Les rechargements de plage seuls peuvent également constituer une approche de protection acceptable dans des contextes s'avérant peu favorables à l'ajout de structures de rétention des sédiments sur le littoral (épis, brise-lames, etc.), en raison de contraintes économiques, environnementales ou sociales. Le cas d'une problématique d'érosion localisée sur une plage très longue, où l'introduction d'une première structure de rétention peut occasionner le déplacement de la zone d'érosion vers une zone non protégée adjacente et peut entrainer la multiplication du nombre de structures requises, peut être un bon exemple d'une telle situation (situation vécue entre autres à Dolbeau-Mistassini). Un contexte où l'approvisionnement en pierres ou autres matériaux requis pour la construction des ouvrages rigides s'avère problématique (secteur éloigné, qualité inadéquate des pierres disponibles localement) peut également être une situation favorisant l'utilisation de rechargements seuls.

Enfin, dans des secteurs reculés, où la problématique d'érosion et les processus littoraux sont parfois moins bien documentés, les rechargements de plage seuls peuvent aussi faire partie d'une stratégie d'intervention progressive, préalable à la mise en place de structures rigides (si requises). La mise en place subséquente de programmes de surveillance peut ensuite permettre d'effectuer des suivis, de mieux définir les besoins subséquents et offre aux professionnels en protection côtière une occasion pour approfondir leurs connaissances de la dynamique hydrosédimentaire du milieu.

4.1.4 Conditions pouvant freiner l'utilisation de cette technique (seule)

Les rechargements de plage seuls peuvent ne pas constituer une approche suffisante ou adéquate lorsque :

- Les interventions sont trop fréquentes d'un point de vue économique, social ou environnemental;
- L'approvisionnement en sédiments s'avère problématique en raison d'une qualité inadéquate des matériaux ou de quantités insuffisantes;
- L'accès au site d'intervention est problématique d'un point de vue économique, social ou environnemental.
- La dérive des matériaux de rechargements occasionne des impacts négatifs intenables sur les secteurs adjacents;

Il est également important de souligner que l'efficacité des rechargements de plage peut être questionnée par certaines parties prenantes qui ne sont pas en accord avec le principe de mettre des matériaux sacrificiels le long de la plage, en particulier s'ils sont payés à même des fonds publics. Dans certains contextes, également, l'approvisionnement en matériaux peut entrer en

conflit avec d'autres usages plus fonctionnels, comme la fabrication de béton ou la réfection de routes[18].

Les concepteurs argumenteront néanmoins que les investissements peuvent en valoir la peine lorsqu'ils permettent d'empêcher ou de réduire les dommages aux infrastructures riveraines et de minimiser les impacts sur l'environnement. Le rapport entre les investissements requis et la valeur des infrastructures à protéger devient souvent un élément important à considérer.

4.1.5 Paramètres à considérer lors de la conception

En général, trois phénomènes doivent être pris en compte pour la conception d'un rechargement sur le haut de la plage : l'étalement par diffusion, la dérive littorale et l'attaque des vagues de tempêtes. Tout d'abord, les rechargements forment généralement une protubérance le long de la côte. Un phénomène d'étalement ou de diffusion aura donc lieu après les travaux, lequel est indépendant du climat de vague. Par la suite, l'évolution du remblai variera selon le climat moyen des vagues, qui déplacent jour après jour les sédiments le long du littoral, dans un sens et dans l'autre en fonction de l'angle d'attaque des vagues. Enfin, les tempêtes de fortes vagues, en particulier celles survenant à haut niveau d'eau, arrachent les sédiments situés dans la partie supérieure de la plage, puis les transportent vers le large où ils sont ensuite déplacés par la dérive littorale. Le bilan de ces processus mène à une érosion de la plage. Le dimensionnement d'un rechargement doit donc prendre en compte ces phénomènes afin d'atteindre les objectifs désirés de durabilité et de fréquence de rechargement.

En plus des considérations techniques, les enjeux environnementaux et sociaux peuvent également influencer la conception des rechargements de plages. Des compromis sur les différents paramètres de rechargements sont souvent requis afin de répondre à l'ensemble des préoccupations du milieu (support aux habitats aquatiques et terrestres). Étant donné le déplacement prévisible des sédiments et les perturbations associées aux travaux récurrents, il est essentiel d'étudier les impacts environnementaux de tout programme de rechargement, tant sur les sites d'intervention que sur les sites adjacents, ainsi que les sites de prélèvement. Les éléments vulnérables le long du littoral, les habitats benthiques, les cours d'eau, etc., qui peuvent être impactés par un ensevelissement de sédiments, doivent être identifiés avant le début des rechargements afin de dresser un état de référence et d'élaborer un programme de suivi approprié.

Du point de vue social, les usages récréatifs, le niveau de protection côtière requis et l'occupation riveraine peuvent également influencer les paramètres des rechargements, notamment la granulométrie des matériaux ainsi que la longueur et la fréquence des interventions.

[18] https://www.tvanouvelles.ca/2025/01/30/le-sable-une-ressource-essentielle-qui-nous-file-entre-les-doigts

Nonobstant ces contraintes externes, la conception technique des rechargements réalisés sur le haut des plages exige l'évaluation des paramètres suivants :

Taux de rechargement

Le taux de rechargement désiré dépend de la tendance érosive du secteur et de la durabilité souhaitée de l'intervention. Plus le taux sera élevé, plus les intervalles entre les rechargements seront longs. Toutefois, cette relation n'est pas linéaire puisqu'un remblai plus large s'étalera plus rapidement.

Les sources d'information privilégiée pour établir le taux de rechargement incluent :

- Historique d'interventions similaires (lorsqu'il ne s'agit pas de la première intervention);
- Relevés topographiques et bathymétriques permettant l'évaluation de bilans sédimentaires;
- Caractérisation du contexte hydrogéomorphologique du littoral, avec analyse comparative multidates quantifiant le recul du trait de côte;
- Modélisation du climat des vagues et de la dynamique hydrosédimentaire.

Des limites pratiques doivent également être considérées. Le taux de rechargement retenu devrait notamment être suffisamment élevé pour permettre un contrôle efficace des quantités mises en place en chantier. Un compromis est souvent requis entre les dimensions de l'intervention et les fréquences des rechargements.

En contrepartie, des rechargements réalisés en épaisseur importante (35 cm ou plus) peuvent menés à un phénomène de boulance lors de la remontée du niveau du lac (WSP, 2025) en particulier sur la pente de la plage directement en contact avec le lac. Ce phénomène est occasionné par la pression interstitielle de l'eau sur les grains dans les sols lâches et par la présence d'écoulement préférentielle. La contrainte effective et la capacité portante du sol sont alors réduites, provoquant l'apparition de zones molles. Une resédimentation plus dense et un affaissement de la surface survient lors de l'abaissement du niveau d'eau. Dans certains cas, ce phénomène peut mener à l'enfoncement de promeneurs et pourrait provoquer des blessures. À cet effet, des cas d'exemples ont été observés au lac Saint-Jean et sur certaines plages du Nord-est américain[19]. Afin de réduire les risque de boulance, un nouveau protocole de travaux et de suivi des matériaux de rechargement a été mis en place (WSP, 2025). Notamment, une mise en place en couches de sable de moins de 35 cm, combinée à des passages à vide de bouteur, est recommandée afin de compacter les matériaux. Des visites et des essais in-situ sont également faits avant et après les travaux afin de réduire l'accès aux zones potentiellement affectées par le phénomène.

[19] https://www.journaldemontreal.com/2024/06/09/etats-unis-des-plages-envahies-de-sables-mouvants

Longueur de l'intervention

La longueur de l'intervention affecte également la performance des rechargements. De façon minimale, celle-ci devrait couvrir la zone à protéger. Un prolongement de part et d'autre est aussi recommandé pour contrer l'effet d'étalement, qui accélère l'effacement des extrémités du rechargement pendant la période où celui forme une protubérance par rapport au trait de côte (Figure 4-6). Une longueur plus grande permet ainsi de retarder l'impact de ce phénomène sur la partie centrale du remblai (Dean, 2003).

Un compromis est malgré tout généralement requis entre la longueur souhaitée de l'intervention et l'empiètement que le remblai occasionne dans le milieu hydrique. La présence de zones biophysiques sensibles peut également influencer la longueur d'intervention retenue.

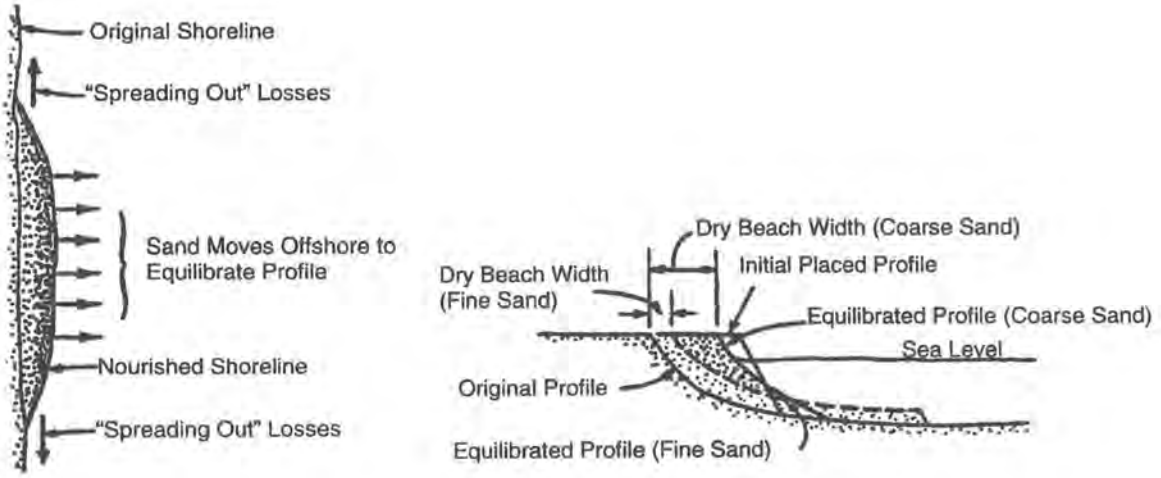


Figure 4-6 Schémas en plan et en section illustrant l'évolution d'un rechargement de plage suivant sa mise en place (Dean, 2003)

Hauteur de la berme

La concomitance de vagues fortes et de niveaux d'eau élevés peut entrainer la perte de sédiments dans la partie supérieure de la plage. Lors de la conception d'un rechargement, il est essentiel de fixer le sommet de la berme de rechargement à une élévation suffisante permettant de minimiser les impacts de ce phénomène et atteindre les objectifs de durabilité et de fréquence de rechargement souhaités.

Granulométrie des sédiments

Les matériaux typiquement utilisés pour effectuer les rechargements de plage incluent :

- Le sable (0,05 mm à 2 mm);
- Le gravillon (0,05 mm à 20 mm);
- Le gravier (2 mm à 20 mm);
- Les galets (20 mm à 200 mm).

Le type de matériau utilisé doit être sélectionné selon plusieurs considérations conceptuelles, pratiques, environnementales et sociales. D'un point de vue conceptuel, le type de matériaux influence la durabilité du rechargement. Les catégories plus grossières auront une durabilité plus grande, car ils seront plus difficiles à mobiliser par les processus littoraux et se déplacent moins loin. De plus, tel que précisé dans le document de revue de littérature précédent (WSP Canada, 2015) le type de sédiment influence également le profil d'équilibre transversal de la plage. En général, les matériaux plus fins auront un profil plus doux, alors que les matériaux plus grossiers auront un profil plus raide. Selon la taille des sédiments mis en place, la largeur du haut de la plage à l'équilibre peut ainsi varier grandement pour un volume de recharge donné, modifiant ainsi le niveau de protection offert.

L'étalement des matériaux (écart entre les diamètres minimum et maximum, proportion de sédiments fins) conditionne quant à lui le comportement des sédiments après leur mise en place. De façon générale, un étalement faible est souvent préférable, car il rend le remblai de rechargement moins vulnérable à la compaction et lui confère des caractéristiques se rapprochant de celles qui caractérisent typiquement les matériaux naturels en place. La préparation de matériaux ayant un fuseau granulométrique étroit, ou comportant peu de sédiments fins, peut cependant nécessiter un traitement plus exhaustif (tamisage, lavage, etc.) et, donc, occasionner des coûts supplémentaires.

Enfin, le choix du type et des caractéristiques des matériaux utilisés pour les rechargements devrait prendre en considération la qualité et la quantité de matériaux disponibles dans les bancs d'emprunt locaux permettant un transport économiquement viable.

Outre les considérations techniques, certaines contraintes environnementales et sociales peuvent aussi influencer le type de matériaux retenu. L'utilisation d'une catégorie différente à celle du milieu récepteur peut notamment avoir une incidence sur les impacts environnementaux et sociaux de l'intervention. Des matériaux de rechargement trop grossiers ou trop fins peuvent altérer les caractéristiques des habitats naturels dans la zone d'intervention, mais également dans les zones adjacentes, modifiant ainsi leur capacité à exercer les fonctions écologiques de la faune et de la flore aquatique. En effet, la dérive des matériaux peut affecter la dynamique hydrosédimentaire des zones environnantes et créer des accumulations non désirées à des endroits sensibles aux perturbations. Par exemple, à l'embouchure de cours d'eau, l'accumulation de matériaux plus grossiers que les sédiments naturels peut créer des amoncèlements difficiles à nettoyer par les courants fluviaux, provoquant ainsi une migration des chenaux d'écoulement. L'utilisation de matériaux de rechargement plus grossiers peut également réduire les apports solides vers les secteurs adjacents non protégés et ainsi y favoriser le développement d'une nouvelle zone d'érosion.

Au niveau social, une modification de la granulométrie des matériaux peut avoir une incidence sur les fonctions récréatives de la plage. À cet effet, une augmentation importante de la taille des sédiments est souvent accompagnée d'une diminution de l'acceptabilité sociale de l'intervention,

tel qu'observé dans certains cas au lac Saint-Jean, ainsi qu'ailleurs dans le monde[20,21,22]. La couleur des sédiments peut également avoir une incidence sur l'esthétisme perçu par la population.

Si une augmentation de la taille des granulats peut parfois s'avérer un compromis acceptable pour atteindre les objectifs de stabilisation, une réduction de la granulométrie est rarement une approche judicieuse en raison de la sensibilité accrue à l'érosion des matériaux. Les sédiments fins et mobiles peuvent également entrainer des enjeux de turbidité et de perturbation d'habitats dans le milieu aquatique (Comité ZIP Côte-Nord du Golfe, 2006).

De façon générale, il est souvent préférable de conserver une granulométrie et une couleur de sédiments similaire à celle des matériaux existants afin d'assurer une compatibilité maximale avec le système côtier, de préserver les fonctions écologiques du milieu naturel et favoriser l'acceptabilité sociale. La réglementation environnementale en vigueur, ainsi que plusieurs guides de conception techniques, favorisent d'ailleurs cette approche. (RCAMHH du MELCCFP, 2025; Mangor et al., 2017; U.S. Army Corps of Engineers, 2002).

Sources d'approvisionnement

Les sources d'approvisionnement typiques pour les matériaux de rechargement incluent :

- Bancs d'emprunts terrestres (sablière ou gravières);
- Bancs d'emprunts subaquatiques (en eaux profondes);
- Bancs d'emprunts riverains (zones d'accumulation);
- Reprofilage de la plage (zone de marnage).

La sélection d'une source d'approvisionnement nécessite habituellement une évaluation technico-économique et environnementale des impacts et des bénéfices associés aux différentes possibilités offertes à proximité de la zone d'intervention.

Bancs d'emprunts terrestres

Les sources d'approvisionnement terrestres proviennent généralement de sablières ou de gravières exploitées commercialement. Pour des volumes de petite et moyenne envergure, ces sources s'avèrent souvent économiquement avantageuses en raison de leur abondance relative et de la logistique simple d'exploitation, qui permet l'utilisation de machinerie conventionnelle et facilement accessible (pelles mécaniques, chargeurs, camion-bennes, etc.). Cet avantage peut toutefois s'effacer dans les régions où les bancs d'emprunts terrestres sont plus rares, pour des catégories de matériaux moins conventionnelles, comme le galet, ou lorsque l'approvisionnement en matériaux entre en conflit avec d'autres usages plus fonctionnels pour les granulats, comme la fabrication de béton ou la réfection de routes.

[20] https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/692294/bsl-sainte-luce-travaux

[21] https://www.blogto.com/city/2024/03/locals-concerned-toronto-beach/

[22] https://www.thestar.com/news/gta/boulder-beach-the-city-filled-this-once-sandy-west-end-beach-with-cobblestones-and-residents/article_af3e734a-e6d7-11ee-a07b-4bf36fe7b260.html

La présence d'équipement de traitement (tamis), ainsi que l'espace de travail et d'entreposage, généralement disponibles aux bancs d'emprunts terrestres, permettent pour leur part un meilleur contrôle de la qualité des sédiments (granulométrie et esthétique).

Le transport des matériaux vers le site de rechargement est quant à lui normalement effectué par camion-bennes, mais peut aussi parfois être effectué par train jusqu'à un lieu de transbordement local. La construction de chemins d'accès à la plage est ensuite requise pour permettre l'acheminement des matériaux jusqu'au lieu de dépôt. Dans certaines circonstances, l'utilisation de convoyeurs industriels peut également être envisagée pour limiter le passage de camions sur les terrains privés et la plage. Toutefois, cette approche entraine souvent une diminution de la productivité et une augmentation des coûts de construction (WSP Canada, 2015). Une fois déposés sur la plage, les matériaux sont habituellement placés et nivelés par des pelles mécaniques et des bouteurs.

Par rapport aux sources d'emprunts en milieux riverains ou aquatiques (voir sections suivantes), l'utilisation de sources d'emprunts terrestres peut constituer une approche moins dommageable pour l'environnement, car elle évite de perturber des superficies de milieux hydriques en surplus à celles perturbées par les rechargements. Les exploitants de bancs d'emprunts terrestres sont également tenus à une réglementation environnementale stricte (Q-2, r 7.1), permettant d'assurer que les impacts environnementaux de ces lieux soient minimisés. Les granulats prélevés demeurent cependant une ressource finie et non-renouvelable. Lors de leur épuisement, l'ouverture de nouveaux bancs d'emprunts terrestres devient requise, ce qui n'est pas sans incidence sur l'environnement et doit suivre un processus réglementaire assez long et laborieux.

Enfin, le transport par camion nécessite habituellement plusieurs voyages, ce qui accentue l'empreinte carbone des matériaux et augmente la circulation sur les routes. Ceci peut nuire à la quiétude de l'environnement et des résidents le long de l'itinéraire. Le passage récurrent de camions sur le remblai de rechargement pose également un risque de compaction des matériaux, menant à l'apparition d'escarpements plutôt qu'à l'étalement des matériaux lors de l'attaque par les vagues.

Bancs d'emprunts subaquatiques

L'exploitation de bancs d'emprunts subaquatiques nécessite le prélèvement des matériaux sous l'eau, à l'aide de dragues spécialisées. Tel que précisé dans la revue 2015 (WSP Canada, 2015), plusieurs types d'équipement spécialisé existent pour réaliser des travaux de dragage. Les trois principales classes de dragues sont les équipements mécaniques, hydrauliques et les dragues spéciales. Parmi ces catégories, il existe plusieurs sous-variantes concernant les équipements connexes pour prélever et acheminer les matériaux jusqu'à la rive.

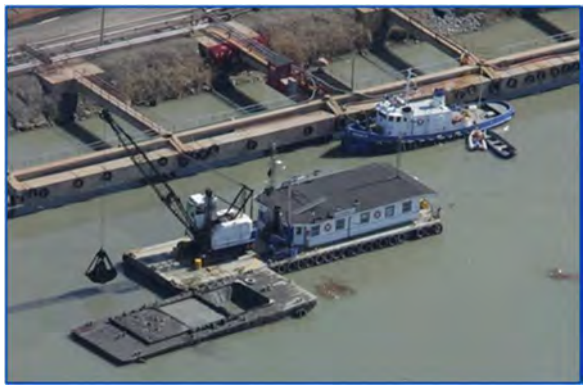


Figure 4-7 Quelques exemples d'équipements spécialisés utilisés pour le dragage (WSP Canada, 2015)

Le transport des matériaux vers le site de rechargement peut être effectué par pompage depuis la drague, via un système de conduites ou directement par propulsion (*rainbowing*). Autrement, les matériaux peuvent être acheminés vers des installations portuaires et transbordés sur des camions. Une fois déposés sur la plage, les matériaux sont habituellement placés et nivelés par des pelles mécaniques et des bouteurs.

Figure 4-8 Transport des matériaux vers le site de rechargement, gauche : pompe de dragage (Holland Dredge Design, 2025) et droite: par propulsion (IADC Dredging, 2025)

L'exploitation de bancs d'emprunts subaquatiques peut s'avérer avantageuse lorsqu'elle permet de valoriser des sédiments dragués dans le cadre de programmes d'entretien courant d'infrastructures (voies navigables, zones portuaires, etc.), lorsqu'elle permet de réduire la distance ou le coût de transport des matériaux, ou lorsque la qualité et la quantité des matériaux subaquatiques sont supérieures à celle des bancs d'emprunts terrestres avoisinants. Cette méthode d'approvisionnement est très répandue dans les projets de rechargements de grande envergure sur les côtes océaniques. Dans les milieux lacustres, elle peut également permettre de minimiser l'ajout de sédiments exogènes au milieu naturel.

Le contrôle de la qualité des matériaux est cependant plus difficile à assurer qu'avec des sources d'emprunts terrestres et repose davantage sur une caractérisation exhaustive du site de prélèvement avant le début des travaux qu'un contrôle régulier et rigoureux lors de la préparation des matériaux. Par ailleurs, à moins de coûts de transport terrestre élevés ou de volumes importants, les travaux faisant usage d'équipements flottants sont généralement plus onéreux que les travaux par voies terrestres. La machinerie spécialisée requise, la logistique de travail plus complexe (contraintes météorologiques, environnementales, etc.) et le nombre limité d'entrepreneurs spécialisés dans la réalisation de ce type travaux expliquent en partie cette situation.

L'exploitation des bancs d'emprunts subaquatiques doit également se faire à une distance suffisante du rivage pour éviter un abaissement de l'avant-plage, qui peut entraîner une augmentation de la force des vagues déferlant sur le rivage. De façon générale, la profondeur de dragage devrait être substantiellement plus basse que la profondeur de « fermeture » de la plage[23]. Dans les milieux océaniques, des profondeurs de dragage de 20 m et plus sont souvent privilégiées[24].

Une étude réalisée en 2015 a permis d'actualiser la faisabilité technique d'exploiter des sources d'emprunts subaquatiques au lac Saint-Jean (WSP Canada, 2015). Certains sites d'emprunts potentiels ont notamment été identifiés et des entrepreneurs spécialisés en travaux subaquatiques ont été sondés concernant la faisabilité de mobiliser les équipements requis pour ce type de travaux. Ces derniers avaient répondu favorablement.

L'exploitation de bancs d'emprunts subaquatiques demeure cependant une activité qui perturbe les fonctions écologiques du milieu hydrique, qui peut générer des quantités importantes de matières en suspension (MES), excéder rapidement les seuils d'assujettissements aux procédures d'évaluation et d'examen des impacts sur l'environnement (PÉEIE) et nécessiter des autorisations auprès de plusieurs instances réglementaires (MELCCFP, MFFP, MPO et Transport Canada), en plus d'exiger la compensation des pertes de milieux hydriques. Une évaluation du potentiel de contamination des sédiments doit aussi être complétée avant le prélèvement des matériaux et,

[23] Profondeur à laquelle le profil de la plage demeure stable et n'est plus affecté par le déferlement des vagues et les courants littoraux.

[24] https://www.coastalwiki.org/wiki/Beach_nourishment

selon les conclusions de cette évaluation, une caractérisation physicochimique plus exhaustive des sédiments peut être requise, nécessitant l'élaboration d'un programme d'échantillonnage et d'analyse rigoureux. Une caractérisation de la granulométrie devrait pour sa part minimalement être réalisée pour valider la compatibilité des sédiments avec le calibre de matériaux désirés pour le rechargement.

La réutilisation des sédiments comme matériaux de rechargement est quant à elle assujettie à certains critères réglementaires. L'annexe A présente une synthèse de la réglementation environnementale encadrant les activités de dragage et la réutilisation des sédiments comme matériaux de rechargements.

Bancs d'emprunts riverains

L'approvisionnement à partir de bancs d'emprunts riverains prévoit la récupération des matériaux depuis des aires d'accrétion naturelles en rive. Ce « recyclage » des matériaux permet de minimiser l'ajout de sédiments exogènes au milieu naturel et peut atténuer différentes problématiques associées à leur accumulation dans les milieux sensibles (embouchures de cours d'eau, habitats aquatiques, etc.). Cette approche présente également certains avantages économiques, dans la mesure où elle peut permettre l'utilisation d'équipements terrestres (pelles mécaniques, chargeurs, camion-bennes, etc.) dans les zones exondées et peut réduire de façon significative les distances de transport, réduisant ainsi l'empreinte carbone des matériaux.

En revanche, le prélèvement de matériaux depuis des bancs d'emprunts riverains est une approche qui peut affecter la pérennité des rechargements, car les sédiments qui s'amassent dans les zones d'accumulation peuvent être constitués des fractions plus fines du fuseau granulométrique d'origine. En effet, le transport sédimentaire agit comme un processus naturel de ségrégation et de tamisage des matériaux. Les sédiments plus grossiers demeurent habituellement proches de leur point d'origine, tandis que les sédiments plus fins migrent plus loin. Selon l'emplacement de la zone d'accumulation et le régime hydrosédimentaire du secteur, il est possible que la granulométrie des matériaux recyclés diminue progressivement à chaque itération, diminuant ainsi la durabilité de chaque intervention.

Outre cette considération, le prélèvement de matériaux depuis des bancs d'emprunts riverains demeure une intervention dans le milieu hydrique, avec des conséquences environnementales similaires à celles associées à l'exploitation de bancs d'emprunts subaquatiques et est assujettie aux mêmes contraintes réglementaires que présentées à la section précédente. La qualité des matériaux (granulométrie, esthétisme) est aussi plus difficile à contrôler lors de l'exécution des travaux qu'avec des sources d'emprunts terrestres. Le risque de retrouver des débris organiques ou ligneux issus du décapage des surfaces, mélangés avec les sédiments est notamment plus élevé et ces corps étrangers peuvent affecter l'utilisation récréative de la plage rechargée, ou encore générer des odeurs nuisibles. La caractérisation préalable des sédiments demeure donc primordiale, afin de s'assurer que les matériaux possèdent des qualités adéquates pour le rechargement.

Le prélèvement des sédiments doit pour sa part être effectué judicieusement, selon le contexte hydrosédimentaire du secteur. Le retrait d'une trop grande quantité de sédiments peut déséquilibrer le transit sédimentaire vers les secteurs adjacents et mener au développement de zones d'érosion en aval de la zone de prélèvement. L'exploitation de banc d'emprunts riverains devrait donc faire l'objet d'études hydrodynamiques et hydrosédimentaires au préalable pour en évaluer les impacts.

De plus, dans des eaux navigables, l'exploitation de bancs d'emprunts riverains peut affecter la circulation des embarcations et avoir certaines implications à l'égard de la réglementation en vigueur, notamment pour l'entretien subséquent de voies navigables.

Enfin, dans le contexte particulier du lac Saint-Jean, l'exploitation de bancs d'emprunts riverains est complexifiée par les conditions saisonnières présentes lors des travaux de stabilisation, qui sont normalement réalisés à l'hiver. Pendant cette période, les sédiments se retrouvent souvent gorgés d'eau ou gelés, ce qui cause des enjeux au niveau de la gestion des eaux de dénoyage, du transport des galettes de matériaux glacées et de leur nivèlement dans la zone de rechargement.

Reprofilage de la plage (zone de marnage)

Lorsque le haut de plage (la berme) est fortement érodé, il est possible de remonter mécaniquement le matériel déplacé plus bas dans le profil pour le reconstruire. Cette mesure, bien que temporaire, peut s'avérer efficace pour les plages de galets, ou en tant que solution d'urgence avant un évènement de tempête. L'approche permet également de minimiser l'empreinte carbone des matériaux en réduisant leur transport, ainsi que l'équipement requis pour réaliser les travaux, qui peut souvent se limiter à un bouteur.

Figure 4-9 Reprofilage de plage à l'aide d'un bouteur dans le comté de Norfolk en Angleterre (image tirée du site web TheFloodHub[25]).

[25] https://thefloodhub.co.uk/coastal-change/

L'approche provoque cependant un abaissement de l'avant-plage et peut donc entraîner une augmentation de la force des vagues déferlant sur le rivage, en raison de la profondeur d'eau accrue au pied de la berge. La remobilisation des matériaux par les tempêtes peut ensuite transporter les sédiments dans des secteurs plus éloignés que les zones de prélèvement initiales, affectant ainsi la capacité de « recycler » les matériaux durablement. Cette technique va donc à l'encontre des règles de bonnes pratiques recommandées par la plupart des guides de conception portant sur les rechargements de plage.

L'intervention demeure également une approche qui perturbe le milieu hydrique et qui a des répercussions similaires à celles associées à l'exploitation de bancs d'emprunts riverains. Bien que moins courante comme source d'emprunt pour les matériaux de rechargements, il est raisonnable de croire qu'en dehors d'un contexte d'urgence, l'approche serait assujettie aux mêmes contraintes réglementaires que présentées à la section précédente. La qualité des sédiments demeure également difficile à assurer, avec un risque élevé de retrouver des débris organiques ou ligneux mélangés avec les sédiments.

Des travaux de « dragage » par pompage ont d'ailleurs été effectués par le Programme de stabilisation des berges du lac Saint-Jean dans les années 1960 et 1970. La durabilité réduite des interventions due à la faible granulométrie du sable dragué ainsi que l'entrée en vigueur de réglementations environnementales plus restrictives ont cependant mené à l'abandon de cette pratique.

Méthodes de transport / mise en place

Le transport de matériaux de rechargement se fait généralement selon l'une de deux façons : par voies terrestres ou par voies aquatiques.

Transport terrestre

Le transport par voies terrestres se fait à l'aide de camion-bennes, avec des chargeurs ou des pelles mécaniques en support au chargement. Le déchargement s'effectue quant à lui directement sur la plage en basculant la benne des camions. Les matériaux sont ensuite nivelés à l'aide de pelles mécaniques et de bouteurs.

Cette méthode de transport nécessite habituellement plusieurs de voyages de camions, ce qui peut avoir une incidence sur l'émission de gaz à effet de serre, l'usure des infrastructures routières et nuire à la quiétude de l'environnement et des résidents le long de l'itinéraire. Il s'agit toutefois de la seule alternative fonctionnelle en hiver.

Transport aquatique

Le transport par voie maritime, pour sa part, nécessite souvent de l'équipement spécialisé et moins commun (dragues, barges, remorqueurs, etc.), qui permet habituellement de combiner les fonctions de prélèvement, chargement et transport. Ce moyen est généralement associé à l'exploitation de bancs d'emprunts subaquatiques. Le déchargement se fait quant à lui par

pompage, via un système de conduites ou directement par propulsion (*rainbowing*). Autrement, les matériaux peuvent être acheminés vers des installations portuaires et transbordés sur des camions. Une fois déposés sur la plage, les matériaux sont habituellement placés et nivelés par des pelles mécaniques et des bouteurs.

Bien que l'utilisation d'équipements spécialisés puisse avoir une incidence sur les coûts et la logistique de mobilisation, lorsque les quantités de matériaux sont importantes, le transport aquatique peut devenir économiquement avantageux et plus sobre en carbone (par tonne de matériaux) que le transport terrestre. Cette technique ne peut cependant pas être employée en hiver, lorsque le plan d'eau est gelé.

Méthodes permettant de limiter la compaction du remblai de rechargement

La compaction des matériaux de rechargement durcit le remblai et peut mener à la formation d'escarpements sur la plage. Pour limiter la compaction, le contrôle de la qualité des matériaux à la source demeure l'approche de premier choix. Une sélection rigoureuse des zones de prélèvements et un traitement efficace des matériaux par tamisage ou par lavage sont des moyens pratiques pour minimiser la teneur en particules fines et cohésives. La gestion de la circulation lors du déchargement des matériaux contribue également à minimiser la compaction des remblais en réduisant la circulation des camions sur les matériaux de rechargement, ou en privilégiant des couloirs réservés.

Alternativement, l'utilisation de convoyeurs industriels peut également être envisagée pour limiter le passage de camions sur la plage. Toutefois, cette approche entraine souvent une diminution de la productivité et une augmentation des coûts de construction (WSP Canada, 2015).

Enfin, l'utilisation de machinerie de décompactage à la fin des travaux peut aussi permettre de désagréger les matériaux agglomérés et réduire la compaction du remblai. Une fois les rechargements complétés, un équipement spécialisé est employé pour remuer la couche de surface de la plage. Cette technique nécessite toutefois l'absence d'obstacles enfouis (drains, câbles, empierrement, etc.). D'autre part, il s'agit principalement d'une méthode d'entretien qui ne change pas la nature des matériaux. Les particules fines demeurent dans les matériaux de recharge, qui risquent de se compacter à nouveau au fil du temps, selon l'utilisation de la plage et les sollicitations exercées par les vagues. Un passage récurrent de la machinerie est donc à prévoir (WSP Canada, 2015).

4.1.6 Exemples de réalisations à l'extérieur du lac Saint-Jean

Des études de cas de rechargement de plage récents pour les secteurs du Bas-Saint-Laurent, de la Gaspésie, de la Côte-Nord et des Îles-de-la-Madeleine sont présentées ci-après.

Bas-Saint-Laurent et Gaspésie

Les grandes marées de 2010 ont perturbé les plages des municipalités de Sainte-Luce et de Sainte-Flavie.

À Sainte-Luce, une recharge au coût de 1,3 million a été effectuée en 2014, sans consultation du BAPE. La présence de gros caillou avait soulevé du mécontentement auprès de la population[26]. En 2022, un projet de recharge encore plus important que celui de 2014 a été présenté aux riverains de la municipalité. La première étape consiste à introduire 12 000 tonnes de matériaux, essentiellement des petits cailloux, qui seraient déposés et recouverts de 1200 tonnes de sable fin et lavé. La deuxième étape, finalement retardée en 2025, consiste à remblayer l'anse aux Coques sur 1,9 kilomètre, jusqu'au secteur de l'Eider. Le sable arriverait à la hauteur du mur qui longe la promenade. La recharge de la plage est évaluée à 10 millions de dollars, dont 7 % seront payés par la Municipalité, c'est-à-dire, 692 000 $. La deuxième phase fut reportée, car une tempête a emporté une grande partie des matériaux déposés en 2022, le Ministère a donc jugé pertinent de revoir le projet afin d'assurer sa pérennité sur un horizon de 30 ans[27].

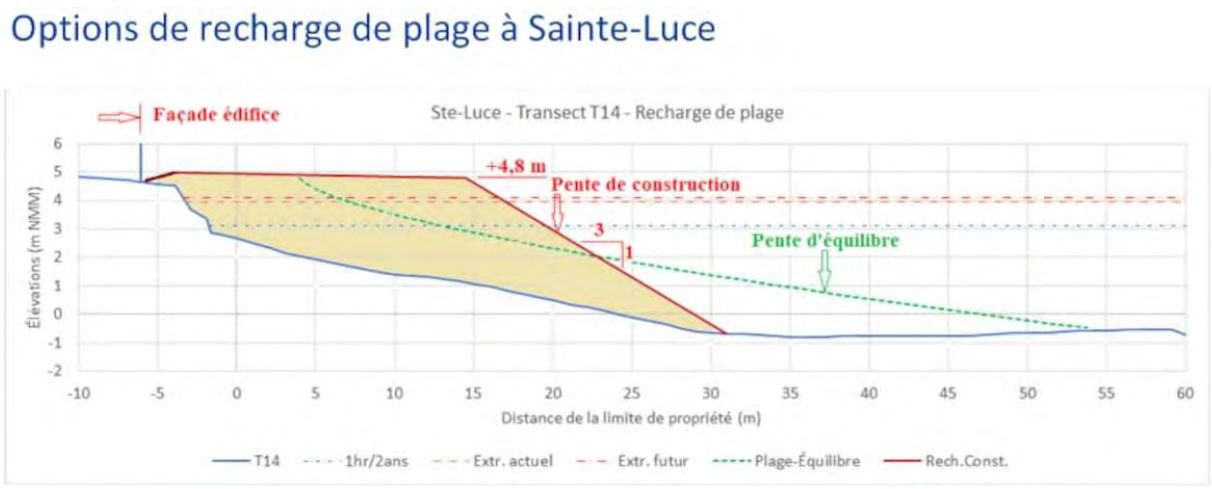


Figure 4-10 Rechargement de plage à Sainte-Luce (source: Ministère de la Sécurité publique, via Radio-Canada)

À Sainte-Flavie, le projet de recharge remonte à 2017. Le projet prévoit l'installation de trois épis rocheux et le renflouement de la plage avec 400 000 tonnes métriques de granulats et de sable, ce qui nécessitera 25 000 voyages de camion. Au coût de 26 millions de dollars, ces travaux auront été les plus importants en termes de recharge de plage financée par le ministère de la Sécurité publique du Québec. Le calibre des pierres a été sélectionné afin de résister à des conditions extrêmes de vagues et de tempêtes et assurer la pérennité de l'ouvrage. Plusieurs maisons ont été déplacées plus loin de la côte en plus des mesures de rechargement de plage[28].

[26] https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/1797741/enrochement-plage-sainte-luce-recharge-promenade-hauteur

[27] https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/1889953/plage-dechargement-travaux-sable-anse-aux-coques-sainte-luce-marees-erosion

[28] https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/2089361/submersion-climat-demolition-demenagement-maisons

À Percé, les projets de recharge de plage dans le secteur de l'Anse-du-Sud sont courants, l'érosion affecte la promenade touristique depuis le début des années 2000. En 2010, la Ville a pris l'initiative d'effectuer des études afin d'évaluer les différents ouvrages pour protéger la promenade, et s'est décidée sur des ouvrages de rechargement de plage. C'était un projet pilote à cette époque[29]. En 2017-2018, un projet de rechargement de plage de 9300 voyages de galets et de pierre a eu lieu au droit de la promenade de la Grave, et les travaux ont totalisé près de 20 millions de dollars[30]. Des travaux correctifs mineurs ont été faits en 2019, puis des travaux majeurs ont ensuite été effectués en 2023 suite à la tempête de Fiona et la tempête de décembre 2022 qui ont endommagé le trottoir, la descente en béton et déplacé la recharge à l'ouest. Au total, 12 500 tonnes de galets ont été ajoutées, pour un coût de 1,9 million de dollars. Des études sont en cours pour des travaux lors de la période 2025-2026 puisque les travaux d'urgence n'ont pas suffi pour protéger de soutènement en bordure de la plage et que les travaux récents sur le quai a modifié la dynamique hydrosédimentaire du secteur[31].

Côte-Nord

L'exemple de la plage Rochelois, à Port-Cartier, montre l'importance que peut avoir l'opinion du public lors de projet de recharge de plages. Les tempêtes récentes ont affecté l'intégrité des infrastructures municipales en bordure de la plage Rochelois, notamment la chaussée, les conduites d'eau potable et d'eaux usées ainsi que les résidences de la rue des Rochelois et de la 5e Rue. La plage est fortement érodée. Afin de ralentir l'érosion, le projet proposé, d'une longueur de 770 m, consisterait en l'installation d'une recharge de plage et la mise en place d'un épi de protection en empierrement à l'extrémité est du site d'intervention. Le projet est évalué à 7,4 M$ et la durée des travaux à 14 semaines. La durée de vie de la recharge est estimée à une trentaine d'années. La plage actuelle est constituée de sable fin, alors que la recharge serait en galets, ce qui a soulevé de la résistance de la part des citoyens. Initialement, en 2020, une pétition s'opposant au projet avait recueilli environ 1 900 signatures. En 2021, la Ville de Port-Cartier a octroyé un contrat à la firme Lasalle NHC INC. afin d'étudier trois options, dont deux incluent un rechargement de plage avec sable, et la troisième avec un mix de sable et gravier. Seule l'option avec gravier a été retenue par le provincial dû aux dynamiques hydrosédimentaires qui rendent l'option avec sable non pérenne. En mai 2022, le projet a été porté au BAPE, puis retiré en juin 2022. En 2023, le conseil municipal a procédé à l'entérinement d'une résolution qui autorise la Ville de Port-Cartier à relancer le projet de recharge de la plage avec le support de tous les membres du conseil municipal à l'exception d'un conseiller[32]. Une nouvelle audience auprès du BAPE aura lieu, mais la seule option viable demeure la recharge de gravier[33].

---

[29] https://ici.radio-canada.ca/ohdio/premiere/emissions/Le-15-18/segments/entrevue/381749/plage-recharge-perce-erosion-marees

[30] https://repertoireouq.com/projet/la-promenade-de-la-grave-de-perce/

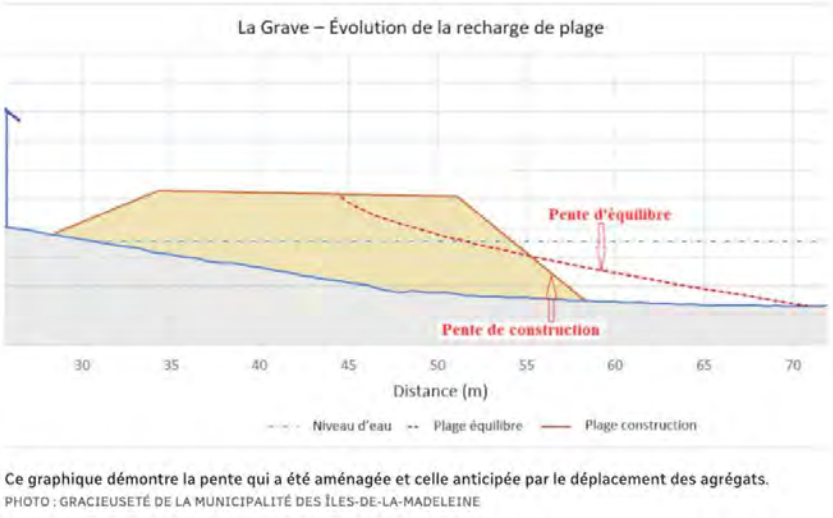
[31] https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/2028244/anse-sud-perce-recharge-plage-reparation-fiona

[32] https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/1893669/protection-erosion-berge-port-cartier-citoyen-environnement-alain-thibault

[33] https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/1948882/plage-rochelois-port-cartier-protection-recharge-granulaire

Îles-de-la-Madeleine

Au site historique de La Grave, 75 000 tonnes de gravier ont été installées selon un profil trapézoïdal, en face des habitations, afin de recharger la plage suite à l'érosion causée par les tempêtes récentes. L'approvisionnement s'effectue par barges pour ce site, et les travaux ont été commencés à l'hiver. Un commerce a dû être déplacé, car son emplacement entrait en conflit avec le profil du rechargement, et aurait continué à subir des dommages lors de tempête due à sa proximité au littoral. Dû aux changements climatiques et au rehaussement du niveau de la mer, il est estimé que la hauteur de crête de la recharge devra être revue à la hausse d'ici un horizon de 20-30 ans. Des échantillons ont été amassés sur place afin de déterminer que la plage est composée d'un mélange hétérogène de sable, de gravier et de matériaux plus grossier[34].



Ce graphique démontre la pente qui a été aménagée et celle anticipée par le déplacement des agrégats.
PHOTO : GRACIEUSETÉ DE LA MUNICIPALITÉ DES ÎLES-DE-LA-MADELEINE

Figure 4-11 Recharge de plage du secteur de la Grave (source: Municipalité des Îles de la Madeleine, via Radio-Canada)

À Cap-aux-Meules, un rechargement de la plage a dû être fait en urgence par le MSP suite à la tempête Dorian survenue le 8 septembre 2019, qui a engendré des pointes d'érosion mettant en péril des infrastructures publiques. Un enrochement avait initialement été visé dans l'étude préliminaire du projet, mais c'est finalement une recharge de galets grossiers qui a été retenue par suite d'études plus poussées afin de limiter la hauteur de l'ouvrage et l'impact visuel de celui-ci. Environ 857 mètres de plages seront rechargés à une élévation de 4,1 mètres au-dessus du niveau de la mer, utilisant au total 67 000 mètres cubes d'agrégats. Un peu moins du tiers (20 000) proviendront des Îles-de-la-Madeleine, et le reste devra être importé à partir du continent. Le coût des travaux est estimé à 11,6 millions.

[34] https://www.ilesdelamadeleine.com/2022/01/25/une-recharge-de-plage-pour-proteger-la-falaise-de-cap-aux-meules/#:~:text=Report%C3%A9%20d%E2%80%99un%20an%2C%20le%20chantier%20de%20Cap-aux-Meules%20devrait,de%20la%20mer%20est%20d%C3%A9sormais%20dans%20les%20cartons.

L'ouvrage a été conçu afin d'avoir une durée de vie de 30 à 40 ans. Dans ce sens, les galets sont également trois fois plus gros que ceux ayant été installés sur un autre site des îles, soit celui de La Grave, puisque ce secteur est particulièrement exposé aux vagues lors des grandes tempêtes. Les travaux sont trop récents pour commenter sur l'évolution du rechargement[35].

Cependant, la tempête de 2022 a occasionné des mouvements majeurs du rechargement et des travaux d'urgence ont été commandés par le provincial. En résumé, les travaux correctifs se dérouleront sur environ 150 des 850 mètres de l'ouvrage. Environ 9000 tonnes d'agrégats seront ajoutées, ce qui correspond à 6 % du matériel déjà en place. Le coût des travaux correctifs a été estimé à 130 000$[36].

Voici une vue aérienne des travaux prévus à Cap-aux-Meules.
PHOTO : GRACIEUSETÉ DE LA MUNICIPALITÉ DES ÎLES-DE-LA-MADELEINE

Figure 4-12 Vue aérienne des travaux de Cap-aux-Meules (source: Municipalité des Îles de la Madeleine, via Radio-Canada)

À Pointe-aux-Loups, des investissements de 37,3 millions de dollars ont été faits par le ministère des Transports et de la Mobilité durable afin de faire la recharge de la plage du secteur à proximité de la route 199, l'unique lien routier de l'archipel. Le sable provient d'un dragage effectué dans le chenal de la Grande Entrée, aux Îles-de-la-Madeleine. Au total, 120 000 mètres cubes de sable ont été extraits et entreposés pour la protection actuelle et future du secteur contre l'érosion côtière. La recharge de plage s'étend sur une largeur allant jusqu'à 50 mètres, et l'ouvrage sera complété

[35] https://www.ilesdelamadeleine.com/2022/01/25/une-recharge-de-plage-pour-proteger-la-falaise-de-cap-aux-meules/#:~:text=Report%C3%A9%20d%E2%80%99un%20an%2C%20le%20chantier%20de%20Cap-aux-Meules%20devrait,de%20la%20mer%20est%20d%C3%A9sormais%20dans%20les%20cartons.

[36] https://www.ilesdelamadeleine.com/2024/12/13/des-recharges-de-plages-qui-bougent-plus-vite-que-prevu-aux-iles/

par l'installation de tubes en géotextile et d'enrochement pour protéger la côte. Le dragage dans la Grande-Entrée et l'utilisation des boudins de géotextile sont deux méthodes nouvelles dans le contexte des Îles-de-la-Madeleine, les travaux sont donc considérés comme étant des mesures expérimentales (projet-pilote). L'ouvrage a été fait en 2023[37].

Figure 4-13 Ouvrage de rechargement de plage avec boudins de géotextile, Pointe-aux-Loups (source : Radio-Canada)

Deux ans plus tard, il ne restait plus de sable devant les boudins. Ceux-ci protègent tout de même la côte et l'évolution du secteur est surveillée par le Ministère[38].

Figure 4-14 Boudins de sable à découvert (source: Radio-Canada)

[37] https://www.quebec.ca/nouvelles/actualites/details/plus-de-37-m-pour-un-projet-novateur-de-protection-de-la-route-199-aux-iles-de-la-madeleine-51910

[38] https://www.ilesdelamadeleine.com/2024/12/13/des-recharges-de-plages-qui-bougent-plus-vite-que-prevu-aux-iles/

4.1.7 Exemples de réalisations au lac Saint-Jean

Dans le contexte particulier du lac Saint-Jean et du Programme de stabilisation des berges, plusieurs éléments ont une incidence sur la conception et la réalisation des travaux de rechargements. D'abord, l'expérience du Programme et l'historique des travaux fournissent un riche inventaire de connaissances à l'égard de plusieurs paramètres de conception (taux, longueur d'intervention, hauteur de la berme, etc.), ainsi que la durabilité usuelle des interventions dans différents secteurs du lac.

La granulométrie des matériaux est quant à elle encadrée par le Décret régissant les activités du Programme, ainsi que les limites établies des zones de sable et de gravillon. L'utilisation récurrente des mêmes fournisseurs permet quant à elle d'optimiser la préparation des matériaux selon les exigences du Programme.

Enfin, la programmation des travaux, qui privilégie l'exécution des interventions pendant la fin de la période automnale et le début de la période hivernale permet de profiter des sols gelés, ce qui minimise l'endommagement des chemins d'accès, réduit la propagation des vibrations causées par la machinerie et diminue les impacts sur les milieux naturel et humain. L'abaissement des niveaux d'eau dans le lac Saint-Jean pendant cette période facilite quant à elle l'utilisation d'équipement terrestre, ce qui simplifie les méthodes de travail et réduit le coût des interventions.

La réalisation des travaux pendant la saison froide est toutefois peu favorable à l'exploitation de bancs d'emprunts subaquatiques. D'une part, l'utilisation d'équipements flottant pour le transport et la mise en place des matériaux est impossible en raison de la présence du couvert de glace. D'autre part, l'excavation ou le pompage des sédiments sous la glace est un enjeu, tout comme le transport et la mise en place de matériaux gorgés d'eau. De tels travaux doivent donc être réalisés en période libre du couvert de glace, idéalement en période de temps calme (été, début d'automne).

La qualité des matériaux disponibles dans certains bancs d'emprunts terrestres de la région est pour sa part reconnue comme ayant des caractéristiques différentes de celles des matériaux de plages naturels et parfois des teneurs élevées en sédiments fins, ce qui affecte l'acceptabilité sociale de leur utilisation. Enfin, les bancs d'emprunts disponibles se trouvent parfois à des distances importantes des sites de rechargements, ce qui augmente l'empreinte carbone des interventions.

De façon générale, les rechargements de plages demeurent une approche efficace pour gérer l'érosion dans plusieurs secteurs du lac Saint-Jean, tout en conciliant les usages du milieu, ainsi que les préoccupations sociales et environnementales des parties prenantes. Les fréquences d'intervention ciblées de 5 à 7 ans sont globalement respectées. Dans certains secteurs où le transport sédimentaire est plus actif, par contre, comme à Saint-Henri-de-Taillon (sites 94.15.01), Dolbeau-Mistassini (sites 95.11.03 et 94.11.02), Saint-Félicien (91.10.02-2) à Métabetchouan-Lac-à-la-Croix (sites 94.03.01 et 95.03.04) ou Saint-Gédéon-sur-le-Lac (site 93.02.02), les rechargements de plage demeurent fréquents et en excès des cibles souhaitées.

Certaines problématiques associées à la dérive des matériaux de rechargements incluent quant à elles l'ensablement d'embouchures de cours d'eau et la création de zones d'accumulations riveraines, qui peuvent faire augmenter la largeur des plages à des niveaux qui incommodent les riverains et qui nuisent à l'accessibilité des quais et des rampes de mise à l'eau.

4.2 Épis

4.2.1 Description sommaire de l'approche

Les épis sont des structures attachées à la rive et généralement disposées de façon perpendiculaire au trait de côte. Leur principale fonction est de modifier la dynamique hydrosédimentaire en réduisant la dérive littorale, afin de favoriser la sédimentation du côté « amont ». Ils sont souvent construits en groupes (champs d'épis), de façon à optimiser la sédimentation entre les ouvrages. Cette configuration permet alors de créer une rétention des sédiments à l'intérieur des compartiments formés entre les structures, ce qui stabilise la plage et minimise les pertes de matériaux.

L'aménagement d'épis provoque cependant une réduction de la dérive littorale, en raison de la modification de l'orientation du trait de côte, qui cherche à se positionner de façon perpendiculaire à la direction dominante des vagues. La dérive peut même être partiellement interrompue pendant la période où les sédiments s'accumulent derrière les structures. La réduction ou la coupure des apports sédimentaires peut alors mener à l'érosion de la côte à l'aval d'un épi individuel et/ou d'un champ d'épis, en particulier si la capacité de transport y demeure importante. La dérive littorale peut également être détournée vers le large, à l'extrémité des épis, rendant difficile le retour des sédiments vers le haut de la plage en aval.

Pour ces raisons, il est généralement recommandé d'étendre le système d'épis jusqu'à un point résistant à l'érosion (côte rocheuse ou roc affleurant), une zone où le transport hydrosédimentaire net est nul, ou un secteur très large pouvant accommoder le recul anticipé du trait de côte. Certains ajustements conceptuels peuvent également être apportés aux ouvrages (transition, perméabilité) pour minimiser les impacts sur les zones de plages non protégées adjacentes (voir section 4.2.5). Les bonnes pratiques recommandent pour leur part de combiner l'aménagement d'épis avec des rechargements de plage pour accélérer le remplissage des compartiments entre les structures, évitant ainsi d'exacerber le déficit d'apports sédimentaire vers l'aval.

4.2.2 Variantes d'aménagement

Les épis peuvent prendre plusieurs formes variées et s'adaptent généralement au contexte hydrosédimentaire de la zone d'intervention, au profil de la plage, aux matériaux disponibles, ainsi qu'aux préoccupations sociales et environnementales du milieu récepteur. Les variantes d'aménagements se déclinent principalement en fonction de la longueur des ouvrages, leur perméabilité, l'élévation de la crête, la forme du musoir et le type de matériaux utilisés. Des promenades en bois ou en béton peuvent aussi parfois être aménagées sur la crête des ouvrages

afin de faciliter l'accès pour le public, bien que les pratiques contemporaines tendent à proscrire ces accès pour des raisons de sécurité. Ces éléments sont également souvent vulnérables aux dommages causés par les vagues, les glaces et les embruns givrants et nécessitent des entretiens fréquents.

La revue de littérature effectuée par WSP en 2015 fait un bon survol des différentes variantes d'aménagement possibles et présente notamment les épis conventionnels, perméables, courts, en éventail, submergés, ainsi que le système d'épis Maltais-Savard, mis au point par l'UQAR et faisant usage de pieux de bois et de têtes d'épinettes (WSP Canada, 2015).

Les ouvrages les plus communs demeurent les structures « conventionnelles », en formes de « I », de « L » ou de « T », faites en pierres, relativement longues et avec une crête émergée. Ces ouvrages sont conçus de manière à confiner au maximum les matériaux entre les structures.

Les autres variantes constituent quant à elles des solutions de compromis pour atténuer l'impact des ouvrages sur le régime hydrosédimentaire des zones non protégées situées en aval (épis perméables, courts, en éventail ou submergés), favoriser l'utilisation de matériaux alternatifs, plus facilement disponibles localement ou offrant des co-bénéfices écologiques (géotubes, épis Maltais-Savard, etc.).

4.2.3 Conditions optimales pour utiliser cette approche

L'aménagement d'épis peut être une approche d'intervention favorable lorsque :

- Les conditions érosives sont sévères et que les rechargements de plages seuls ne permettent pas d'assurer une protection adéquate du littoral tout en respectant des critères d'interventions acceptables au niveau technique, environnemental ou social;
- La dérive des matériaux de rechargements provoque des effets nuisibles au milieu environnant (ensablement de cours d'eau, altération de la qualité des matériaux de plage dans les secteurs adjacents, etc.).

Les épis sont particulièrement efficaces lorsque le transport sédimentaire longitudinal est important et dominant dans une seule direction. Ces ouvrages permettent alors de réduire l'étalement des matériaux mobilisés et favorisent la formation d'un trait de côté plus stable.

4.2.4 Conditions pouvant freiner l'utilisation de cette approche

L'aménagement d'épis peut être une approche d'intervention moins favorable lorsque :

- Le transport sédimentaire longitudinal alterne fréquemment de direction ou le transport transversal est dominant;
- Un nombre trop important de structures est requis pour que le champ d'épis atteigne les limites d'un secteur pouvant accommoder le déficit d'apports sédimentaires anticipé en aval du système;
- La déviation de la dérive littorale à l'extrémité des ouvrages provoque des accumulations non désirées dans des milieux sensibles adjacents (par exemple, embouchures de cours d'eau);
- Les ouvrages entrent en conflit avec les usages récréatifs sur la plage ou la navigation de plaisance à proximité de la zone littorale.

Les épis sont également des ouvrages qui empiètent dans le milieu aquatique et qui modifient la limite du littoral du côté « amont », menant à des pertes de superficies permanentes dans le milieu hydrique. L'impact visuel des structures est également souvent un frein à l'acceptabilité sociale.

4.2.5 Paramètres à considérer lors de la conception

La conception adéquate d'un champ d'épis devrait permettre d'offrir une largeur de plage adéquate pour résister aux tempêtes du côté amont, tout en minimisant l'impact des ouvrages sur la dérive de sédiments vers l'aval. Certains enjeux environnementaux et sociaux, comme les superficies d'empiètement et les nuisances aux usages récréatifs, peuvent également mener à des compromis sur les caractéristiques des ouvrages, afin de répondre aux préoccupations du milieu. Plusieurs paramètres peuvent ainsi être ajustés lors de la conception des ouvrages pour optimiser leur efficacité selon les objectifs fixés et le contexte hydrosédimentaire du milieu récepteur.

Étant donné la modification prévisible de la dynamique hydrosédimentaire autour de la zone d'intervention, il est essentiel d'étudier l'impact des structures à moyen et long terme sur le milieu. À cet effet, plusieurs outils prévisionnels sont disponibles pour guider les concepteurs, comme les formules empiriques, les modèles numériques ou les modèles physiques. La comparaison avec des sites témoins ou d'autres ouvrages existants situés à proximité de la zone d'intervention, lorsque possible, peut également permettre de valider certains comportements anticipés.

La conception technique des épis exige généralement l'évaluation des paramètres suivants :

Longueur

La longueur des épis affecte la quantité de sédiments que les ouvrages sont en mesure d'accumuler du côté amont, ainsi que la distance sur laquelle remontent ces accumulations (zone d'influence). De façon générale un épi plus long sera plus efficace pour capter les sédiments qui dérivent le long du littoral et sa zone d'influence sera plus grande. L'espacement entre les structures pourra également être plus important. En contrepartie, plus l'ouvrage est efficace pour capter la dérive de sédiments, plus la réduction des apports aura un impact sur les secteurs situés en aval.

De façon générale, pour une stabilisation durable de la plage, la longueur des épis devrait permettre :

- le maintien d'une largeur de plage adéquate pour résister aux sollicitations érosives anticipées;
- la réorientation du trait de côte vers un alignement plus perpendiculaire à la direction dominante des vagues;
- la stabilisation du pied de la plage, pour éviter le contournement de sédiments à l'extrémité des ouvrages.

La longueur des épis peut aussi être fixée en fonction du pourcentage d'obstruction de la dérive littorale souhaitée. Dans ce cas, des modélisations numériques sont généralement requises au préalable pour déterminer la largeur de la zone littorale active au transport sédimentaire et la distribution transversale de l'intensité de la dérive.

Élévation de la crête

L'élévation de la crête est généralement fixée en fonction des niveaux d'eau maximums, combinés aux vagues de conception retenues et la tolérance au franchissement de l'ouvrage. Une crête émergée permet par ailleurs une meilleure rétention de sédiments à l'amont, tandis qu'une crête submergée favorise un meilleur transit de sédiments vers l'aval.

L'élévation de la crête peut également être influencée par des enjeux de visibilité/balisage pour la navigation et les activités sportives aquatiques pratiquées à proximité du littoral.

Perméabilité

La perméabilité des épis favorise la migration d'une partie des sédiments vers les secteurs situés en aval, malgré la présence des structures. Elle permet d'atténuer les impacts d'une réduction des apports, mais réduit également la capacité des ouvrages à accumuler les sédiments du côté amont.

La perméabilité peut varier selon le choix des matériaux de construction. Par exemple, les ouvrages en palplanches, en géotubes, en caissons ou avec un noyau de petites pierres peuvent être

considérés comme imperméables, alors que des ouvrages en pieux de bois, en éléments préfabriqués en béton ou en pierres de carapace sont réputés être plus perméables.

La perméabilité peut également être ajustée en prévoyant des ouvertures dans les ouvrages. Pour cette alternative, les bonnes pratiques recommandent de placer les ouvertures dans la zone longeant la berme de la plage (*swash zone*) plutôt que dans la zone de déferlement des vagues (*surf zone*).

Forme du musoir

Le musoir des épis peut prendre plusieurs formes, dont les plus communes sont en « I », « L », « T », « Y », « hockey » ou « éventail ». La forme du musoir peut être ajustée pour favoriser une meilleure stabilité de cette partie fragile des ouvrages, pour influencer le comportement de la plage à proximité des structures ou pour permettre l'intégration d'aménagements écologiques en périphérie des ouvrages.

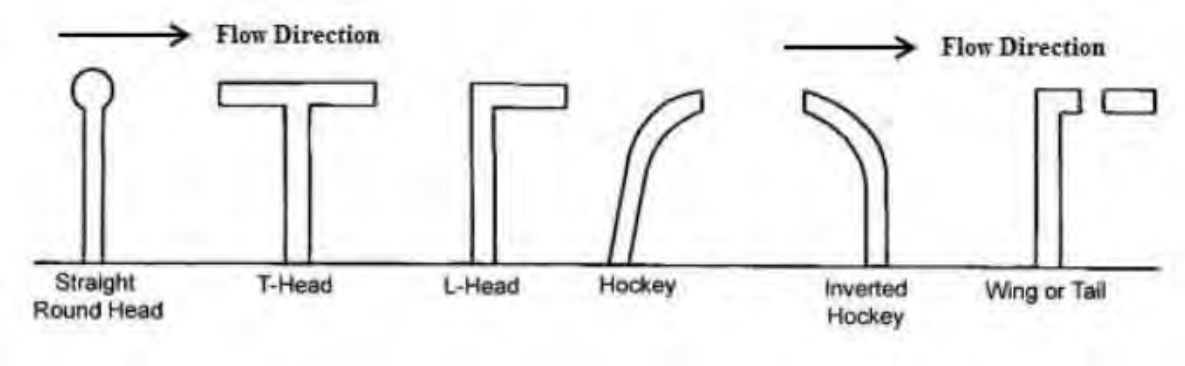


Figure 4-15 Exemples de formes de musoir pour les épis (Mohammadi et Mohammadi, 2015)

Espacement

L'espacement des épis varie en fonction de la longueur de la zone d'influence des ouvrages. Des épis plus longs, qui ont une zone d'influence importante, peuvent être espacés d'une plus grande distance. En contrepartie, des épis plus courts doivent être plus rapprochés.

L'espacement des épis devrait permettre le maintien d'une largeur de plage adéquate à l'extrémité la plus étroite du compartiment entre les structures. Certains aides à la conception comme le *Coastal Engineering Manual* proposent des règles du pouce pour le ratio à conserver entre la longueur des ouvrages et leur espacement, mais les outils de modélisation ou les essais en laboratoire demeurent recommandés pour déterminer l'espacement optimal selon les conditions hydrodynamiques de la zone d'intervention.

Nombre d'ouvrages

Le nombre d'ouvrages est conditionné par l'espacement entre les épis et la longueur de la zone d'intervention à couvrir entre la zone d'érosion et les limites d'un secteur pouvant accommoder le déficit d'apports sédimentaires anticipé en aval du système.

Si la prolongation du champ d'épis jusqu'à un point de terminaison convenable n'est pas envisageable, certains aides à la conception recommandent l'aménagement d'une transition à l'extrémité du système d'épis pour minimiser les impacts sur les zones de plages non protégées adjacentes. Dans cette transition, la longueur et l'espacement des épis sont réduits progressivement jusque l'aménagement rejoigne le trait de côte naturel. Les références suggèrent que les transitions suivent un angle de 6°.

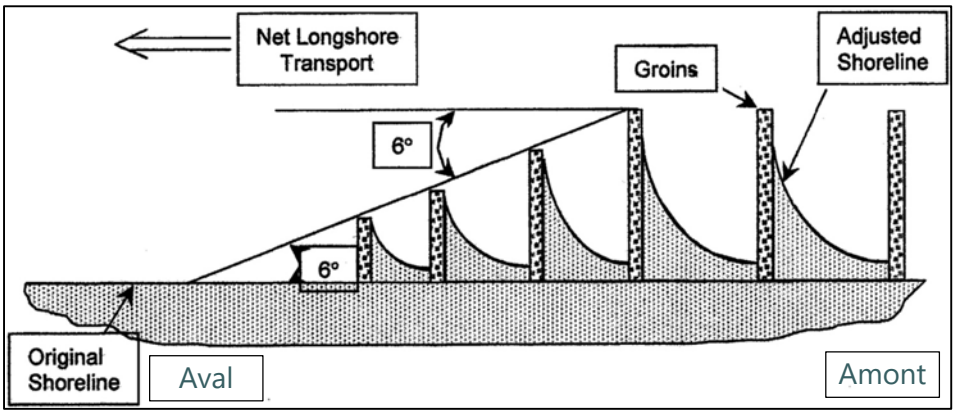


Figure 4-16 Exemples de formes de musoir pour les épis (Dean, 2003)

Ces recommandations demeurent cependant d'ordre générale et doivent être adaptées en fonction du contexte hydrosédimentaire de chaque site d'intervention. Les ratios et les paramètres proposés reposent souvent sur des principes techniques simplifiés, des essais en laboratoire sur modèles réduits, ou un nombre limité de projets pilotes situés dans des secteurs où les conditions hydrosédimentaires ne sont pas forcément comparables aux sites d'interventions proposés. Un écart entre la théorie et la pratique peut donc persister.

Matériaux de construction

Le choix des matériaux de construction peut reposer sur des considérations économiques, l'inventaire des matériaux disponibles localement, la composition ou la perméabilité souhaitée de l'ouvrage, ou le désir d'y intégrer des co-bénéfices écologiques.

La pierre dynamitée demeure le matériau le plus commun, car elle est souvent économique, accessible, résiliente et offre certains co-bénéfices écologiques pour la faune aquatique, comme la diversification de l'habitat et des aires de refuges dans les interstices. Le calibre de pierre requis varie quant à lui selon les conditions hydrodynamiques (vagues, courants, glaces) auxquelles sera exposé l'ouvrage.

Lorsque la pierre de calibre et de qualité adéquate n'est pas disponible, les unités préfabriquées en béton sont parfois l'alternative privilégiée. La forme des unités peut varier grandement et dépend souvent de contraintes de conception et de fabrication. Certains additifs au mélange de béton ou certaines formes plus sophistiquées peuvent également offrir des co-bénéfices écologiques améliorés par rapport à la pierre (voir section 6.2.2).

Autrement, les matériaux de construction peuvent varier selon la créativité des concepteurs et inclure, sans s'y limiter : les palplanches, le bois (planches ou pieux), les géotubes, les caissons et les débris ligneux. De préférence, les matériaux retenus devraient être suffisamment robustes pour résister aux sollicitations anticipées et avoir un comportement prévisible permettant d'assurer une certaine confiance dans leur pérennité. Les matériaux à risque de vieillissement non homogène et de rupture fragile pouvant provoquer une défaillance soudaine et substantielle de l'ouvrage (comme les géotubes, par exemple) devraient quant à eux être considérés avec précaution et selon les enjeux qu'une perte de l'ouvrage peut entraîner.

Conditions géotechniques et protection contre l'affouillement

L'aménagement de structures dans les milieux hydriques peut occasionner une surcharge des sols naturels et entraîner des tassements, des déformations ou des ruptures de pente qui affectent le comportement des ouvrages sur divers horizons de temps. La capacité portante des sols doit ainsi être prise en considération lors de la conception des structures et peut nécessiter le carottage des sols et la réalisation d'études géotechniques ou d'essais au préalable.

Certains des moyens les plus fréquents utilisés pour gérer le tassement du sol incluent : l'aménagement d'un lit de pierres de fondation sous les structures, pour améliorer la répartition des charges, ou l'augmentation de l'élévation de la crête des ouvrages d'un facteur équivalent au tassement anticipé. Au lac Saint-Jean, l'expérience du PSBLSJ démontre que les tassements que subissent les ouvrages sont habituellement de l'ordre de 10 à 20 cm.

L'affouillement des sols est un autre phénomène pouvant affecter la pérennité des ouvrages. L'introduction de structures rigides dans des milieux à fond mobile peut amplifier l'effet de la réflexion des vagues vers le fond et modifier la dynamique locale des sédiments, menant ainsi à un abaissement du littoral autour des structures. Lorsque trop sévères, les changements bathymétriques peuvent déstabiliser les structures et mener à leur défaillance.

Les moyens de contrôles les plus fréquents pour minimiser l'impact de l'affouillement incluent l'aménagement d'une clé d'encastrement ou la mise en place d'une ceinture de pierres anti-affouillement au pied des structures. Le choix de l'approche repose généralement sur des considérations techniques et environnementales. L'aménagement d'une clé d'encastrement nécessite la gestion des matériaux d'excavation et doit parfois être réalisé sous l'eau, affectant ainsi la qualité des travaux (visibilité réduite et moyens de contrôle restreints) et la mise en suspension de sédiments fins. En contrepartie, l'aménagement d'une ceinture anti-affouillement occasionne souvent une augmentation de la superficie d'empiètement de l'ouvrage.

Méthodes de construction / transport

Étant donné leur configuration perpendiculaire à la berge, les méthodes de construction des épis font généralement usage d'équipements terrestres. Les travaux débutent habituellement à l'extrémité de l'ouvrage située la plus proche du rivage et progressent vers le large. Les pelles mécaniques sont souvent l'équipement privilégié pour la construction, bien que des grues peuvent parfois aussi être utilisées. L'équipement circule sur le sol (ou la glace) adjacent à la structure, lorsque ce dernier est exondé, ou sur la crête de l'épi, au-dessus du niveau d'eau. Au préalable, les travaux peuvent nécessiter le déglaçage et le déneigement des superficies visées, ainsi que l'excavation de déblais pour atteindre l'assise désirée des structures.

Le transport des matériaux se fait aussi généralement par voies terrestres et peut nécessiter l'utilisation de camions-bennes, aidés de chargeurs et de pelles mécaniques pour le chargement, selon les exigences des matériaux choisis. Le transport par train jusqu'à un lieu de transbordement local peut aussi parfois être utilisé.

Alternativement, la construction des ouvrages et le transport des matériaux peuvent aussi faire usage d'équipements flottants, souvent constitués de barges autonomes ou manœuvrées par des remorqueurs. Les barges sont munies de pelles mécaniques permettant de manipuler les matériaux, aider à leur chargement et assurer leur mise en place.

Cette approche peut être avantageuse pour transporter des chargements plus volumineux ou sur de grandes distances, ou encore lorsque l'espace en rive est trop exigu pour l'équipement terrestre. En revanche, l'utilisation d'équipements flottants est généralement plus onéreuse que celle des équipements terrestres et peut avoir une cadence de travail plus irrégulière, en raison de la variabilité des conditions météorologiques et de la logistique de travail. Cette approche n'est par ailleurs pas envisageable pendant la période hivernale, lorsqu'un couvert de glace est présent.

4.2.6 Exemples de réalisations à l'extérieur du lac Saint-Jean

Les épis demeurent des ouvrages fréquemment utilisés pour la protection des berges et les cas d'exemples sont multiples. Le lecteur est invité à utiliser des applications de recherche cartographique et de visualisation d'images aériennes (comme Google Earth) pour trouver plusieurs aménagements dans le golfe du Saint-Laurent, dans les Grands Lacs, ainsi que le long de plusieurs régions côtières internationales.

Les épis demeurent applicables autant dans des milieux lacustres qu'océaniques et sur les plans d'eau de toutes tailles. Leur fonctionnement, leurs impacts sur le milieu récepteur et les principes de conception demeurent les mêmes, peu importe leur localisation.

4.2.7 Exemples de réalisations au lac Saint-Jean

Plusieurs éléments contextuels particuliers facilitent l'aménagement d'épis au lac Saint-Jean. L'abaissement du niveau d'eau en période hivernale favorise notamment l'utilisation

d'équipements de construction terrestres et les travaux « à sec ». La présence de sols gelés pendant la période d'exécution minimise également l'endommagement des chemins d'accès, réduit la propagation des vibrations causées par la machinerie et diminue les impacts sur les milieux naturel et humain. La région bénéficie par ailleurs de plusieurs carrières offrant de la pierre de bonne qualité et disponible localement. Enfin, l'inventaire de structures aménagées au lac Saint-Jean fournit, aujourd'hui, un riche historique du comportement des ouvrages dans différents secteurs du lac, sur lequel peuvent s'appuyer les concepteurs pour mettre au point les nouveaux ouvrages ou optimiser les ouvrages existants.

En contrepartie, les apports sédimentaires parfois faibles dans certains secteurs font en sorte que les pertes de sédiments observées par moments entre les ouvrages ne sont pas remplacées naturellement et nécessitent la poursuite occasionnelle des rechargements de plage, selon une fréquence qui demeure malgré tout réduite par rapport à celle qui serait observée sans les structures. L'aménagement d'épis doit également être considéré avec prudence dans certaines cellules hydrosédimentaires très grandes (comme à Métabetchouan-Lac-à-la-Croix ou Dolbeau-Mistassini), où l'introduction de structures peut perturber le transport littoral et occasionner le déplacement progressif des zones d'érosion sur de grandes distances. Enfin, les conflits entre les structures et les activités récréatives pratiquées sur les plages ou le long du littoral, ainsi que la réputation de certains projets ayant eu moins de succès, freinent parfois l'acceptabilité sociale de cette technique.

Depuis 1986, le PSBLSJ a procédé à la construction d'environ 70 épis de formes et de longueurs variées, dont des épis conventionnels en « I », en « L » et en « T », des épis courts en « I », en « Y », en « T » et en éventail, ainsi que les épis submergés. La pierre (dynamitée ou plate, en calcaire) a souvent été privilégiée comme matériau de construction, mais les palplanches et les géotubes ont aussi été essayés.

Cette technique s'est avérée efficace pour fournir une stabilisation pérenne des plages dans plusieurs secteurs du lac, comme à Saint-Gédéon (épis conventionnels), Métabetchouan-Lac-à-la-Croix (épis conventionnels), Saint-Méthode (épis courts), ainsi qu'au Parc national de la Pointe-Taillon (épis en éventail). Dans d'autres secteurs, par contre, comme au marais Bolduc (site 95.03.04) et au Centre Plein-Air Saint-Pierre (site 94.03.01) notamment, les retours d'expériences ont été moins positifs, en raison des impacts non désirés occasionnés dans les zones adjacentes. Ce dernier secteur constitue d'ailleurs un cas d'expérience particulièrement intéressant pour démontrer les avantages et inconvénients de différentes approches de stabilisation des berges, l'impact d'interventions « à la pièce », ainsi que les défis de concilier les besoins techniques, sociaux et environnementaux.

L'introduction d'épis au Centre Plein-Air Saint-Pierre (site 94.03.01) a été amorcée dans les années 1990 pour adresser une problématique d'érosion relativement rapide des matériaux de rechargements. Les ouvrages ont cependant provoqué le déplacement progressif de la zone d'érosion vers les secteurs non protégés au nord-est et entraîné la multiplication des structures. Plusieurs mesures d'atténuation ont été tentées pour minimiser l'impact des ouvrages sur les

secteurs adjacents tout en conciliant les préoccupations du milieu, comme l'aménagement d'une transition, la construction d'épis submergés en géotubes ou la mise en place de rechargements de plage récurrents. Bien que chaque approche ait connu certains succès, aucune n'a permis d'atteindre le plein objectif fixé par le PSBLSJ et la communauté, qui était une stabilisation durable de la plage, avec, au plus, des rechargements de plage occasionnels. L'aménagement de la transition n'a pas été aussi efficace que prévu, démontrant l'écart qui persiste parfois entre les aides à la conception et la pratique. L'utilisation de rechargements de plage pour gérer l'érosion a quant à elle mis en lumière l'impact que la dérive des sédiments peut avoir sur les secteurs adjacents, notamment à l'embouchure de cours d'eau (Belle Rivière). Enfin, l'utilisation d'épis submergés en géotubes a démontré qu'une connaissance approfondie du contexte hydrosédimentaire demeure importante pour assurer le succès d'un projet à une échelle élargie. (Lasalle|NHC, 2024) La défaillance subite et récente de ces ouvrages faits de géotextiles tissés ainsi que l'érosion observée subséquemment sur le haut de la plage ont mené, après seulement 15 ans de vie utile, à leur remplacement par un épi en enrochement (Lasalle|NHC, 2024). Cette situation illustre également les risques parfois associés à l'utilisation de matériaux alternatifs et moins résilients, par rapport aux types plus conventionnels, comme la pierre.

4.3 Brise-lames

4.3.1 Description sommaire de l'approche

Les brise-lames sont des structures généralement disposées de façon parallèle au trait de côte et qui ont comme principale fonction la diminution de l'énergie des vagues. Dans des milieux portuaires, les ouvrages peuvent être attachés à la rive et servent surtout à l'aménagement d'une enceinte d'eau calme pour l'amarrage des navires et les manœuvres portuaires. Dans des contextes de stabilisation des berges, les ouvrages sont plus souvent détachés de la rive et servent à favoriser la sédimentation derrière eux, menant à l'avancement du trait de côte.

Selon la configuration des brise-lames, les accumulations peuvent être plus ou moins importantes. Le terme anglophone « salient » est utilisé pour décrire la forme du trait de côte lorsqu'un espace d'eau libre persiste entre la rive et la structure, alors que le terme « tombolo » est utilisé lorsque le dépôt rejoint la structure.

De façon similaire aux épis, les brise-lames modifient la dynamique hydrosédimentaire du milieu où ils s'insèrent et peuvent mener à une réduction ou une coupure des apports sédimentaires dans les zones adjacentes. Ils doivent donc souvent être construits en groupes et prolongés jusqu'à un point résistant à l'érosion (côte rocheuse ou roc affleurant), une zone où le transport hydrosédimentaire net est nul, ou un secteur très large pouvant accommoder le recul anticipé du trait de côte. Certains ajustements conceptuels peuvent également être apportés aux ouvrages pour contrôler leur impact sur le littoral derrière, ainsi que dans les zones non protégées adjacentes (voir section 4.3.5). Les bonnes pratiques recommandent pour leur part de combiner l'aménagement de brise-lames avec des rechargements de plage pour accélérer le réajustement géométrique du trait de côte derrière, tout en évitant d'éroder la berge naturelle.

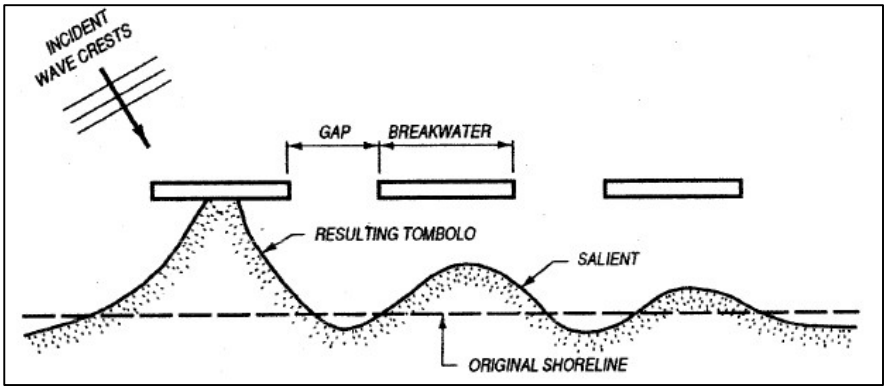


Figure 4-17 Exemples de perturbations sédimentaires causées par l'implémentation de brise-lames (U.S. Army Corps of Engineers, 2002)

4.3.2 Variantes d'aménagement

Comme les épis, les brise-lames peuvent prendre plusieurs formes variées et s'adaptent au contexte hydrosédimentaire de la zone d'intervention, au profil de la plage, aux matériaux disponibles, ainsi qu'aux préoccupations sociales et environnementales du milieu récepteur. Les variantes d'aménagements se déclinent principalement en fonction de la longueur des ouvrages, leur espacement, leur distance du rivage, leur perméabilité, l'élévation de la crête et le type de matériaux utilisés.

La revue de littérature effectuée par WSP en 2015 fait un bon survol des différentes variantes d'aménagement possibles et présente notamment les brise-lames conventionnels, les brise-lames en géotubes, les brise-lames submergés et les brise-lames flottants (WSP Canada, 2015).

Brise-lames conventionnels

Les ouvrages « conventionnels » sont des structures habituellement érigées au large de la zone de déferlement des vagues et peuvent être émergeant ou non de l'eau. La pierre ou les unités préfabriquées en béton sont généralement les matériaux privilégiés pour la construction. Leurs dimensions et agencements sont fixés de sorte à obtenir des géométries de plage plus ou moins bien définies.

Les brise-lames en géotubes privilégient quant à eux l'utilisation de matériaux et de méthodes de construction qui peuvent s'avérer économiques, lorsque l'approvisionnement en pierre ou en unités préfabriquées en béton est difficile. Le fonctionnement des ouvrages demeure cependant similaire à celui des ouvrages conventionnels. Dans le cas d'ouvrages émergés, les structures en géotubes doivent être néanmoins recouverts d'une carapace de protection afin de protéger l'enveloppe de géotextile.

Brise-lames submergés

Les brise-lames submergés favorisent pour leur part un déferlement précoce des vagues afin d'atténuer leur énergie, tout en cohabitant avec le milieu aquatique. Ceux-ci peuvent prendre la forme de structures plus « conventionnelles » avec une crête basse, mais constituées d'un seul calibre de grosses pierres, ou de récifs artificiels. De nombreux cas d'exemple pour ce type de structure proviennent de régions tropicales pour imiter les fonctions de barrières de corail naturelles, où les eaux sont souvent peu profondes, le marnage est faible.

L'efficacité de ces ouvrages pour la protection des berges dépend fortement du niveau de la crête des ouvrages par rapport aux niveaux d'eau pouvant être observés lors de tempêtes, nécessitant ainsi des études préparatoires parfois plus sophistiquées que les ouvrages conventionnels et accompagnées d'incertitudes résiduelles plus importantes. La réalisation d'essais sur modèles réduits (en laboratoire) peut alors fournir des informations supplémentaires pour la conception de ce type de structure.

Brise-lames attachés à la rive

Ce type d'ouvrage est un hybride entre un épis et un brise-lame détaché. La structure agit un peu comme épi en « T » mais avec une portion parallèle à la côte plus longue.

Îlots de pierres déversées

Cet aménagement est composé d'une série d'îlots de pierres détachés de la rive et placés en quinconce, près de la rive. L'agencement des îlots est réalisé de sorte à laisser peu du linéaire du littoral exposé aux vagues. En plaçant les îlots près de la rive, la dérive hydrosédimentaire est moins affectée, ce qui réduit les risques de provoquer un déplacement de la problématique d'érosion dans les zones adjacentes. Ce type d'intervention affecte grandement le haut de plage et les usages récréotouristiques, il est donc recommandé dans des secteurs peu ou pas occupés.

Brise-lames flottants

Enfin, les brise-lames flottants peuvent être utilisés dans des climats de vague faibles à modérés. Ils peuvent atténuer l'impact visuel des ouvrages lorsque les variations de niveaux d'eau sont importantes, minimiser l'empiètement dans le milieu hydrique et permettre l'atténuation des vagues à des endroits où les profondeurs d'eau sont importantes, ou lorsque les conditions sols sont fragiles.

Les ouvrages doivent cependant être entreposés durant l'hiver, préférablement, pour éviter tout dommage et leur efficacité chute considérablement dans des conditions de vagues fortes. Leur utilisation est donc habituellement réservée pour assurer la protection de bassins portuaires, de marinas ou de chenal de navigation. Leur usage peut parfois aussi être combiné aux fonctions de quais d'amarrages. Elle est moins fréquente dans des contextes de protection des berges.

4.3.3 Conditions optimales pour utiliser cette approche

L'aménagement de brise-lames peut être une approche d'intervention favorable lorsque :

- Les conditions érosives sont sévères et que les rechargements de plages seuls ne permettent pas d'assurer une protection adéquate du littoral tout en respectant des critères d'interventions acceptables au niveau technique, environnemental ou social;
- Le transport sédimentaire longitudinal alterne fréquemment de direction ou le transport transversal est dominant;
- Les ouvrages supportent la mise en place d'aménagements écologiques permettant d'améliorer la qualité du milieu naturel (voir section 1).

4.3.4 Conditions pouvant freiner l'utilisation de cette approche

Les facteurs pouvant freiner l'aménagement de brise-lames incluent :

- Structures plus nombreuses et situées dans des profondeurs d'eau souvent plus grandes que les épis, donc nécessitant des quantités de matériaux plus élevées et ayant un empiètement plus important dans le milieu hydrique;
- Structures imposantes, qui bloquent un linéaire plus important du paysage en raison de leur position parallèle à la plage;
- Volumes de rechargements complémentaires, permettant le réajustement géométrique du trait de côte généralement, plus élevés que ceux requis avec des épis de portée équivalente;
- Coûts plus élevés en raison des quantités plus importantes requises et des méthodes de construction parfois plus complexes;
- Comportement de la plage plus difficile à prévoir qu'avec des épis, en raison de l'impact plus variable des structures sur la propagation des vagues entre et derrière les ouvrages;
- Présence d'enjeux de cohabitation spatiale entre les structures et les activités récréatives pratiquées à proximité du littoral.

4.3.5 Paramètres à considérer lors de la conception

Tout comme pour les épis, la conception de brise-lames repose sur plusieurs considérations techniques, environnementales et sociales pouvant mener à des compromis sur les caractéristiques des ouvrages. Par ailleurs, étant donné la modification prévisible de la dynamique hydrosédimentaire autour de la zone d'intervention, l'impact des structures sur le milieu devrait être analysé au préalable dans le cadre d'études préparatoires. À cet effet, plusieurs outils prévisionnels sont disponibles pour guider les concepteurs, comme les formules empiriques, les modèles numériques ou les modèles physiques. La comparaison avec des sites témoins ou d'autres ouvrages existants situés à proximité de la zone d'intervention, lorsque possible, peut également permettre de valider certains comportements anticipés.

D'un point de vue technique, la conception des brise-lames exige l'évaluation des paramètres suivants :

Longueur, distance du rivage et espacement

La conception des brise-lames est souvent conditionnée par l'effet désiré des structures sur la géométrie de la berge située derrière (formation de salients ou tombolos). Or, la réponse du trait de côte dépend de la relation étroite qui existe entre la longueur des ouvrages, leur distance du rivage et leur espacement.

Les aides à la conception recommandent habituellement que la longueur d'un brise-lame soit plus grande que 1,5 à 2,0 fois sa distance du rivage pour favoriser la formation de tombolos, tandis que des longueurs plus petites que 0,50 à 0,67 fois la distance du rivage sont recommandées pour limiter la réponse du littoral à un salient (U.S. Army Corps of Engineers, 2002). L'espacement entre les ouvrages influence également l'impact des structures sur le littoral, dans la mesure où un espacement rapproché réduit la quantité d'énergie des vagues passant entre les structures et est plus propice à la formation de tomblos. En contrepartie, un espacement plus grand laisse passer davantage l'énergie des vagues entre les structures et favorise davantage la formation de salients.

De façon générale, la formation de salients demeure préférable à celle de tombolos, car elle permet de conserver un certain transit sédimentaire le long de la berge et atténue l'impact des structures sur le bilan sédimentaire des secteurs adjacents. Des ouvrages rapprochés de la berge peuvent également permettre de conserver une partie du transit sédimentaire passant devant les structures.

Plusieurs facteurs peuvent toutefois influencer la distance du rivage retenue pour aménager les brise-lames, comme les contraintes naturelles des milieux physique et écologique, la capacité portante des sols, les méthodes de construction ou, encore, le désir d'intégrer des aménagements écologiques derrière les ouvrages. De façon générale, les brise-lames sont souvent construits au début de la zone de déferlement des vagues.

Élévation de la crête

L'élévation de la crête est un autre paramètre qui influence la façon dont la géométrie du trait de côte évolue derrière les brise-lames, ainsi que la capacité des ouvrages à assurer la protection du littoral. Une crête élevée offre une meilleure protection contre les vagues en réduisant leur franchissement par-dessus les structures. Toutefois, selon la hauteur des vagues de conception et le niveau de protection désiré contre le franchissement, l'élévation de crête requise peut excéder le niveau d'eau de conception de plusieurs mètres.

Une crête élevée augmente par ailleurs les quantités de matériaux requis pour construire les ouvrages et accentue leur empiètement dans le milieu hydrique. De plus, lorsque le marnage est important, des monticules hauts peuvent avoir un impact visuel substantiel en périodes de bas niveau.

En contrepartie, des élévations de crête réduites favorisent un franchissement plus important et fréquent des ouvrages. Ceci peut freiner la formation de tombolos derrière les ouvrages, même si les autres conditions géométriques des aménagements sont rencontrées, mais réduit également la capacité des structures à protéger la berge en périodes de niveaux d'eau élevés et de vagues fortes. Les ouvrages sont aussi plus vulnérables à l'impact des vagues, qui peuvent déstabiliser les blocs sur la crête et le versant arrière lorsqu'elles déferlent par-dessus les structures. La conception doit alors prendre certaines dispositions pour assurer la pérennité des ouvrages, ce qui peut avoir une incidence sur le coût des travaux.

Enfin, il convient de souligner que les crêtes submergées peuvent constituer un risque envers la navigation et les autres activités récréatives pratiquées en bordure du littoral.

Perméabilité

De façon similaire à l'élévation de la crête, la perméabilité des ouvrages peut influencer la façon dont la géométrie du trait de côte évolue derrière les brise-lames. Des ouvrages flottants ou conventionnels, mais constitués de matériaux avec de larges interstices (ex. monticules de grosses pierres), flexibles (ex. rideaux de palplanches), ou avec des encoches pratiquées sur la crête, peuvent avoir une perméabilité accrue et favorisent une certaine transmission de l'énergie des vagues vers l'arrière des structures. Ceci peut freiner la formation de tombolos et aide au maintien de certains processus hydrosédimentaires le long du littoral.

Des ouvrages constitués de matériaux plus rigides (ex. caissons) ou comportant un noyau granulaire de petit calibre (ex. pierres filtres ou tout-venant) ont quant à elles tendance à être moins perméables et offrent une meilleure protection contre les vagues, parfois au détriment de la conservation des processus hydrosédimentaires.

Nombre d'ouvrages

Malgré les dispositions pouvant être prises pour atténuer l'impact des ouvrages sur le transit sédimentaire vers les secteurs adjacents, l'objectif visé par l'aménagement de brise-lames dans un contexte de protection des berges demeure une stabilisation des sédiments derrière les ouvrages. Une certaine réduction des apports vers les secteurs adjacents est donc inévitable.

Pour cette raison, l'aménagement de brise-lames devrait, comme les épis, se prolonger jusqu'à un point le long du littoral pouvant accommoder le déficit d'apports sédimentaires anticipé en aval du système. Le nombre d'ouvrages devient alors conditionné par la distance entre ce point et la zone d'intervention, ainsi que la longueur et l'espacement des structures.

Forme

La forme des brise-lames n'est pas un paramètre ayant une incidence substantielle sur l'efficacité des ouvrages. Leur géométrie est donc souvent conditionnée par des considérations d'ordre économiques (quantités minimisées), environnementales (empiètement minimisé) et d'efficacité

de conception et de construction (mise en place des matériaux et contrôle de la qualité). Ainsi, elle a tendance à suivre des alignements géométriques simples et uniformes.

Certaines approches de conception contemporaines commencent néanmoins à intégrer davantage de sinuosité dans les ouvrages, ainsi que des extensions accessoires (récifs submergés, pentes variables, etc.), pour des considérations esthétiques et environnementales (diversification de l'habitat). Ces formes plus sophistiquées peuvent toutefois nécessiter des études préparatoires plus élaborées, pouvant inclure des essais sur modèles réduits en laboratoire, pour évaluer le comportement anticipé des structures à moyen et long terme, ainsi que leur impact sur le milieu récepteur.

Matériaux de construction

De façon similaire aux épis, le choix des matériaux de construction pour les brise-lames dépend de considérations économiques, l'inventaire des matériaux disponibles localement, la composition ou la perméabilité souhaitée de l'ouvrage, ou le désir d'y intégrer des co-bénéfices écologiques.

La pierre demeure le matériau le plus commun, suivi des unités préfabriquées en béton. Alternativement, les caissons (béton, palplanches, bois), les géotubes et les rideaux de pieux et de palplanches sont aussi fréquemment utilisés. Des sacs remplis de coquilles d'huitres ont quant à eux été utilisés dans le cadre de certains projets récents visant l'aménagement de brise-lames « vivants » submergés[39].

Étant donné l'exposition des structures à des sollicitations plus rudes que les aménagements situés proche de la rive (comme les épis), ainsi que leur accessibilité souvent réduite pour la réalisation de travaux d'entretien, l'utilisation de végétaux, de débris ligneux ou d'autres matériaux fragiles aux vagues et aux glaces n'offre souvent pas une durabilité acceptable pour les ouvrages. Les matériaux à risque de vieillissement non homogène et de rupture fragile pouvant provoquer une défaillance soudaine et substantielle de l'ouvrage (comme les géotubes, par exemple) devraient également être considérés avec précaution et selon les enjeux qu'une perte de l'ouvrage peut entraîner.

Conditions géotechniques et protection contre l'affouillement

Les considérations d'ordre géotechniques et de protection contre l'affouillement préconisées pour la conception de brise-lames sont similaires à celles qui prévalent pour les épis (voir section 4.2.5). La présence de sols fragiles peut avoir une incidence considérable sur la conception des ouvrages, allant d'amendements mineurs aux matériaux de fondation jusqu'à la relocalisation complète des ouvrages. La caractérisation de la capacité portant des sols naturels est donc une étape cruciale de la conception des brise-lames et devrait être entreprise aussitôt que possible pour permettre de prendre les mesures correctives requises, le cas échéant.

[39] https://www.coastalwiki.org/wiki/Oyster_reef_shore_protection

Pour la protection contre l'affouillement, l'aménagement d'une clé d'encastrement ou la mise en place d'une ceinture de pierres anti-affouillement au pied des structures demeurent les moyens de contrôle les plus efficaces.

Méthodes de construction / transport

Étant donné leur configuration parallèle à la berge, la construction de brise-lames peut s'avérer plus complexe que les épis. L'équipement terrestre peut être envisagé lorsque le régime de niveaux d'eau offre une fenêtre de temps suffisamment longue pendant laquelle le littoral entre le littoral et l'emplacement projeté des ouvrages est exondé. Un chemin d'accès temporaire entre la berge et l'ouvrage peut également être aménagé lorsque le niveau d'eau demeure trop élevé. Dans ce cas, par contre, un surplus de matériaux granulaires devient requis et la perturbation du milieu naturel augmente. Le chemin d'accès doit aussi être retiré, idéalement, à la fin des travaux augmentant la durée des travaux. Alternativement, l'utilisation d'équipement flottant doit être préconisée.

Outre ces particularités, les méthodes de construction et de transport des matériaux demeurent similaires à celles décrites pour les épis, pour chaque approche de construction respective (équipement terrestre ou flottant, voir section 4.2.5).

4.3.6 Exemples de réalisations à l'extérieur du lac Saint-Jean

Les brise-lames demeurent des ouvrages fréquemment utilisés pour la protection des berges et les cas d'exemples sont multiples. Le lecteur est invité à utiliser des applications de recherche cartographique et de visualisation d'images aériennes (comme Google Earth) pour trouver plusieurs aménagements dans le golfe du Saint-Laurent, dans les Grands Lacs, ainsi que le long de plusieurs régions côtières internationales.

Les brise-lames demeurent applicables autant dans des milieux lacustres qu'océaniques et sur les plans d'eau de toutes tailles. Leur fonctionnement, leurs impacts sur le milieu récepteur et les principes de conception demeurent les mêmes, peu importe leur localisation.

Dans le cadre d'approches de gestion de l'érosion plus contemporaines, prônant des stratégies d'intervention fondées sur la nature, les brise-lames jouent souvent aussi un rôle de premier plan, contribuant à l'atténuation des vagues, l'établissement d'une zone d'eau plus calme derrière et permettant l'intégration d'aménagements fauniques offrant des co-bénéfices écologiques pour le milieu élargi. Les ouvrages eux-mêmes peuvent également servir de support pour plusieurs composantes permettant de bonifier les fonctions écologiques du milieu, comme des jardins aquatiques, des bassins de repos et d'alimentation, ainsi que des perchoirs pour la faune aviaire. Plus de détails concernant les améliorations potentielles sont présentés à la section 11.

4.3.7 Exemples de réalisations au lac Saint-Jean

Les éléments contextuels particuliers du lac Saint-Jean qui facilitent l'aménagement d'épis (section 4.2.7), comme l'abaissement du niveau d'eau en période hivernale, la présence de sols gelés pendant les travaux et la proximité de carrières offrant une bonne qualité de pierres, demeurent avantageux pour l'aménagement de brise-lames. À cet effet, il convient de souligner que l'abaissement du niveau d'eau en période hivernale est généralement suffisant pour permettre l'utilisation d'équipements terrestres pour la construction des ouvrages.

Les structures construites dans le cadre du Programme de stabilisation des berges du lac Saint-Jean possèdent des caractéristiques relativement similaires. Elles ont une longueur variant généralement entre 30 et 100 m. Il est possible d'en retrouver dans plusieurs secteurs du lac Saint-Jean, comme à Saint-Gérémon, Métabetchouan-Lac-à-la-Croix, Roberval, Saint-Méthode et Péribonka. Les ouvrages sont principalement constitués de pierres, mais quelques ouvrages en caissons de bois font également partie de l'inventaire. Lors du premier décret, six brise-lames ont été construits. De 1996 à 2006, 8 brise-lames ont été construits ou entretenus. Finalement, entre 2007 et 2016, 3 brise-lames supplémentaires ont été aménagés.

Dans certains cas, des structures plus petites et situées plus proche du rivage ont aussi été aménagées. Un cas d'exemple éloquent pour ces ouvrages de petite taille est les îlots de pierres déversés construits sur le territoire du Parc national de la Pointe-Taillon, aux sites 2013.14.01 et 2015.14.01, qui correspondent essentiellement à des mini-brise-lames aménagés en quinconce au pied du cordon littoral. Les suivis techniques (WSP, 2017) réalisés à postériori démontrent que ces ouvrages ont été efficaces pour stabiliser la limite du littoral.

Les ouvrages plus conventionnels ont eux aussi, dans leur ensemble, permis une stabilisation adéquate des plages dans leur milieu d'insertion. Dans la plupart des cas, les accumulations sédimentaires derrière les ouvrages se sont limitées à des saliens, mais la formation de tombolos a quand même été observée à quelques endroits, comme à Saint-Méthode.

À Saint-Gérémon, deux brise-lames ont été aménagés en 1988 pour protéger une plage dans le secteur de l'Étang des Îles (site 88.02.02). Une certaine érosion s'est malgré tout poursuivie aux extrémités de la plage après la constriction des ouvrages, suggérant, à priori, que les structures avaient possiblement une longueur insuffisante ou se trouvaient trop proches du rivage. Il convient malgré tout de souligner qu'aucun rechargement de plage n'a été réalisé dans ce secteur depuis 2006.

À Métabetchouan-Lac-à-la-Croix, l'aménagement d'un brise-lame au Marais Bolduc en 2012 (site 95.03.04), à l'extrémité d'un champ d'épis situés au sud-ouest, avait quant à lui pour objectif d'instaurer une transition plus graduelle vers la zone de plage non protégée située au nord-est. L'aménagement n'a cependant pas eu le plein effet escompté et le déficit sédimentaire y persiste à ce jour, nécessitant des rechargements de plage périodiques pour le combler. Ce cas d'exemple est également éloquent pour démontrer la nécessité de combiner l'aménagement de brise-lames

avec un rechargement de plage complémentaire. Ceci n'a pas été fait lors de la construction de l'ouvrage en question et a mené à une érosion sévère de la berge naturelle de part et d'autre de la structure l'année suivante.

Les travaux d'entretien réalisés sur les structures démontrent pour leur part que l'aménagement d'une protection anti-affouillement est essentiel pour assurer la pérennité des ouvrages.

Le nombre de brise-lames aménagés au lac Saint-Jean demeure malgré tout inférieur au nombre d'épis. Bien qu'aucune analyse approfondie des raisons ayant mené à une utilisation moins répandue de ce type d'ouvrage n'ait été réalisée, il est raisonnable de croire que les coûts de construction et les superficies d'empiètement supérieurs, l'impact visuel accru et les conflits d'usages avec les activités récréatives pratiquées à proximité du littoral ont possiblement eu une incidence.

4.4 Plages perchées

4.4.1 Description sommaire de l'approche

Le concept de plage perchée repose sur une recharge de plage combinée à la mise en place d'une structure d'appui dans la partie inférieure du profil. Cette structure permet de limiter le transport perpendiculaire des sédiments et d'élargir la plage dans les secteurs où celle-ci est étroite ou abaissée.

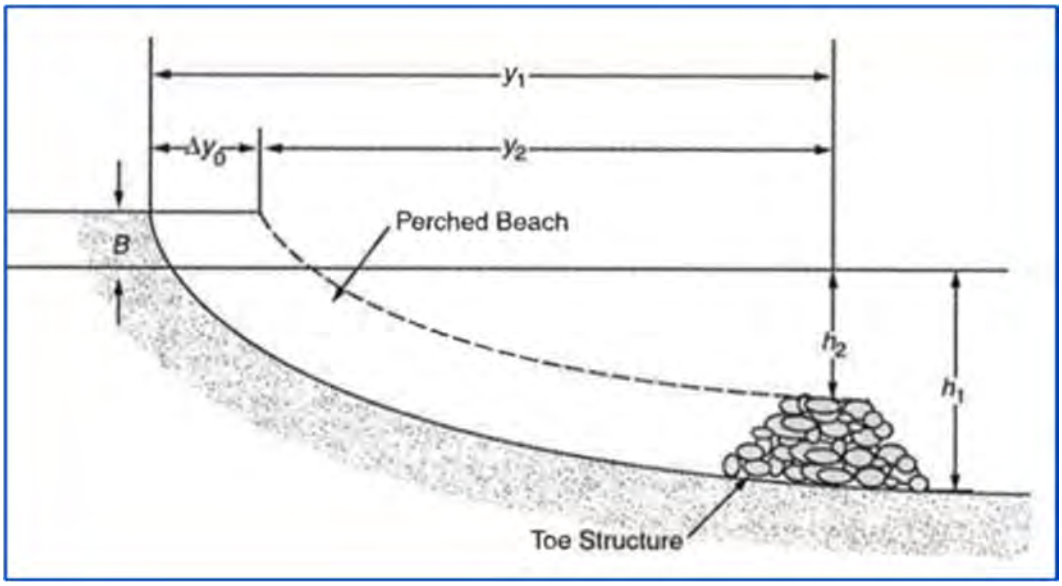


Figure 4-18 Coupe-type d'une plage perchée (Dean et Dalrymple, 2002)

Contrairement à un rechargement classique où le sable est libre d'être transporté sur tout le profil de plage, la structure d'appui d'une plage perchée améliore en partie la rétention des sédiments. Toutefois, le matériel qui franchit cette structure, principalement lors d'évènements de tempêtes, peut difficilement être retransporté par les courants ultérieurement et constitue donc une perte nette.

4.4.2 Variantes d'aménagement

Le concept de plage perchée demeure essentiellement le même, quoique les structures d'appui peuvent prendre différentes formes. La plus commune consiste en un seuil en enrochement ou en blocs de béton. Des tubes ou conteneurs en géotextile remplis de sable, ou encore des modules préfabriqués peuvent s'avérer plus simple d'installation. Le seuil peut également être aménagé en paliers ou avec une pente plus douce au prix d'un plus grand empiètement dans le littoral.

4.4.3 Paramètres à considérer lors de la conception

La conception d'une plage perchée doit considérer tous les paramètres d'une recharge classique, en plus de paramètres additionnels pour la structure d'appui: choix des matériaux, géométrie, perméabilité et conditions géotechniques du site.

Le rehaussement excessif de la crête du seuil est à éviter. En conditions de vagues fortes, cela peut provoquer un déferlement intense des vagues, générer des courants de retour dangereux, et accentuer l'affouillement à sa base (Mangor et al., 2017). La conception doit donc trouver un équilibre optimal pour la hauteur du seuil, en acceptant qu'un certain entretien périodique sera nécessaire.

4.4.4 Exemples de réalisations à l'extérieur du lac Saint-Jean

De manière naturelle, les plages perchées se forment lorsque des structures dures comme des récifs coralliens ou du grès de plage influencent le transport sédimentaire et atténuent l'énergie des vagues (Gallop et al., 2011). Une étude de faisabilité menée aux Pays-Bas a démontré que l'aménagement de plages perchées artificielles présentait des coûts comparables à ceux d'une série de recharges classiques sur une période de 30 à 40 ans (U.S. Army Corps of Engineers, 2002). Cependant, la plupart des études de cas répertoriées se trouvent en milieux côtiers où la dynamique hydrosédimentaire et les conditions de vagues sont somme toute différentes du contexte du lac Saint-Jean.

4.4.5 Exemples de réalisations au lac Saint-Jean

Aucune intervention de ce type n'a été réalisée dans le cadre du Programme de Stabilisation des Berges à ce jour.

4.5 Protections enfouies et soutènement de talus

4.5.1 Description sommaire de l'approche

L'enfouissement des aménagements de protection sous la plage ou à la base des dunes constitue une alternative aux ouvrages rigides exposés. Cette technique permet de fixer la ligne de rivage tout en préservant l'esthétique et l'attrait récréatif du site d'intervention. En cas d'érosion importante causée par un évènement de tempête, les structures enfouies peuvent assurer la protection des berges jusqu'à ce que le secteur touché puisse faire l'objet d'une réhabilitation. En ce sens, les protections enfouies n'influencent pas la rétention des sédiments sur la plage, mais agissent plutôt comme dernière ligne de défense en cas d'érosion subite et sévère. L'implémentation de ce type d'ouvrages altère aussi la géomorphologie naturelle du site d'intervention (Mangor et al., 2017).

4.5.2 Variantes d'aménagement

Les protections enfouies se distinguent principalement par le type de matériaux utilisés. Les aménagements les plus courants incluent les perrés et les murs de soutènement. Parmi les alternatives, on retrouve des perrés de support, géotubes, géosacs, matelas marins, gabions, murs de soutènement (végétalisés ou non), membranes géoweb et enveloppes en fibres de coco.

Tableau 4.1 Variantes d'aménagement de protections enfouies (WSP Canada, 2015)

Variantes	Description	Photos
Perré de support	Structures en enrochement visant à stabiliser les berges.	
Géotubes et géosacs	Enveloppes remplies de sable ou d'autres sédiments compatibles avec le site.	

Variantes	Description	Photos
Matelas marins et gabions	Structures souples ou rigides facilitant la stabilisation des talus.	
Murs de soutènement	Végétalisés ou non	
Membranes géoweb	Structures cellulaires favorisant la stabilité des sédiments	
Enveloppes en fibres de coco	Solution biodégradable offrant une protection temporaire. Toutefois, une attention particulière doit être portée à leur remplissage, car leur décomposition peut affecter la composition sédimentaire du site.	

4.5.3 Conditions optimales pour utiliser cette approche

Les protections enfouies sont bien adaptées dans les zones où :

- La stabilité naturelle du littoral permet une intégration durable des structures.
- Le secteur est fortement sollicité et des recharges de plages sont régulièrement nécessaires.
- L'impact visuel et environnemental des structures exposées doit être minimisé.

4.5.4 Conditions pouvant freiner l'utilisation de cette approche

Cette approche est moins recommandée dans les contextes suivants :

- Zones où la stabilité des sols n'est pas optimale.
- Zones soumises de déficit sédimentaire important.
- Environnements où un système dunaire naturel et dynamique est présent.

4.5.5 Paramètres à considérer lors de la conception

La mise en place des protections enfouies, dépendamment du choix de variante, combine les éléments de conception des murs de soutènement (section 5.1), des revêtements (section 5.2), et des rechargements de plage (section 4.1), qui constituent leur base. Certains paramètres géométriques spécifiques à considérer :

- Profondeur d'enfouissement de l'ouvrage
- Élévation de la crête
- Pente des talus
- Granulométrie des matériaux de recouvrement
- Système d'ancrage

4.5.6 Exemples de réalisations à l'extérieur du lac Saint-Jean

Les ouvrages en géotubes enfouis combinés à des recharges de plage ont été largement utilisés sur la côte est des États-Unis, particulièrement comme mesure d'urgence après des tempêtes majeures. Des projets comme ceux de Sea Isle City et Ocean City au New Jersey démontrent que cette approche peut être efficace à court terme pour stabiliser rapidement un littoral endommagé. Elle reste toutefois plus adaptée comme une solution temporaire qu'une stratégie durable à long terme en raison des efforts de maintenance requis et des impacts sur la géomorphologie naturelle (Gibeaut et al., 2003).

Figure 4-19 Exemple d'un géotube exposé à la suite d'un événement de tempête sur la côte du Texas (Gibeaut et al., 2003)

4.5.7 Ce qui se fait au lac Saint-Jean

Les interventions de protections enfouies du PSBLSJ se limitent aux variantes de murs de soutènement non végétalisés et de perrés de support en pierres enfouis sous le haut de plage (WSP, 2015). Il s'agit d'une technique qui a surtout été déployée aux sites où la conservation de l'esthétisme et de l'attrait récréatif étaient une priorité.

4.6 Drainage de plage

4.6.1 Description sommaire de l'approche

Le drainage de plage consiste à abaisser la nappe phréatique sous la plage pour favoriser l'accrétion au-dessus de la zone drainée. Cette méthode, introduite au Danemark dans les années 1980, repose sur l'installation de drains enfouis et sur un pompage continu permettant d'augmenter l'épaisseur de la couche "sèche" de sable et de limiter la mobilité des sédiments sous l'action des vagues. En maintenant la plage dans un état non saturé, cette technique réduit la mise en suspension des grains de sable et accroît la friction entre les particules.

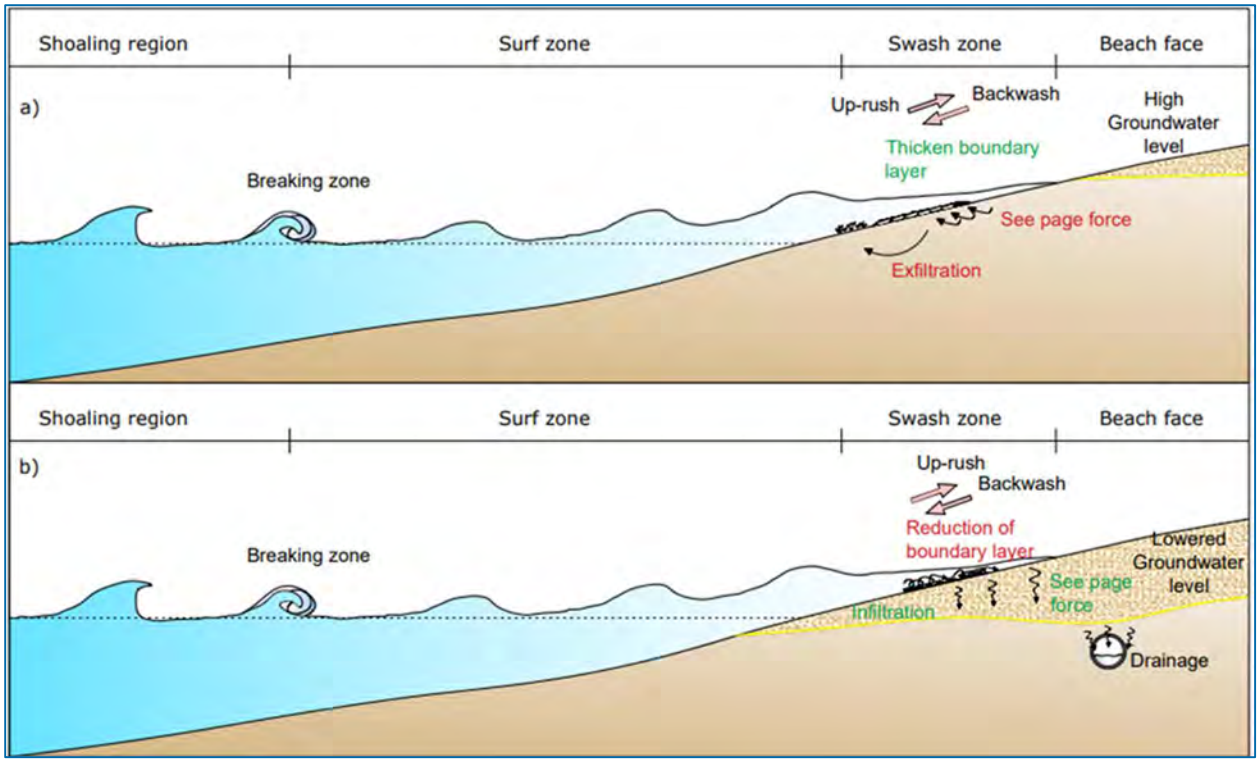


Figure 4-20 Schéma illustrant l'interaction entre la nappe phréatique et l'onde de ruissellement des vagues. (a) représente un niveau naturel élevé de la nappe phréatique, tandis que (b) montre un niveau abaissé. Les étiquettes vertes mettent en évidence les effets stabilisants et les étiquettes rouges indiquent les effets mobilisateurs **(Fischione et al., 2022)**

4.6.2 Variantes d'aménagement

Le système de drainage de plage classique breveté au Danemark consiste en un tuyau perméable en plastique installé parallèlement au rivage, à une profondeur de 1,0 à 2,0 m sous la surface de la plage (Mangor et al., 2017). Le drain est relié à un puits de pompage qui évacue l'eau. D'autres configurations sont aussi répertoriées :

- Drains verticaux utilisant des modules d'égalisation de pression (PEM)
- Systèmes passifs fonctionnant par gravité plutôt que par pompage
- Couches drainantes en matériaux perméables (géotextiles, graviers)
- Systèmes hybrides combinant le drainage à d'autres ouvrages de protection côtière

Le choix de la configuration dépend principalement de la granulométrie du sable, du régime des marées et du niveau de la nappe phréatique.

4.6.3 Conditions optimales pour utiliser cette approche

Le drainage de plage est le mieux adapté aux contextes présentant (Mangor et al., 2017) :

- Des plages de sable fin à moyen (diamètre moyen entre 0,1 et 1,0 mm) et bien trié (Cu < 3,5)
- Une exposition modérée aux vagues
- Une nappe naturellement élevée
- Une exposition au marnage
- Des fluctuations saisonnières du trait de côte plutôt qu'une érosion continue
- Un besoin d'élargissement d'une plage étroite dans un secteur relativement stable

4.6.4 Conditions pouvant freiner l'utilisation de cette approche

L'utilisation du drainage de plage n'est pas recommandée dans les situations suivantes :

- Sites fortement exposés aux vagues ou aux tempêtes
- Secteurs subissant une érosion chronique sévère affectant l'ensemble du profil
- Zones trop abritées avec une activité insuffisante des vagues
- Plages composées de sédiments mal triés ou trop grossiers (peu perméables)
- Sites affectés principalement par la hausse du niveau des eaux
- Zones où l'entretien régulier du système de pompage serait problématique
- Secteurs soumis à des conditions hivernales rigoureuses pouvant endommager le système

Cette technique est souvent considérée comme une solution complémentaire plutôt que comme mesure principale de protection du littoral.

4.6.5 Paramètres à considérer lors de la conception

Les principaux éléments à évaluer pour la conception d'un drain de plage comprennent :

- Caractéristiques des dépôts meubles (perméabilité, granulométrie, uniformité)
- Élévation de la nappe phréatique locale et influence des marées sur celle-ci
- Impact des surcotes de tempêtes
- Système de pompage
- Gestion des eaux drainées
- Maintenance du système (accessibilité)
- Protection contre le gel dans les climats froids

4.6.6 Exemples de réalisations à l'extérieur du lac Saint-Jean

Les résultats du drainage de plage, tant à l'échelle expérimentale qu'en projet pilote à l'international, ont montré des performances assez variables et parfois controversées (Fischione et al., 2022). Les premières expériences au Danemark sur les sites de Hirtshals et de Thorsminde ont montré des résultats prometteurs dans le court terme, mais l'efficacité à long terme s'est révélée plus mitigée. Le premier site d'implantation aux États-Unis à Sailfish Point en Floride a démontré une dynamique similaire (Turner et Leatherman, 1997). Bien que cette technique soit relativement peu coûteuse et présente un potentiel écologique intéressant, plusieurs questionnements persistent quant à sa viabilité à long terme, notamment en ce qui concerne sa maintenance dans un contexte nordique.

4.6.7 Ce qui se fait au lac Saint-Jean

Aucun système de drainage de plage n'a été déployé dans le cadre du Programme de Stabilisation des berges du lac Saint-Jean.

4.7 Stabilisation dunaire

4.7.1 Description sommaire de l'approche

La stabilisation dunaire vise à limiter le transport éolien des sédiments en favorisant leur accumulation et leur fixation en haut de plage. L'approche repose principalement sur l'implantation de végétaux pour créer un réseau racinaire retenant le sable, ou encore sur l'installation d'éléments artificiels permettant de réduire la vitesse du vent et de piéger les sédiments transportés. Ces interventions permettent de maintenir l'intégrité des dunes, qui jouent un rôle clé dans la protection du littoral contre l'érosion en agissant comme réservoir d'urgence de sédiments lors d'événements extrêmes (Murphy et al., 2024).

4.7.2 Variantes d'aménagement

La plantation de végétaux adaptés aux milieux dunaires est une stratégie couramment employée pour l'aménagement ou la stabilisation de ces écosystèmes. Les plantes ammophiles, grâce à leur système racinaire dense, contribuent à fixer les sédiments et à stabiliser les dunes. Leur efficacité dépend toutefois de la disponibilité du sable sec et des conditions de transport éolien (Hesp, 2002). Des dispositifs artificiels sont aussi communément utilisés pour la stabilisation dunaire, incluant des clôtures en fagots ou du bois de grève, des débris naturels ancrés comme du bois mort ou des arbres de Noël recyclés, ainsi que des structures biodégradables, tels que des casiers à homards. Ces éléments peuvent toutefois être déplacés par les forts vents de tempêtes et devenir des débris dangereux pour les infrastructures et les communautés côtières. Il est donc essentiel d'adapter les matériaux aux conditions locales du site.

Figure 4-21 Utilisation d'arbres de No-el recyclés et de plantes ammophiles sur la plage Cavendish dans le parc national de l'Île-du-Prince-Édouard **(Image tirée d'une présentation vidéo sur le projet)**[40]

4.7.3 Conditions optimales à l'utilisation de cette approche

La stabilisation dunaire est particulièrement adaptée aux contextes suivants :

- Côtes naturelles modérément à fortement exposées avec présence de dunes
- Sites avec transport éolien actif et apport en sable suffisant
- Zones nécessitant une protection flexible contre l'érosion et les inondations
- Secteurs où une approche environnementale durable est privilégiée
- Sites requérant le maintien d'une plage large

4.7.4 Conditions pouvant freiner l'utilisation de cette approche

L'utilisation de la stabilisation dunaire est moins recommandée dans les situations suivantes :

- Zones nécessitant une protection immédiate
- Sites avec transport éolien limité ou apport en sable insuffisant
- Secteurs très urbanisés ou récréotouristiques avec espace limité
- Zones exposées à de fortes sollicitations
- Sites nécessitant une protection rigide contre les inondations

[40] https://www.youtube.com/watch?v=_e0Sq_1v474

4.7.5 Paramètres à considérer lors de la conception

Les éléments à évaluer pour la stabilisation ou la restauration dunaire incluent (Mangor et al., 2017) :

- Volume et qualité du sable disponibles à proximité du site
- Régime des vents dominants et taux de transport éolien
- Espace disponible pour l'aménagement
- Choix des espèces végétales adaptées aux conditions du site
- Type de structure de piégeage appropriée aux conditions locales
- Étendue et continuité du système dunaire naturel

4.7.6 Exemples de réalisations à l'extérieur du lac Saint-Jean

La stabilisation dunaire est une approche de gestion dynamique largement utilisée en Europe du Nord et ailleurs dans le monde. Des exemples de la côte de Sefton en Angleterre et des dunes de Meijendel aux Pays-Bas montrent que le rehaussement et l'élargissement des dunes vers l'intérieur des terres, combinés à la plantation de végétaux ammophiles et à une restriction partielle de l'accès au public, constitue une approche efficace pour résister à l'érosion aux enjeux de submersion côtière (Van Meulen et al., 2008). Plus récemment, quelques exemples de projets sur la côte atlantique du Canada[41] et dans la région des Grands Lacs[42] ont été complétés, et les résultats initiaux semblent prometteurs.

Figure 4-22 Exemple d'une dune restauré à Gibraltar Point sur les rives du lac Ontario **(TRCA, 2024)**

[41] Voir le projet de restauration du parc national de l'île-du-Prince-Édouard : https://parks.canada.ca/pn-np/pe/pei-ipe/nature/conservation/baby-dunes-bebe

[42] Voir le projet de Gibraltar Point dans la région de Toronto : https://trca.ca/conservation/infrastructure-projects/gibraltar-point-erosion-control-project/

4.7.7 Exemples de réalisations au lac Saint-Jean

Certains secteurs s'apparentant à des dunes sont présents au Lac-Saint-Jean, notamment dans le parc National de la Pointe-Taillon [43]. On y retrouve des colonies de l'Hudsonie tomenteuse (*Hudsonia tomentosa*), de l'Ammophile à ligule courte (*Ammophila breviligulata*) et de la Gesse maritime (*Lathyrus maritimus*), des plantes psammophiles, c'est-à-dire qui vivent sur les sols sablonneux et freinent l'érosion par le vent en captant le sable en mouvement. L'altération des berges et le piétinement mettent cependant en péril leur implantation et survie en dehors du Parc National.

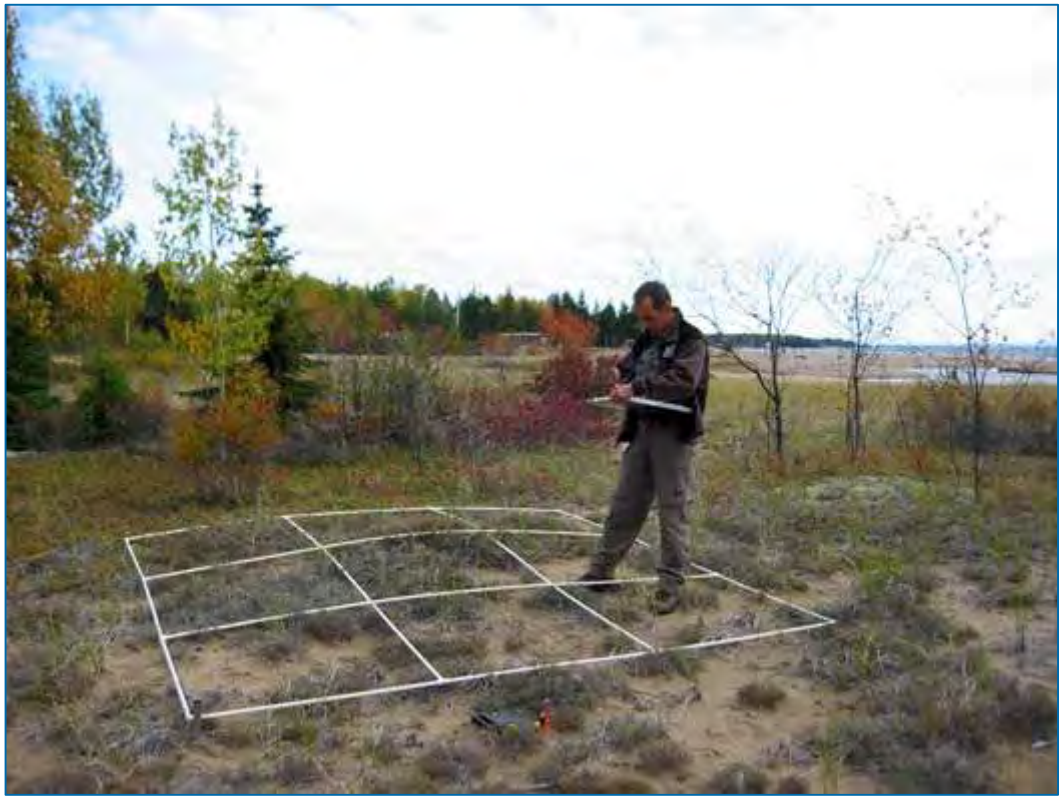


Figure 4-23 Inventaire des colonies d'espèces végétales reliques du parc de la Pointe-Taillon, Lac-Saint-Jean, Québec **(SÉPAQ, 2012)**

[43] Voir le site https://www.sepaq.com/parcs-quebec/blogue/article.dot?id=5b9e7bd2-debe-4368-8738-ddebbb84f015&language_id=1

5 TECHNIQUES DE PROTECTION ET DE STABILISATION DES BERGES

5.1 Murs chasse-mer et murs de soutènement

5.1.1 Description sommaire de l'approche

Les murs chasse-mer et murs de soutènement sont des structures verticales conçues pour résister à l'assaut des vagues et protéger les rives contre l'érosion et la submersion. Leur conception vise à empêcher le franchissement des vagues au-delà de la crête de l'ouvrage tout en minimisant l'empiètement sur le littoral. Cette technique est particulièrement pertinente dans les secteurs fortement urbanisés où l'espace disponible est restreint, et où le reprofilage des talus avec une pente plus douce n'est pas envisageable.

Bien qu'efficaces pour fixer la ligne de rivage, la géométrie verticale de ces structures traditionnelles ne permet pas de dissiper l'énergie des vagues, qui sont plutôt réfléchies. Ceci peut engendrer plusieurs problématiques non anticipées, comme un affouillement de la base, un abaissement du profil de berge adjacent et une perturbation importante du transport sédimentaire naturel du secteur. Ces impacts sont particulièrement préoccupants lorsque les ouvrages sont situés en amont d'une plage naturelle et peuvent provoquer des reculs importants dans les secteurs adjacents.

5.1.2 Variantes d'aménagement

Les variantes d'aménagement de ce concept sont nombreuses et dépendent des particularités du site. Les paramètres qui influencent le choix de la configuration incluent notamment la hauteur des talus à stabiliser, la nature des sols en place, la disponibilité des matériaux et l'intensité des sollicitations anticipées (vagues, variations de niveaux d'eau, formation des glaces).

Les principales variantes structurales incluent (WSP Canada, 2015) :

- Murs-poids : Ces structures massives, généralement en béton ou en pierre, résistent aux poussées latérales par leur propre poids. Elles sont particulièrement adaptées aux sites présentant un bon sol de fondation, mais demandent un volume important de matériaux.
- Murs en caisson : Composés de compartiments remplis de matériaux granulaires, ils offrent une bonne résistance tout en optimisant l'utilisation des matériaux. Cette solution est avantageuse lorsque des matériaux de remplissage sont disponibles localement.
- Murs avec ancrages : Ces structures relativement minces sont stabilisées par des tirants ancrés dans le sol derrière le mur. Cette technique permet de réduire le volume de matériaux, mais nécessite un espace suffisant en arrière du mur pour l'installation des ancrages.

- Murs avec contreforts : Des appuis périodiques sont intégrés du côté terre pour augmenter la stabilité. Cette configuration est efficace pour les murs de grande hauteur, mais complexifie la construction.

Afin d'absorber l'énergie des vagues, les murs peuvent avoir une forme courbe, être muni d'un déflecteur en crête ou encore être aménagés en paliers.

Les matériaux couramment utilisés demeurent le béton, le bois, les palplanches métalliques et la pierre naturelle assemblée en blocs ou en parements. Des solutions alternatives comme les gabions, les géotubes, les géosacs peuvent également être considérées selon les besoins spécifiques du projet.

5.1.3 Conditions optimales pour utiliser cette approche

- Sites où l'espace est très restreint en haut de talus
- Présence d'infrastructures ou d'éléments naturels critiques à proximité immédiate
- Bonne capacité portante des sols en place
- Secteurs où l'impact visuel n'est pas une contrainte majeure
- Zones où les processus sédimentaires naturels sont déjà perturbés

5.1.4 Conditions moins favorables

- Sites exposés à une forte dynamique hydrosédimentaire
- Présence de sols compressibles
- Secteurs à vocation récréotouristiques ou naturels
- Zones adjacentes à des secteurs de plages naturelles
- Sites soumis à des conditions de glaces sévères

5.1.5 Paramètres à considérer lors de la conception

- Stabilité géotechnique (glissement, renversement, capacité portante)
- Protection contre l'affouillement en pied d'ouvrage
- Drainage adéquat derrière la structure
- Accessibilité pour la maintenance
- Impacts sur le transport sédimentaire naturel
- Réflexion des vagues et effets sur l'environnement local
- Durabilité face aux cycles de gel-dégel
- Intégration paysagère

5.1.6 Ce qui se fait au lac Saint-Jean

Les murs de soutènement ont été utilisés de façon relativement limitée dans le cadre du PSBLSJ, principalement en dernier recours dans les secteurs très contraints où aucune autre solution n'était envisageable. Les interventions récentes privilégient généralement d'autres approches comme les techniques mixtes ou les revêtements en pente lorsque l'espace le permet.

5.2 Revêtements

5.2.1 Description sommaire de l'approche

Les revêtements sont des ouvrages en pente aménagés directement sur la berge à partir de matériaux denses et résistants à l'action des vagues et aux processus physico-chimiques comme les cycles de gel-dégel. Contrairement aux murs verticaux, leur configuration inclinée permet de mieux dissiper l'énergie des vagues. Les revêtements sont appropriés dans des contextes où l'espace disponible est restreint, mais permet tout de même un reprofilage du talus en pente et un certain empiètement sur le littoral

5.2.2 Variantes d'aménagement

Perrés en pierres statiques

Plusieurs variantes sont détaillées dans la revue de littérature de 2015 (WSP, 2015). Parmi celles-ci, les perrés en pierres demeurent les plus communs, car ils constituent souvent l'option la plus économique et facile à aménager. Ces ouvrages sont typiquement composés d'une couche carapace placée au-dessus de couches filtres (ou membrane géotextile). Le calibre des pierres est calculé en fonction des sollicitations anticipées, et une clé d'enrochement composée d'unités de plus gros calibre est généralement aménagée au pied de l'ouvrage pour contrer les effets d'affouillement. La flexibilité de l'ouvrage peut être modulé en réduisant le calibre des pierres ou en adoucissant la pente lorsque l'espace le permet.

Perrés en pierres semi-statique (blocométrie étalée)

Les perrés peuvent aussi être aménagés à l'aide de pierres de blocométrie étalée (diamètre des pierres étalée) et avec peu ou pas de couche. En raison de la présence de pierres de petite taille dans les couches de surface, ce type d'ouvrage est plus mobile et peut subir des pertes de matériaux lors de petites tempêtes. Ils nécessitent donc plus d'entretien.

Figure 5-1 Perré conventionnel en pierres **(U.S. Army Corps of Engineers, 2002)**

Gabions

Des ouvrages de revêtements en gabions, des cages métalliques remplies de pierres de petits calibres, constituent une autre variante. Cependant, l'exposition aux cycles de gel-dégel, à l'abrasion et à la corrosion, peut toutefois compromettre l'intégrité des cages, particulièrement dans des secteurs où les variations de niveau d'eau sont importantes. Il est à noter que le gabion a été employé uniquement entre les années 1988 et 1991 et son utilisation a cessé depuis, en raison des conditions d'exposition sévères (vagues, glace, débris) observées au lac Saint-Jean qui affectent grandement sa durabilité. Une partie des gabions implantés entre 1988 et 1991 a d'ailleurs été remplacé par un lors du programme de se terminant en 2007.

Enveloppes de géotextiles

Les sacs de sable et les unités de béton préfabriquées sont également répertoriés dans la littérature comme matériel de carapace pour des revêtements. Bien que ces options élargissent la gamme de solutions possibles, elles représentent généralement des investissements importants, notamment en termes de maintenance, et leurs impacts potentiels sur l'environnement sont significatifs comme illustré à la figure 4.2 ci-dessous.

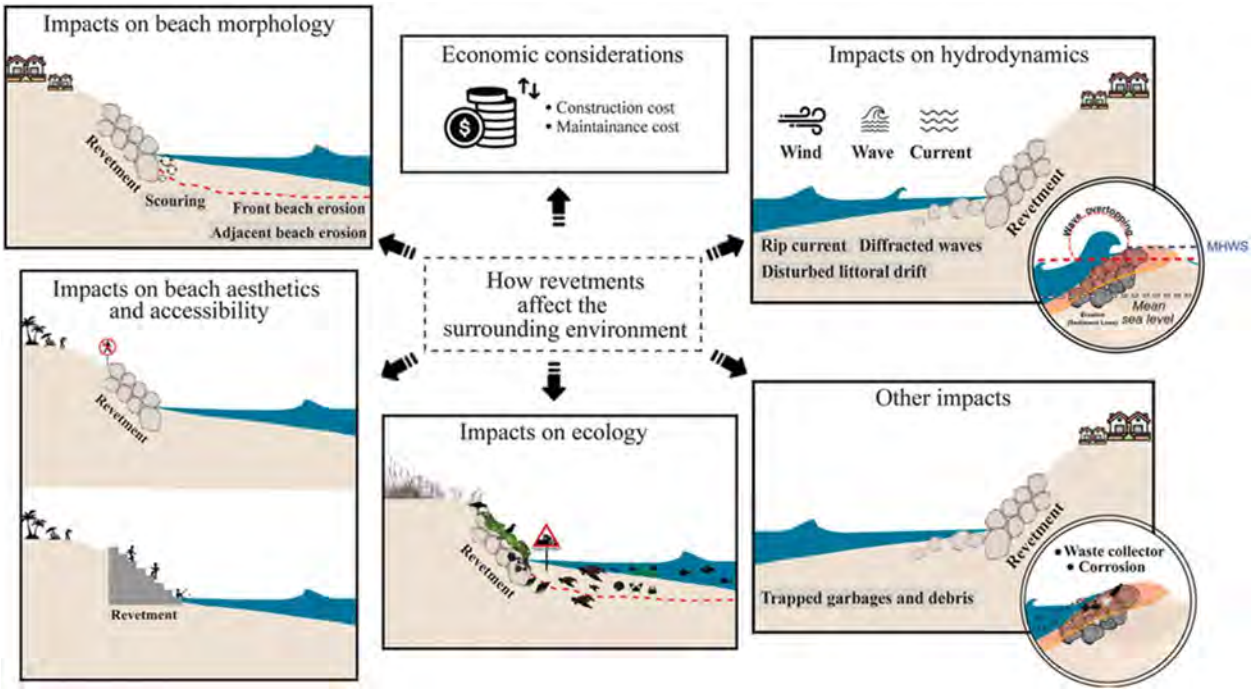


Figure 5-2 Exemples d'impacts environnementaux des ouvrages de revêtements pour la protection du littoral **(Sanitwong-Na-Ayutthaya et al., 2023)**

Revêtement de débris ligneux

La mise en place de débris ligneux comme alternative aux matériaux de revêtements conventionnels a gagné en popularité au courant des récentes années, particulièrement dans l'Ouest canadien. L'utilisation de billots ancrés, de troncs d'arbres ou de mottes racinaires permet d'intégrer certaines fonctions écologiques à la stratégie de protection côtière. Des résultats encourageants ont été observés dans les marais littoraux riches en sédiments et sur les avant-dunes, mais l'efficacité de cette technique pour contrôler l'érosion sur les côtes exposées fait encore l'objet de débats scientifiques et d'autres études et projets pilotes sont nécessaires (Murphy et al., 2024).

Unités préfabriquées

Les unités préfabriquées spécialisées sont des blocs artificiels, souvent en béton. Les blocs peuvent être fabriqués dans des moules ou par impression 3D. Ils peuvent également être intégrés à même la carapace des ouvrages de protection ou être déployés seuls pour favoriser la diversification de l'habitat aquatique.

Plusieurs fournisseurs ont mis au point une large gamme de solutions préfabriquées spécialisées. Le tableau suivant présente un échantillon de certaines technologies disponibles sur le marché. Les variantes se distinguent principalement par leur forme, leurs techniques de fabrication et d'installation, ainsi que leurs fonctions.

Tableau résumé:

NOM DU PRODUIT	EMPLACEMENT IDÉAL	PRINCIPAL AVANTAGE	INCONVÉNIENT	IMAGE
ACCROBERM™	Pied de l'enrochement	Économie d'espace (empiètement) Peut remplacer des pierres de calibres excessifs	S/O	
ACCROPODE™	Dans la berge	Meilleur coefficient de stabilité qu'un enrochement traditionnel	Approvisionnement plus compliqué (moulés)	
XBlocPlus	Dans la berge	Meilleur coefficient de stabilité qu'un enrochement traditionnel	Demande plus d'efforts à l'installation	

5.2.3 Conditions optimales pour utiliser cette approche

Les revêtements sont adaptés aux contextes suivants :

- Sites où l'espace disponible et un certain empiètement sur le littoral permettent un reprofilage de la pente

- Secteurs où une protection immédiate est requise
- Zones où la dissipation de l'énergie des vagues est prioritaire
- Sites facilement accessibles pour la maintenance

5.2.4 Conditions pouvant freiner l'utilisation de cette approche

L'utilisation des revêtements n'est pas recommandée dans les situations suivantes :

- Présence d'habitats et de milieux naturels sensibles à préserver
- Sites difficiles d'accès
- Zones de forte accumulation de débris
- Secteurs à vocation récréative nécessitant un accès facile à l'eau
- Sites où l'intégration paysagère est prioritaire

5.2.5 Paramètres à considérer lors de la conception

Les principaux éléments à évaluer incluent :

- Conditions hydrodynamiques (hauteur et période des vagues, niveaux d'eau)
- Nature et capacité portante des sols de fondation
- Pente et stabilité du talus
- Caractéristiques des matériaux (calibre, forme, densité)
- Protection contre l'affouillement en pied d'ouvrage
- Transitions avec les secteurs adjacents
- Drainage adéquat derrière la structure
- Facilité d'entretien et d'accès pour les réparations

5.2.6 Exemples de réalisations à l'extérieur du lac Saint-Jean

L'utilisation des revêtements pour la protection côtière est l'une des techniques les plus répandues mondialement. Les perrés de pierres sont souvent la solution la plus économiques et la plus accessible.

En Asie, les unités de béton préfabriquées et les blocs non imbriqués sont couramment utilisés afin de réduire les coûts par volume. Les retours d'expérience montrent cependant une vulnérabilité importante aux conditions climatiques sévères et une résilience moins grande de ces systèmes si quelques unités sont endommagées (Mangor et al., 2017). L'utilisation de matériaux géosynthétiques est aussi fréquemment observée dans les endroits où la disponibilité de pierres

est limitante. Cette alternative offre aussi l'avantage de pouvoir être installés avec des équipements relativement simples. Ces structures ont généralement une durée de vie plus faible et peuvent altérer significativement l'esthétique du site d'intervention (voir figure ci-dessous).

Figure 5-3 Exemples de revêtements en géotubes au Bangladesh (à gauche) et en blocs de béton non imbriqués en Malaisie (à droite) **(Mangor et al., 2017)**

5.2.7 Ce qui se fait au lac Saint-Jean

Les revêtements, particulièrement les perrés dynamiques, se sont avérés relativement bien adaptés aux conditions locales du lac Saint-Jean par le passé. Quelques interventions du PSBLSJ utilisant des pierres de diamètres de 25 à 150 mm et des pentes de 1V:10H ont également donné de bons résultats dans certains secteurs, particulièrement dans les zones de plus faible énergie comme les baies et les embouchures de rivière (WSP Canada, 2015). Cette technique peut offrir un compromis adéquat entre l'efficacité de protection des rives et les coûts de réalisation.

Ces ouvrages peuvent également être facilement conciliés avec des techniques de végétalisation. Toutefois, comme pour toute intervention structurale dans le littoral, les impacts potentiels sur le milieu naturel doivent être soigneusement évalués lors de la sélection de cette approche.

Il est à noter que les gabions ont été employés entre les années 1988 et 1991 et son utilisation a cessé depuis, en raison des conditions d'exposition sévères (vagues, glace, débris) observées au lac Saint-Jean qui affectent grandement leur durabilité. Une partie du gabion implanté entre 1988 et 1991 a d'ailleurs été remplacé par des perrés.

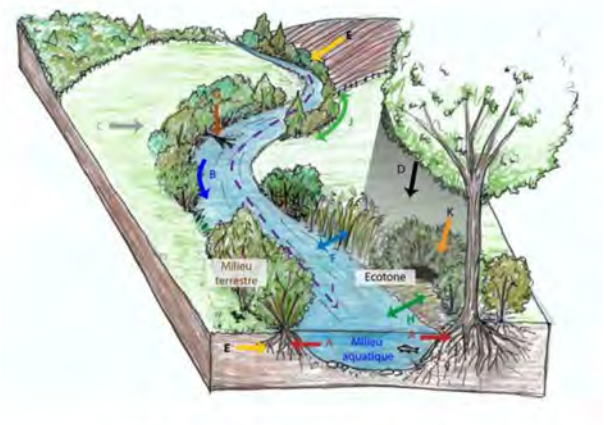
5.3 Techniques mixtes, végétalisation des ouvrages et phytotechnologies

5.3.1 Description sommaire de l'approche

L'incorporation de végétaux dans les ouvrages de génie civil traditionnels s'est fortement popularisée durant la dernière décennie. À cet effet, différentes techniques existent pour favoriser la présence de végétation en berge aménagée, soit la végétalisation des ouvrages existants, les techniques mixtes et les phytotechnologies. Le choix des différentes variantes repose principalement sur le rôle attendu des végétaux (esthétisme, stabilisation des sols, habitats fauniques, etc.) et les contraintes du site. L'application de végétaux n'est pas possible dans tous les aménagements, mais devrait être systématiquement considérée lors de la phase de conception d'un projet.

Fonctions écologiques

Les fonctions écologiques de la végétalisation des berges aménagées sont nombreuses et sont illustrées à la figure suivante.



Rôle de la ripisylve et interactions avec la rivière

***A** : Protection physique de la berge, abris, caches*
***B** : Régulation des crues par dissipation de l'énergie du courant*
***C** : Effet brise-vent*
***D** : Ombrage des eaux*
***E** : Barrage à la pollution agricole, élimination des nitrates, fixation des phosphates*
***F** : Echanges avec les aquifères*
***G** : Production de matière organique*
***H** : Echanges entre écosystèmes terrestres et aquatique*
***I** : Effet corridor*
***J** : Structure guide pour la faune terrestre et ailée*
***K** : Refuge*

Figure 5-4 Exemples de fonctions écologiques fournies par la végétalisation des berges (ESWEG[44])

[44] http://www.genie-vegetal.eu/page/33/2--pourquoi-privilegier-la-bio-ingenierie--les-techniques-douces-ou-mixtes--.htm

Plus précisément, la végétation en berge permet de :

- Protection physique de la berge, abris, caches, refuges pour animaux et insectes

Les racines des végétaux contribuent à fixer le substrat des berges contre l'érosion, comparativement à un sol nu. Les racines peuvent également créer des espaces creux servant d'abris ou de cache pour la petite faune et l'ichtyofaune.

- Échanges avec les aquifères;

La présence d'un système racinaire sain favorise l'infiltration des eaux et le maintien de l'humidité du sol en période sèche.

- Régulation des crues par dissipation de l'énergie du courant : non applicable en milieu côtier.
- Production de matière organique;

En mourant, les végétaux laissent au sol des résidus de matière organique résultant de la fixation du dioxyde de carbone dans l'air. La matière organique participe à enrichir le sol et donc à la santé de la végétation en place.

- Effet brise-vent;

Dans des milieux où le substrat du sol est composé de sable ou de matières fines, le vent peut causer le recul des berges exposées par érosion éolienne. Les herbacées au sol protègent les sols en les protégeant en partie des vents, et en captant les particules de sables en mouvement. Les autres strates de végétaux (arbustes et arbres) agissent comme une barrière afin de ralentir le vent.

- Échanges entre écosystèmes terrestres et aquatiques;
- Ombrage des eaux;

La canopée des végétaux crée de l'ombrage au sol, ce qui contribue à diminuer la température locale des eaux. Les eaux froides sont plus oxygénées que les eaux chaudes, et les zones d'ombres sont appréciées par la faune lors des journées chaudes. Cette caractéristique est d'autant plus importante en bord de rive puisque c'est la section habituellement la plus chaude d'un lac dû à la faible profondeur.

- Effet corridor;
- Barrage à la pollution agricole, élimination des nitrates, fixation des phosphates;

Lorsqu'il pleut, les eaux qui ruissellent peuvent capter différents polluants (souvent fixés aux sédiments) et les emmener vers les plans d'eau. Les végétaux aident à capter ces polluants en fixant les sédiments contaminés sur place.

- Structure guide pour la faune terrestre et ailée;

Les arbres procurent des espaces de repos et de nidification pour les oiseaux, et des sources de nourriture pour certaines espèces produisant des fruits ou des graines.

5.3.2 Variantes d'aménagement

Trois variantes d'aménagement sont présentées ci-dessous : la végétalisation, les phytotechnologies et les ouvrages mixtes.

Végétalisation

La végétalisation consiste à planter des végétaux sur l'ouvrage de stabilisation existant ou dans son environnement immédiat. Cette technique est principalement d'ordres esthétique et environnemental puisqu'elle n'a pas d'incidence sur la stabilité de l'ouvrage. Par végétalisation, on entend la plantation d'espèces indigènes en bordure d'un aménagement côtier traditionnel, et/ou au-dessus de la limite de remontée des vagues. La végétalisation d'un ouvrage augmente l'attractivité du secteur pour les riverains (esthétisme) et permet, lorsqu'une planification réfléchie et informée est effectuée en amont, la création d'habitats potentiels. Les secteurs végétalisés peuvent également être utilisés par la faune et l'ichtyofaune comme abris et source de nourriture, et leur implantation favorise la santé biologique de la bande riveraine. La canopée qui peut se développer peut aussi favoriser le maintien de températures plus fraiches sur la rive en créant des zones d'ombrage.

Plusieurs techniques peuvent être utilisées pour la plantation de végétaux :

- Plantation en PFD ou en pots;
- Ensemencement à la volée ou hydraulique à l'aide de mélanges spéciaux de semences adaptées en bandes riveraines.

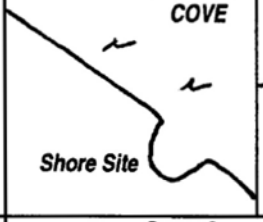
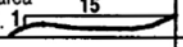
Figure 5-5 Riverains participant au programme de revégétalisation des bandes riveraines de l'Organisme de bassin versant (OBV) Lac-Saint-Jean[45]

[45] Lancement des programmes de revégétalisation des bandes riveraines | OBV Lac-Saint-Jean

Phytotechnologies

Les phytotechnologies (ou techniques de génie végétal) se différencient de la végétalisation des ouvrages par leur objectif principal, soit celui de stabilisation de la berge sans l'utilisation de matériaux inertes. La figure 5-6 présente quelques paramètres à considérer pour juger de la viabilité de cette technique en milieu côtier. Les phytotechnologies sont toutefois plus limitées dans ce contexte à cause de leur sensibilité et des contraintes hydrodynamiques importantes. Ces limitations seront détaillées dans les sections suivantes. Le variantes d'aménagement suivantes sont considérées comme des phytotechnologies :

- Boutures;
- Fascines;
- Rangs de plançons;
- Fagots;
- Matelas de branche;
- Caissons végétalisés.

SHORE VARIABLES	DESCRIPTIVE CATEGORIES						RECORD SCORE HERE
FETCH - AVERAGE Average distance of open water, measured perpendicular to the shore and 45° to either side of perpendicular.	Score: 0 LESS THAN 3.0 Km. (1.8 Mi.)	Score: 2 3.1 Km. (1.9 Mi.) TO 6.0 Km. (3.7 Mi.)	Score: 4 6.1 Km. (3.8 Mi.) TO 9.0 Km. (5.6 Mi.)	Score: 6 9.1 Km. (5.7 Mi.) TO 12.0 Km. (7.5 Mi.)	Score: 8 12.1 Km. (7.6 Mi.) TO 15.0 Km. (9.4 Mi.)	Score: 10 GREATER THAN 15.0 Km. (9.4 Mi.)	
FETCH - LONGEST Longest distance of open water measured perpendicular to the shore or 45° to either side of perpendicular.	Score: 0 LESS THAN 4.0 Km. (2.5 Mi.)	Score: 2 4.1 Km. (2.6 Mi.) TO 8.0 Km. (5.0 Mi.)	Score: 4 8.1 Km. (5.1 Mi.) TO 12.0 Km. (7.5 Mi.)	Score: 6 12.1 Km. (7.6 Mi.) TO 16.0 Km. (10.0 Mi.)	Score: 8 16.1 Km. (10.1 Mi.) TO 20.0 Km. (12.6 Mi.)	Score: 10 GREATER THAN 20.0 Km. (12.6 Mi.)	
SHORELINE GEOMETRY General shape of the shoreline within 200 meters (680 feet) on either side of the site.	Score: 0 		Score: 2 		Score: 4 		
SHORELINE SLOPE Slope of the planting area (vertical to horizontal). 	Score: 0 GRADUAL 1 TO 15 OR LESS			Score: 4 STEEP MORE THAN 1 TO 15			
SEDIMENT Grain size of sediments.	Score: 0 SILT & CLAY	Score: 2 FINE SILT	Score: 4 MEDIUM SAND	Score: 6 COARSE SAND	Score: 8 GRAVEL		
BOAT TRAFFIC Proximity of site to navigation channels for large vessels or small recreational craft.	Score: 0 NO NAVIGATION CHANNEL WITHIN 1 KILOMETER (0.6 MILES)		Score: 8 NAVIGATION CHANNEL WITHIN 1 KILOMETER (0.6 MILES)		Score: 16 NAVIGATION CHANNEL WITHIN 100 METERS (330 FT)		
WIND The orientation of the site in relation to local winds.	Score: 0 SHELTERED FROM WIND		Score: 4 DOES NOT FACE INTO THE PREVAILING WINDS OR FREQUENT STORM WINDS		Score: 8 FACES INTO THE PREVAILING WINDS OR FREQUENT STORM WINDS		
CUMULATIVE WAVE CLIMATE SCORE (Total of row scores):							

SCORE
= 1 to 10: Use sprigs at 3-foot spacings in 10-foot (minimum) zones.
= 11 to 20: Use sprigs or 15-week seedlings at 1.5-foot spacings in 10-foot (minimum) zones.
= 21 to 30: Use 5-7 month seedlings or plugs at 1.5-foot spacings in 20-foot (minimum) zones.
= above 30: Do not plant.

Erosion Potential Increasing

Figure 5-6 Lignes directrices pour évaluer la viabilité des phytotechnologies **(Tip of the Mitt Watershed Council, 2007).**

Techniques mixtes

Finalement, les techniques mixtes consistent à incorporer les phytotechnologies à même les solutions conventionnelles telles que les perrés ou les caissons. Cette combinaison permet de concilier les objectifs premiers des ouvrages de protection (atténuation des vagues, rétention des sédiments, stabilisation de talus) tout en offrant les bienfaits sur le milieu naturel qui sont propres aux phytotechnologies.

Parmi les variantes d'aménagement, plusieurs compagnies (Texel, Macaferri, Envirolok) offrent des technologies permettant d'aménager des murs de soutènement utilisant des matrices de géotextile ou de gabions.

Figure 5-7 Enrochement du pied de berge jumelé à des sacs Envirolok ® sur la partie moins sollicitée **(source : Envirolok, lac Geneva).**

Figure 5-8 Exemple du système Terramesh ® **(source : Maccaferri).**

Des rangs de plançons peuvent être aussi être installés au travers d'un enrochement existant entre les couches de pierre, ce qui permet de végétaliser la zone entre le niveau moyen et le niveau de période de retour de 2 ans. Autrement, le haut de la berge enrochée peut être stabilisé à l'aide de fascines, de fagots ou même de matelas de branche.

Figure 5-9 Aménagement de lits de plançons à travers un enrochement conventionnel **(source : Terra Erosion).**

5.3.3 Conditions optimales pour utiliser cette approche

Pour la végétalisation, le choix approprié de végétaux en fonction des caractéristiques du milieu est l'un des facteurs de réussite les plus critiques pour l'implantation pérenne. La Figure 5-10 illustre la stratification végétale typique d'un mur de soutènement Envirolok. Le positionnement des espèces se fait en fonction du gradient d'humidité du sol : en haut de talus, on retrouve des plantes adaptées aux milieux xériques tandis qu'en se rapprochant du niveau d'eau, les espèces choisies présentent une affinité croissante pour les sols humides. La tolérance à l'ombre, le type de substrat et le niveau de rusticité doivent également être pris en compte dans la sélection des espèces de bande riveraine pour maximiser le taux de survie de celles-ci. Le Programme de stabilisation des berges du lac Saint-Jean s'est d'ailleurs doté d'une liste de plantes indigènes pouvant être consultée en ligne[46].

[46] https://energie.riotinto.com/liste-des-vegetaux/

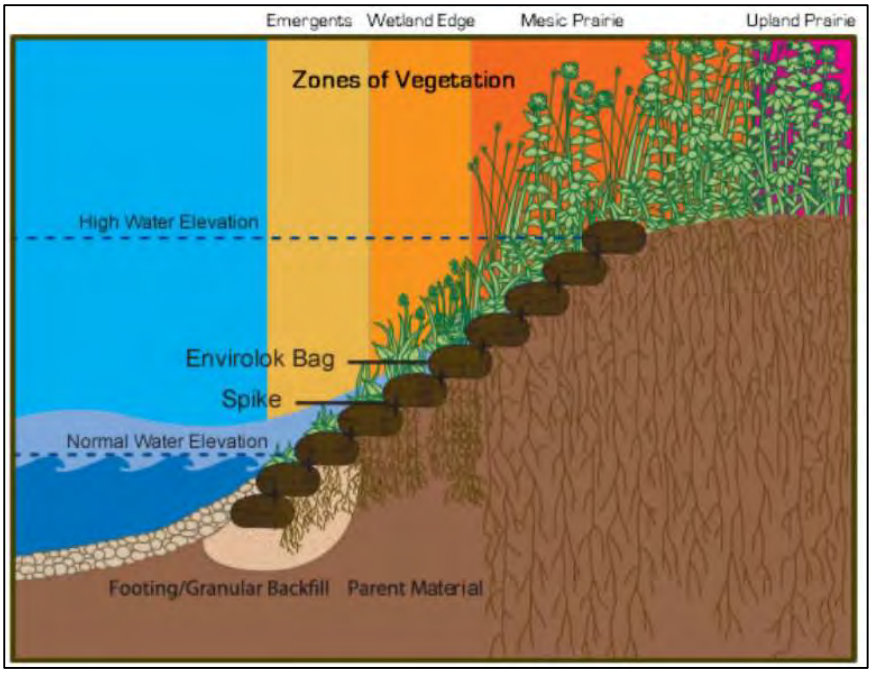


Figure 5-10 Coupe type de mur de soutènement végétalisé Envirolok ®.

Si la végétalisation est prévue pour un projet situé sur des résidences privées, la consultation des propriétaires est nécessaire à la réussite du projet, car ceux-ci assumeront la majorité des travaux d'entretien et risquent de couper les végétaux s'ils ne sont pas en accord avec leur présence sur leur propriété.

Pour le génie végétal, la figure 5.7 montre que les conditions de réussite pour l'implantation sont un court fetch, des berges qui sont protégées du vent et enclavées dans une baie (faiblement sollicitées par l'action des vagues), avec des sédiments naturels dont la granulométrie est petite et pour lesquelles le transport maritime est nul à moins de 1 kilomètre de la rive. Peu de sites au Lac-Saint-Jean présentent les caractéristiques nécessaires pour une bonne implantation du génie végétal puisque la plupart des berges font face à des longueurs de fetch de plusieurs dizaines de kilomètres. Cependant, l'option pourrait être étudiée de façon expérimentale pour des secteurs situés dans des baies et à proximité de milieux humides. Le tableau suivant présente la résistance aux contraintes tractrices des différents types de génie végétal.

Tableau 5.1 Contraintes tractrices calculées pour des crues données pour diverses techniques de génie végétal.

Technique		Contrainte tractrice [N/m^2]		
		À la réalisation	**1 à 2 ans après**	**3 ou 4 ans après**
Enherbement		4[3]-20[3]	25-30[3]	30[3]-100[2]
Boutures		10[3]	60[3]-150[1]	60[3]-165[1]
Boudin d'hélophytes		10[3]-30[2]	20-30[3]	50[3]-60[1]
Clayonnages		10[2,3]	10-15[3]	10[3]-120[1]
Fascines		20[3]-60[2]	50[3]-60[3]	80[2]-250[4]
Saules			50-70[4]	100-140[4] 800 (20 ans)[4]
Plantation d'arbre		20[2]		120[2]
Lit de plants et plançons		20[2,3]	120[3]	140[2,3]
Couche de branches à rejet		50[2,3]-150[3]	150[3]-300[3]	300[2,3]-450[3]
Caissons végétalisés		500[3]	600[3]	600[3]
Enrochements	Végétalisés	100[3]-200[2]	100[3]-300[3]	300[2]-350[3]
	Nus	250[2]	250[2]	250[2]

1 : Faber 2004 ; 2 : Schiechtl et Stern 1996 ; 3 : Venti et al. 2003 ; 4 : Lachat 1994.[47]

[47] Voir le site 3.2.2. Résistance mécanique des ouvrages de génie végétal sur les cours d'eau de montagne | Geni'Alp

On peut observer que les caissons végétalisés sont la seule alternative à l'enrochement qui permet d'obtenir une résistance équivalente ou supérieure à la première année d'implantation.

Là où les pentes et la force érosive ne permettent pas d'utiliser uniquement des techniques végétales, le recours à un caisson végétalisé peut dont être envisagé (Figure 5-11). Le caisson peut être vertical ou oblique, ce dernier dissipant davantage l'énergie des vagues. Lors de la construction, il est important que les sols à nu soient protégés de l'érosion par une couche de pierres et une membrane. Avec le temps, le système racinaire des arbustes consolide le sol et limite la perte potentielle par érosion, à condition que le caisson ne soit pas trop sollicité par les vagues. À maturité, les arbustes couvrent la majorité de la structure. Ce type de structure demeure malgré tout particulièrement vulnérable à un lessivage graduel des matériaux mis en place à l'intérieur du caisson. L'énergie des vagues doit donc être faible afin d'assurer la pérennité de ces structures.

Le choix d'un Entrepreneur expérimenté en génie végétal est également l'un des grands facteurs de réussite puisque plusieurs spécificités doivent être respectées pour le bon fonctionnement de l'ouvrage (saison spécifique d'implantation, choix des espèces et approvisionnement, entretien, mise en place, etc.).

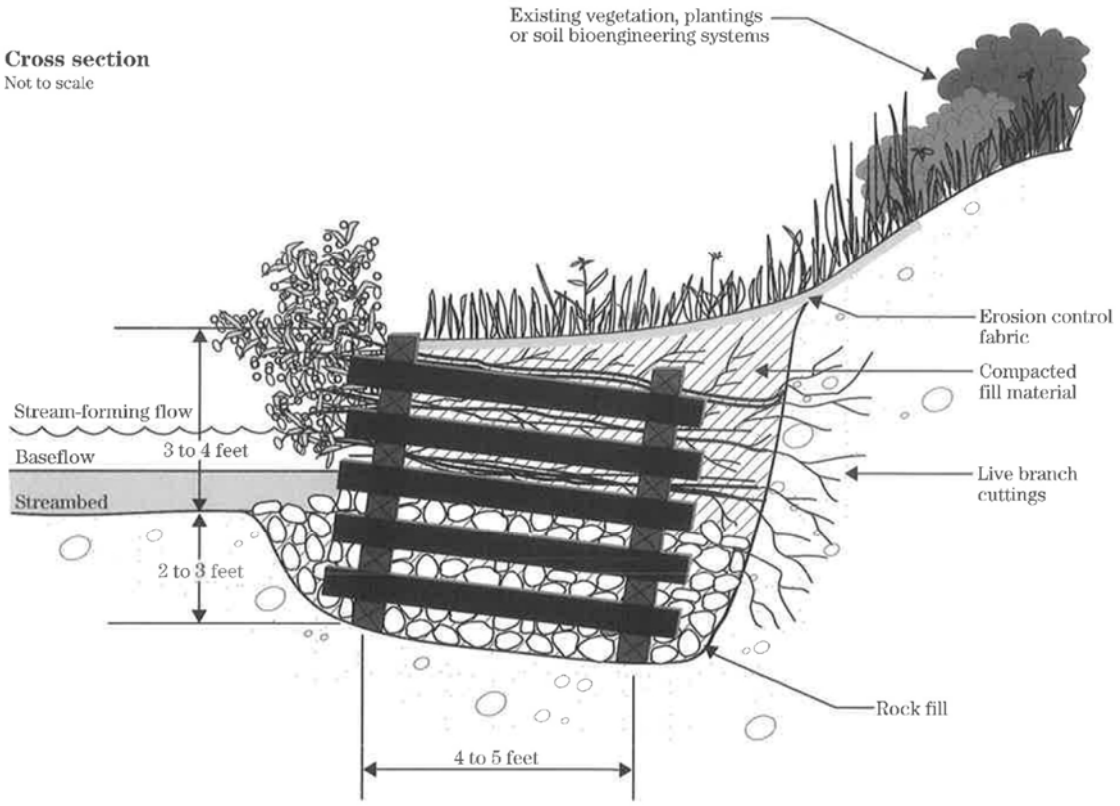


Figure 5-11 Caissons végétalisés (ADFG, 1995).

Techniques mixtes

Considérant les conditions hydrodynamiques présentes au Lac-Saint-Jean, il est préférable que la partie végétale de la technique mixte soit concentrée en haut de l'ouvrage, hors de la zone impactée le plus fortement par les vagues et/ou les hauts niveaux d'eau. Autrement, les facteurs de réussite pour la partie végétalisée sont les mêmes que ceux pour le génie végétal/végétalisation discutés ci-dessus.

5.3.4 Conditions pouvant freiner l'utilisation de cette approche

Pour la végétalisation, tel que mentionné à la dernière section, l'acceptabilité sociale est très importante pour un projet de revégétalisation de la bande riveraine derrière un ouvrage de stabilisation lorsque le projet est sur ou à proximité de résidences.

Pour le génie végétal, dû aux contraintes hydrodynamiques, l'implantation de génie végétal seul pour contrer l'érosion n'est pas possible sur la majorité des berges du lac St-Jean et ne constitue donc pas une solution viable utilisée seule. Également, l'un des principaux facteurs pouvant freiner l'utilisation de cette approche est la restriction saisonnière de cette méthode. Les saisons idéales sont l'automne et le printemps pour le génie végétal, ou l'été avec un programme d'arrosage et un entreposage frais avant l'installation au chantier. La plupart des travaux au Lac-Saint-Jean sont effectués à l'hiver, ce qui signifie qu'il n'est pas possible d'installer de génie végétal au travers de l'enrochement. La végétalisation doit être faire plus tard lors du dégel.

Finalement, pour les techniques mixtes, les contraintes de la partie végétale au-dessus de l'enrochement sont les mêmes que pour celle de la végétation.

5.3.5 Exemples de réalisations à l'extérieur du lac Saint-Jean

D'importants travaux de stabilisation des berges en milieu côtier (fleuve Saint-Laurent) ont été effectués à la plage Jacques-Cartier. Durant les travaux, achevés en 2024, près de 1300 mètres de berge ont été stabilisés à l'aide d'enrochement et de techniques mixtes, pour un total de 12M$.

Figure 5.12 Stabilisation de la Plage Jacques-Cartier à l'aide de techniques mixtes, soit un enrochement avec rangs de plaçons installés sur une matrice de bois et plantation d'arbres en haut de berge.[48]

Certains secteurs ont même servi à des bancs d'essai pour l'implantation de phytotechnologies seules. Notamment, des caissons de bois végétalisés ont été installés dans un secteur de plage tel que montré à la figure 5.13 ci-dessous.

[48] Voir le site https://www.instagram.com/arteliacanada/p/DA_MxpLPLzD/?img_index=6

Figure 5.13 Visite technique durant le projet RARE de la Plage Jacques-Cartier, stabilisation par phytotechnologies.[49]

5.3.6 Exemples de réalisations au lac Saint-Jean

Génie végétal

Lors de la période de 1996-2006, des tests de génie végétal ont été effectués sur plusieurs sites au Lac-Saint-Jean afin d'évaluer la viabilité des phytotechnologies comme technique de stabilisation. Quatre méthodes ont été testées, soient les couches de plançons, les lits de plançons, les fascines à deux pieux et les branches anti-sapes. Au total, 337 mètres linéaires de berge ont été aménagés avec des techniques végétales seules. Les zones sélectionnées pour ces tests étaient des zones dont l'énergie des vagues était réputée pour être faible. Malgré cela, dans l'espace du décret de 1996-2006, 40% du linéaire aménagé en génie végétal a dû être remplacé par des

[49] Source : https://www.projetrare.ca/post/visitetechnique6juin2024sqpulaval

techniques mixtes à cause d'une défaillance de l'ouvrage. L'importante variation du niveau du lac ainsi que l'énergie des vagues sont des facteurs très limitants pour l'utilisation du génie végétal.

Le retour d'expérience indique que cette technique pourrait tout de même être testée à nouveau dans des endroits avec moins de vagues telles que les berges des rivières se jetant dans le lac ou des baies plus calmes (figure X).

Figure 5.14 Exemple couche de plançons à Métabetchouan-Lac-à-la-Croix (Site 98.03.01) un an après les travaux, lors du décret 1996-2006.

Ouvrages mixtes/végétalisation de la crête de l'enrochement

Des tests ont également été effectués pour les ouvrages mixtes lors de la période de 1996-2006. La conclusion principale de ces essais est l'absence d'influence négative des végétaux sur la stabilité des enrochements. En effet, contrairement aux techniques de génie végétal, les ouvrages de technique mixte n'ont pas nécessité d'entretien ou de reprise des travaux pour la durée du décret.

Figure 5.15 Exemple de perré et génie végétal construit au Domaine Lévesque à Roberval (Site 2000.06.01) lors du décret 1996-2006

6 SOLUTIONS FONDÉES SUR LA NATURE

6.1 Description sommaire de l'approche

Les solutions fondées sur la nature (*nature-based solutions*, en anglais) décrivent une stratégie d'aménagement du territoire qui utilise la restauration, la conservation et la gestion des milieux naturels pour atténuer les effets des aléas climatiques, tout en tentant de s'y adapter et en favorisant la biodiversité[50]. Le terme ne réfère pas forcément aux interventions exclusivement végétales, ni à une catégorie d'ouvrages de protection ou de techniques d'intervention différente de celles présentées aux sections précédentes, mais encadre plutôt la façon dont celles-ci sont combinées et d'intégrées au milieu récepteur de manière à atteindre les objectifs de protection désirés, tout en minimisant les impacts négatifs sur l'environnement et en maximisant les co-bénéfices environnementaux et sociaux. Les solutions fondées sur la nature s'appliquent autant dans les zones de plage que sans plage.

La définition exacte des solutions fondées sur la nature demeure intentionnellement floue pour permettre la flexibilité requise pour adapter les projets aux contextes particuliers de chaque site d'intervention. Aujourd'hui, plusieurs organismes gouvernementaux et à buts non lucratifs, comme le Conseil national de recherche du Canada (MURPHY et al., 2024), Environnement et ressources naturelles Canada[51], le Corps des ingénieurs de l'Armée américaine (USACE)[52], l'Administration nationale des océans et de l'atmosphère (NOAA)[53], la fondation David Suzuki[54], l'organisme Nature-based Solutions[55], ainsi que le Centre Intact sur l'adaptation climatique (EYQUEM, 2021), ont adopté certaines nuances par rapport au principe de base pour décrire les solutions fondées d'une manière qui répond à leurs missions respectives.

Dans le contexte plus particulier de la protection des berges contre l'érosion, les auteurs trouvent que la définition suivante décrit bien l'esprit des solutions fondées sur la nature.

[50] https://www.canada.ca/fr/services/environnement/notre-environnement/solutions-climatiques-fondees-nature.html

[51] https://www.canada.ca/fr/services/environnement/notre-environnement/solutions-climatiques-fondees-nature.html

[52] https://ewn.erdc.dren.mil/about/

[53] https://coastalscience.noaa.gov/science-areas/climate-change/restoration-and-nature-based-solutions/#:~:text=Nature%2Dbased%20solutions%20involve%20the,to%20reduce%20risks%20to%20coastal

[54] https://fr.davidsuzuki.org/projet/solutions-fondees-sur-la-nature/

[55] https://www.nature-basedsolutions.com/natural-coasts

Solutions fondées sur la nature (définition proposée)

Techniques holistiques hybrides permettant d'atténuer l'érosion, tout en :

- Minimisant les impacts négatifs sur le milieu récepteur et favorisant un équilibre dynamique (flexibilité & résilience);
- Préservant le type de côte et son rôle dans le système (vision globale);
- Préservant ou bonifiant la valeur écologique des ouvrages, des rives et du littoral;
- Favorisant le maintien des écotones riverains et littoraux (processus physiques, échanges, usages par la faune et la flore, etc.).

6.2 Variantes d'aménagement

Les variantes d'aménagement peuvent prendre plusieurs formes et se déclinent généralement selon la nature des projets et les composantes optimisées pour améliorer leurs co-bénéfices environnementaux et sociaux. Dans sa forme la plus simple, un rechargement de plage (avec ou sans épis/brise-lames) peut constituer une solution fondée sur la nature si l'intervention vise la restauration d'un milieu où une plage était déjà présente et contribuait à l'équilibre dynamique du secteur élargi.

À un échelon supérieur, l'optimisation des ouvrages de protection pour maximiser leurs co-bénéfices écologiques peut aussi constituer une forme de solution fondée sur la nature, en s'appuyant sur le principe que la diversité des échelles et la complexité des aménagements favorisent la richesse des communautés écologiques. Certaines améliorations peuvent notamment être apportées aux matériaux de construction pour optimiser leur rugosité, la diversité des substrats et les bénéfices offerts par les microtopographies, qu'il s'agisse de pierres conventionnelles, d'unités préfabriquées spécialisées ou de matériaux alternatifs, comme les débris ligneux ou les matériaux « vivants ». L'intégration de formes complexes (sinuosité), d'extensions accessoires (récifs submergés, pentes adoucies) ou d'aménagements fauniques spécialisés (perchoirs et structures de nidification pour la faune aviaire, par exemple) peut également permettre d'augmenter les co-bénéfices environnementaux des ouvrages.

Enfin, dans sa forme la plus sophistiquée, les solutions fondées sur la nature visent un réaménagement élargi du territoire pour maximiser son apparence « naturelle », ainsi que ses fonctions écologiques. Des exemples de ce niveau d'intervention peuvent inclure la reproduction de la topographie et la diversité des formes locales, l'aménagement d'aires fauniques pour l'alimentation, le repos ou la reproduction des organismes aquatiques, la diversification du substrat marin, la mise en place de formes ou de supports favorisant la colonisation par la flore aquatique dans les zones périphériques aux ouvrages de protection, ainsi que l'introduction d'espèces ciblées lorsque le potentiel de colonisation naturel est faible. D'autres solutions peuvent également inclure une végétalisation accrue du rivage pour assurer une meilleure connectivité entre les milieux terrestres et aquatiques ou la création de milieux humides.

Parmi les optimisations pouvant être apportées aux ouvrages pour maximiser leurs co-bénéfices écologiques, la revue de littérature a permis d'identifier les variantes suivantes :

6.2.1 Rugosité et diversité du substrat

La porosité et la microtopographie des matériaux de construction peuvent influencer la capacité des micro-organismes, des algues et des espèces sessiles à s'ancrer et à coloniser les superficies submergées. Des choix judicieux dans le type de matériaux utilisés et leur disposition dans les ouvrages de protection peuvent ainsi augmenter les co-bénéfices écologiques des aménagements avec peu d'effort supplémentaire. L'utilisation de surfaces texturées ou l'intégration de substrats de différentes tailles sont des moyens courants pour favoriser une meilleure biodiversité.

Lorsque la pierre est le matériau de construction privilégié, certains co-bénéfices écologiques peuvent aussi être obtenus en pratiquant des altérations mécaniques sur les surfaces des blocs, de manière à créer des micro-habitats, ou en optimisant le placement des unités, de manière à maximiser les bénéfices qu'apportent les irrégularités et des microtopographies naturelles (Comité ZIP-IDLM, 2024).

Enfin, certaines lithologies de pierres peuvent également apporter des co-bénéfices indirects, selon leurs caractéristiques physiques (couleur, porosité) et chimiques (minéraux, pH). Le calcaire, par exemple, est une pierre plus pâle et poreuse que le granite, ce qui est souvent davantage utile aux espèces sessiles. Étant plus riche en calcium, aussi, ce type de pierres peut également s'avérer bénéfique pour certaines espèces de coquilles (Comité ZIP-IDLM, 2024).

6.2.2 Unités préfabriquées spécialisées

Les unités préfabriquées spécialisées sont des blocs artificiels, souvent en béton, conçus avec des formes, des textures et parfois même des additifs au mélange de béton pour maximiser les co-bénéfices écologiques ou favoriser la colonisation par les micro-organismes et les algues. Les blocs peuvent être fabriqués dans des moules ou par impression 3D. Ils peuvent également être intégrés à même la carapace des ouvrages de protection ou être déployés seuls pour favoriser la diversification de l'habitat aquatique.

Plusieurs fournisseurs ont mis au point une large gamme de solutions préfabriquées spécialisées. Le **Erreur! Source du renvoi introuvable.** présente un échantillon de certaines technologies disponibles sur le marché. Les variantes se distinguent principalement par leur forme, leurs techniques de fabrication et d'installation, ainsi que leurs fonctions.

Tableau 6.1 Exemples d'unités préfabriquées spécialisées disponibles sur le marché.

Nom du produit	Description	Images
Coastalock [1] (Fabriquant : ECOncrete)	Blocs multifonctionnels servant à la protection mécanique des rives, mais incorporant aussi des cuvettes marines ou des cavités de refuges pour la faune aquatique, selon leur orientation.	
Tide Pool Armor [2] (Fabriquant : ECOncrete)	Blocs préfabriqués permettant de conserver des cuvettes d'eau en périodes de marées basses pour soutenir les organismes aquatiques, ainsi que les usages par la faune aviaire.	
Seapods [3] (Fabriquant : Reef Design Lab)	Blocs produits par impression 3D intégrant des cuvettes marines et autres superficies pouvant être colonisés par les organismes aquatiques.	
Intertidal Reef Cubes [4] (Fabriquant : ARC Marine)	Blocs comprenant des cavités connectées et des surfaces texturées hétérogènes favorisant la biodiversité. Ils peuvent être disposés seuls ou incorporés à la carapace des ouvrages de protection.	

Nom du produit	Description	Images
Modular Sealife System [5] (Fabriquant : Reef Systems)	Récifs artificiels modulaires constitués de tubulures superposées offrant des aires de refuges, d'alimentation et de reproduction pour la faune aquatique.	
Reefblocks [6] (Fabriquant : Reefy)	Blocs offrant des cavités connectées pour la faune aquatique et des surfaces texturées favorisant la colonisation par des organismes stimulant la formation de récifs, comme les coraux et les huitres. Les blocs modulaires peuvent être assemblés selon toutes configurations désirées.	
Blocs végétalisés [7] (Concepteur : Living Habitats)	Blocs lestés avec armature enrobée de lisières en fibres de cocos ensemencées d'espèces végétales aquatiques. Les blocs favorisent la colonisation et l'épanouissement de la flore aquatique.	

1. https://econcretetech.com/blogcat/coastalock-single-layer-armor-designed-for-project-and-planet/
2. https://econcretetech.com/projects/nearshore-habitats-for-marine-life-and-coastal-birds-during-coastal-construction/
3. https://www.reefdesignlab.com/living-seawalls-boulders
4. https://arcmarine.co.uk/products/intertidal-reef-cubes/
5. https://www.reefsystems.org/projects/hengistbury-head-england
6. https://reefy.nl/science/
7. https://livinghabitats.com/project/illinois-capital-development-board-cdb-and-illinois-department-of-natural-resources-idnr-illinois-beach-state-park-shoreline-stabilization/

6.2.3 Débris ligneux et matériaux « vivants »

L'utilisation de matériaux alternatifs à la pierre et le béton offre son lot de co-bénéfices écologiques. Certains matériaux naturels identifiés dans la littérature incluent les débris ligneux, ainsi que les matériaux vivants, comme les huitres et les coraux.

Ballots de souches et de débris ligneux massifs (Rootwads & Large Woody Debris)

Les co-bénéfices offerts par les matériaux ligneux, comme les souches et les billots incluent : une diversification des aires de refuges et d'alimentation pour la faune aquatique, des fonctions bonifiées pour l'herpétofaune et les insectes, ainsi que des opportunités d'utilisation améliorées pour la faune aviaire. Le bois est également moins sensible au réchauffement par le rayonnement solaire et permet de conserver une eau plus fraiche à proximité des ouvrages.

Les ballots de souches (« rootwads » en anglais) sont une technique où des souches d'arbres sont placées perpendiculairement à la berge, avec les racines orientées vers le large, puis sont ancrées, lestées ou enfouies d'une certaine manière. Les ballots de débris ligneux massifs (« large woody debris » en anglais) sont une technique similaire, mais qui préconise davantage une disposition parallèle à la berge, avec parfois un enchevêtrement des billots. Les systèmes racinaires peuvent être conservés ou non. La Figure 6-1 présente quelques exemples d'application de ces techniques.

Dans les deux cas, l'objectif des aménagements est de former un écran contre les vagues. Les ouvrages peuvent aussi être efficaces pour favoriser une accumulation naturelle de sédiments derrière eux. Les techniques présentées sont de plus en plus répandues dans les cours d'eau (rivières, ruisseaux, etc.), où l'érosion est principalement conditionnée par les vitesses d'écoulement élevées. Leur utilisation en milieux côtiers demeure cependant moins commune. La conception des aménagements doit souvent s'appuyer sur une extension des apprentissages réalisés dans les cours d'eau, qui peuvent ne pas être pleinement représentatifs des sollicitations auxquels les ouvrages sont soumis en milieux côtiers. La durabilité des aménagements est donc plus difficile à évaluer et peut être significativement inférieure aux applications en cours d'eau. Le bois demeure également un matériau sensible à la putréfaction, surtout dans des conditions alternantes sèches-mouillées. Enfin, les retours d'expériences démontrent que le système d'ancrage est souvent maillon faible des aménagements (WILSON, 2020).

(a) (b)

Figure 6-1 (a) Exemple de ballots de souches[56] et (b) exemple de débris ligneux massifs (extrait de WILSON, 2020).

[56] https://www.fairbanksgig.com/diy-riparian-restoration

Vérins en billots (Log Jacks)

Les vérins en billots (« log jacks » en anglais) constituent une autre technique permettant de substituer une partie des éléments minéraux par des matériaux ligneux dans les ouvrages de protection des berges. Le concept prévoit l'assemblage d'une charpente tétraédrale en billots autour d'une pierre, qui sert au lestage de l'unité (Figure 6-2). Des branches ou autres végétaux peuvent ensuite être greffés à la structure pour ajouter de la complexité géométrique. Ces structures peuvent être préfabriquées dans une cour d'assemblage, puis transportées par camion au site d'intervention, où ils peuvent être placés contre la berge comme un revêtement en enrochement, ou empilées les unes sur les autres comme des îlots.

Figure 6-2 Exemple de vérins en billots (conçus par Lasalle|NHC).

Récifs de débris ligneux lestés (Log Boulder Reefs)

Les récifs de débris ligneux lestés (« log boulder reefs » en anglais) sont des assemblages constitués d'une matrice de billots et de souches, tenus ensemble par des câbles ou du cordage et lestés par de grosses pierres pour éviter qu'ils flottent. Comme avec les vérins en billots, des branches ou autres végétaux peuvent ensuite être greffés à la structure pour ajouter de la complexité géométrique. Les structures peuvent être préfabriquées dans une cour d'assemblage, puis transportées par camion au site d'intervention, où ils peuvent être assemblés sur place.

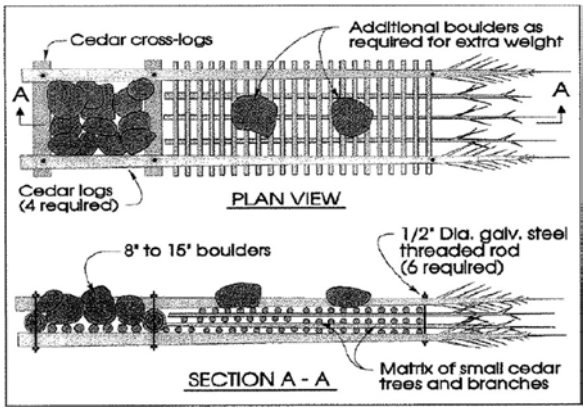


Figure 6-3 Exemple de récifs de débris ligneux lestés (extrait de Slaney et al., 1997).

Brise-lames vivants (Living Breakwaters)

Les brise-lames vivants décrivent une catégorie d'ouvrages constitués de matériaux vivants, comme les huitres et les coraux. Les structures offrent généralement une charpente ou un substrat rudimentaire de départ, qui est ensuite colonisé au fil du temps par les organismes vivants et les espèces sessiles. La croissance et la reproduction des organismes font ensuite augmenter la taille des ouvrages et croître leur capacité à atténuer les vagues. Les matériaux vivants deviennent également une composante active de l'écosystème local. Selon les conditions du milieu d'insertion, la charpente de départ peut être constituée d'éléments structuraux ou, encore, de paniers ou sacs de coquilles d'huitres. Bien entendu, ces ouvrages doivent rester submergés sous l'eau la plupart du temps pour assurer la survie des organismes biologiques et peuvent donc avoir une efficacité réduite lors de tempêtes avec des surcotes importantes ou dans des milieux avec un grand marnage (marco-tidal).

Figure 6-4 Exemple de brise-lame vivant colonisé par des huitres[57].

[57] https://medium.com/usfishandwildlifeservicenortheast/learning-from-a-living-shoreline-in-delaware-bay-bea8982b551

6.2.4 Perchoirs & structures de nidification

Les composantes favorisant l'utilisation par la faune aviaire sont une autre alternative pour améliorer les co-bénéfices écologiques des ouvrages de protection. À cet effet, certains projets récents ont vu l'incorporation de perchoirs et de structures de nidification à la crête de brise-lames. Les aménagements doivent toutefois être conçus de manière à répondre aux besoins des espèces visées, tout en évitant l'intrusion de prédateurs dans les enceintes. Dans certains cas, le déploiement de leurres peut également être requis pour accélérer l'adoption par la faune locale. À titre indicatif, les ouvrages illustrés à la Figure 6-5 sont pour des sternes caspiennes et communes dans le secteur de Chicago (lac Michigan).

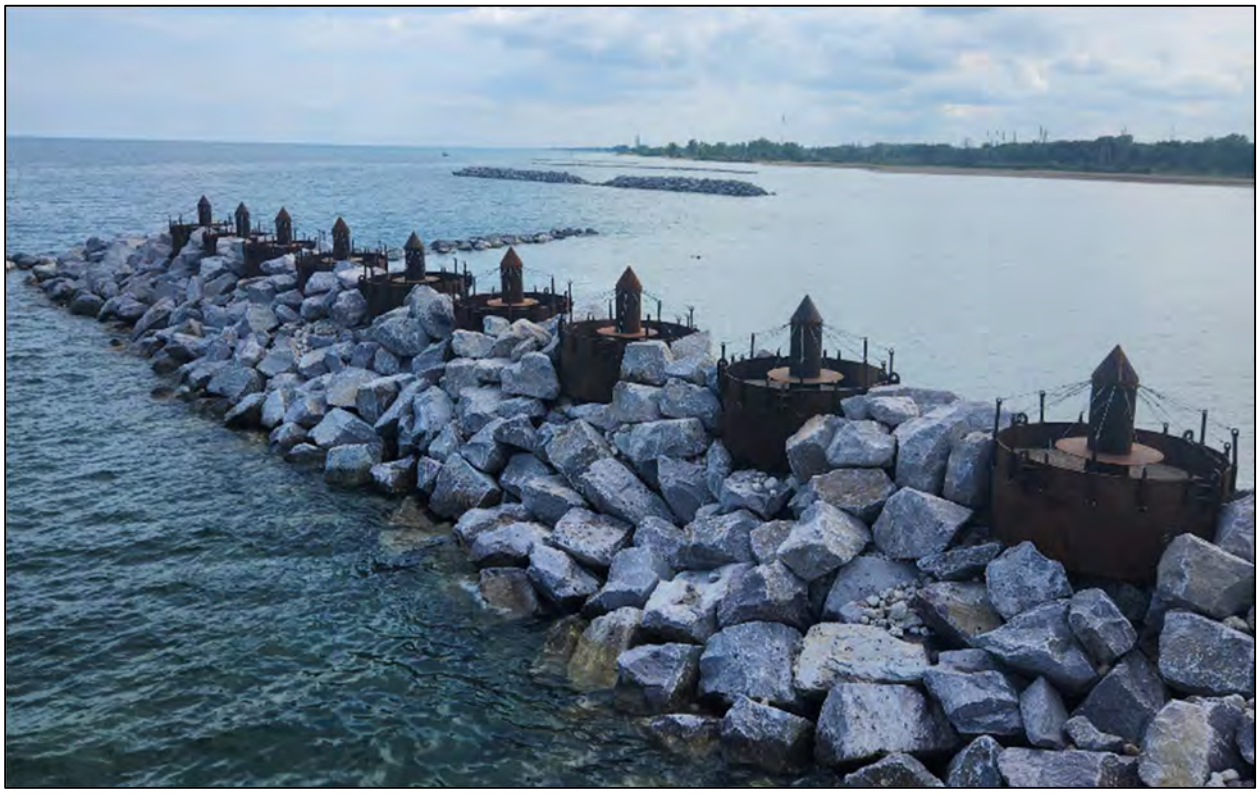


Figure 6-5 Exemple de structures de nidification pour la faune aviaire incorporées à la crête d'un brise-lame (conçues par Living Habitats, image tirée du site web de la firme[58]).

[58] https://livinghabitats.com/project/illinois-capital-development-board-cdb-and-illinois-department-of-natural-resources-idnr-illinois-beach-state-park-shoreline-stabilization/

6.2.5 Formes complexes et extensions accessoires

L'intégration de formes complexes et d'extensions accessoires constitue des optimisations qui visent la diversification du milieu périphérique aux structures (principalement les brise-lames), ainsi que l'augmentation des superficies d'habitats intertidal et subtidal. L'ajout de sinuosité (Figure 6-6) peut notamment modifier les patrons de diffraction des vagues, les courants littoraux et la dynamique hydrosédimentaire autour des ouvrages, augmentant l'hétérogénéité des conditions offertes à la faune et la flore aquatique et favorisant davantage la biodiversité. Les formes complexes peuvent également améliorer l'esthétisme des ouvrages.

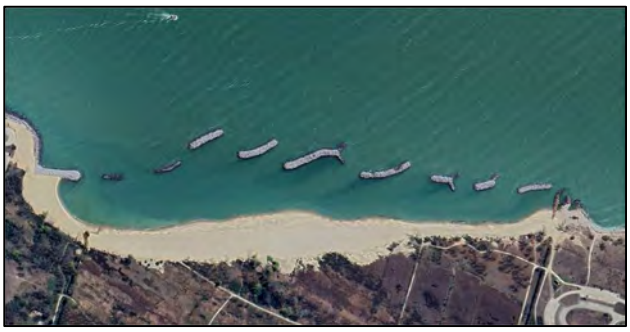
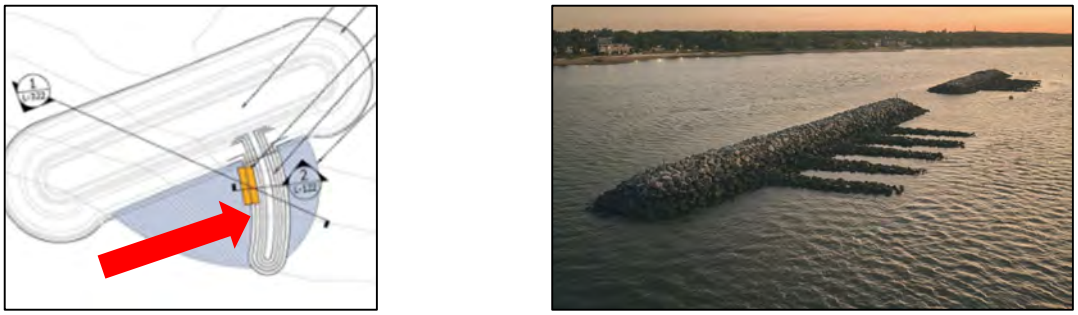


Figure 6-6 Exemple de structures ayant des formes complexes (Illinois Beach State Park, image tirée de Google Earth, 2024-04-24).

L'ajout de récifs submergés (Figure 6-7) ou de pentes adoucies à la base des brise-lames permet aussi d'augmenter les superficies d'habitats intertidal et subtidal offertes aux espèces sessiles et mobiles. Le calibre de pierres utilisées pour aménager ces extensions accessoires peut être diversifié de manière à s'adapter aux besoins des communautés de faune aquatique visées. Ces éléments peuvent cependant augmenter l'empiètement des structures dans le milieu hydrique.



(a) (b)

Figure 6-7 Exemple de récifs submergés annexés à la base de brise-lames : (a) Illinois Beach State Park[59], (b) Living Breakwater, Staten Island, NY[60].

[59] https://waterfrontalliance.org/2024/04/25/wedg-insights-the-habitat-elements-at-illinois-beach-state-park/

[60] https://www.bloomberg.com/news/features/2024-11-25/new-york-city-s-living-breakwaters-brace-for-stormier-seas

6.2.6 Berges vivantes (Living Shorelines)

Les berges vivantes (« living shorelines » en anglais) décrivent un schéma d'aménagement qui vise la restauration des bandes riveraines en recréant une transition naturelle entre les écosystèmes terrestres et aquatiques. Le fonctionnement de cette technique est présenté dans la revue de littérature effectuée par WSP en 2015.

Sommairement, le schéma d'aménagement prévoit une stabilisation de la section la plus éloignée de la rive à l'aide d'arbres et arbustes, ce qui stabilise la berge située au-dessus du niveau d'eau maximal et limite l'érosion liée au ruissellement. Dans la zone sujette aux variations des niveaux d'eau, des marais ou des plages sont aménagés pour réduire la profondeur et ainsi dissiper l'énergie résiduelle des vagues. Des plantes aquatiques sont introduites sous le niveau minimal afin de stabiliser les sédiments. La mise en place de digues ou de brise-lames peut également être requise lorsque les conditions érosives demeurent trop fortes pour l'implantation de végétaux seuls.

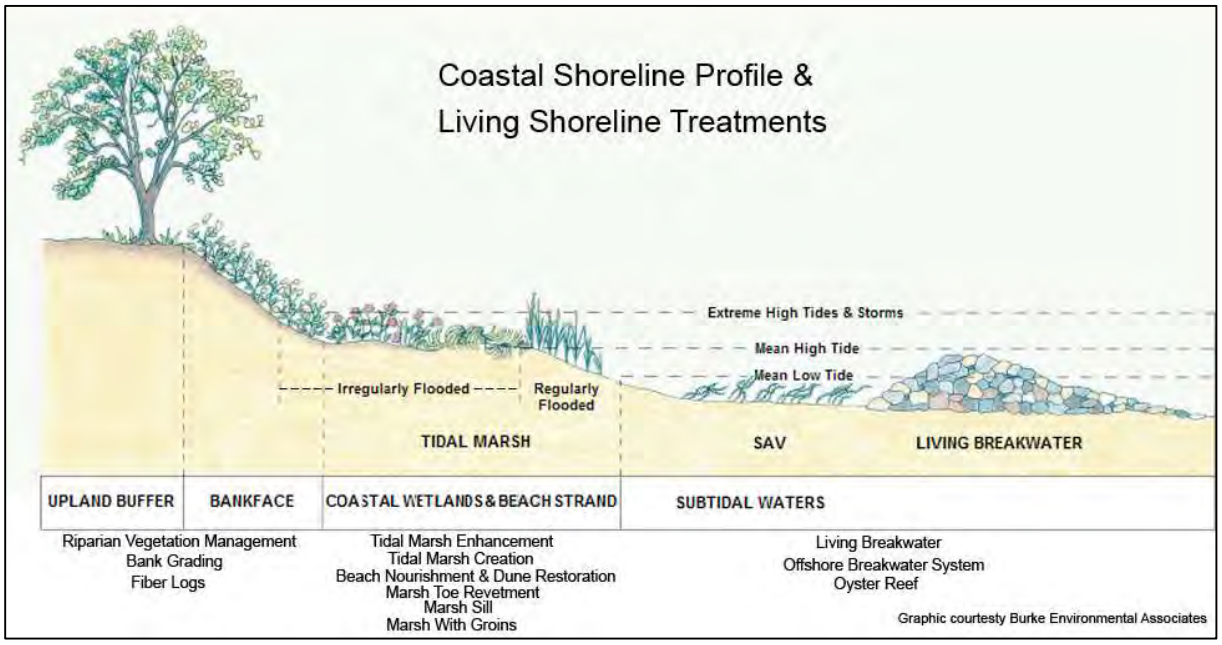


Figure 6-8 Schématisation du concept de berge vivante (extrait de WSP Canada, 2015b).

6.3 Conditions optimales pour utiliser cette approche

L'utilisation de solutions fondées sur la nature suit les courants contemporains portant sur la gestion de l'érosion côtière, qui aspirent à une approche plus holistique d'intervention permettant d'atteindre les objectifs de protection désirés, tout en minimisant les impacts négatifs sur l'environnement et en maximisant les co-bénéfices environnementaux et sociaux. La mise en place de solutions fondées sur la nature est rarement contre-indiquée et un effort raisonnable devrait être mis de l'avant par les concepteurs et les promoteurs pour s'assurer que les interventions proposées soient en harmonie avec le milieu récepteur et permettent de préserver, ou même bonifier, la valeur écologique des ouvrages, des rives et du littoral, à la hauteur de l'envergure de la problématique rencontrée.

6.4 Conditions pouvant freiner l'utilisation de cette approche

Les facteurs pouvant freiner l'adoption de solutions fondées sur la nature incluent :

- Absence de guides de conception normalisés permettant de minimiser le risque que les aménagements fauniques nuisent à l'intégrité et la fonction des structures de protection;
- Peu de retours d'expériences démontrant les gains environnementaux escomptés;
- Augmentation, dans certains cas, de l'empiètement des ouvrages dans le milieu hydrique;
- Absence d'incitatifs réglementaires permettant de valoriser les bonifications écologiques apportées aux aménagements dans le cadre du processus d'autorisation environnementale;
- L'hétérogénéité accrue des matériaux et les exigences quant à leur orientation finale peuvent nécessiter un encadrement plus serré des travaux pour assurer une sélection et une mise en place conforme aux exigences des documents techniques;
- Coûts plus élevés.

De plus, pour être cohérente avec l'esprit écologique des solutions fondées sur la nature, la conception des aménagements doit aussi faire preuve d'un certain opportunisme pour valoriser les matériaux disponibles localement. L'utilisation de souches et de débris ligneux, par exemple, ne devrait pas se faire au détriment d'arbres sains et pérennes, mais plutôt permettre de valoriser des matériaux déjà morts ou abattus pour d'autres motifs. L'utilisation d'unités préfabriquées spécialisées peut quant à elle nécessiter une coordination plus étroite avec les fournisseurs locaux, ainsi que des quantités minimales afin de profiter d'économies d'échelle.

6.5 Paramètres à considérer lors de la conception

Au niveau technique, les paramètres de conception diffèrent peu de ceux présentés aux sections précédentes. L'optimisation des composantes fauniques nécessite cependant une synergie entre les concepteurs techniques et les spécialistes environnementaux afin de s'assurer que les aménagements répondent aux besoins des organismes ciblés. Le perfectionnement des techniques peut aussi nécessiter la réalisation de projets pilotes et de suivis permettant de documenter les apprentissages.

Le guide canadien de conception pour les infrastructures fondées sur la nature récemment publié (Murphy et al., 2024) offre quant à lui un cadre assez exhaustif permettant d'en apprendre davantage sur les aspects techniques. Son chapitre 3 présente notamment plusieurs ressources contemporaines particulièrement adaptées au contexte canadien, telles que :

- Solutions fondées sur la nature pour la gestion des risques d'inondation et d'érosion des zones côtières et riveraines (Vouk et al., 2021)
- Boîte à outils d'adaptation côtière (CLIMAtlantic, 2023)61
- Solutions pour améliorer la résilience des milieux humides côtiers des Grands Lacs (Environnement et Changement climatique Canada, 2022)
- Pratiques exemplaires pour l'adaptation intégrée aux changements climatiques dans les collectivités côtières canadiennes (Lemmen, 2023)

[61] https://climatlantic.ca/fr/adaptation-cotiere/

6.6 Exemples de réalisation à l'extérieur du lac Saint-Jean

Plusieurs initiatives ont été mises en place pour tenter de centraliser les connaissances sur les solutions fondées sur la nature et diffuser les apprentissages. L'organisme Nature-Based Solutions propose notamment un inventaire cartographique de différents projets réalisés dans le monde[62]. L'association Zones côtières Canada organise et partage quant à elle plusieurs webinaires[63] via ses différentes communautés de pratiques[64]. Le Corps des ingénieurs de l'armée américaine offre aussi un répertoire en ligne consignant plusieurs outils et ressources consacré aux solutions fondées sur la nature (Engineering with Nature)[65]. Enfin, l'association américaine pour la conservation des plages et des berges (ASBPA) propose un palmarès annuel[66] de projets se distinguant dans leurs approches pour mettre en valeur les solutions fondées sur la nature.

Certains projets identifiés à l'aide de ces ressources illustrent de façon éloquente comment les solutions fondées sur la nature sont utilisées pour adresser les problématiques d'érosion côtière.

Brandenburg Park[67,68] (construction 2020-2021)

Le parc Brandenburg se trouve sur les rives du lac Saint-Clair, dans le comté de Chesterfield au Michigan. Initié par la défaillance d'un mur de soutènement en palplanches, le projet a permis la restauration d'environ 225 m de rivage et près de 13 000 m² d'habitat aquatique. Le projet incluait la construction de quatre brise-lames submergés pour atténuer l'énergie des vagues, l'aménagement de plateformes submergées pour favoriser la colonisation et la croissance du céleri sauvage (*Vallisneria americana*), la plantation de végétaux aquatiques et émergés servant à l'alimentation et la fraie de la faune aquatique et de la sauvagine, ainsi que la végétalisation du rivage (Figure 6-9). La qualité du milieu a également été bonifiée en ajoutant des souches lestées aux plateformes submergées, en excavant des cuvettes de profondeurs variables et en plaçant des monticules de pierres à des endroits stratégiques servant aux poissons et à l'herpétofaune.

Un suivi comparant la qualité du milieu avant (2019) et après (2021) la construction a permis de faire les constats suivants (Commission des Grands Lacs, 2021) :

- La diversité végétale a fortement augmenté, avec 92 espèces herbacées recensées après les travaux contre 21 auparavant, et la superficie occupée par la Vallisneria americana a plus que doublé.

[62] https://www.nature-basedsolutions.com/

[63] https://www.youtube.com/@coastalzonecanadaassociation

[64] https://coastalzonecanada.org/nbcs/

[65] https://ewn.erdc.dren.mil/

[66] https://asbpa.org/about-us/awards-program/

[67] https://www.glc.org/work/priorityareas/brandenburg

[68] https://www.youtube.com/watch?v=9uz_Wilg0kY

- Le retrait du mur de soutènement a permis l'émergence de plusieurs espèces indigènes issues du réservoir de graines naturel présent dans le sol remanié. La qualité floristique, mesurée par l'indice FQI, a connu une nette progression. Quelques espèces envahissantes, dont le Phragmites australis, ont toutefois été observées en faible quantité.
- 21 espèces de poissons ont été recensées après les travaux, contre 19 avant. Les populations de perchaudes noires et de crapet-soleils ont respectivement augmenté de 95 % et 237 %, principalement grâce à une hausse des juvéniles. Le nombre total de poissons capturés a augmenté de 83,6 %.
- Augmentation de 450 % de l'abondance des oiseaux et un indice de valeur de conservation en hausse de 369 %. Le site joue désormais un rôle important comme halte migratoire, et l'observation de nombreuses espèces associées aux milieux humides et littoraux témoigne du succès écologique du projet.

Figure 6-9 Projet de restauration du littoral par Brandenburg (image extraite du webinaire offert par l'Association Coastal Zone Canada[69]).

[69] https://www.youtube.com/watch?v=9uz_Wilg0kY

Illinois Beach State Park[70,71] (construction 2023-2024)

Le projet de stabilisation au Illinois Beach State Park se trouve sur les rives du lac Michigan et avait pour objectif de freiner l'érosion de la plage du dernier secteur non développé du Parc. Ce projet a été nommé le meilleur projet de restauration de plage en 2024 par l'association américaine pour la conservation des plages et des berges (ASBPA)[72]. Il a aussi été le premier projet dans les Grands Lacs à obtenir la certification WEDG (Waterfront Edge Design Guideline)[73,74], qui est une norme américaine permettant d'évaluer les projets d'aménagements côtiers en termes de leur résilience, leur capacité à préserver les fonctions écologiques milieu et assurer l'accessibilité au plan d'eau.

Le projet incluait la construction de 22 brise-lames sur 3,5 km de littoral, ainsi qu'un rechargement de plage avec 330 000 m^3 de sable. Plusieurs aménagements écologiques ont également été intégrés aux ouvrages pour favoriser la biodiversité aquatique et terrestre, comme :

- **Récifs submergés** offrant des refuges pour des espèces comme la perchaude et le necture tacheté;
- **Structures de nidification** pour les sternes caspiennes et communes;
- **Blocs végétalisés** faits à partir de blocs de béton récupérés pour encourager la croissance d'espèces floristiques submergée et protéger les jeunes poissons;
- **Récupération de débris ligneux** sur la côte environnante pour créer une barrière naturelle entre la plage et les milieux humides;
- **Connectivité accrue** entre la plage et les habitats humides, favorisant la nidification du pluvier siffleur, une espèce en péril.
- **Restauration d'un sentier pédestre** le long de l'avenue Burnet, avec préservation des points de vue sur le lac.

Le projet a permis de créer plus de 200 000 m^2 de plages, environ 73 000 m^2 d'habitat aquatique rocheux (à même les brise-lames) et près de 4 500 m^2 d'habitats aquatiques « indépendants ».

[70] https://www.youtube.com/watch?v=NzOS6nDqqAo

[71] https://www.youtube.com/watch?v=w-8o10uTC0U

[72] https://asbpa.org/2024/05/24/asbpa-announces-2024-best-restored-beaches/#:~:text=ASBPA%20Executive%20Director.-,The%20Illinois%20Beach%20State%20Park%20Shoreline%20Stabilization%20in%20Zion%2C%20Illinois,park%20infrastructure%20and%20critical%20habitats.

[73] https://waterfrontalliance.org/2024/04/25/wedg-insights-the-habitat-elements-at-illinois-beach-state-park/

[74] https://waterfrontalliance.org/2024/02/22/wedgs-first-freshwater-project-illinois-beach-state-park-shoreline-stabilization-project/

Figure 6-10 Projet de restauration du littoral au Illinois Beach State Park (panneau du haut, image extraite du site LinkedIn de l'ASBPA[75]; panneau du bas, image extraite d'une présentation du Illinois Capital Development Board[76].

[75] https://www.linkedin.com/posts/american-shore-%26-beach-preservation-association_bestrestoredbeach-bestrestoredbeach-greatlakes-activity-7201669914082820097-GJcs?utm_source=share&utm_medium=member_desktop

[76] https://cdb.illinois.gov/projects/illinois-beach-state-park-shoreline-stabilization.html

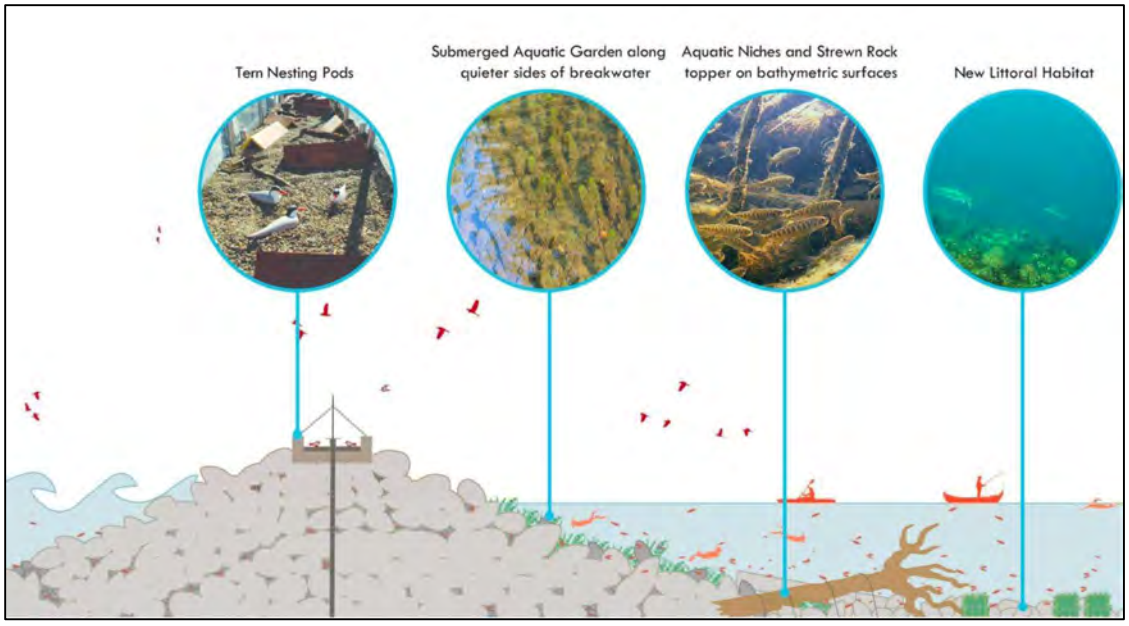


Figure 6-11 Exemples des bonifications écologiques apportées aux ouvrages de protection du Illinois Beach State Park (image extraite de la page web du Waterfront Alliance[77]).

[77] https://waterfrontalliance.org/2024/02/22/wedgs-first-freshwater-project-illinois-beach-state-park-shoreline-stabilization-project/

Fort Smallwood Park[78] (construction 2022-2024)

Le parc Fort Smallwood est situé sur les rives de la rivière Patapsco, dans la région de Pasadena au Maryland. La restauration des berges dans ce secteur a fait usage d'une gamme variée de techniques de stabilisation du littoral adaptées aux conditions du site et aux objectifs du projet, comme les berges vivantes, les perrés, les brise-lames et les rechargements de plage. Des plateformes surplombant les perrés de protection ont également été aménagées pour faciliter l'accès à l'eau pour les pêcheurs, ainsi que les personnes à mobilité réduite. Plus de 180 arbres et 85 arbustes indigènes ont également été plantés.

Le projet est arrivé en tête du palmarès 2024 de l'association américaine pour la conservation des plages et des berges (ASBPA) pour la restauration de zones de berges[79], notamment pour sa capacité à augmenter la résilience du littoral, améliorer la qualité de l'environnement et bonifier les usages récréatifs du littoral.

> *« Le projet incarne la notion que de nombreux objectifs différents, même ceux qui sont parfois contradictoires, peuvent être atteints grâce à une planification holistique, une conception minutieuse, une construction attentionnée et une coordination efficace et soutenue. »* - ASPBA

Figure 6-12 Projet de restauration des berges au parc Fort Smallwood, Maryland (image extraite de la page web du Capital Gazette[80]).

[78] https://www.dfiengineering.com/projects/fort-smallwood-park-shoreline-protection

[79] https://asbpa.org/2024/07/25/asbpa-announces-2024-best-restored-shores-awards/

[80] https://www.capitalgazette.com/2024/05/06/fort-smallwood-park-renovation/

Dollar Bay Marsh[81] (construction 2020-2021)

Le projet de restauration du marais salin dans la baie Dollar, dans la ville de Texas, au Texas, est un autre projet souligné par l'association américaine pour la conservation des plages et des berges (ASBPA) en 2024 pour des pratiques exemplaires en restauration de zones de berges[82]. Le projet incluait la mise en place d'un écran de brise-lames en enrochement à l'embouchure de la baie sur environ 2 km pour renforcer un récif d'huitres existant et améliorer la protection de la baie contre les vagues. Un réseau de terrasses intertidales a ensuite été aménagé dans la baie en excavant et en nivelant le substrat existant du fond de la baie. Ces ouvrages sont maintenant quasi entièrement végétalisés et servent de pouponnière pour les jeunes poissons, crabes et autres espèces fauniques qui contribuent à l'écosystème élargi. Le projet a permis de restaurer près de 30 000 m² de marais salin.

Figure 6-13 Projet de restauration du marais salin dans la baie Dollar, Texas (image extraite de la page web de HDR[83]).

[81] https://www.hdrinc.com/portfolio/dollar-bay-marsh-restoration-project

[82] https://asbpa.org/2024/07/25/asbpa-announces-2024-best-restored-shores-awards/

[83] https://www.hdrinc.com/portfolio/dollar-bay-marsh-restoration-project

Staten Island Living Breakwaters[84,85] (construction 2021-2024)

Le projet de brise-lames « vivants » situé au large de l'île Staten à New York est un autre projet ayant reçu plusieurs distinctions. Il était notamment le projet vainqueur de la compétition « Rebuild by Design » initiée par le U.S. Department of Housing and Urban Development après que le secteur ait été dévasté par le passage de l'ouragan Sandy en 2012. Plus récemment, il a été récompensé par le prix international d'architecture OBEL 2023[86].

Le projet incluait la construction d'une série de huit brise-lames en enrochement (longueur cumulative de près de 750 m) servant à la protection de l'extrémité sud-ouest de l'île, d'une recharge sédimentaire, ainsi que d'une restauration ostréicole.

Plusieurs améliorations écologiques ont été intégrées aux brise-lames, comme des récifs submergés et des unités préfabriquées spécialisées, pour diversifier l'habitat aquatique. Après leur construction, des installations ostréicoles ont été aménagées sur les structures, en fixant des larves sur le béton écologique, des cages d'huitres, ou en les implantant directement sur les récifs submergés. Tranquillement, ces espèces sessiles devraient croitre et s'épanouir, renforçant les brise-lames et devenant une composante active de l'écosystème local.

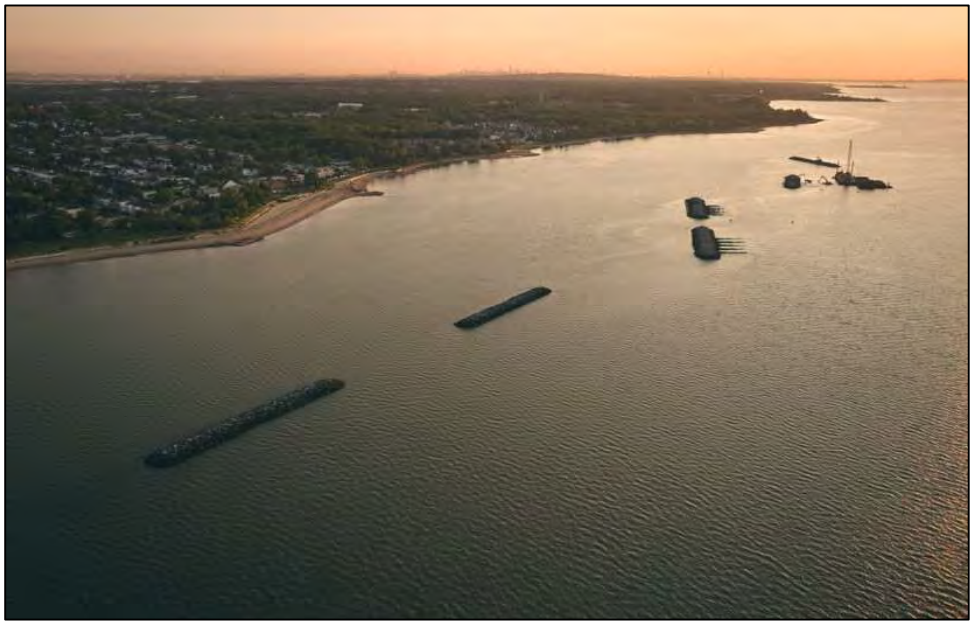


Figure 6-14 Projet de brise-lames « vivants » à Staten Island, NY (image extraite de la page web de SCAPE[87]).

[84] https://hcr.ny.gov/living-breakwaters-project-home

[85] https://www.scapestudio.com/projects/living-breakwaters/

[86] https://obelaward.org/scape-studio-wins-the-obel-award-23/

[87] https://www.scapestudio.com/projects/living-breakwaters/

Îles-de-la-Paix[88] (construction : 2001-2023)

L'archipel des Îles-de-la-Paix est une réserve nationale de la faune et un refuge d'oiseaux migrateurs appartenant au Service canadien de la faune (SCF) et situé dans le lac Saint-Louis, en Montérégie. Suivant une régularisation des niveaux d'eau dans la voie navigable du Saint-Laurent et la perte de la forêt riveraine ceinturant les îles, les rives sont devenues vulnérables à l'érosion par les vagues (vents et batillage), les courants marins, la glace et la submersion partielle au printemps.

Depuis le début des années 2000, sept phases d'intervention ont été réalisées autour des îles pour les protéger contre l'érosion. Certaines de ces interventions étaient d'ailleurs qualifiées comme projets de compensation pour la perte de milieux naturels occasionnée par d'autres projets d'infrastructures réalisés dans le fleuve Saint-Laurent, comme la construction de l'autoroute 30 et du point Samuel-de-Champlain. Les interventions incluaient la construction de digues végétalisées, de brise-lames submergés, la mise en place de rechargement de cailloux et la plantation d'herbiers.

Figure 6-15 Protection de l'archipel des Îles-de-la-Paix : Travaux exécutés devant l'Île aux Plaines en 2020 (image extraite de source?).

[88] https://www.ilesdelapaix.ca/fr/realisation-protection-environnement-iles-de-la-paix-lac-saint-louis

6.7 Exemples de réalisation au lac Saint-Jean

Au lac Saint-Jean, plusieurs types d'intervention réalisés par le PSBLSJ revêtent certaines caractéristiques des solutions fondées sur la nature. Les rechargements de plage, par exemple, permettent de préserver le type de côte et son rôle dans le système élargi. Ils favorisent également un maintien de la connectivité entre les écotones riverains et littoraux. L'ajout d'épis et de brise-lames permet quant à lui d'atténuer les impacts négatifs de certains rechargements sur le milieu récepteur, tout en y maintenant un équilibre dynamique. Enfin, la végétalisation des perrés et des bandes riveraines permet de bonifier la valeur écologique des ouvrages et des rives.

Les interventions demeurent néanmoins moins élaborées et de moins grande envergure que les exemples présentés à la section 6.6. Certains freins pouvant expliquer l'absence, à grande échelle, de *projets* fondés sur la nature incluent :

- Abaissement important du niveau d'eau (plus de 3 m) pendant la période hivernale, qui exonde le littoral et l'expose au gel et à la glace. Ces conditions sont peu favorables à la survie des végétaux aquatiques et des espèces sessiles;
- Manque de connaissances sur les bénéfices écologiques effectifs des aménagements;
- Absence d'incitatifs réglementaires permettant de valoriser les bonifications écologiques apportées aux aménagements ou permettant de réaliser des projets pilotes;
- Conflits d'usages avec certaines activités récréatives pratiquées à proximité du littoral pouvant nuire à l'acceptabilité sociale des projets.

L'adoption de solutions fondées sur la nature représente un changement de paradigme qui peut nécessiter un certain temps pour trouver les techniques les mieux adaptées au milieu récepteur et qui répondent aux exigences de protection désirées, tout en conciliant les préoccupations des parties prenantes. Dans un contexte où la littérature offre peu de guides décrivant des schémas d'aménagement concrets et que chaque site d'intervention est souvent assorti de particularités uniques, la meilleure approche pour acquérir davantage de connaissances passe par la réalisation de projets pilotes et le partage de retours d'expériences documentés sur d'autres projets réalisés.

7 TRAVAUX D'URGENCE

7.1 Description sommaire de l'approche

Les travaux d'urgence en contexte de crue ou de tempête sont essentiels pour prévenir ou minimiser les impacts des inondations, stabiliser temporairement les ouvrages et protéger les zones habitées et les infrastructures critiques. Ces interventions, bien que temporaires, jouent un rôle important en situation de crise, permettant de gagner du temps avant la mise en œuvre de solutions de renforcement définitives.

La portée des travaux à mettre en œuvre nécessite que les mécanismes en cours (érosion, glissement, affaissement...) soient bien identifiés lors de la visite de surveillance. Les travaux d'urgence sont donc à adapter à chaque situation d'évènement extrême. Dans la mesure du possible, les différents types de mesures possibles en situation d'urgence peuvent être réfléchis « à froid » hors période de crise. Cela permet notamment de préparer des stocks de matériaux (par exemple les sacs de sable) mobilisables en urgence.

Il existe plusieurs techniques de travaux d'urgence pour prévenir les risques et les dégâts en cas d'inondation, que nous traiterons dans le présent chapitre.

Les techniques employées, telles que les digues en sacs de sable, les sacs de sable sans sable (SAP), les barrages cellulaires, les barrières gonflables, les géobags et le dragage, offrent chacune des avantages et des inconvénients spécifiques, adaptés à des contextes et des besoins variés. Les sacs de sable traditionnels restent une solution éprouvée et polyvalente, bien que leur manipulation soit laborieuse. Les alternatives modernes, comme les sacs SAP ou les barrières gonflables, apportent des avantages en termes de rapidité de déploiement et de légèreté, mais peuvent présenter des limites en termes de durabilité ou de résistance aux conditions extrêmes. Les barrages cellulaires et les géobags, quant à eux, offrent des solutions plus robustes et durables, mais nécessitent une logistique et des coûts initiaux plus importants pour le cas des barrages cellulaires. Enfin, le dragage, bien qu'efficace pour augmenter la capacité hydraulique et prévenir les inondations, pose des défis environnementaux et logistiques significatifs.

Cependant, il n'existe pas de solution universelle. Le choix de la méthode dépend des conditions spécifiques du site, des ressources disponibles et du temps imparti. Les gestionnaires doivent donc anticiper les risques, préparer des plans d'intervention adaptés et s'assurer de la disponibilité des matériaux et des partenariats nécessaires pour une réactivité optimale. Enfin, les travaux d'urgence se veulent temporaires et doivent toujours être suivis de renforcements définitifs pour garantir la sécurité à long terme des ouvrages et des populations exposées. La combinaison de techniques traditionnelles et innovantes et une gestion proactive des risques sont les clés pour faire face aux défis croissants posés par les inondations et les événements climatiques extrêmes.

7.2 Digues en sacs de sable

7.2.1 Généralités et caractéristiques

Lorsqu'il s'agit d'atténuer l'impact de la submersion et de l'érosion sur les berges, des mesures efficaces de contrôle jouent un rôle très important dans la protection des vies, des propriétés et des infrastructures. Parmi les différentes techniques utilisées, le sac de sable s'est avéré être une méthode fiable et rentable pour empêcher les eaux de crue de causer des dégâts importants.

Les sacs de sable contenant un poids variable de matériel selon les dimensions et dont la forme cubique permet de les empiler les uns sur les autres et les joindre pour former une structure stable. Les sacs peuvent être déposés sur une membrane et remblayés, de sorte qu'ils seront sollicités uniquement en période de tempête après que le profil de plage aura été abaissé.

Les digues en sacs de sable consistent à placer stratégiquement ces produits pour former une barrière qui empêche l'eau de pénétrer dans les zones vulnérables, telles que les habitations et les infrastructures critiques, offrant une protection temporaire jusqu'à ce que des solutions plus permanentes puissent être mises en œuvre. Cela permet aux communautés de gagner un temps précieux pour protéger leurs biens et minimiser les pertes liées aux inondations.

Le succès des techniques de mise en sac de sable pour un contrôle efficace des évènements de submersion repose principalement sur le choix des matériaux et leur installation. Tout d'abord, il est essentiel de sélectionner le type de sacs de sable approprié. Deux options principales existent : les sacs de sable traditionnels en toile de jute et ceux en polypropylène. Les sacs en toile de jute, bien que biodégradables et respectueux de l'environnement, peuvent ne pas résister à une exposition prolongée à l'eau. En revanche, les sacs en polypropylène, fabriqués à partir d'un matériau plastique durable, résistent à l'eau et aux rayons UV et sont réutilisables, ce qui les rend économiquement avantageux pour les zones fréquemment inondées.

Le choix du matériau de remplissage est également important. Si le sable est couramment utilisé, il peut ne pas être disponible en cas d'urgence. Dans ces situations, des alternatives comme la terre ou le gravier peuvent être employées. Il est impératif que le matériau de remplissage soit exempt de débris et d'objets pointus susceptibles de percer le sac. Un mélange de sable et de terre est recommandé pour une meilleure stabilité et répartition du poids.

L'un des avantages majeurs des sacs de sable est leur polyvalence dans les scénarios de contrôle d'évènements de submersion. Ils peuvent être utilisés pour renforcer les barrières existantes, telles que les digues ou les murs anti-inondation, ou pour créer des barrières autonomes si nécessaire. De plus, ils peuvent être empilés dans diverses configurations pour s'adapter à différents terrains et niveaux d'eau. Cette flexibilité fait d'eux un outil intéressant, car ils peuvent être rapidement déployés dans des situations d'urgence pour protéger les zones vulnérables.

Ces sacs remplis de sable jouent un rôle important dans la redirection et le confinement des eaux de crue, tel que :

- Rediriger le débit d'eau : l'un des principaux objectifs des sacs de sable est de rediriger le flux des eaux de crue loin des zones vulnérables. En plaçant stratégiquement des sacs de sable dans les zones basses ou le long des canaux d'eau, la force de l'eau peut être redirigée pour suivre une trajectoire souhaitée. Par exemple, des sacs de sable peuvent être empilés pour créer une barrière qui guide l'eau vers les systèmes de drainage ou loin des infrastructures critiques telles que les sous-stations électriques ou les usines de traitement des eaux.
- Protection contre l'érosion : Les sacs de sable servent également à la protection contre l'érosion contre les niveaux d'eau élevés et les vagues. En les empilant sous forme de digue le long des zones vulnérables, des berges ou des rivières, ils agissent comme une barrière temporaire, empêchant l'eau d'avancer et protégeant ainsi les zones situées derrière la digue. Cette méthode permet d'arrêter temporairement l'effet de l'érosion, offrant une solution rapide et efficace dans des situations d'urgence.

7.2.2 Éléments de conception

Les digues en sacs de sable sont des structures temporaires utilisées pour la gestion des eaux, la protection contre les inondations ou l'érosion et peuvent être dimensionnées de différentes manières, selon l'objectif visé : enfouies, avec tranchée et sans tranchée. Voici les différences entre chacune et les situations dans lesquelles elles sont utilisées :

- Digue en sacs de sable enfouie : elle est constituée de sacs de sable empilés et recouverts de terre ou d'une autre couche de protection pour les stabiliser et les intégrer dans l'environnement. Cette méthode permet de renforcer la structure et de la protéger contre les intempéries.

Utilisation :

- Protection contre la submersion dans des zones où une intégration discrète est nécessaire.
- Stabilisation des berges ou des pentes.
- Utilisée pour des projets à moyen ou long terme, car l'enfouissement augmente la durabilité.
- Souvent employée dans des environnements où l'esthétique ou la protection contre l'érosion est importante.

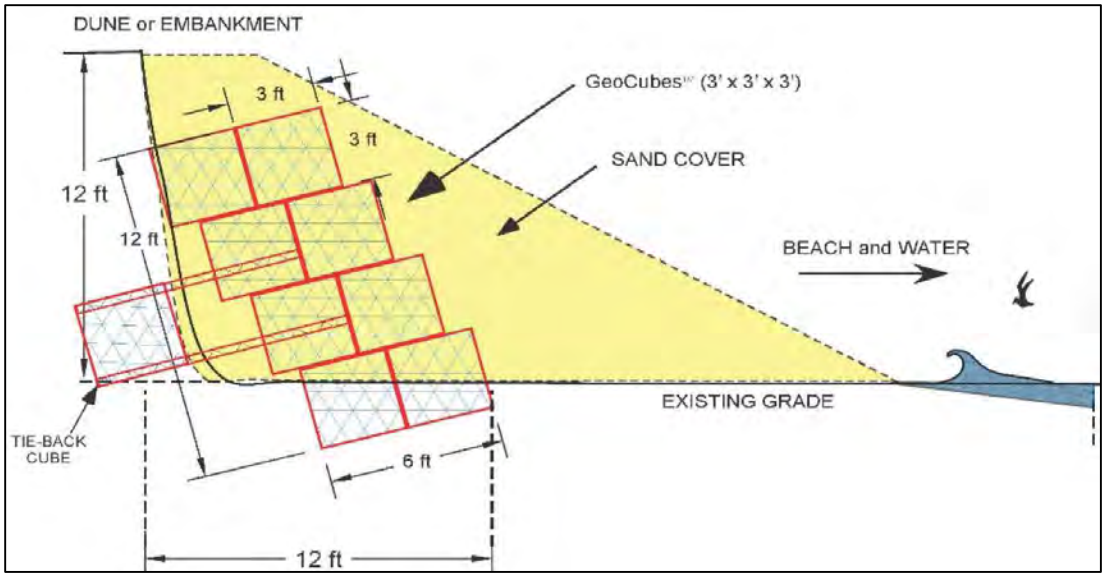


Figure 7-1 Digue en sacs de sable enfouie (Terchunian et Caputo, 2014).

- Digue en sacs de sable avec tranchée : il s'agit d'une structure où une tranchée est creusée pour ancrer la base des sacs de sable. Cette tranchée permet d'augmenter la stabilité de la digue en empêchant les infiltrations d'eau et en ancrant solidement la structure dans le sol.

  Utilisation :

- Protection contre les inondations dans des zones à haut risque d'infiltration ou de glissement.
- Renforcement de la stabilité de la digue, surtout dans des sols meubles ou instables.
- Utilisée pour des projets temporaires ou semi-permanents nécessitant une résistance accrue.
- Souvent employée dans des environnements exposés à de fortes pressions hydrauliques.

Figure 7-2 Digue en sacs de sable avec tranchée (Terchunian et Caputo, 2014).

7.2.3 Avantages et inconvénients

Avantages :

- Installation rapide et facile : Les sacs de sable peuvent être rapidement déployés en cas d'urgence, offrant une solution immédiate pour contrôler les inondations.
- Fixe le trait de côte : cette structure permet de fixer le trait de côte en période de crise et de tempête.
- Coût abordable : comparés à d'autres méthodes de protection contre les inondations, les sacs de sable sont relativement peu coûteux.
- Flexibilité : Ils peuvent être utilisés dans diverses configurations et adaptés à différents terrains.
- Inconvénients :
- Durabilité limitée : Les sacs de sable en toile de jute, bien que biodégradables, ne résistent pas longtemps à une exposition prolongée à l'eau.
- Poids et Manipulation : Les sacs de sable remplis sont lourds et difficiles à manipuler, nécessitant souvent plusieurs personnes pour les déplacer et les empiler
- Temps de Préparation : Le remplissage des sacs de sable prend du temps, ce qui peut être un inconvénient majeur en situation d'urgence où la rapidité est essentielle.
- Espace de Stockage : Les sacs de sable nécessitent beaucoup d'espace de stockage, surtout lorsqu'ils sont remplis.

7.2.4 Application

Une digue de sacs de sable a été installée en urgence pour stabiliser un talus en érosion au Centre Plein Air Saint-Pierre à Métabetchouan-Lac-à-la-Croix le 20 mai 2023. Avec une crête à une élévation moyenne de 102,25 m. Cette intervention a été nécessaire en raison de la rupture du géotube #2 sur 50 m, affectant la plage au nord-est de l'épi 6/géotube 1. Les conditions climatiques du printemps 2023, marquées par des vents forts de l'ouest et du nord-ouest et un niveau d'eau élevé, ont aggravé l'érosion des talus verticaux, avec une réduction importante de la largeur de la plage, passant de 12 m en novembre 2022 à 0 m le 15 mai 2023, alors que le talus en érosion a atteint la ligne de végétation de 1986.

Durant les visites de suivi de l'état des lieux à l'été 2023, un ensablement important des sacs de géotextile a été observé, offrant ainsi une plus grande proximité des vagues au haut de talus. La digue a été rehaussée à une élévation comprise entre 102,5 et 102,7 le 18 août 2023. Grâce à cette intervention rapide et efficace, les risques d'érosion et d'instabilité ont été considérablement réduits, offrant une protection adéquate contre les éléments naturels et préservant ainsi l'intégrité du site.

État de la berge le 11 mai 2023 – Largeur de plage d'environ 3 m	État de la berge le 15 mai 2023 – Érosion au-delà de la limite de végétation
Après la mise en place de la digue de sacs de sable le 25 mai 2023	Après le rehaussement de la digue submergée le 18 août 2023

Figure 7-3 Évolution de la berge au site du Centre Plein Air St-Pierre en réponse à la mise en place des interventions d'urgence.

Le site 88.05.01 à Saint-Henri-de-Taillon a également fait l'objet de travaux d'urgence. En novembre 2023, des inspections ont révélé une réduction importante de la largeur de la plage en quelques jours, avec des signes sévères d'érosion tels que des talus verticaux et l'exposition d'un perré. Face à cette situation critique, une digue en sacs de sable a été installée en urgence le 23 novembre 2023 pour empêcher le recul de la ligne de rivage au-delà de la limite de végétation de 1986, stabilisant ainsi le talus et protégeant les infrastructures locales sur une longueur de 55 m. 4 000 sacs de sable ont dû être mis en place.

Selon notre expérience, la technique de construction de digues en sacs de sable s'est avérée rapide à mettre en place et a donné des résultats satisfaisants, atteignant les objectifs souhaités. Cependant, ces résultats sont de nature temporaire et les digues ne peuvent pas être laissées en place sur de longues périodes en raison de la détérioration éventuelle des sacs. De plus, cette méthode nécessite un travail manuel intensif, demandant beaucoup d'efforts physiques. Les sacs de sable sont lourds et leur installation sur de longues distances est physiquement éprouvante.

État de la berge le 14 novembre 2023 – avant la mise en place de la digue de sacs de sable	État de la berge le 24 novembre 2023 – après la mise en place de la digue de sacs de sable

Figure 7-4 Évolution de la berge au site du Centre Plein Air St-Pierre en réponse à la mise en place des interventions d'urgence.

7.3 Sacs de sable sans sable (SAP)

7.3.1 Généralités et caractéristiques

Les sacs de sable sans sable, également connus sous le nom de sacs en polymère superabsorbant (SAP), sont une alternative relativement nouvelle et respectueuse de l'environnement aux sacs de sable traditionnels. Ces sacs, qui sont remplis d'un polymère superabsorbant comme le polyacrylate de sodium qui gonfle au contact de l'eau, sont utilisés de manière unique dans la gestion des catastrophes, créant une barrière qui peut détourner ou contenir les eaux de crue. Contrairement aux sacs de sable, qui peuvent être lourds et longs à remplir et à transporter, les sacs de sable sans sable sont légers et faciles à manipuler, ce qui en fait une option plus pratique pour lutter contre les inondations.

Figure 7-5 Les sacs SAP (Ref : https://gelsap.com/fr /inondation-sacs-de-sable-sans-sable/).

L'un des avantages des sacs de sable sans sable est leur capacité à absorber et à retenir de grandes quantités d'eau. Cette caractéristique leur permet d'être utilisés non seulement pour le contrôle des inondations, mais également pour le stockage de l'eau et le contrôle de l'érosion. Par exemple, dans certaines zones sujettes aux crues soudaines, des sacs de sable sans sable sont utilisés pour créer des barrages temporaires afin de rediriger les eaux de crue et de protéger les zones vulnérables. Ces sacs peuvent également être empilés pour créer des murs ou des digues empêchant l'érosion et le déplacement du sol.

Figure 7-6 Mise en place des sacs SAP dans un cas d'inondation (source : https://gelsap.com/fr /inondation-sacs-de-sable-sans-sable/).

7.3.2 Avantages et inconvénients

Avantages

Écologiques et respectueux à l'environnement.

- Facilité de transport : les sacs en SAP sont très légers avant d'absorber l'eau, ce qui les rend faciles à transporter et à manipuler. Chaque sac ne pèse que quelques grammes avant utilisation
- Déploiement rapide : au contact de l'eau, les sacs en SAP absorbent rapidement l'eau et se transforment en sacs de sable de 25 kilos en quelques minutes. Cela permet un déploiement rapide en situation d'urgence
- Stockage et transport faciles : les sacs en SAP prennent beaucoup moins de place lorsqu'ils ne sont pas utilisés, ce qui facilite leur stockage et leur transport
- Réduction des coûts de main-d'œuvre : Leur facilité d'utilisation et leur rapidité de déploiement permettent de réduire les coûts de main-d'œuvre et de temps, ce qui peut entraîner des économies globales

Inconvénients :

- Coût élevé : Les sacs en SAP sont généralement plus chers à l'achat que les sacs de sable traditionnels. Bien que leur facilité d'utilisation et leur rapidité de déploiement puissent compenser ce coût, l'investissement initial reste plus élevé.
- Durabilité limitée : Une fois activés et gonflés, les sacs en SAP peuvent perdre leur efficacité après une certaine période. Ils ne sont pas conçus pour une utilisation prolongée ou répétée.
- Sensibilité aux Conditions environnementales: Les sacs en SAP peuvent être affectés par des conditions environnementales extrêmes, comme des températures très élevées ou très basses, ce qui peut altérer leur performance.

7.3.3 Application

Les sacs SAP sont beaucoup utilisés en Europe contre les inondations dans les situations d'urgence. À titre d'exemple, pendant les inondations de 2013 en Allemagne, des sacs sans sable ont été déployés pour protéger des maisons et des entreprises le long des rivières en crue, d'où ils ont été utilisés pour créer des barrières temporaires et pour colmater des brèches dans les digues (source : https://www.floodsax.com/).

Les sacs sans sable (SAP) peuvent être utilisés dans divers types de terrains et conditions. Cependant, il est peu probable qu'ils soient suffisamment robustes pour résister aux forces des vagues sur les plages. De plus, il n'existe pas de documentation suffisante expliquant les restrictions liées à leur utilisation.

7.4 Barrages cellulaires (du type gabion)

7.4.1 Généralités et caractéristiques :

Les barrages cellulaires de type gabion sont des structures cellulaires flexibles, constituées de cages grillagées remplies de cailloux ou de terre. Utilisés depuis longtemps en Europe pour les murs de soutènement et la protection des berges contre l'érosion fluviale. Les gabions, également appelés "confinement cellulaire en profondeur", se distinguent des cages grillagées superficielles utilisées dans les structures en terre renforcée. Par conséquent, les gabions étaient surtout, en matière de protection contre les inondations, une mesure de protection permanente. On trouve très peu d'exemples de leur utilisation pour lutter contre les inondations en situation d'urgence.

D'après la littérature, les nouveaux produits Hesco et Maccaferri peuvent être utilisés comme solution temporaire en cas d'urgence. Ce sont des structures multicellulaires démontables, fabriquées de panneaux de grillage métallique renforcés de barres d'acier verticales. Remplies de terre, ces cages peuvent former des structures analogues aux digues de terre. La flexibilité de la cage et les dispositifs d'assemblage permettent une bonne adaptation au terrain. L'imperméabilité est assurée par une doublure en géotextile et le matériau de remplissage. Disponibles en diverses

tailles et longueurs, ces produits offrent une grande souplesse d'emploi et peuvent être combinés pour former différentes configurations.

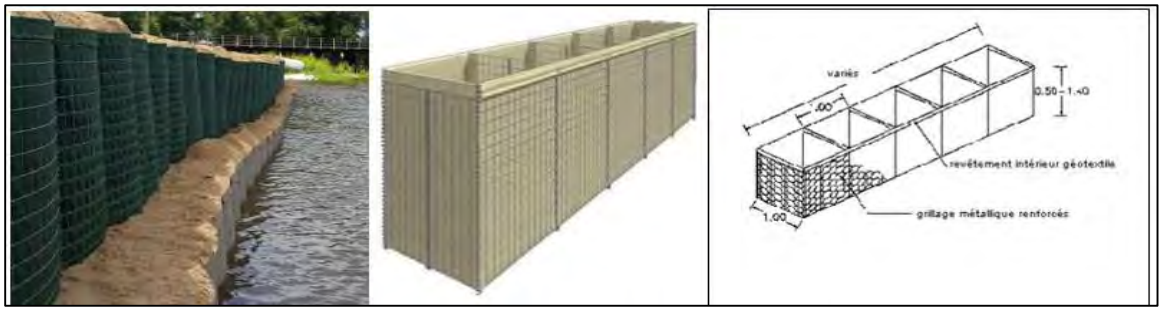


Figure 7-7 Barrage cellulaire de HESCO Maccaferri (Réf : www.weldedfencepanel.com/news-everything-you-should-know-about-hesco-barrier).

Ces structures n'imposent aucune contrainte au sol, au relief ou aux matériaux de remplissage, sont simples à construire sur des surfaces planes ou inclinées. Il est possible de consolider les points faibles ou d'augmenter la hauteur en ajoutant des cellules supplémentaires. Cependant, des risques de renversement peuvent survenir sur des terrains en forte pente.

La simplicité du design permet une installation par une main-d'œuvre non qualifiée, avec un seul travailleur qualifié pour conduire la chargeuse comme il est illustré dans la Figure 9. En l'absence de machinerie, les cellules peuvent être remplies manuellement. Comparés aux digues en sacs de sable, les gabions nécessitent beaucoup moins de temps et de main-d'œuvre pour le remplissage et l'installation, et cela avec l'utilisation de machinerie lourde.

Figure 7-8 Installation de barrage cellulaire HESCO: étirement de la cage (Réf : solution de rechange aux sacs de sable pour une protection temporaire contre les inondations, Octobre 1998).

Les principaux avantages des barrages cellulaires, par rapport aux digues traditionnelles en sacs de sable, c'est qu'elles exigent beaucoup moins de temps et de main-d'œuvre pour le remplissage et l'installation. La documentation commerciale disponible cite habituellement les travaux de recherche du Army Corps of Engineers des États-Unis, selon lesquels il faut de dix à vingt fois moins de temps et de cinq à sept fois moins de main-d'œuvre pour installer des barrages à gabion ou en sable, en comparaison des sacs de sable. Ces données supposent l'utilisation de machinerie lourde (chargeuse frontale, pelle mécanique). Si le remplissage se fait à la pelle, les exigences en matière de main-d'œuvre et de temps d'installation sont probablement semblables à celui des sacs de sable.

Figure 7-9 Travaux d'installation et de remplissage des barrages HESCO (Réf : solution de rechange aux sacs de sable pour une protection temporaire contre les inondations, Octobre 1998).

Habituellement, les cages sont conservées sur des palettes en plein air, puisque le grillage est galvanisé et que les membranes géosynthétiques résistent aux intempéries (Figure 11).

Il est possible de réutiliser les cages métalliques pourvu qu'elles n'aient pas été sensiblement déformées par le remplissage ni par la « charge » des eaux de crue. Ce n'est pas le cas des unités les plus grandes, car la pression du matériau de remplissage est alors suffisamment élevée pour causer une déformation du grillage et même des tiges d'angle en acier. De plus, lorsque l'on empile plusieurs rangées de gabions, les rangées inférieures sont déformées au point de ne plus être réutilisables.

Figure 7-10 Entreposage des cellules HESCO, gabions repliés (Réf : solution de rechange aux sacs de sable pour une protection temporaire contre les inondations, Octobre 1998).

7.4.2 Avantages et inconvénients

Avantages :

- Flexibilité: les gabions peuvent être remplis avec des matériaux locaux comme des cailloux ou de la terre, ce qui les rend très adaptables à différents terrains.
- Durabilité : les structures en gabion sont robustes et peuvent résister à des conditions environnementales difficiles, y compris les courants rapides et les débris flottants
- Installation rapide : ils peuvent être installés rapidement avec un minimum de main-d'œuvre en présence de machinerie.
- Facilité de transport et de stockage : Ces structures sont faciles à manutentionner et à transporter, car ils peuvent être repliés et empilés sur des palettes

Inconvénients :

- Coût initial : Bien que les matériaux puissent être locaux, le coût initial de mise en place des matériaux par les machineries peut être élevé.
- Risque de renversement : Des risques de renversement peuvent survenir lorsque les cellules sont installées sur un terrain en forte pente et remplies à l'aide d'une chargeuse.

7.4.3 Application

Au printemps 2019, de vastes régions de l'est de l'Ontario, du sud du Québec et du Nouveau-Brunswick ont connu des inondations exceptionnelles en raison de fortes pluies, de la fonte des neiges et d'une augmentation soudaine des températures. Deux ans plus tôt, en 2017, une inondation similaire avait touché les mêmes zones, causant de graves dommages. En réponse, les organismes publics canadiens financent des projets pour atténuer les inondations et mettre en place des plans d'urgence. Après l'inondation de 2017, Nicolet, une petite ville au Québec, a acheté un produit réutilisable (les barrages cellulaires Maccaferri) pour se protéger contre les inondations futures. En mai 2019, la ville a utilisé les barrages cellulaires Maccaferri pour créer des

barrières de contrôle des inondations à plusieurs endroits stratégiques. L'installation, réalisée par 4 à 5 personnes, a été rapide grâce à la structure multicellulaire préassemblée du produit. Les unités ont été connectées, remplies de terre et enveloppées d'une doublure imperméable. La barrière a efficacement contenu les inondations et empêché les débris d'envahir les routes. Une fois les niveaux d'eau revenus à la normale, les unités ont été démontées, repliées et stockées pour une utilisation future. (Source : https://www.maccaferri.com/ca/fr/success-stories/flood-emergency-response-project-2/).

Les barrages cellulaires (de type gabion) sont des structures polyvalentes et robustes, adaptées aux conditions difficiles en milieu rural : pour le détournement et le confinement de cours d'eau, pour les courants transportant des blocs rocheux coupants et des débris flottants dangereux, pour les froids extrêmes, etc. Leur conception métallique leur confère une résistance exceptionnelle aux forces des vagues et aux différents environnements. Ils peuvent être utilisés sur des surfaces irrégulières, en présence de roches et de débris, sans compromettre leur efficacité.

Cependant, il est important de noter que les terrains avec des pentes abruptes présentent un risque de renversement pour ces structures. Dans de telles conditions, des mesures supplémentaires doivent être prises pour assurer leur stabilité et prévenir tout basculement. La hauteur de l'eau retenue est habituellement d'environ un mètre, mais peut atteindre trois mètres.

7.5 Barrières gonflables

Une autre méthode alternative de contrôle des inondations qui gagne en popularité est l'utilisation de barrières gonflables. Composées de matériaux résistants tels que le PVC ou le caoutchouc, ces barrières sont déployées en cas de besoin et gonflées avec de l'air ou de l'eau. Ces barrières sont faites de matériaux durables et peuvent être rapidement gonflées à l'aide de pompes à air ou à eau. Ils peuvent être facilement déployés dans les zones sujettes aux inondations et constituent un moyen efficace de détourner ou de contenir les eaux de crue. Les barrières gonflables sont particulièrement utiles dans les situations où le temps est limité pour se préparer à une inondation imminente, car elles peuvent être rapidement déployées et gonflées. On distingue 2 types :

7.5.1 Systèmes tubulaires remplis d'eau

7.5.1.1 Généralités et caractéristiques

Ces structures consistent en des tubes géosynthétiques remplis d'eau, fonctionnant comme des barrages-poids portatifs (Figure 12). Leur stabilité est assurée par le poids de l'eau, qui empêche le glissement. Cependant, leur forme est irrégulière et asymétrique en raison de la pression interne de l'eau.

Figure 7-11 Structures tubulaires remplies d'eau: barrages portatifs (Réf : Solution de rechange aux sacs de sable pour une protection temporaire contre les inondations).

D'après la littérature, le principal défi n'est pas le glissement, mais le risque de renversement. La flexibilité du tube le rend vulnérable à la torsion sous la pression de l'eau, pouvant entraîner un roulement similaire à celui d'un pneu (la pression horizontale de l'eau de crue peut être tellement importante que le tube peut changer de forme). Ce phénomène est amplifié par les vagues. Pour y remédier, un ancrage est nécessaire. En réalité, il serait compliqué d'assurer un ancrage extérieur. Une autre option est d'appliquer une sorte d'« ancrage interne » – c'est-à-dire concevoir le tube de manière à ce qu'il possède une plus forte résistance à la torsion, réduisant ainsi la déformation correspondante et empêchant le tube de rouler. D'où les dernières technologies proposent divers modèles de ce genre de système, tel qu'illustré aux Figure 13 et Figure 14. On cite trois systèmes répondant à ce problème, dont deux qui sont semblables : « WATER STRUCTURE » et « AQUA DAM » (Figure 13).

Ces systèmes intègrent deux tubes internes remplis d'eau, enveloppés dans un tube externe. Les tubes internes sont fabriqués d'un matériau souple et flexible (en polyéthylène), tandis que le tube externe est rigide, renforcé et durable (en tissu de fibres plastiques pour « WATER STRUCTURE »). La friction entre les tubes internes empêche leur roulement, et le tube externe assure une force de circonférence et une stabilité globale. Le système « AQUA-BARRIER » utilise des cloisons internes pour renforcer la structure, avec des tubes en vinyle renforcé de polyester.

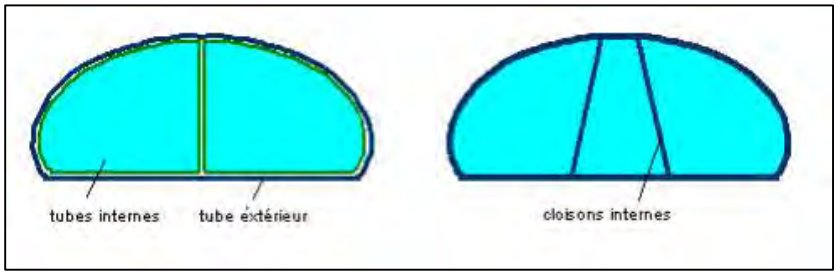


Figure 7-12 Coupes transversales des systèmes tubulaires remplis d'eau: Tubes internes et externes: WATER STRUCTURE et AQUA DAM (à gauche), cloisons internes AQUA BARRIER (à droite) (Réf : Solution de rechange aux sacs de sable pour une protection temporaire contre les inondations).

Figure 7-13 Système tubulaire rempli d'eau (Réf : Solution de rechange aux sacs de sable pour une protection temporaire contre les inondations).

Figure 7-14 Système tubulaire rempli d'eau utilisé dans un cas d'urgence en ..... (Réf : Fiche technique Barrière gonflable contre les inondations NoFloods, 2024).

Le troisième système est appelé « TIGER DAM» illustré à la Figure 16. Ce système repose sur des tubes multiples reliés par des courroies pour former une structure pyramidale en coupe transversale, évitant ainsi le roulement. Les tubes sont fabriqués de polyester recouvert de vinyle. Les tubes peuvent être empilés jusqu'à une hauteur maximale de 32 pieds et reliés entre eux de manière transparente sur des kilomètres. Ils peuvent avoir pratiquement n'importe quelle longueur et prendre n'importe quelle forme. Chaque tube Tiger Dam de 18 pouces pèse 50 livres à sec et 6 300 livres lorsqu'il est rempli d'eau. Les tubes peuvent être remplis avec une pompe de 2 pouces, une bouche d'incendie (le plus rapide) ou un tuyau d'arrosage.

Figure 7-15 Système tubulaire TIGER DAM rempli d'eau (www.airsolid.ca/protection-contre-les-inondations.com).

7.5.1.2 AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS

Avantages :

- Disponibles en diverses tailles standard.
- Adaptables à des angles variés grâce à des raccords flexibles.
- Hauteur ajustable par pompage ou ajout de tubes.
- Flexibilité pour s'adapter à différents terrains, urbains ou ruraux.
- Réutilisables et réparables sur place.
- L'installation est rapide et ne nécessite pas de personnel qualifié ni de machinerie lourde, Il faut seulement quelques pompes portatives et quelques travailleurs, selon la taille du tube. Par exemple, un barrage « Aqua-Barrier » de 3 pieds de haut et 100 pieds de long peut être installé en 20 minutes, contre 4 heures pour un mur de sacs de sable.
- Avantages spécifiques du système « Clement » est sa modularité qui facilite le transport et l'assemblage sur site, contrairement aux tubes monopièces plus lourds.

Inconvénients :

- Vulnérabilité aux perforations par des débris flottants.
- Risque de gel en basses températures, endommageant les tubes.
- Coût initial est élevé, mais les tubes sont réutilisables, réduisant les dépenses à long terme.
- Pour renforcer la résistance au glissement, des levées de terre peuvent être aménagées.

7.5.1.3 APPLICATION

Lors de la tempête tropicale Milton, Jacksonville a été confrontée à des inondations importantes dues aux marées hautes et aux marées royales. Les autorités ont anticipé des inondations sur plusieurs routes, notamment Ken Knight Drive, et ont conseillé aux résidents de chercher un abri alternatif. Pour faire face à cette situation, des barrages Tiger ont été installés sur les plages pour empêcher les ondes de tempête et les inondations. Ces barrages, fabriqués par U.S. Flood Control, ont été très efficaces pour contenir les eaux de crue et protéger les zones résidentielles.

Les retours sur l'utilisation des barrages Tiger ont été positifs, démontrant leur efficacité dans la gestion des inondations et la protection des infrastructures critiques. (Source : www.usfloodcontrol.com).

Un autre cas d'application du système tubulaire rempli d'eau NoFloods s'est déroulé en novembre 2024. Bryggen, un site historique en bord de mer à Bergen, en Norvège, a été menacé par des inondations dues à des conditions météorologiques extrêmes, notamment des vents violents, de fortes chutes de neige et une montée rapide des niveaux d'eau. Le service d'incendie de Bergen a réagi rapidement en déployant des barrières anti-inondation modernes remplies d'eau NoFloods sur une longueur de 200 mètres. Ces barrières, constituées de grands tubes robustes remplis d'eau, ont été installées par une équipe de pompiers pour créer une barrière lourde et stable capable de résister à la marée montante et aux vents forts. Le gestionnaire des urgences (Kent Haukeland) a souligné l'efficacité de ces barrières, qui ont permis de protéger ce site classé au patrimoine mondial de l'UNESCO sans perturber durablement la circulation locale et les résidents. (Source : https://nofloods.com/flood-barriers-bryggen/)

7.5.2 Système tubulaire gonflé à l'air

7.5.2.1 Généralités et caractéristiques

Plusieurs produits existent sur le marché, offrant tous le même principe de fonctionnement, à titre d'exemple le système NOAQ (Figure 17). Le système gonflable est une solution innovante pour la protection contre la submersion. Son principe repose sur un tube léger dont la stabilité est assurée par la pression du niveau d'eau via une jupe intégrée, fixée au sol devant la zone à risque (Figure 18). Cette jupe, d'une conception assez complexe, est dotée d'une couche de drainage (peut-être formée d'une géogrille plus rigide), maximise la pression différentielle de l'eau pour ancrer la structure. Bien que cela puisse augmenter légèrement l'infiltration, l'effet est négligeable sur des sols peu perméables, surtout lors d'évènements de submersion de courte durée. La structure est extrêmement légère : une section de 10 m de long et 60 cm de haut pèse moins de 50 kg, permettant une manipulation aisée par deux personnes. Les tubes peuvent être connectés à différents angles, offrant une grande flexibilité.

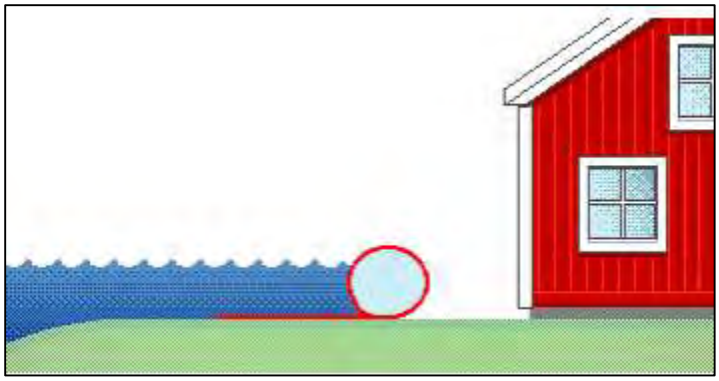


Figure 7-16 Structure tubulaire gonflé à air (Réf : Fiche technique de Bariière contre les inondations Tubewall de NOAQ Flood protection AB).

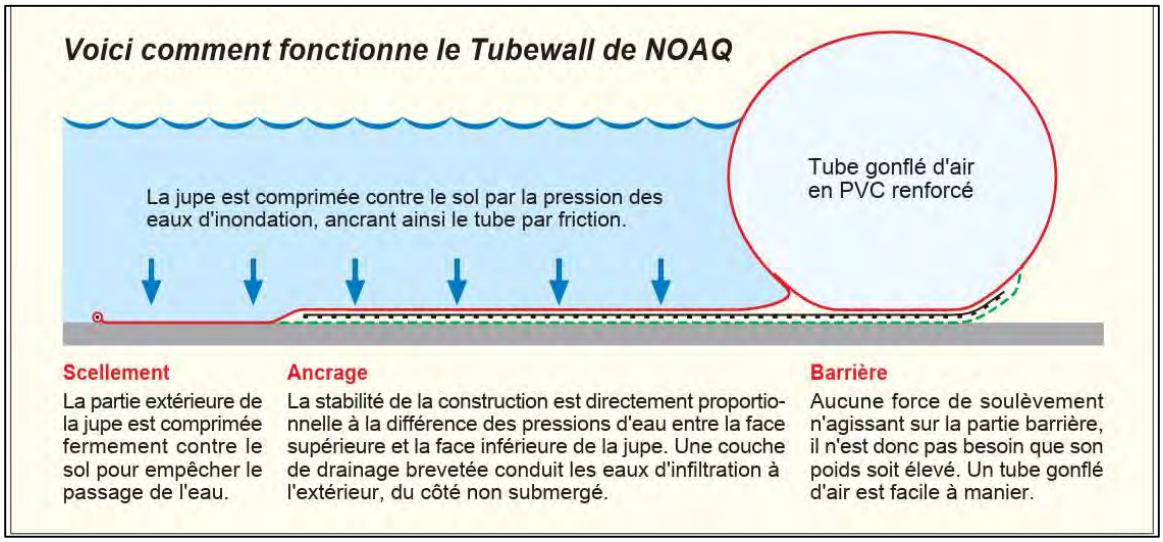


Figure 7-17 Fonctionnement du système NOAQ (Réf : fiche technique de Barrière contre les inondations Tubewall de NOAQ Flood protection AB).

Le système gonflable présente plusieurs fonctionnalités clés. Tout d'abord, son étanchéité est assurée par des raccords entre les tubes qui ne subissent pas de contraintes mécaniques importantes. Une membrane séparée, fixée par des fermetures éclair, garantit l'imperméabilité, tandis que des courroies empêchent la membrane de se déformer sous la pression de l'eau. En termes d'adaptabilité, le système a été testé avec succès sur divers terrains, tels que le sable, le gravier, l'herbe, le ciment et l'asphalte.

Cependant, il y a des points critiques à considérer pour le bon fonctionnement du système. La résistance au glissement dépend de la friction entre la jupe et le sol. Pour retenir une hauteur d'eau plus importante, il est nécessaire d'augmenter la longueur de la jupe, ce qui peut atteindre les limites de résistance du matériau. Le système n'est pas adapté aux courants rapides et fonctionne mieux dans des eaux peu profondes et à faible courant. De plus, dans un courant fort, la jupe peut flotter ou se tordre, nécessitant une pression d'eau suffisante pour maintenir son

adhérence au sol. Enfin, les perforations causées par des débris flottants peuvent compromettre l'intégrité du système, le rendant vulnérable dans certaines conditions.

Figure 7-18 Structure tubulaire gonflable utilisée contre l'inondation (: fiche technique de Bariière contre les inondations Tubewall de NOAQ Flood protection AB).

Figure 7-19 Installation des structures tubulaires gonflables de type NOAQ (Ref : fiche technique de Bariière contre les inondations Tubewall de NOAQ Flood protection AB).

Il existe également des solutions de mise en œuvre sans jupe de stabilité, notamment dans le cas de la mise en œuvre de la superposition de plusieurs structures tubulaires. Le système WATER-RAILS propose les configurations suivantes :

Configuration	Diamètre des tubes Ø(mm)	Hauteur de retenue H (mm)	Masse tubes remplis d'eau (kg/ml)	Poussée avec une vitesse de courant V = 0 m/s (kg/ml)	Coefficient de sécurité (masse des tubes / poussée) sans unité	Poussée avec une vitesse de courant V = 1 m/s (kg/ml)	Coefficient de sécurité (masse des tubes / poussée) sans unité
1 monotube ou 1 universel	800	620	460	200	2,3	260	1,77
1 bi-tube ou 2 universels	800	620	920	200	4,6	260	3,85
1 bi-tube et 1 monotube ou 3 universels	800	1200	1380	720	1,92	820	1,68
2 bi-tubes et 3 monotubes ou 6 universels	800	1800	2760	1620	1,7	1770	1,56

Figure 7-20 Caractéristiques des digues gonflables (https://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.eptb-loire.fr/wp-content/uploads/2017/03/EPLoire-Digues-amovibles-1.pdf).

Les jonctions linéaires des tubes se font par des manchettes qui permettent de lier deux éléments tout en conservant l'étanchéité et donc la protection à cette jonction. Le système de digue amovible proposé par l'entreprise RCY est composé de tubes qui peuvent être de différentes longueurs (5-10-15-20-30 m (sauf bi-tube Ø1000 mm fabriqués en 10-15-20 m). Le raccord entre les tubes est réalisé par des manchettes en toile soudées (650 grammes/m2) qui s'ancre de 2 m sur les tubes (soit une longueur totale de 4 m)

Figure 7-21 Jonctions des tubes par manchettes en jaune (https://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.eptb-loire.fr/wp-content/uploads/2017/03/EPLoire-Digues-amovibles-1.pdf).

7.5.2.2 Avantages et inconvénients

Avantages:

- Léger et facile à manipuler.
- Installation rapide et flexible, adaptée à différents terrains.
- Facilité de transport et stockage.
- Après utilisation, ils peuvent être dégonflés, nettoyés et stockés pour une utilisation future.

Inconvénients :

- Limité à des hauteurs d'eau, selon le type de produit.
- Non adapté aux courants rapides ou aux inondations dynamiques.
- Vulnérabilité aux débris flottants et aux perforations.
- Applicabilité restreinte en raison des dimensions fixes et des limites de résistance du matériau.
- Le coût d'achat et d'installation de ces structures peut être élevé, bien que cela puisse être compensé par leur réutilisabilité et leur facilité de déploiement.

7.5.2.3 Application

Le 14 septembre 2024, une catastrophe due à des inondations a frappé Lilienfeld au village de Markl en Autriche, nécessitant une intervention rapide des pompiers locaux pour éviter des dommages majeurs par le débordement de la rivière. Pour faire face à cette situation, le NOAQ Tubewall, rempli d'air a été déployé sur une longueur de plus de 100 mètres.

Les NOAQ Tubewalls mobiles ont été fournis en deux hauteurs différentes: 75 cm et 100 cm. Les pompiers ont habilement combiné les différents éléments en les reliant solidement entre eux à l'aide de tapis de connexion. Cette solution a assuré une protection continue, même face à des exigences variées sur le terrain. Grâce à cette intervention rapide et efficace, les dommages ont été minimisés et les infrastructures critiques ont été protégées. (Source : Flood protection in Lilienfeld: Fire brigade relies on the Tubewall - Hochwasser-Shop.at).

Un autre cas, en 2002, la barrière de protection de Ramspol a été installée à Kampen, aux Pays-Bas, pour protéger contre les inondations causées par une surélévation du plan d'eau. Cette barrière est composée de trois éléments gonflables d'une largeur totale de 60 mètres. Les tubes gonflables sont remplis d'eau et d'air, ce qui leur permet de résister à la charge créée par la retenue et d'assurer une protection efficace contre les inondations jusqu'à une hauteur de 2,7 mètres. (Source : Rapport PIANC n °101. Barrière de protection de Ramspol (NL), 2008).

En général, les structures tubulaires gonflables, qu'elles soient remplies d'eau ou d'air, sont facilement adaptées aux environnements urbains, résidentiels ou ruraux. Leur flexibilité et leur

capacité à être empilées et reliées sur de longues distances les rendent particulièrement utiles pour protéger les bâtiments et les infrastructures contre les inondations.

Cependant, ces structures sont moins adaptées aux terrains accidentés. Par exemple, les terrains avec des pentes abruptes ou des surfaces irrégulières peuvent compliquer la stabilité des tubes. Dans ces conditions, il est essentiel de prendre des mesures supplémentaires pour assurer leur ancrage et leur stabilité.

De plus, une attention particulière doit être portée aux zones soumises à de fortes vagues. Les vagues peuvent accentuer la déformation des tubes, augmentant ainsi le risque de renversement. Dans le cas des tubes remplis d'eau, ce problème peut être atténué par l'ajout de barrières supplémentaires devant ou derrière ces structures selon le type de produit choisi et le facteur de sécurité souhaité. Il est également important de considérer la présence de débris ou de roches dans l'environnement. Ces éléments peuvent facilement perforer les tubes, compromettant ainsi leur efficacité.

7.6 Géobags

7.6.1 Généralités et caractéristiques

Les géobags sont des conteneurs en géotextile remplis de sable, atteignant une masse entre 100 kg à 1500 kg, selon les dimensions de ces derniers. Ils sont utilisés pour créer des revêtements le long des rivières à lit de sable, ayant l'avantage de servir à la fois de couche filtrante et d'élément de protection contre l'affouillement et l'érosion (Heibaum et al., 2008; Heibaum, 2014). Les géobags se sont révélés être une solution viable pour l'érosion des berges des rivières à lit de sable. Le succès des revêtements en géobags est attribué à certaines qualités uniques des géobags, principalement leur résistance à l'érosion dans le tablier auto-lançant sous-marin en raison de la nature flexible et poreuse des sacs. L'affouillement qui se produit au pied du tablier sape le lit couvert et provoque le "lancement" des géobags sur la pente érodée. Les géobags lancés protègent la pente et éloignent l'affouillement de la berge. Les géobags ont une petite taille de pores avec une haute perméabilité, ce qui permet à l'eau de passer à travers tout en retenant les particules de sable. Ils possèdent une excellente résistance à l'abrasion, ce qui les rend durables face aux forces de frottement et d'usure.

Les géobags ont été largement utilisés dans le monde entier pour la protection côtière (Hornsey et al., 2011) et de nombreuses études se sont concentrées sur la performance des géobags dans les environnements côtiers (Moreira et al., 2016; Dassanayake Mudiyanselage, 2013; Recio et Oumeraci, 2009). Cependant, les charges hydrauliques exercées sur les géobags utilisés pour les travaux côtiers diffèrent de celles exercées dans un écoulement en canal ouvert. Les charges de vagues dominent dans les environnements côtiers, tandis que les charges de courant sont la principale source de forces hydrauliques pour les géobags utilisés pour la protection des berges des rivières. Pilarczyk (1991) a montré que la contrainte de cisaillement moyenne au fond pour un courant avec des vagues est 3 à 5 fois plus grande que sans vagues. Les critères de conception

destinés aux applications de protection côtière ne conviennent donc pas aux travaux sous-marins dans les rivières, où la charge provient strictement du courant.

Les géobags sont remplis de manière mécanique pour garantir une efficacité et une sécurité optimales. Avant de les remplir, le site de remplissage est préparé pour assurer une manipulation sécurisée et efficace des matériaux. Les géobags sont ensuite remplis à l'aide de machines spécialisées (exp :pompe hydraulique) qui permettent de verser les matériaux (généralement du sable ou du gravier) directement dans les sacs, ce qui rend le processus rapide et réduit les efforts physiques nécessaires. Une fois remplis, les géobags sont solidement fermés à l'aide de coutures robustes ou de cordes pour éviter toute fuite de matériaux. Les géobags remplis peuvent ensuite être soulevés et déplacés vers leurs positions temporaires ou permanentes à l'aide de machines de levage, et sont placés selon les besoins spécifiques du projet, que ce soit pour la protection contre l'érosion, la construction de digues ou d'autres applications. Ce processus permet de créer des structures solides et durables, adaptées à diverses conditions environnementales.

Figure 7-22 Géobags installés au niveau d'une côte pour protection contre l'érosion côtière. (Réf : https://oceangeosynthetics.com/products/geo-bags-manufacturers/).

Les géobags sont aménagés selon les besoins (implantation immergée ou émergée, perpendiculaire ou parallèle à la côte, ancrée ou non). Comme illustré dans la Figure 24, lorsqu'aménagés de manière longitudinale, ils permettent de fixer la ligne de rivage. En effet, les profils de plages peuvent être abaissés en période de tempête, mais le géobags demeure en place et continue de supporter le talus.

Les géobags sont souvent utilisés comme solution d'urgence pour la protection des berges et des côtes en raison de leur efficacité et de leur facilité de déploiement. Par exemple, lors de situations d'urgence telles que des inondations soudaines ou des tempêtes côtières, les géobags peuvent être rapidement remplis de sable et placés pour renforcer les structures existantes ou créer de nouvelles barrières de protection.

Figure 7-23 Différentes configurations des géobags. (Réf : https://www.coastalmanagement.com.au/geotextile-sand-containers-advantages-disadvantages).

7.6.2 Avantages et inconvénients

Avantages

- Déploiement rapide : Les géobags peuvent être rapidement remplis de sable et placés sur les zones à protéger, offrant une solution immédiate contre l'érosion et les inondations.
- Flexibilité : Leur nature flexible permet de les adapter facilement aux contours irréguliers des berges et des plages, assurant une protection efficace même dans des conditions difficiles.
- Les Geobags sont disponibles en différentes résistances et tailles pour s'adapter à des applications spécifiques.
- Polyvalence : Ils peuvent être utilisés dans divers environnements, que ce soit pour la protection côtière ou fluviale, et sont efficaces contre les vagues et les courants.

Inconvénients

- Durabilité limitée : Les géobags peuvent se dégrader avec le temps, surtout s'ils sont exposés à des conditions climatiques extrêmes ou à des débris.
- Le coût peut être élevé à cause de présence de machinerie telle que la machine de levage.
- Risque de déplacement : En cas de courants très forts ou de vagues puissantes, les géobags peuvent être déplacés, réduisant ainsi leur efficacité de protection.

7.6.3 Application

En 2011, une étude a montré que les géobags ont été utilisés avec succès pour protéger les côtes de l'érosion rapide causée par des tempêtes en Australie. Les sacs ont été déployés rapidement et ont fourni une protection immédiate contre les vagues et les courants forts. De plus, leur flexibilité permet de les adapter facilement aux contours irréguliers des berges et des plages, offrant ainsi une solution temporaire, mais efficace en attendant des mesures plus permanentes. (Source : Geobag stability for riverbank erosion protection structures: Physical model study, 2019).

Les géobags ont également été utilisés dans des situations d'urgence pour stabiliser les berges des rivières après des crues soudaines. Par exemple, sur le fleuve Brahmapoutre en Inde et au Bangladesh, les géobags ont été déployés pour prévenir l'érosion des berges et protéger les infrastructures locales. Leur capacité à être rapidement mis en place et leur efficacité à court terme en font une solution précieuse dans la gestion des catastrophes naturelles. (Source : Geobag stability for riverbank erosion protection structures: Physical model study, 2019).

D'après la littérature, les géobags sont bien adaptés à différents environnements et se révèlent particulièrement fonctionnels en présence de vagues et de vents. Leur flexibilité et leur capacité à s'adapter aux contours irréguliers des berges et des plages en font une solution efficace pour la protection contre l'érosion et l'affouillement. Cependant, dans des environnements où les courants sont extrêmement puissants, les géobags peuvent être déplacés, compromettant ainsi leur fonction protectrice. Cette vulnérabilité aux courants forts nécessite une planification et une gestion minutieuses pour garantir leur efficacité. En outre, les géobags doivent être régulièrement inspectés et entretenus pour éviter les dommages causés par des actes de vandalisme ou des conditions climatiques extrêmes.

7.7 Dragage et reprofilage des plages

7.7.1 Généralités et caractéristiques :

Le dragage est une technique qui consiste à extraire les sédiments du fond marin ou des cours d'eau pour diverses raisons. Cette méthode est souvent utilisée pour garantir la sécurité de la navigation en maintenant des chenaux de navigation dégagés pour les bateaux et les navires. Dans les ports, le dragage permet de maintenir des profondeurs adéquates pour accueillir des navires de grande taille, facilitant ainsi le commerce maritime. Cette technique est également utilisée pour la décontamination des zones polluées, en enlevant les sédiments contaminés et en améliorant la qualité de l'eau. De plus, le dragage peut être utilisé pour augmenter la capacité en eau dans une zone donnée, jouant ainsi un rôle important dans l'atténuation des inondations. En éliminant les sédiments et les débris qui obstruent les cours d'eau, le dragage permet d'améliorer l'écoulement de l'eau. Cela est particulièrement important dans les zones sujettes aux crues, où une gestion efficace des sédiments peut prévenir les dommages aux infrastructures et aux habitats naturels. Par exemple, au Bénin, des dragues ont été utilisées pour détourner la rivière Mono afin de prévenir les inondations et protéger les infrastructures locales. Dans le cas des rivières, en

draguant les sédiments excessifs, cette technique peut rétablir la largeur et la profondeur des chenaux, stabilisant ainsi les berges environnantes et limitant l'érosion future.

Le dragage joue un rôle crucial dans la restauration et le reprofilage des plages en redistribuant les sédiments vers les zones érodées, contribuant ainsi à la protection des littoraux contre l'érosion. En tant que solution d'urgence, il permet d'atténuer les effets de l'érosion des berges et de prévenir les inondations en reconstituant les plages et en offrant une protection naturelle contre l'érosion côtière. Le reprofilage des plages, qui consiste à remodeler et stabiliser les plages en utilisant les sédiments dragués, est essentiel pour restaurer leur forme naturelle et leur capacité à absorber l'énergie des vagues, réduisant ainsi l'impact des tempêtes sur les infrastructures côtières. Cependant, cette approche comporte des risques, notamment une augmentation des forces érosives si le banc d'emprunt est situé trop proche de la rive, car une profondeur d'eau accrue permet à de plus fortes vagues d'atteindre la berge. Il est donc crucial de planifier soigneusement les opérations de dragage et de reprofilage pour minimiser ces risques et maximiser les bénéfices pour la protection côtière.

Il existe différentes méthodes et équipements utilisés pour le dragage et le reprofilage des plages en fonction des besoins spécifiques de chaque projet. Pour les petits projets, tels que les interventions d'urgence, une simple drague à succion hydraulique peut suffire. L'utilisation de bulldozers est également courante pour remodeler mécaniquement le haut de plage, en déplaçant et nivelant le sable afin de restaurer la forme naturelle de la plage. En revanche, les projets plus importants, comme l'approfondissement des canaux de navigation ou le reprofilage des plages à grande échelle, nécessitent des équipements spécialisés tels que des dragues à trémie ou des dragues suceuses traînantes.

Finalement, des analyses rigoureuses de la qualité des sédiments sont indispensables avant de procéder au dragage afin d'éviter de prélever des matériaux contaminés. Ces analyses permettent de déterminer la composition physico-chimique des sédiments et d'identifier la présence de contaminants potentiels tels que les métaux lourds, les hydrocarbures, et autres substances toxiques. Les résultats des analyses influencent les décisions concernant le traitement et la gestion des sédiments extraits, garantissant ainsi que les matériaux dragués ne nuisent pas aux écosystèmes aquatiques ni à la santé humaine.

Figure 7-24 Exemple de dragage à succion et à pelle hydraulique.

Figure 7-25 Reprofilage des plages à Cadix et Huelva, 2018 (Source : Réensablement d'urgence des plages de Cadix et Huelva - Dravosa).

7.7.2 Avantages et inconvénients

Avantages

- Solution adaptable : Le dragage peut être ciblé sur des zones spécifiques (exutoires, zones peu profondes) pour une intervention rapide et efficace en cas de besoin urgent.
- Opportunités récréatives : Le reprofilage des plages améliore les conditions pour les activités récréatives en créant des plages plus larges et plus stables, augmentant ainsi les surfaces disponibles pour les loisirs.

Inconvénients

- Impacts environnementaux : Le dragage perturbe les écosystèmes aquatiques en détruisant les habitats naturels des plantes et des animaux (poissons, crustacés, etc.). Il aussi peut libérer des polluants piégés dans les sédiments (métaux lourds, pesticides), ce qui dégrade la qualité de l'eau et affecte la biodiversité.
- Coûts élevés : Le dragage est une opération coûteuse, surtout en mode d'urgence, car il nécessite des équipements spécialisés et une main-d'œuvre importante.
- Complexité logistique : En situation d'urgence, la mise en œuvre rapide du dragage peut être difficile en raison des contraintes techniques, des autorisations nécessaires et des conditions météorologiques.
- Impacts sur les activités humaines : Le dragage peut perturber les activités locales (pêche, tourisme, navigation) pendant et après l'intervention.

7.7.3 Application

Le projet de rechargement des plages de Cadix et Huelva en Espagne, réalisé en 2018 (Figure 27). Suite aux tempêtes de février et mars 2018, une procédure d'urgence a été déclarée pour atténuer les effets des tempêtes sur le littoral espagnol. Les travaux ont consisté à extraire du sable du fond marin, à le transporter, à le pomper à terre, puis à l'étaler et à reprofiler les plages affectées.

Les plages concernées incluaient Santa María, La Victoria, Cortadura, La Barrosa, Roche, Calas de Poniente, Fuente del Gallo, La Fontanilla, Los Bateles, El Palmar et Mazagón. Par exemple, à La Barrosa, environ 252 000 m^3 de sable ont été dragués et redistribués pour restaurer la plage. Ce type de projet permet de protéger les communautés locales contre les dommages causés par les tempêtes et de préserver l'espace de plage récréatif.

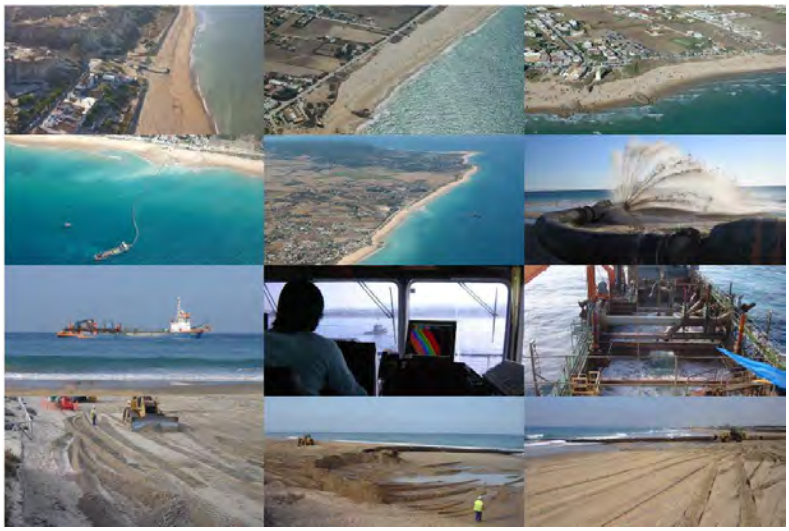


Figure 7-26 Dragage et Réensablement d'urgence des plages de Cadix et Huelva (Source : Réensablement d'urgence des plages de Cadix et Huelva - Dravosa).

Le dragage et le reprofilage des plages sont des mesures d'urgence efficaces pour lutter contre les inondations et l'érosion côtière, en redistribuant les sédiments vers les zones érodées pour restaurer les plages et protéger les littoraux. Ces techniques sont particulièrement utiles dans les zones côtières sujettes aux tempêtes et aux vagues fortes, offrant une protection naturelle et préventive. Cependant, leur mise en œuvre peut être difficile dans des environnements où les courants sont extrêmement puissants ou où l'accès aux sites est limité, nécessitant une planification minutieuse et une prise en compte des conditions locales spécifiques pour garantir leur efficacité.

8 TECHNIQUES EXPÉRIMENTALES

8.1 Description sommaire de l'approche

Le développement de nouvelles techniques de protection côtière s'est poursuivi au courant des dernières années afin de mieux répondre aux enjeux croissants liés aux changements climatiques anticipés. Ces approches novatrices cherchent à exploiter différents principes physiques, chimiques ou biologiques, et se distinguent souvent des approches conventionnelles par leur potentiel d'adaptation et leur caractère moins invasif sur le milieu récepteur.

Le caractère expérimental de ces approches implique néanmoins que leur faisabilité technique, leur durabilité et leur performance à long terme doivent encore être évaluées avant d'envisager un déploiement à plus large échelle, d'autant plus dans un contexte climatique comme celui du Québec. Quelques-unes d'entre elles sont regroupées dans cette section afin de donner un petit aperçu des directions de recherche et d'innovations dans le domaine de la protection côtière à l'échelle globale.

8.2 Variantes d'aménagement

8.2.1 Forêts de mangroves, kelp et autres solutions végétales

La capacité de protection naturelle des forêts de mangroves contre l'érosion côtière a fait l'objet de plusieurs études au courant de la dernière décennie. Ces arbres tropicaux au système racinaire dense et émergent permettent une dissipation substantielle de l'énergie des vagues et des courants en amont du trait de côte. La canopée des mangroves peut également atténuer l'énergie des vents violents lors des évènements de tempêtes (Marois et Mitsch, 2015). L'efficacité de la protection offerte dépend de plusieurs variables, la largeur, la densité et l'âge de la forêt étant parmi les plus déterminantes. Une étude effectuée avec des spécimens vivants dans un canal à vagues a mesuré une atténuation de l'énergie des vagues incidentes de 40 à 60%, une accrétion des sédiments près des racines et un apport de matière organique ayant contribué à l'élévation du sol de l'ordre de quelques centimètres (Weaver et Stehno, 2024).

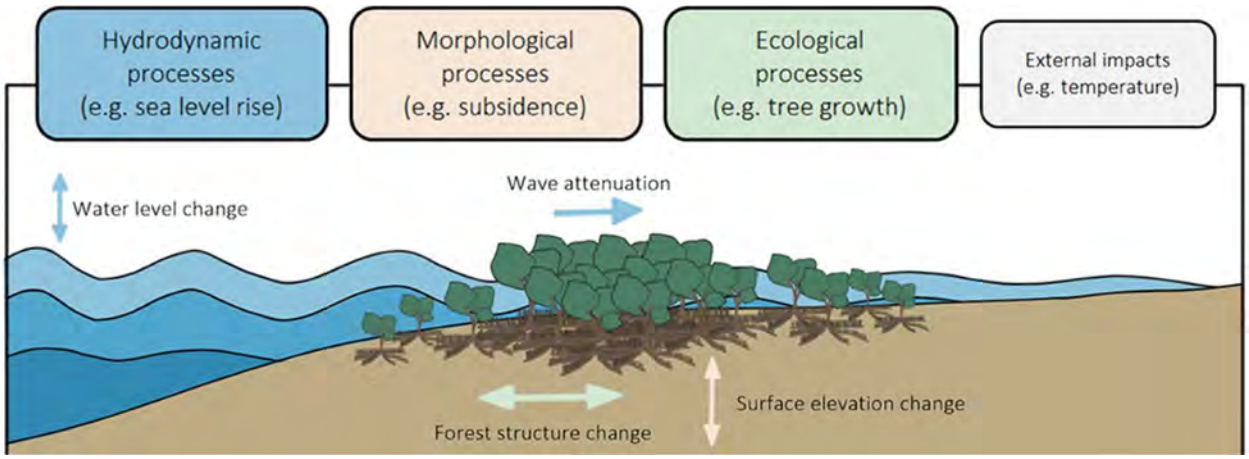


Figure 8-1 Exemple schématique de la façon dont les mangroves peuvent altérer différents processus en milieux côtiers **(Gijsman et al., 2021)**

Les forêts de kelp, quant à elles, influencent principalement la dynamique des courants longitudinaux en exerçant une force de trainée importante dans la colonne d'eau. Les effets d'atténuation peuvent réduire jusqu'à trois fois la vitesse des courants dans les lits denses, mais leur impact direct sur l'énergie des vagues est plus variable et dépend fortement de la morphologie des espèces et des conditions du site (Morris et al., 2019).

L'implémentation au lac Saint-Jean de ces espèces tropicales n'est pas envisageable, mais il demeure pertinent de souligner l'importance d'investiguer davantage comment la végétation aquatique locale peut être mise à profit dans la lutte contre l'érosion et la bonification écologique des techniques courantes. À titre d'exemple, le projet de restauration de Brandenburg Park (voir Section 6.6) a intégré à sa conception des plants de Vallisnérie d'Amérique, une espèce aquatique indigène au lac Saint-Jean et dont les populations sont en recul au profit des colonies de cyanobactéries (Organisme de bassin versant du fleuve Saint-Jean (OBVFSJ), 2016).

8.2.2 Dispositifs d'absorption des vagues

Cette technique repose sur un système de deux cavités positionnées perpendiculairement aux vagues le long du rivage. Le principe s'appuie sur un phénomène de résonance où les cavités sont dimensionnées pour réfléchir des ondes secondaires qui atténuent ou annulent parfaitement l'énergie des vagues incidentes.

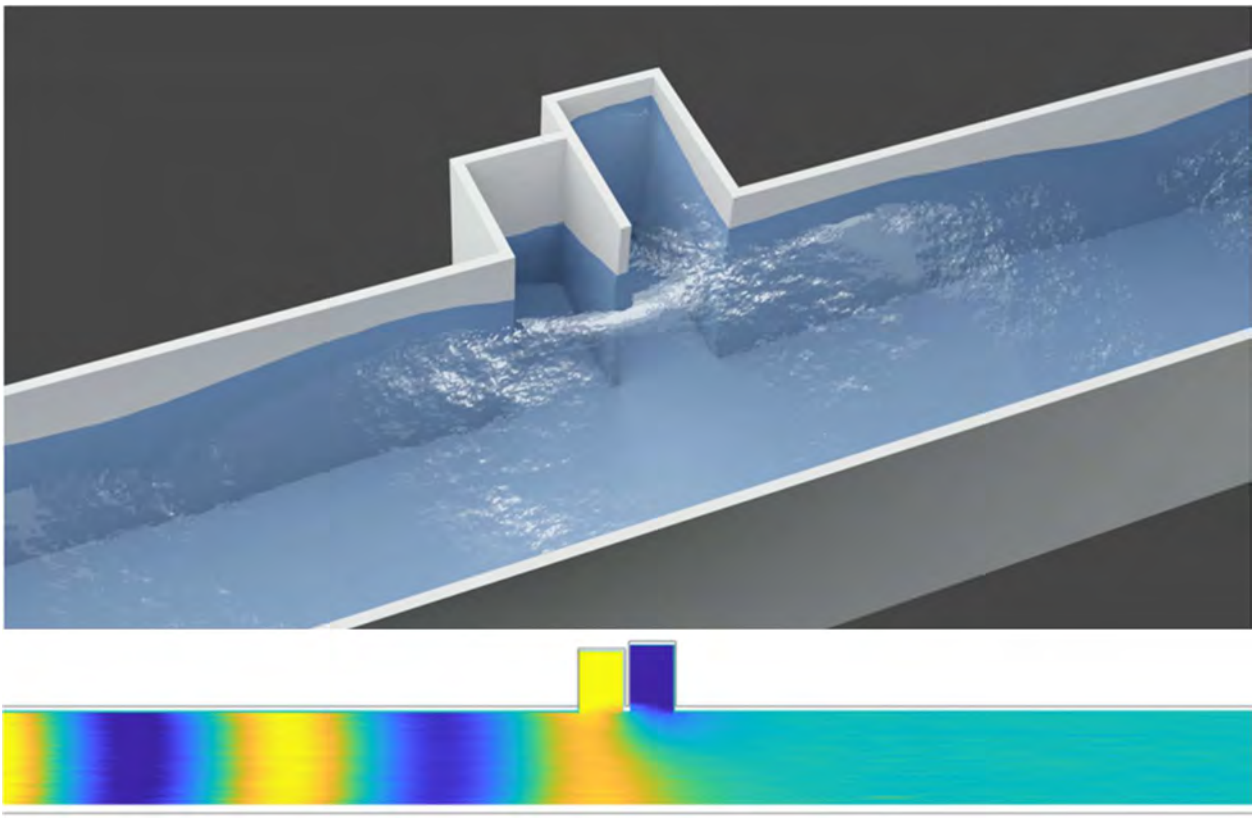


Figure 8-2 Vue conceptuelle des cavités et de leur effet d'absorption de l'énergie dans un canal à vagues **(Euvé et al., 2023)**

Une étude en laboratoire a démontré que l'action combinée des deux cavités permettait d'atténuer significativement les forces des vagues en aval. Ce système a été testé principalement avec des vagues unidirectionnelles dans des conditions idéalisées; son application en milieu naturel où les conditions sont complexes pose évidemment d'importants défis techniques. Néanmoins, ces résultats démontrent qu'il est possible de faire usage créatif de principes fondamentaux de physique et de géométries spécifiques pour atténuer les forces érosives.

8.2.3 Électrification des plages et de l'eau de mer

Une autre approche innovante en milieux côtiers consiste en l'utilisation d'un principe de stimulation électrique contrôlée (typiquement entre 2 et 4V) qui provoque la précipitation de minéraux comme l'hydroxyde de magnésium et le carbonate de calcium dans les espaces poreux du sable. Cette minéralisation réduit la conductivité hydraulique, augmente la résistance à la compression, et transforme le sable en un matériau plus cohésif. Une étude récente a démontré que le processus pouvait augmenter la résistance à la compression non confinée jusqu'à plusieurs MPa (Landivar Macias et al., 2024).

Figure 8-3 Impression artistique de la stimulation électrique contrôlée pour améliorer la résistance du sable à l'érosion (image extraite du site web de PhysOrg[89]).

La technologie Biorock fait usage d'un principe similaire à l'électrification des plages, mais l'utilise plutôt pour faire précipiter des minéraux calcaires sur des treillis d'acier placés en avant des plages dans le but de stimuler la croissance éventuelle de récifs artificiels. Ces récifs agissent ensuite en tant que brise-lames submergés, perméables et autoréparateurs. Selon une étude, des plages sévèrement érodées en Indonésie auraient ainsi pu être régénérées en quelques mois seulement par l'installation de la technologie Biorock sur des récifs (Goreau et Prong, 2017).

[89] https://phys.org/news/2024-08-coastal-erosion-electricity.html

Bien que les conditions environnementales rendent ces techniques inapplicables au Québec, elles illustrent comment l'exploitation des processus physico-chimiques de l'eau peut ouvrir la voie à de nouvelles solutions pour la protection du littoral.

8.2.4 Brise-lames flexibles

Quelques prototypes de structures flexibles et flottantes ont été développés afin de fournir une alternative plus perméable et moins perturbatrice de la dynamique sédimentaire que les brise-lames conventionnels. Le *Derosion boat* développé à Taiwan en est un exemple. Sa structure modulaire, composée d'un treillis métallique, ancré et maintenu en surface par des flotteurs, lui permet de se déformer sous l'action des vagues et d'en dissiper l'énergie efficacement. Sa flottabilité assure son adaptation aux variations de niveau d'eau et limite les enjeux géotechniques potentiels.

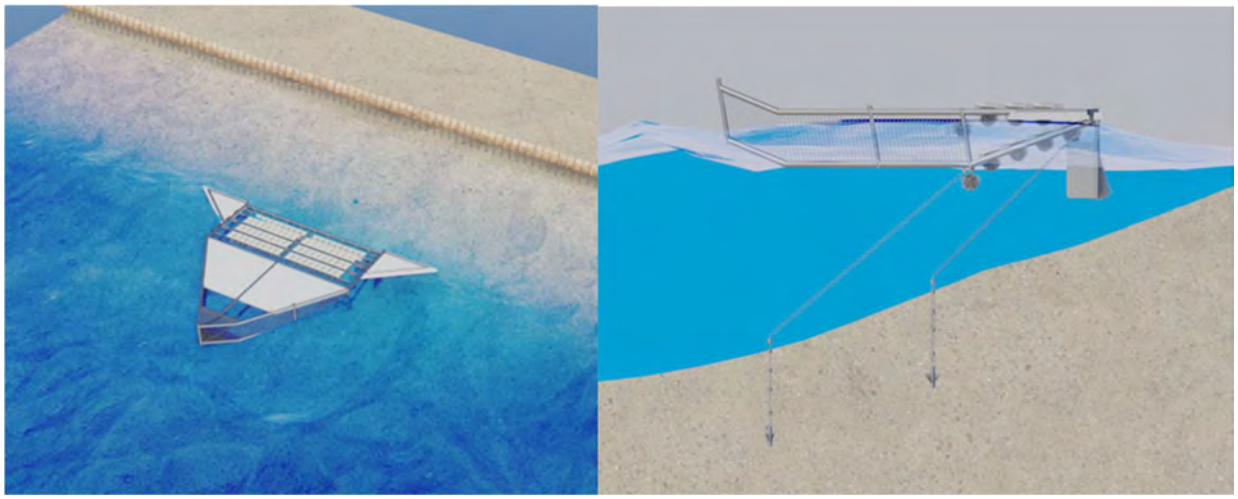


Figure 8-4 Concept du *Derosion Boat* tiré du site web de la firme *Reshore Technologies*[90]

Les composantes majeures de ce prototype ont été testées indépendamment en simulations CFD et sur quelques secteurs de plage fortement érodés où une accumulation de sédiments fut observée (Chyan-Deng Jan et al., 2015; Thongsri et al., 2022). Sa durabilité à long terme en conditions de tempête et de glaces reste toutefois à valider, particulièrement dans un contexte d'application comme celui du lac Saint-Jean.

[90] https://reshore.tech//our-technology/

8.2.5 Impression 3D et composites expérimentaux

Les développements récents et la réduction des coûts en matière de technologies d'impression 3D et d'acquisition de données numériques ouvrent la voie à des applications innovantes dans la protection du littoral. Tel que vu à la section 6.2.2, la flexibilité inhérente de ces procédés de fabrication permet de moduler la forme des unités préfabriquées utilisées dans les ouvrages traditionnels comme les brise-lames afin d'en augmenter la valeur écologique.

Au-delà de l'optimisation des ouvrages existants, les progrès en matière de techniques de manufacture avancée permettent désormais de reproduire fidèlement la complexité géométrique et structurale d'écosystèmes comme les récifs coralliens et ostréicoles. Plusieurs compagnies et organismes à but non lucratif innovants exploitent cette capacité en développant des matériaux spécialisés pour fabriquer des modules artificiels qui pourraient compenser le recul de ces milieux naturels (Perricone et al., 2023). Ces structures biomimétiques ont le potentiel de pouvoir reproduire à la fois les fonctions écologiques et l'efficacité de protection côtière de leurs homologues naturels.

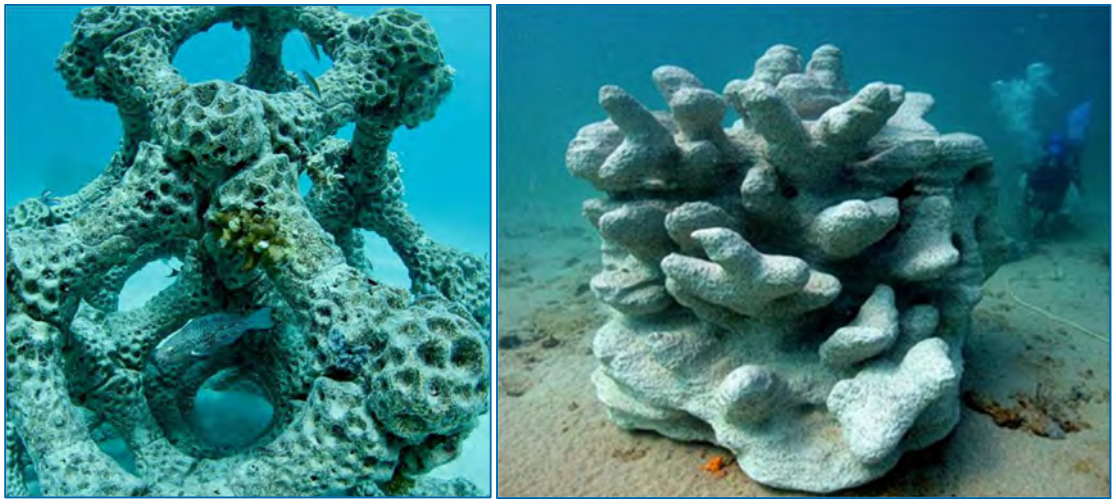


Figure 8-5 Exemples de modules biomimétiques utilisés dans les projets de récifs artificiels **(Perricone et al., 2023)**

Ces avancées pourraient également jouer un rôle clé dans la restauration des écosystèmes végétaux côtiers dans les années à venir. La compagnie australienne *Reef Design Lab* et des chercheurs de l'Université de Melbourne explorent actuellement l'utilisation de supports de plantation imprimés et réutilisables afin de faciliter l'établissement des pousses de mangroves. Ces structures visent à protéger et soutenir les jeunes plants jusqu'au développement suffisant de leur système racinaire pour maximiser leur survie. Un principe similaire pourrait être appliqué pour des espèces végétales des régions tempérées moins clémentes.

Figure 8-6 Un exemple de supports de plantation hexagonale utilisés dans un projet de restauration d'écosystèmes de mangroves en Australie[91]

[91] Image tirée du site web : https://www.reefdesignlab.com/mangrove-planters

9 RÉFÉRENCES

Bittle, J. (2024). Can the « sand motor » save West Africa's eroding coast? Grist.

Boyer-Villemaire, U., Circé, M., Da Silva, L., Desjarlais, C., et Morneau, F. (2016). Rapport synthèse de l'analyse coûts-avantages des options d'adaptation en zone côtière au Québec et dans les provinces atlantiques. 36.

Brière, C., Janssen, S. K. H., Oost, A. P., Taal, M., et Tonnon, P. K. (2018). Usability of the climate-resilient nature-based sand motor pilot, The Netherlands. *Journal of Coastal Conservation*, 22(3), 491-502.

Chyan-Deng Jan, Ta-Hsiung Peng, Shih-Jen Huang, et Hung-Chu Hsu (2015). An Experimental Field Study Using A Flexible High-Strengh Net Breakwater for Shore Protection. *Journal of Marine Science and Technology*, 23(1).

Comité ZIP Côte-Nord du Golfe (2006). *L'érosion côtière et les impacts des méthodes de stabilisation sur l'environnement : document d'information*. Sept-Îles.

Dean, R. G. (2003). *Beach Nourishment: Theory and Practice*. WORLD SCIENTIFIC.

Dean, R. G., et Dalrymple, R. A. (2002). *Coastal Processes with Engineering Applications*. Cambridge University Press., New York, NY.

Environnement et Changement climatique Canada (2022). *Adaptation aux changements climatiques: solutions pour améliorer la résilience des milieux humides côtiers des Grands Lacs*. Environnement et changement climatique Canada = Environment and Climate Change Canada, Gatineau (Québec).

Euvé, L.-P., Pham, K., Porter, R., Petitjeans, P., Pagneux, V., et Maurel, A. (2023). Perfect Resonant Absorption of Guided Water Waves by Autler-Townes Splitting. *Physical Review Letters*, 131(20), 204002.

Gallop, S. L., Bosserelle, C., Eliot, I., et Pattiaratchi, C. (2011). Form and function of natural and engineered perched beaches. *Engineers Australia*, Barton ACT, pp. 232-237.

Gibeaut, J., Hepner, T., Waldinger, R., Andrews, J., Smyth, R., et Gutierrez, R. (2003). *Geotubes for temporary erosion control and storm surge protection along the Gulf of Mexico shoreline of Texas*.

Gijsman, R., Horstman, E. M., Van Der Wal, D., Friess, D. A., Swales, A., et Wijnberg, K. M. (2021). Nature-Based Engineering: A Review on Reducing Coastal Flood Risk With Mangroves. *Frontiers in Marine Science*, 8, 702412.

Goreau, T., et Prong, P. (2017). Biorock Electric Reefs Grow Back Severely Eroded Beaches in Months. *Journal of Marine Science and Engineering*, 5(4), 48.

Griggs, G. (2024). Beach Nourishment: A Critical Look. *Journal of Coastal Research*, 40(5).

Hesp, P. (2002). Foredunes and blowouts: initiation, geomorphology and dynamics. *Geomorphology*, 48(1-3), 245-268.

Landivar Macias, A., Jacobsen, S. D., et Rotta Loria, A. F. (2024). Electrodeposition of calcareous cement from seawater in marine silica sands. *Communications Earth & Environment*, 5(1), 442.

Larose, I. (2023). Érosion et submersion côtières : la gestion de Québec « n'est pas efficace ». Radio-Canada.

Le Devoir (2023). Un Québec très mal préparé pour l'érosion côtière. Le Devoir.

Lemmen, D. S. (2023). *Pratiques exemplaires pour l'adaptation intégrée aux changements climatiques dans les collectivités côtières canadiennes*.

Mangor, K., Drønen, N., Kærgaard, K., et Kristensen, S. (2017). *Shoreline Management Guidelines*.

Marois, D. E., et Mitsch, W. J. (2015). Coastal protection from tsunamis and cyclones provided by mangrove wetlands – a review. *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services & Management*, 11(1), 71-83.

Mineo-Kleiner, L. (2017). L'option de la relocalisation des activités et des biens face aux risques côtiers: stratégies et enjeux territoriaux en France et au Québec.

Mohammadi, F., et Mohammadi, N. (2015). Technical Evaluation of the Performance of River Groynes Installed in Sezar and Kashkan Rivers, Lorestan, Iran. *Journal of Applied Environnemental and Biological Science*, 5(1), 258-268.

Morris, R. L., Graham, T. D. J., Kelvin, J., Ghisalberti, M., et Swearer, S. E. (2019). Kelp beds as coastal protection: wave attenuation of Ecklonia radiata in a shallow coastal bay. *Annals of Botany*, mcz127.

Murphy, E., Cornett, A., Van Proosdij, D., et Mulligan, R. P. (2024). *Infrastructures fondées sur la nature pour la gestion des risques d'inondation et d'érosion côtières : guide canadien de conception*. Conseil national de recherches du Canada. 368 p. pp.

Organisme de bassin versant du fleuve Saint-Jean (OBVFSJ) (2016). *Carnet de santé du lac Saint-Jean*. Témiscouata-sur-le-Lac. 26 pp.

Perricone, V., Mutalipassi, M., Mele, A., Buono, M., Vicinanza, D., et Contestabile, P. (2023). Nature-based and bioinspired solutions for coastal protection: an overview among key ecosystems and a promising pathway for new functional and sustainable designs. S. Degraer (Éd.). *ICES Journal of Marine Science*, 80(5), 1218-1239.

Radio-Canada, Z. E.- (2021). Site historique de La Grave : les travaux de recharge sont lancés. Radio-Canada.

Sanitwong-Na-Ayutthaya, S., Saengsupavanich, C., Ariffin, E. H., Ratnayake, A. S., et Yun, L. S. (2023). Environmental impacts of shore revetment. *Heliyon*, 9(9), e19646.

Thongsri, J., Tangsopa, W., Kaewbumrung, M., Phanak, M., et Busayaporn, W. (2022). Derosion Lattice Performance and Optimization in Solving an End Effect Assessed by CFD: A Case Study in Thailand's Beach. *Water*, 14(9), 1358.

Turner, I., et Leatherman, S. (1997). Beach Dewatering as a 'Soft' Engineering Solution to Coastal Erosion: A History and Critical Review. *Journal of Coastal Research*, 13(4), 1050-1063.

U.S. Army Corps of Engineers (2002). *Coastal Engineering Manual*. EM 1110-2-1100. Washington D.C.

Van Meulen, F. D., Bakker, T. W. M., et Houston, J. A. (2008). The Costs of our Coasts: Examples of Dynamic Dune Management from Western Europe. In M.L. Martínez et N.P. Psuty (Éd.)M.M. Caldwell, G. Heldmaier, R.B. Jackson, O.L. Lange, H.A. Mooney, E.-D. Schulze, et U. Sommer (Eds.), *Coastal Dunes* (pp. 259-277). Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg.

Van Rijn, L. (2010). *Coastal erosion control based on the concept of sediment cells*.

Van Rijn, L. C. (2011). Coastal erosion and control. *Ocean & Coastal Management*, 54(12), 867-887.

Vouk, I., Pilechi, V., Provan, M., et Murphy, E. (2021). *Nature-Based Solutions for Coastal and Riverine Flood and Erosion Risk Management*.

Weaver, R. J., et Stehno, A. L. (2024). Mangroves as Coastal Protection for Restoring Low-Energy Waterfront Property. *Journal of Marine Science and Engineering*, 12(3), 470.

WSP Canada (2015). *Revue de littérature sur les techniques de stabilisation et de protection des berges et des plages*.

Yousefi, A., Vincent, O. D., et Mohan, R. K. (2024). A REVIEW OF HISTORICAL TRENDS FOR BEACH NOURISHMENT IN THE UNITED STATES. *Western Dredging Association Journal of Dredging*, 21(2).

ANNEXE A

RÉGLEMENTATION APPLICABLE POUR LES TRAVAUX IMPLIQUANT L'EXPLOITATION DE BANCS D'EMPRUNTS SUBAQUATIQUES

ANNEXE : RÈGLEMENTATION APPLICABLE POUR LES TRAVAUX IMPLIQUANT L'EXPLOITATION DE BANCS D'EMPRUNTS SUBAQUATIQUES

L'exploitation de bancs d'emprunts subaquatiques est soumise à de nombreuses lois et règlements, et ce, tant au niveau du gouvernement provincial qu'au niveau du gouvernement fédéral. Les sections ci-dessous, divisées selon les autorités responsables de l'application, détaillent la réglementation applicable.

1 Ministère de l'environnement et de lutte contre les changements climatiques, de la faune et des parcs (MELCCFP) – Échelle provinciale

1.1 Loi sur la qualité de l'environnement

Tout d'abord, deux règlements distincts édictés en vertu de la *Loi sur la qualité de l'environnement* (LQE) encadrent l'activité d'exploitation de bancs d'emprunts subaquatiques. Le premier règlement, soit le règlement relatif à l'évaluation et l'examen des impacts sur l'environnement de certains projets (REEIE) dresse une liste de projets assujettis à la procédure d'évaluation et d'examen des impacts sur l'environnement. Ainsi, afin de ne pas être assujetti à cette procédure, il faut s'assurer que les travaux de dragage, de déblai, de remblai ou de redressement, à quelques fins que ce soit, à l'intérieur de la limite des inondations de récurrence de 2 ans d'une rivière ou d'un lac, ne doivent pas sur une distance cumulative être égale ou supérieure à 500 m ou correspondre à une superficie cumulative égale ou supérieure à 5 000 m^2, pour une même rivière ou un même lac.

Lorsque les travaux d'exploitation de bancs d'emprunts subaquatiques ne dépassent pas les critères exposés dans le REEIE, c'est plutôt le deuxième règlement qui s'applique, soit le règlement sur l'encadrement d'activités en fonction de leur impact sur l'environnement (REAFIE). Ce dernier vise à préciser l'encadrement des activités soumises à une autorisation ministérielle, en vertu de l'article 22 de la LQE. Selon le paragraphe 4 du premier alinéa de l'article 22, lorsque des activités sont situées en tout ou en partie dans des milieux humides et hydriques, ces dernières sont soumises à une autorisation ministérielle. Ainsi, les interventions impliquant le dragage de sédiments doivent inclure les intrants suivants lors du dépôt de la demande d'autorisation ministérielle :

- L'évaluation du potentiel de contamination des sédiments;
- Caractérisation physicochimique des sédiments et leur toxicité (seulement nécessaire si l'évaluation du potentiel de contamination conclut à une contamination potentielle ou réelle);
- L'avis de mobilité du cours d'eau.

Le mode de gestion des sédiments extraits est établi selon leur niveau de contamination. Ainsi, des sédiments qui ne sont pas contaminés peuvent être gérés en milieu aquatique et être utilisés pour des travaux de rechargement de plage par exemple.

Afin d'aider le demandeur, des aide-mémoires et des guides en lien avec les intrants requis sont disponibles en ligne. En voici quelques exemples :

- Aide-mémoire en lien avec l'évaluation du potentiel de contamination des sédiments
- Aide-mémoire en lien avec l'avis de mobilité du cours d'eau
- Critères de qualité des sédiments extraits

Il est important également de noter que l'initiateur d'un projet entraînant une perte permanente de milieux humides ou hydriques pourrait se voir être dans l'obligation de compenser ces pertes. En effet, le gouvernement du Québec s'est doté dans la *Loi concernant la conservation des milieux humides et hydriques* de l'objectif d'aucune perte nette de milieux humides et hydriques. Ainsi, les pertes inévitables devraient être compensées en vertu de l'article 46.0.5 de la LQE. Cette compensation doit se faire en priorisant dans un premier temps la restauration de milieux dégradés ou la création de nouveaux milieux. L'initiateur du projet peut également compenser les pertes par le paiement d'une contribution financière.

1.2 Loi sur la conservation et la mise en valeur de la faune

Le MELCCFP est aussi responsable de faire appliquer la *Loi sur la conservation et la mise en valeur de la faune* (LCMVF). En vertu de l'article 128.7 de cette loi, il est nécessaire de faire parvenir une demande d'autorisation à la direction de la gestion de la faune lorsque des activités sont susceptibles de modifier l'habitat du poisson en territoire public comme c'est le cas lors des activités de dragage.

2 Pêches et Océans Canada (MPO) – Échelle fédérale

L'un des objectifs poursuivis par Pêches et Océans Canada (MPO) est de protéger les écosystèmes et les espèces aquatiques contre les effets négatifs des activités humaines et des espèces envahissantes en appliquant notamment la *Loi sur les pêches*. Selon les paragraphes 34.4 (1) et 35 (1) de la loi, il est interdit d'exploiter un ouvrage ou d'exercer une activité entraînant la détérioration, la destruction ou la perturbation de l'habitat du poisson ou la mort du poisson à moins d'avoir eu l'autorisation du MPO.

Afin de vérifier si un projet concernant l'exploitation d'un banc d'emprunt subaquatique nécessite l'autorisation du MPO, il est essentiel de présenter dans un premier temps une demande d'examen. Selon la nature des activités prévues par le projet ainsi que l'application ou non des mesures de protection du poisson et de son habitat, le MPO rend ensuite une décision à savoir si le projet requiert une autorisation ou non. De plus, si le projet impacte des espèces en périls contenus dans la *Loi sur les espèces en péril*, l'obtention d'un permis spécifique à cette loi est nécessaire avant d'effectuer tous travaux.

3 Transport Canada – Échelle fédérale

Transport Canada gère le Programme de protection de la navigation (PPN) qui applique notamment la *Loi sur les eaux navigables canadiennes* (LENC). En vertu de la LENC, les propriétaires d'ouvrages qui proposent de construire, de mettre en place, de modifier, de reconstruire, d'enlever ou de déclasser des ouvrages qui se trouvent dans, sur, sous ou à travers des eaux navigables ou au-dessus de celles-ci peuvent être tenus de présenter une demande d'approbation à Transports Canada.

Selon la définition du terme « ouvrage » fourni dans la LENC, les déversements de remblais dans des eaux navigables ou les excavations ou dragages de matériaux tirés du lit d'eaux navigables sont considérés comme étant des ouvrages. En ce sens, tout projet incluant du dragage qui n'est pas exécuté afin de maintenir la profondeur ou la largeur de l'eau navigable est inclus dans la classe des ouvrages majeurs. Cela signifie donc qu'il est nécessaire de soumettre une demande d'approbation à Transport Canada via le site de soumission externe du PPN.

4 Conclusion

En conclusion, l'exploitation de bancs d'emprunts subaquatiques est une activité réglementée par plusieurs lois et règlements afin de protéger l'environnement et les écosystèmes aquatiques. Au niveau provincial, le MELCCFP joue un rôle clé dans l'application de la LQE et ses règlements ainsi que la LCMVF. Les projets doivent respecter des critères stricts pour éviter des impacts négatifs sur les milieux humides et hydriques en plus d'inclure des mesures d'atténuation appropriées.

D'autre part, le gouvernement fédéral, par l'intermédiaire du MPO et de Transport Canada, impose des règlements visant à protéger l'habitat du poisson, les espèces en péril et la navigation. Les projets d'exploitation de bancs d'emprunts subaquatiques doivent passer par un processus d'examen et d'autorisation afin de s'assurer qu'ils ne détériorent pas les écosystèmes aquatiques ni ne perturbent les voies navigables.

Ainsi, l'exploitation de bancs d'emprunts subaquatiques requiert une planification et une conformité rigoureuses, avec une collaboration étroite entre les autorités provinciales et fédérales pour protéger et préserver les écosystèmes aquatiques.

ANNEXE

A6-2 *Photographie présentant des exemples de travaux réalisés*

Rechargement de plage

Rechargement de plage

RioTinto

Épis

Épis et brise-lames

RioTinto

Brise-lames

Îlots de pierres

RioTinto

Perré

Empierrement semi-statique

RioTinto

Technique mixte, enrochement avec technique végétale (vue 3 ans après travaux)

Technique mixte, enrochement avec technique végétale

ANNEXE

A6-3 *Inventaire et analyse des plages et des berges, etc.*

Confidentiel

Rio Tinto Alcan inc.

Programme de gestion de l’érosion des plages et des berges du lac Saint-Jean 2028-2037

Inventaire et analyse détaillée des berges et plages du lac Saint-Jean et description de la méthodologie

Lac Saint-Jean

DÉCEMBRE 2025

Référence WSP : CA0023135.4873
Référence client : -

Rapport, version finale

ROBERVAL
26 avril 2024
Niveau LSJ : 100,24 m

ALMA
30 avril 2024
Niveau LSJ : 100,45 m

RIO TINTO ALCAN INC.

PROGRAMME DE GESTION DE L'ÉROSION DES PLAGES ET DES BERGES DU LAC SAINT-JEAN 2028-2037

INVENTAIRE ET ANALYSE DÉTAILLÉE DES BERGES ET PLAGES DU LAC SAINT-JEAN ET DESCRIPTION DE LA MÉTHODOLOGIE

LAC SAINT-JEAN

RAPPORT, VERSION FINALE
CONFIDENTIEL

RÉFÉRENCE WSP : CA0023135.4873
RÉFÉRENCE CLIENT : -

DÉCEMBRE 2025

WSP CANADA INC.
125, RUE RACINE EST
CHICOUTIMI (QUÉBEC) G7H 1R5
CANADA

TÉLÉPHONE : +1-418-698-4488
TÉLÉCOPIEUR : +1-418-698-6677

WSP.COM

SIGNATURES

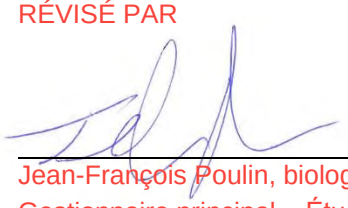
PRÉPARÉ PAR

Noémie Blouin, ing., (OIQ nº 5039486)

16 décembre 2025

Date

RÉVISÉ PAR



Jean-François Poulin, biologiste M. Sc.
Gestionnaire principal – Études d'impact

16 décembre 2025

Date

LIMITATIONS

WSP Canada Inc. (« WSP ») a préparé ce rapport uniquement pour son destinataire Rio Tinto Alcan inc., conformément à la convention de consultant convenue entre les parties. Advenant qu'une convention de consultant n'ait pas été exécutée, les parties conviennent que les Modalités générales à titre de consultant de WSP régiront leurs relations d'affaires, lesquelles vous ont été fournies avant la préparation de ce rapport.

Ce rapport est destiné à être utilisé dans son intégralité. Aucun extrait ne peut être considéré comme représentatif des résultats de l'évaluation.

Les conclusions présentées dans ce rapport sont basées sur le travail effectué par du personnel technique, entraîné et professionnel, conformément à leur interprétation raisonnable des pratiques d'ingénierie et techniques courantes et acceptées au moment où le travail a été effectué.

Le contenu et les opinions exprimées dans le présent rapport sont basés sur les observations et/ou les informations à la disposition de WSP au moment de sa préparation, en appliquant des techniques d'investigation et des méthodes d'analyse d'ingénierie conformes à celles habituellement utilisées par WSP et d'autres ingénieurs/techniciens travaillant dans des conditions similaires, et assujettis aux mêmes contraintes de temps, et aux mêmes contraintes financières et physiques applicables à ce type de projet.

WSP dénie et rejette toute obligation de mise à jour du rapport si, après la date du présent rapport, les conditions semblent différer considérablement de celles présentées dans ce rapport; cependant, WSP se réserve le droit de modifier ou de terminer ce rapport sur la base d'informations, de documents ou de preuves additionnels.

WSP ne fait aucune représentation relativement à la signification juridique de ses conclusions.

La divulgation de tout renseignement faisant partie du présent rapport relève uniquement de la responsabilité de son destinataire. Si un tiers utilise, se fie, ou prend des décisions ou des mesures basées sur ce rapport, ledit tiers en est le seul responsable. WSP n'accepte aucune responsabilité quant aux dommages que pourrait subir un tiers suivant l'utilisation de ce rapport ou quant aux dommages pouvant découler d'une décision ou mesure prise basée sur le présent rapport.

WSP a exécuté ses services offerts au destinataire de ce rapport conformément à la convention de consultant convenue entre les parties tout en exerçant le degré de prudence, de compétence et de diligence dont font habituellement preuve les membres de la même profession dans la prestation des mêmes services ou de services comparables à l'égard de projets de nature analogue dans des circonstances similaires. Il est entendu et convenu entre WSP et le destinataire de ce rapport que WSP n'offre aucune garantie, expresse ou implicite, de quelque nature que ce soit. Sans limiter la généralité de ce qui précède, WSP et le destinataire de ce rapport conviennent et comprennent que WSP ne fait aucune représentation ou garantie quant à la suffisance de sa portée de travail pour le but recherché par le destinataire de ce rapport.

En préparant ce rapport, WSP s'est fié de bonne foi à l'information fournie par des tiers, comme indiqué dans le rapport. WSP a raisonnablement présumé que les informations fournies étaient correctes et WSP ne peut donc être tenu responsable de l'exactitude ou de l'exhaustivité de ces informations.

Les bornes et les repères d'arpentage utilisés dans ce rapport servent principalement à établir les différences d'élévation relative entre les emplacements de prélèvement et/ou d'échantillonnage et ne peuvent servir à d'autres fins. Notamment, ils ne peuvent servir à des fins de nivelage, d'excavation, de construction, de planification, de développement, etc.

CLIENT

RIO TINTO ALCAN INC.

Directeur général, Énergie Électrique – Opérations Québec	Stéphane Larouche, ing.
Conseillère sénior, Programme de stabilisation des berges du lac Saint-Jean, Énergie Électrique – Opérations Québec	Caroline Jolette, ing.

ÉQUIPE DE RÉALISATION

WSP CANADA INC. (WSP)

Directeur de projet	Jean-François Poulin, M. Sc., biologiste
Chargée de projet, Ports, maritime & côtier	Noémie Blouin, M. Sc., P.Eng., ingénieure
Surveillant de chantier senior	Alexandre Bourgeois, technicien

RÉFÉRENCE À CITER

WSP. 2025. *Programme de gestion de l'érosion des plages et des berges du lac Saint-Jean 2028-2037. Inventaire et analyse détaillée des berges et plages du lac Saint-Jean et description de la méthodologie. Lac Saint-Jean*. Rapport produit pour Rio Tinto Alcan inc.. Référence WSP : CA0023135.4873. 17 pages et annexe.

TABLE DES MATIÈRES

1 Introduction 1
1.1 Contexte et objectif de l'étude 1
1.2 Site à l'étude 1

2 Source de données 5
2.1 Relevés par drone 5
2.2 Geoctopus 5
2.3 Données LiDAR 5
2.4 Niveaux d'eau 6

3 Méthodologie 7
3.1 Segmentation et analyse préliminaire 7
3.2 3.2 CARTOGRAPHIE 8
3.3 Base de données 9
3.4 Analyse détaillée des berges 10
3.5 Matrice des priorités 11
3.6 Prédiction des longueurs d'interventions dans le cadre du Programme 2028-2037 13

Tableaux

Tableau 1 Légende de cotation des segments lors de l'analyse préliminaire 7
Tableau 2 Matrice des priorités - Évaluation de la conséquence 11
Tableau 3 Matrice des priorités – Évaluation de la probabilité 12
Tableau 4 Longueurs de berges présentant un potentiel d'intervention dans le cadre du Programme 2028-2037 (priorités 1 et 2) pour des travaux d'entretien ou de construction 13
Tableau 5 Scénarios réaliste et optimiste d'interventions – probabilités 14
Tableau 6 Scénarios réaliste et optimiste d'interventions – longueurs projetées 14
Tableau 7 Bilan des interventions en berge réalisées entre l'automne 2017 et l'hiver 2025 15
Tableau 8 Longueurs d'intervention suggérées pour le Programme 2028-2037 selon la source de prédictions et les facteurs d'influence considérés 16

Tableau 9 Longueurs d'interventions prédites dans le cadre du Programme 2028-2037 dans les secteurs de berges 17

Figures

Figure 1 Lac-Saint-Jean et ses berges à l'étude 2
Figure 2 Intégration et analyse des données lidar de 2014 et des relevés photogrammétriques de 2024 au logiciel globalMapper 6
Figure 3 QGIS – Numérotation des segments pour le secteur Péribonka 8
Figure 4 QGIS – Vue d'ensemble et définition d'attributs 9
Figure 5 NIRA – Vue aérienne isométrique, Saint-Prime 9
Figure 6 Représentation des différents attributs disponibles pour chaque type de segment 10
Figure 7 Matrice des priorités – Aide-mémoire 12

Annexe

A Bilan des interventions projetées en berge

1 Introduction

1.1 Contexte et objectif de l’étude

Dans le cadre de l’étude d’impact du Programme de gestion de l’érosion des plages et des berges du lac Saint-Jean (PGEPBLSJ), ou Programme 2028-2037, un inventaire détaillé des secteurs de berge et de plage a été effectué. Le programme est régi par un décret du ministère de l’Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs (MELCCFP), qui précise notamment les paramètres d’intervention pour les approches de gestion de l’érosion. Le programme actuel arrivant à échéance en décembre 2027, l’étude d’impact sur l’environnement est donc réalisée dans le contexte de la demande de renouvellement du décret planifiée pour la période 2028-2037. Dans le cadre du Programme 2028-2037, et en lien avec l’objectif de protection des berges et infrastructures existantes en périphérie du lac, les services de Lasalle|NHC ont été retenus afin de réaliser une segmentation des secteurs de berges, de plages ainsi que des infrastructures existantes comme les épis qui ceinturent le lac Saint-Jean, en tronçons homogènes. WSP a par la suite réalisé l’inventaire détaillé de ces tronçons homogènes.

Cette note technique présente la méthodologie utilisée pour relever, segmenter, regrouper et évaluer les tronçons à l’aide d’outils comme la cartographie et l’élaboration d’une base de données. Le regroupement des segments similaires et l’attribution d’une cote de priorité pour les différents segments ont par la suite été réalisés dans le but de produire un répertoire d’interventions et d’inspections recommandées pour la période 2028-2037. Cet exercice vise à guider la réflexion autour de l’organisation des opérations pour les 10 prochaines années (2028-2037).

1.2 Site à l’étude

La figure 1 présente une vue aérienne du lac Saint-Jean, mettant en évidence les segments analysés dans le cadre de la présente étude.

Figure 1 Lac-Saint-Jean et ses berges à l'étude

Historiquement, les berges et les plages du lac Saint-Jean sont divisées par secteurs ou municipalités en vue de l'élaboration du programme décennal. La même façon de procéder est employée et se reflète tout au long de la présente étude, soit la sectorisation suivante :

1. Alma
2. Saint-Gédéon
3. Métabetchouan - Lac-à-la-Croix
4. Desbiens
5. Chambord
6. Roberval
7. Mashteuiatsh
8. Saint-Prime

9. Saint-Félicien
10. Dolbeau-Mistassini
11. Péribonka
12. Sainte-Monique
13. Saint-Henri-de-Taillon

2 Source de données

2.1 Relevés par drone

Des relevés par drone (RPAS) ont été effectués à l'aide de l'appareil Matrice 300 RTK au printemps 2024 lors de bas niveau d'eau du lac Saint-Jean. Au total, ce sont 248,15 km de berges, épis et plages ciblés par le Programme 2028-2037 qui furent relevés. Le modèle 3D reconstruit à partir des données photogrammétriques et référencées par GPS est mis en ligne sur un site d'hébergement (NIRA) permettant l'analyse qualitative des ouvrages et des berges.

2.2 Geoctopus

L'application Geoctopus, développée par RTA et traitant les données géospatiales a été utilisée dans le cadre de cette étude pour constater l'évolution des segments de plages en termes de recul par rapport à la limite de végétation de 1986 et pour l'évaluation de la largeur de plage grâce à l'arpentage du niveau 16,5 pieds disponible pour plusieurs années et remontant également jusqu'à 1986. De plus, toutes les interventions historiques réalisées dans le cadre du PGEPBLSJ sont disponibles sur l'application, fournissant des données comme le type, la longueur, le volume et l'année d'intervention pour chaque intervention.

2.3 Données LiDAR

Les données LiDAR de 2014 ont été intégrées au logiciel GlobalMapper afin de les comparer aux relevés photogrammétriques de 2024 (figure 2). Cette analyse a permis de quantifier l'évolution historique de la berge lors des 10 dernières années, notamment par la variation de la position de la berge à l'élévation 101,0 m et par la différence d'élévation du trait de côte et des rives entre 2014 et 2024. Ces données ont permis d'établir le niveau de stabilité des secteurs de berges et de prédire leur comportement pour les dix années suivantes.

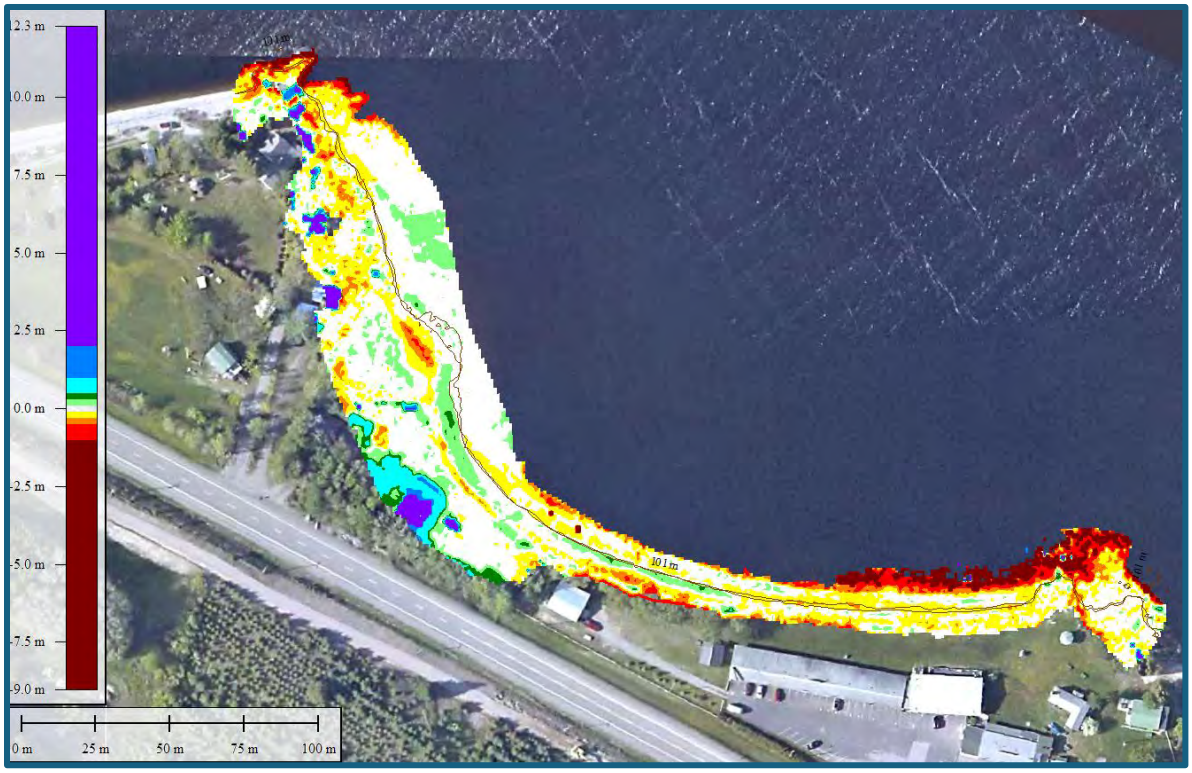


Figure 2 **Intégration et analyse des données lidar de 2014 et des relevés photogrammétriques de 2024 au logiciel globalMapper**

2.4 Niveaux d'eau

La mesure du niveau du lac officielle dans le cadre du Programme 2028-2037 est obtenue par la pondération de deux stations, soit celle de Roberval et celle de Saint-Henri-de-Taillon. Les données de niveaux d'eau historiques du lac Saint-Jean, en mètres, sont rendues disponibles par le centre d'expertise hydrique du Québec (CEHQ) pour ces stations. Ces données furent donc consultées afin de corréler les images de drone avec le niveau d'eau du jour. Comme les relevés furent effectués entre le 25 avril et le 2 mai 2024, les niveaux d'eau correspondants pour ces dates variaient entre 100,13 m et 100,69 m.

3 Méthodologie

3.1 Segmentation et analyse préliminaire

Pour orienter les efforts à investir dans l'analyse détaillée des berges, une segmentation et analyse préliminaire a été réalisée afin de départager les secteurs visiblement en bon état et peu susceptibles de nécessiter des interventions sur un horizon prévisible des secteurs en moins bon état ou nécessitant des investigations plus détaillées. Cette approche a donc permis de faire une analyse de premier niveau sur l'ensemble des relevés recueillis, pour ensuite concentrer les efforts d'analyse détaillée aux endroits les plus judicieux.

Dans le cadre de l'analyse préliminaire, une segmentation des différents tronçons de berge et de plage a été réalisée. La segmentation prend en compte le type d'ouvrage ou de trait de côte ainsi que l'apparente homogénéité de ceux-ci. En somme, ce sont 928 segments homogènes qui sont traités à l'analyse préliminaire. Ceux-ci sont répartis en trois catégories : 45,65 km de plages, 197,20 km de berges et 5,19 km d'épis. Notons que cette étude s'est attardée uniquement aux segments en berge. Cette analyse préliminaire sert principalement à établir quels segments requièrent une analyse détaillée. Un niveau, ou cote, de 1 à 5 est attribuée à chaque segment – les segments obtenant une cote de 3 ou supérieure devront faire l'objet de l'analyse détaillée. Le tableau 1 suivant donne une description sommaire de chacune de ces cotes.

Tableau 1 Légende de cotation des segments lors de l'analyse préliminaire

Niveau	Légende	Description	Inspection détaillée requise
1	Berge ou plage stabilisée, sans signe d'érosion notable	Berge stabilisée par une protection mécanique en bon état. Zone de plage très large. Pas de signe d'érosion sur la berge naturelle.	Non
2	Berge ou plage naturelle, sans signe d'érosion notable	Berge naturelle non protégée ou avec protection mécanique mineure. Pas de signe d'érosion du talus. Berge naturelle résistante à l'érosion (roc).	Non
3	Ouvrage obstrué ou visibilité insuffisante dans le modèle virtuel	Pas de signe d'érosion distinctif, mais inspection détaillée recommandée, car : – vue partiellement obstruée; – présence d'ouvrages de protection sensibles nécessitant une inspection plus minutieuse des défaillances (murets bois, gabions, etc.); – segmentation importante des ouvrages de protection.	Oui
4	Berge ou plage stabilisée, avec signes d'érosion	Zone de berge stabilisée ou plage PBSLSJ nécessitant une inspection détaillée. Protection mécanique avec défaillances (mineures ou majeures). Zone de plage avec largeur (faible ou intermédiaire et signes d'érosion).	Oui
5	Berge ou plage naturelle, avec signes d'érosion	Berge naturelle non protégée ou avec protection mécanique mineure nécessitant une inspection détaillée. Défaillances observées.	Oui

Afin de peaufiner la nomenclature des segments, la division par secteurs ou municipalités mentionnée ci-dessus est retenue (en excluant les noms récurrents comme le mot « Saint » dans Saint-Gédéon). Pour ce faire, les 4 premières lettres du secteur sont retenues, par exemple :

- le premier segment dans le secteur Desbiens est nommé DESB-01;
- le premier segment dans le secteur Saint-Gédéon est nommé GEDE-01;
- etc.

La nomenclature ou numérotation se poursuit ensuite de façon séquentielle et dans le sens horaire, voir la figure 3 pour l'exemple du secteur Péribonka.

Figure 3 QGIS – Numérotation des segments pour le secteur Péribonka

3.2 3.2 CARTOGRAPHIE

Maintenant que les différentes données issues de l'analyse préliminaire sont rassemblées et que l'imagerie par drone est disponible, le tout est rassemblé dans différents logiciels de cartographie. Les logiciels QGIS (vue en plan) et NIRA (modèle 3D) sont utilisés afin de visualiser les différents segments.

- QGIS : Comme il est possible d'ajouter des attributs aux segments comme la longueur, le type, etc. à même le logiciel QGIS, la création de la base de données mentionnée ci-bas est déjà amorcée, et il est désormais possible de faire le lien entre le segment et son répertoire associé dans NIRA, voir la figure 4. Le logiciel QGIS sert donc de référence en plan pour les différents secteurs et segments en vue de l'analyse détaillée.
- NIRA : À défaut de contenir un système fonctionnel pour la création de bases de données comme l'ajout d'attributs, le logiciel permet la génération et visualisation de modèles 3d générés à l'aide des photos prises par drone, répartis dans un ensemble de répertoires de nomenclature LSJ-PD01 à LSJ-PD83. Les différents segments sont intégrés et géolocalisés dans le logiciel, permettant l'analyse des dégradations observées, la

proximité des infrastructures ou zones biophysiques sensibles, et l'extraction d'images au besoin (voir la figure 5).

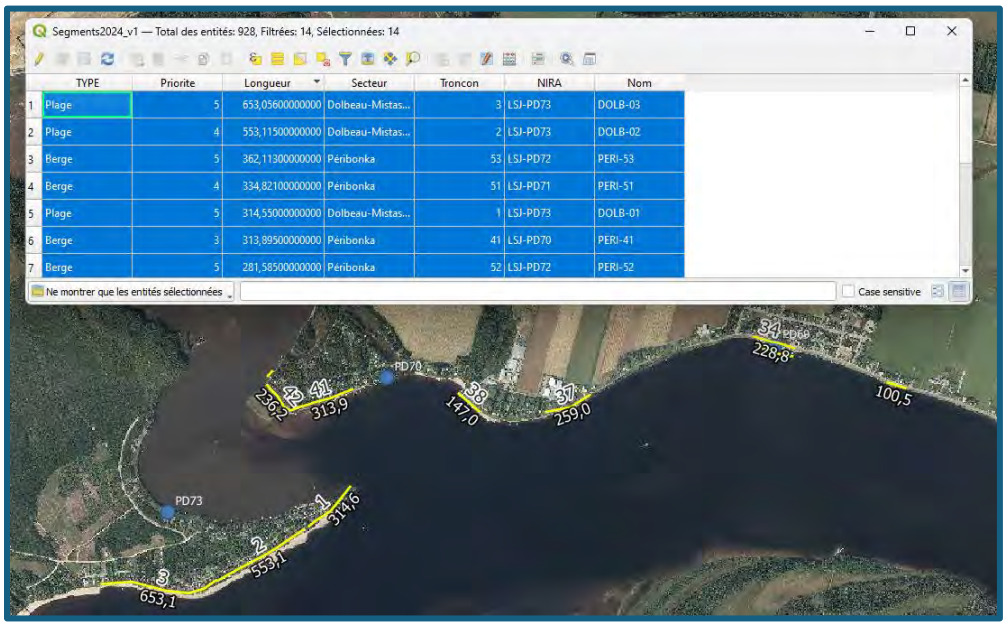


Figure 4 **QGIS – Vue d'ensemble et définition d'attributs**

Figure 5 **NIRA – Vue aérienne isométrique, Saint-Prime**

3.3 Base de données

Parallèlement à l'intégration des segments et de leurs attributs issus de l'analyse préliminaire aux logiciels de cartographie, une base de données globale est créée via l'application Excel. Les attributs déjà intégrés au logiciel QGIS sont extraits en format compatible, puis la banque de données est peuplée au fur et à mesure de l'avancement du projet d'analyse des différents segments. Cette banque de données sert de référence ultime tout au long du processus, jusqu'à l'analyse détaillée. Comme les objectifs du Programme 2028-2037 sont sensiblement différents

pour les segments de plage par rapport aux autres types comme les berges ou épis, l'analyse détaillée pour ceux-ci se fait via deux (2) fichiers de travail ou classeurs distincts. Voir ci-joint une représentation des différents attributs disponibles pour chaque type de segment pour les deux fichiers (figure 6).

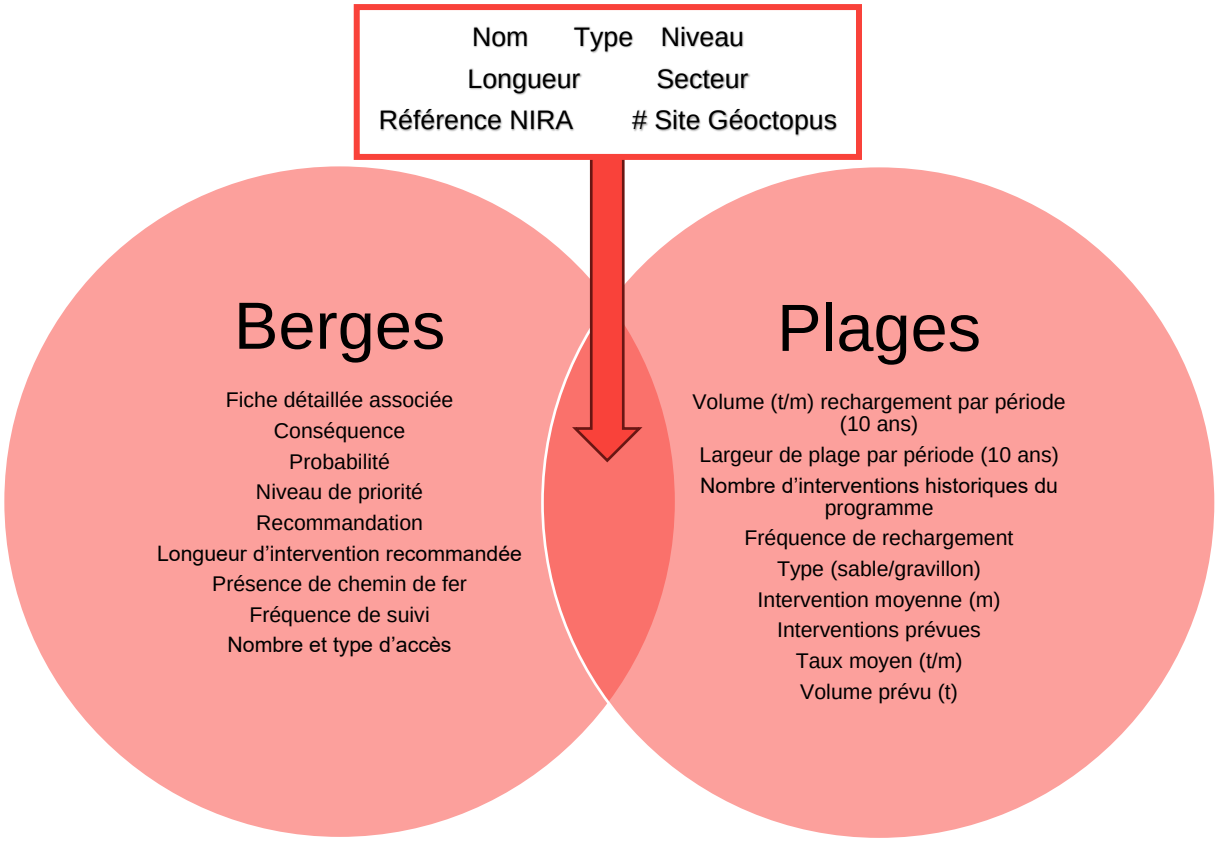


Figure 6 **Représentation des différents attributs disponibles pour chaque type de segment**

3.4 Analyse détaillée des berges

Afin de synthétiser l'information obtenue en analyse préliminaire, puis détaillée, les segments de berge ou épis homogènes de cote 3, 4 ou 5 sont regroupés. Chaque groupe contient de 1 à 10 segments qui devaient faire l'objet d'une analyse détaillée. Un regroupement similaire à celui énoncé précédemment est adopté, c'est-à-dire que seuls les segments d'un même secteur peuvent être joints au sein d'un même groupe. Hormis les secteurs, l'apparente homogénéité entre les segments lors du traitement des relevés, le type de segment ainsi que la cote préliminaire établie sont des facteurs qui influencent l'intégration des segments à son groupe.

3.5 Matrice des priorités

L'analyse détaillée des segments permet de cibler les enjeux potentiels qui peuvent survenir pour l'horizon de temps établi – dans le cadre de cette étude, une période décennale, soit jusqu'en 2038, est retenue. Cette démarche vise à anticiper les risques en fonction de leur probabilité d'occurrence et de la gravité des conséquences associées, afin d'orienter de manière rigoureuse le processus d'évaluation des besoins et de priorisation des interventions. À cette fin, une matrice de priorisation a été élaborée.

La première étape consiste à identifier les risques propres à chaque segment et à évaluer la sévérité des impacts advenant leur concrétisation. Une échelle qualitative, allant de « très faible » à « très élevée », est utilisée pour attribuer un niveau de criticité des impacts à chaque segment, en fonction de sa catégorie. Cette catégorisation repose sur une charte de classification (voir le tableau 2), inspirée de la matrice de risque de RTA, mais adaptée aux spécificités du Programme. Cette adaptation permet de mieux refléter les réalités opérationnelles et environnementales du territoire à l'étude, tout en assurant une cohérence méthodologique avec les standards de gestion du risque reconnus. En regroupant les conséquences potentielles liées aux communautés, à l'environnement ainsi qu'à la santé et sécurité des citoyens et usagers de routes à proximité des rives sous une bannière commune, une valeur de conséquence potentielle variant de très faible à très élevée est attribuée à chaque segment de l'analyse détaillée.

Tableau 2 Matrice des priorités - Évaluation de la conséquence

Niveau de conséquences	Description
Très faible	Impact temporaire et facilement réversible, touchant un nombre limité d'éléments physiques ou environnementaux. Le segment donne sur un terrain vacant sans infrastructures à proximité.
Faible	Impact temporaire et réversible, affectant de manière mineure des éléments physiques ou environnementaux. Le segment donne sur un terrain vacant ou desservi, mais sans propriétés ou infrastructures à proximité directe du haut de talus.
Modérée	Impact temporaire et réversible, entraînant des perturbations modérées sur des éléments physiques ou environnementaux. Le segment donne sur un terrain desservi avec propriété, mais le risque de dommages est principalement aux terrains et/ou cabanons et non aux propriétés.
Élevée	Impact significatif et difficilement réversible, pouvant causer des dommages aux terrains, propriétés privées ou infrastructures publiques mineures situées au droit du segment.
Très élevée	Impact grave et durable, causant des dommages importants aux propriétés privées et infrastructures publiques majeures situées au droit du segment, avec risque pour la sécurité des personnes en cas d'évènement.

Une fois la gravité des conséquences déterminée pour chaque segment, l'analyse s'est poursuivie par l'évaluation de la probabilité que ces conséquences se concrétisent au cours du Programme. Cette probabilité a été établie à partir des observations des différents ouvrages issues du logiciel Nira, combinées à une analyse comparative entre les données LiDAR de 2014 et le relevé photogrammétrique de 2024. Cette approche permet de détecter les dynamiques d'évolution morphologique des berges et d'identifier les zones à risque accru.

Chaque segment se voit ensuite attribuer un niveau de probabilité, selon une échelle allant de « rare » à « presque certain », en fonction des paramètres définis dans le tableau 3. Cette classification probabiliste s'appuie sur des critères objectifs et reproductibles, assurant une cohérence dans l'application de la matrice de priorisation des

risques. Elle constitue un outil d'aide à la décision essentiel pour orienter les recommandations d'intervention dans le cadre du Programme 2028-2037.

Tableau 3 Matrice des priorités – Évaluation de la probabilité

Probabilité	Description de la probabilité	% de probabilité
Presque certain	Surviendra presque certainement au cours du Programme 2028-2037	> 75 %
Probable	Plus susceptible de survenir dans le Programme 2028-2037	50 % - 75 %
Possible	Susceptible de survenir dans le Programme 2028-2037	20 % - 50 %
Improbable	Peu susceptible de survenir dans le Programme 2028-2037	5 % - 20 %
Rare	Très peu susceptible de survenir dans le Programme 2028-2037 ou pratiquement impossible	0 % - 5 %

Afin d'intégrer les dimensions de gravité des conséquences et de probabilité d'occurrence dans une logique décisionnelle, une matrice de priorisation des risques a été mise en place. Cette matrice permet d'attribuer à chaque segment une cote de priorité variant de 1 à 4, où la cote 1 correspond à la priorité d'intervention la plus élevée (voir la figure 7).

		Conséquence				
		Très faible	Faible	Modérée	Élevée	Très élevée
Probabilité	Presque certain	3	2	1	1	1
	Probable	3	2	2	1	1
	Possible	4	3	2	1	1
	Improbable	4	4	3	2	1
	Rare	4	4	3	2	2

Figure 7 Matrice des priorités – Aide-mémoire

Sauf exception justifiée, l'obtention d'une cote de priorité de 1 ou 2 – résultant du croisement des niveaux de gravité et de probabilité selon les paramètres définis – entraîne une potentielle intervention dans le cadre du Programme 2028-2037. Le tableau 4 résume les longueurs de berges, divisées par secteur et par type de travaux, présentant un potentiel d'intervention lors du Programme 2028-2037.

Tableau 4 Longueurs de berges présentant un potentiel d'intervention dans le cadre du Programme 2028-2037 (priorités 1 et 2) pour des travaux d'entretien ou de construction

Combinée (Priorités 1 et 2)		
Secteur	**Longueur Entretien**	**Longueur Construction**
Alma	270	148
Saint-Gédéon	446	40
Métabetchouan–Lac-à-la-Croix	95	0
Desbiens	0	130
Chambord	1 202	100
Roberval	633	320
Mashteuiatsh	438	0
Saint-Prime	0	0
Saint-Félicien	0	0
Dolbeau-Mistassini	0	0
Péribonka	216	0
Saint-Monique	0	0
Saint-Henri-de-Taillon	0	142
Total	**3 303**	**880**
	4 183	

3.6 Prédiction des longueurs d'interventions dans le cadre du Programme 2028-2037

Afin de déterminer les longueurs d'intervention estimées à intégrer dans le cadre du Programme 2028-2037, plusieurs intrants et contraintes opérationnelles doivent être pris en considération. La matrice des priorités, précédemment décrite, constitue un outil central pour orienter cette estimation.

En compilant les pourcentages de probabilité associés aux segments pour lesquels une recommandation d'intervention est active, il devient possible d'estimer le besoin en interventions. Deux scénarios sont envisagés pour encadrer cette projection (voir le tableau 5) :

- Scénario réaliste :
  - Le pourcentage de probabilité retenu correspond à la valeur maximale de chaque catégorie définie au tableau 5 (ex. : 50 % pour possible, 75 % pour probable, etc.).

- Scénario optimiste :
  - Le pourcentage de probabilité retenu correspond à la valeur moyenne de chaque catégorie définie au tableau 5 (ex. : 35 % pour possible, 62,5 % pour probable, etc.).

Chaque longueur proposée d'intervention est ainsi multipliée par le pourcentage de probabilité selon le scénario retenu. La somme des longueurs pondérées obtenue pour chacun des scénarios permet d'obtenir une estimation de la longueur totale d'intervention projetée.

Tableau 5 Scénarios réaliste et optimiste d'interventions – probabilités

Scénario	Improbable	Possible	Probable	Total
Nombre de segments	12	54	8	**74**
Longueur totale (m)	672	2 988	523	**4 183**
Réaliste	20 %	50 %	75 %	-
Optimiste	12,5 %	35 %	62 5 %	-

Deux scénarios ont été élaborés afin d'estimer les longueurs d' intervention réelles projetées dans le cadre du PGEPBLSJ. Ces projections varient entre 1 520 mètres et 2 020 mètres linéaires, se concentrant sur des interventions au niveau des berges dans la zone d'intervention du Programme (voir le tableau 6). Également, bien que la majorité des interventions pour ce type sont généralement considérées à ce stade-ci sous forme de perrés, chaque site sera traité individuellement et en considérant les nouvelles techniques et innovations possibles. Le détail des probabilités et des longueurs d'intervention par secteur est présenté à l'annexe A.

Tableau 6 Scénarios réaliste et optimiste d'interventions – longueurs projetées

Scénario	Probabilité	Travaux d'entretien	Construction	Total
Réaliste	Improbable	98 m	36 m	134 m
	Possible	1 235 m	260 m	1 494 m
	Probable	258 m	124 m	392 m
	Total	**1 590 m**	**430 m**	**2 020 m**
Optimiste	Improbable	61 m	23 m	84 m
	Possible	864 m	182 m	1 046 m
	Probable	215 m	112 m	327 m
	Total	**1 140 m**	**316 m**	**1 456 m**

Dans le cadre de la préparation du Programme 2028-2037, il est également primordial de s'appuyer sur une analyse des interventions historiques menées lors des cycles précédents, notamment celles du programme en cours qui s'achèvera en 2027. Cette démarche permet d'objectiver les besoins futurs et de définir la capacité opérationnelle en fonction des réalisations passées et des projections établies.

Le tableau 7 fournit des données consolidées qui constituent un indicateur pertinent de la capacité opérationnelle pour le prochain cycle décennal.

Tableau 7 Bilan des interventions en berge réalisées entre l'automne 2017 et l'hiver 2025

Type de travaux	Quantités réalisées (A2017-H2025)
Perrés et techniques mixtes – Entretien	Perrés : 375 m Tech. mixtes : 383 m Total : 758 m
Perrés et techniques mixtes – Nouveaux travaux	Perrés : 473 m Tech. mixtes : 201 m Total : 674 m
Construction de 17 nouveaux îlots de pierres au complexe du lac Askeen	Îlots de pierre : 270 m
Entretien d'un mur en acier à Mashteuiatsh	Entretien : 130 m

En ce qui concerne les perrés, les données historiques indiquent que 758 m d'entretien et 674 m de nouveaux travaux ont été réalisés sur une période de 8 ans dans le cadre du programme actuel. En procédant à une interpolation linéaire pour une période complète de 10 ans, les projections suivantes peuvent être établies :

- Entretien : 888 m x 10/8 = **1 110 m**
- Nouveaux travaux : 944 m x 10/8 = **1 180 m**
- Total = 1 110 + 1 180 = **2 290 m**

En se basant sur la tendance actuelle, il peut être estimé qu'à la clôture du programme actuel, en 2027, il y aura environ 2 290 mètres linéaires de travaux d'entretien et de nouveaux travaux combinés réalisés. Les recommandations d'intervention respectent les proportions observées entre nouvelles constructions et travaux d'entretien des programmes précédents.

Toutefois, la comparaison entre la projection des travaux du programme actuel et les besoins estimés au tableau 6 révèle que ces derniers sont supérieurs, et ce, pour les deux scénarios estimatifs. Plusieurs autres facteurs influencent les besoins futurs en termes d'ouvrages de protection, soient :

- Présence de facteurs limitatifs, comme la fenêtre d'opportunité de réalisation des travaux raccourcie en raison de la présence réduite de glace observée en littoral du lac Saint-Jean durant l'hiver, nécessaire au bon déroulement des opérations de construction ou de réfection d'ouvrages de protection.
- Les tempêtes et autres évènements ponctuels, tels que les crues exceptionnelles ou les vents violents, peuvent accélérer les processus d'érosion. Ces phénomènes, souvent imprévisibles et intenses, exercent une pression accrue sur les infrastructures riveraines et les milieux naturels, compromettant leur stabilité à court terme. L'augmentation de la période d'eau libre et de l'intensité des tempêtes, notamment dans le contexte des changements climatiques, rend la planification et la mise en œuvre de mesures de stabilisation plus complexes et urgentes.

- Le scénario 2025-D, tel que présenté au chapitre 7, permet de diminuer les sollicitations érosives sur les berges du lac Saint-Jean à un niveau plus favorable que celui observé sous la gestion hydrique du programme actuel. Cette réduction est notamment attribuable à la baisse de la limite maximale de gestion des niveaux d'eau au printemps ainsi qu'à une limitation rigoureuse à 15,5 pieds à l'automne avant l'apparition d'une ceinture de glace protégeant les plages et les berges.
- Fin de la vie utile des ouvrages existants : la majorité des infrastructures de stabilisation actuellement en place ont été construites lors du premier programme décennal, soit entre 1986 et 1995. Ainsi, au moment du lancement du Programme 2028-2037, plus de 40 ans se seront écoulés depuis leur mise en service initiale. Malgré un programme de contrôle et suivi en place annuellement et des entretiens ciblés prévus chaque année, il est raisonnable d'anticiper que certains ouvrages auront atteint, voire dépassé, leur durée de vie utile. Pour mettre le tout en perspective, notons que sur les 57,5 km d'ouvrages existants ceinturant le lac Saint-Jean, ce sont 3,3 km au total que l'analyse détaillée soulève un besoin d'intervention, soit 6 %. Cette réalité soulève des enjeux importants en matière de maintien de la performance structurale, de sécurité et de planification des interventions de réhabilitation ou de remplacement dans le cadre du Programme 2028-2037.

En résumé, afin de définir les longueurs d'interventions estimées à prévoir dans le cadre du Programme 2028-2037, les longueurs d'intervention recommandées ajustées par le pourcentage de probabilité d'occurrence, l'historique d'intervention du programme actuel, ainsi que les autres facteurs limitatifs ou à influence positive furent pris en considération.

Tableau 8 Longueurs d'intervention suggérées pour le Programme 2028-2037 selon la source de prédictions et les facteurs d'influence considérés

Source de prédictions	Longueur d'intervention (m)
Scénario réaliste	2 020
Scénario optimiste	1 456
Réalisations au programme 2018-2027	2 290
Facteurs d'influence du Programme 2028-2037	
Augmentation de la période d'eau libre	-
Imprévisibilité des tempêtes et autres évènements ponctuels	++
Projections de conditions érosives peu différentes à court ou moyen terme par rapport à la période de référence historique	+/-
Atteinte de la fin de la vie utile de certains ouvrages existants	++

En tenant compte des différents scénarios analysés ainsi que des facteurs susceptibles d'influencer à la hausse ou à la baisse la longueur d'intervention anticipée, il est recommandé de prévoir une longueur d'intervention de 2 020 mètres linéaires pour le Programme 2028-2037 du PGEPBLSJ. Cette estimation vise à assurer une planification prudente et robuste, tenant compte du vieillissement des infrastructures existantes et de l'évolution des conditions hydrogéomorphologiques du territoire. Le tableau 9 résume la répartition des interventions prédites dans le cadre du Programme 2028-2037.

Tableau 9 Longueurs d'interventions prédites dans le cadre du Programme 2028-2037 dans les secteurs de berges

Longueur d'entretien (m)	Longueur de construction (m)	Longueur totale (m)
1 590	430	2 020

ANNEXE

A

BILAN DES INTERVENTIONS PROJETÉES EN BERGE

Annexe A : Longueur d'intervention projetée par secteur d'intervention et scénario de probabilité

Secteur	Nom	Longueur du tronçon (m)	Conséquence	Niveau de priorité	Probabilité			Entretien : longueur d'intervention (m)			Construction : longueur d'intervention (m)		
					Catégorie	Scénario optimiste	Scénario réaliste	Totale	Scénario optimiste	Scénario réaliste	Totale	Scénario optimiste	Scénario réaliste
Alma	ALMA-110	98,4	Modérée	2	Probable	63%	75%	40,0	25,0	30,0	-	-	-
	ALMA-114	218,6	Modérée	2	Possible	35%	50%	60,0	21,0	30,0	-	-	-
	ALMA-132	148,7	Élevée	1	Possible	35%	50%	-	-	-	148,0	51,8	74,0
	ALMA-152	78,6	Modérée	2	Possible	35%	50%	55,0	19,3	27,5	-	-	-
	ALMA-163	78,0	Modérée	2	Possible	35%	50%	25,0	8,8	12,5	-	-	-
	ALMA-236	467,7	Modérée	2	Possible	35%	50%	50,0	17,5	25,0	-	-	-
	ALMA-27	79,0	Élevée	1	Probable	63%	75%	40,0	25,0	30,0	-	-	-
	Sous-total	***1 168,8***						***270,0***	***116,5***	***155,0***	***148,0***	***51,8***	***74,0***
Chambord	CHAM-01	293,5	Très élevée	1	Improbable	13%	20%	Chemin de fer			-	-	-
	CHAM-02	481,1	Très élevée	1	Possible	35%		Chemin de fer			-	-	-
	CHAM-06	329,6	Très élevée	1	Improbable	13%	20%	Chemin de fer			-	-	-
	CHAM-104	79,9	Modérée	2	Possible	35%	50%	70,0	24,5	35,0	-	-	-
	CHAM-106	56,3	Modérée	2	Possible	35%	50%	35,0	12,3	17,5	-	-	-
	CHAM-108	256,7	Élevée	1	Possible	35%	50%	255,0	89,3	127,5	-	-	-
	CHAM-114	63,7	Élevée	1	Probable	63%	75%	55,0	34,4	41,3	-	-	-
	CHAM-125	39,0	Modérée	2	Possible	35%	50%	20,0	7,0	10,0	-	-	-
	CHAM-51	38,4	Modérée	2	Possible	35%	50%	38,0	13,3	19,0	-	-	-
	CHAM-56	126,0	Modérée	2	Possible	35%	50%	100,0	35,0	50,0	-	-	-
	CHAM-58	135,2	Modérée	2	Possible	35%	50%	80,0	28,0	40,0	-	-	-
	CHAM-65	270,7	Élevée	1	Possible	35%	50%	75,0	26,3	37,5	-	-	-
	CHAM-66	64,3	Modérée	2	Possible	35%	50%	60,0	21,0	30,0	-	-	-
	CHAM-81	140,8	Modérée	2	Possible	35%	50%	35,0	12,3	17,5	-	-	-
	CHAM-84	55,9	Élevée	2	Improbable	13%	20%	55,8	7,0	11,2	-	-	-
	CHAM-86	203,7	Élevée	2	Improbable	13%	20%	60,0	7,5	12,0	-	-	-
	CHAM-87	146,9	Modérée	2	Possible	35%	50%	-	-	-	60,0	21,0	30,0
	CHAM-88	64,7	Élevée	2	Improbable	13%	20%	-	-	-	40,0	5,0	8,0
	CHAM-90	67,2	Élevée	1	Possible	35%	50%	45,0	15,8	22,5	-	-	-
	CHAM-91	157,3	Élevée	1	Possible	35%	50%	110,0	38,5	55,0	-	-	-
	CHAM-92	89,1	Modérée	2	Probable	63%	75%	89,0	55,6	66,8	-	-	-
	CHAM-94	19,2	Élevée	1	Possible	35%	50%	19,2	6,7	9,6	-	-	-
	Sous-total	***3 179,1***						***1 202,0***	***434,2***	***602,3***	***100,0***	***26,0***	***38,0***
Desbiens	DESB-01	134,8	Modérée	2	Probable	63%	75%	-	-	-	130,0	81,3	97,5
Mashteuiatsh	MASH-33	269,9	Modérée	2	Possible	35%	50%	150,0	52,5	75,0	-	-	-
	MASH-34	71,9	Modérée	2	Possible	35%	50%	72,0	25,2	36,0	-	-	-
	MASH-38	119,2	Modérée	2	Possible	35%	50%	120,0	42,0	60,0	-	-	-
	MASH-43	16,4	Modérée	2	Possible	35%	50%	16,4	5,7	8,2	-	-	-
	MASH-48	82,2	Modérée	2	Possible	35%	50%	50,0	17,5	25,0	-	-	-
	MASH-51	27,6	Modérée	2	Possible	35%	50%	30,0	10,5	15,0	-	-	-
	Sous-total	***587,2***						***438,4***	***153,4***	***219,2***	***-***	***-***	***-***
Métabetchouan–Lac-à-la-Croix	META-11	52,0	Élevée	2	Improbable	13%	20%	30,0	3,8	6,0	-	-	-
	META-14	83,1	Modérée	2	Probable	63%	75%	65,0	40,6	48,8	-	-	-
	Sous-total	***135,1***						***95,0***	***44,4***	***54,8***	***-***	***-***	***-***
Péribonka	PERI-32	100,5	Élevée	2	Improbable	13%	20%	70,0	8,8	14,0	-	-	-
	PERI-34	228,8	Élevée	1	Possible	35%	50%	146,0	51,1	73,0	-	-	-
	Sous-total	***329,3***						***216,0***	***59,9***	***87,0***	***-***	***-***	***-***

Annexe A : Longueur d'intervention projetée par secteur d'intervention et scénario de probabilité

Secteur	Nom	Longueur du tronçon (m)	Conséquence	Niveau de priorité	Probabilité			Entretien : longueur d'intervention (m)			Construction : longueur d'intervention (m)		
					Catégorie	Scénario optimiste	Scénario réaliste	Totale	Scénario optimiste	Scénario réaliste	Totale	Scénario optimiste	Scénario réaliste
Roberval	ROBE-101	199,0	Modérée	2	Possible	35%	50%	70,0	24,5	35,0	-	-	-
	ROBE-102	146,6	Modérée	2	Possible	35%	50%	-	-	-	120,0	42,0	60,0
	ROBE-11	30,3	Modérée	2	Possible	35%	50%	30,3	10,6	15,2	-	-	-
	ROBE-12	213,1	Très élevée	1	Possible	35%	50%	Chemin de fer	-	-	-	-	-
	ROBE-14	157,4	Très élevée	1	Possible	35%	50%	Chemin de fer	-	-	-	-	-
	ROBE-15	151,2	Élevée	1	Possible	35%	50%	-	-	-	151,2	52,9	75,6
	ROBE-16	48,9	Élevée	1	Probable	63%	75%	-	-	-	49,0	30,6	36,8
	ROBE-18	292,0	Très élevée	1	Possible	35%	50%	Chemin de fer	-	-	-	-	-
	ROBE-21	351,8	Élevée	2	Improbable	13%	20%	90,0	11,3	18,0	-	-	-
	ROBE-31	168,1	Modérée	2	Possible	35%	50%	100,0	35,0	50,0	-	-	-
	ROBE-47	59,4	Élevée	1	Possible	35%	50%	59,4	20,8	29,7	-	-	-
	ROBE-49	13,0	Élevée	1	Possible	35%	50%	13,0	4,6	6,5	-	-	-
	ROBE-51	123,0	Élevée	1	Possible	35%	50%	60,0	21,0	30,0	-	-	-
	ROBE-64	208,7	Très élevée	1	Possible	35%	50%	Chemin de fer	-	-	-	-	-
	ROBE-65	182,4	Très élevée	1	Improbable	13%	20%	Chemin de fer	-	-	-	-	-
	ROBE-66	60,2	Très élevée	1	Possible	35%	50%	Chemin de fer	-	-	-	-	-
	ROBE-70	66,6	Modérée	2	Possible	35%	50%	35,0	12,3	17,5	-	-	-
	ROBE-77	92,2	Très élevée	1	Possible	35%	50%	Chemin de fer	-	-	-	-	-
	ROBE-79	71,2	Très élevée	1	Possible	35%	50%	44,9	15,7	22,5	-	-	-
	ROBE-81	224,2	Très élevée	1	Possible	35%	50%	Chemin de fer	-	-	-	-	-
	ROBE-83	1 184,1	Très élevée	1	Possible	35%	50%	Chemin de fer	-	-	-	-	-
	ROBE-87	310,5	Très élevée	1	Possible	35%	50%	Chemin de fer	-	-	-	-	-
	ROBE-89	428,6	Très élevée	1	Possible	35%	50%	60,0	21,0	30,0	-	-	-
	ROBE-93	197,0	Modérée	2	Possible	35%	50%	70,0	24,5	35,0	-	-	-
	ROBE-96	121,3	Très élevée	1	Possible	35%	50%	Chemin de fer	-	-	-	-	-
	ROBE-99	528,2	Très élevée	1	Possible	35%	50%	Chemin de fer	-	-	-	-	-
	Sous-total	***5 628,9***						***632,6***	***201,2***	***289,3***	***320,2***	***125,5***	***172,4***
Saint-Gédéon	GEDE-101	197,7	Élevée	1	Possible	35%	50%	-	-	-	40,0	14,0	20,0
	GEDE-20	102,8	Modérée	2	Possible	35%	50%	45,0	15,8	22,5	-	-	-
	GEDE-34	475,2	Élevée	2	Improbable	13%	20%	70,0	8,8	14,0	-	-	-
	GEDE-51	114,6	Élevée	2	Improbable	13%	20%	114,0	14,3	22,8	-	-	-
	GEDE-69	470,7	Élevée	1	Probable	63%	75%	55,0	34,4	41,3	-	-	-
	GEDE-76	251,8	Modérée	2	Possible	35%	50%	75,0	26,3	37,5	-	-	-
	GEDE-98	344,8	Modérée	2	Possible	35%	50%	90,0	31,5	45,0	-	-	-
	Sous-total	***1 957,7***						***449,0***	***130,9***	***183,1***	***40,0***	***14,0***	***20,0***
Saint-Henri-de-Taillon	HENR-02	142,1	Élevée	2	Improbable	13%	20%	-	-	-	142,0	17,8	28,4
Total		**13 262,9**						**3 303,0**	**1 140,5**	**1 590,6**	**880,2**	**316,3**	**430,3**

wsp.com

ANNEXE

A6-4 *Estimation des émissions de gaz à effet de serre (GES) générées par le PGEPBLSJ 2028-2037*

NOTE TECHNIQUE

Client :	Rio Tinto Alcan inc.		
Projet :	Étude d'impact sur l'environnement – Programme de gestion de l'érosion des plages et des berges du lac St-Jean – 2028-2037	**Référence WSP :**	CA0023135.4873
Objet :	Émissions des gaz à effet de serre	**Date :**	15 décembre 2025
Destinataire :	Caroline Jolette, ing., Conseillère séniore, Programme de stabilisation des berges du lac Saint-Jean		

1 Mise en contexte

WSP Canada inc. (ci-après WSP) a été mandatée par Rio Tinto Alcan inc. (ci-après RTA) afin de réaliser une étude d'impact sur l'environnement (ÉIE) pour la mise en œuvre du Programme de gestion de l'érosion des plages et des berges du lac Saint-Jean 2028-2037 (aussi appelé « Programme » ou « PGEPBLSJ »).

Dans le cadre de ce projet, des travaux d'entretien et de protection de plages et de berges du lac sont prévus. Cette note technique se concentre sur l'estimation des émissions des gaz à effet de serre (ci-après GES) susceptibles d'être générées par les différents travaux de rechargement et d'enrochement prévus entre 2028 et 2037 dont le détail est présenté au chapitre 8 de l'ÉIE.

Enfin, il est important de préciser que les quantités de GES calculées ici sont conservatrices parce que les tonnages utilisés et présentés au chapitre 8 de l'ÉIE proviennent eux-mêmes d'estimations conservatrices.

2 Méthodologie

2.1 Définition des types d'émissions

2.1.1 Émissions directes de gaz à effet de serre (Portée 1)

Les émissions directes proviennent de sources appartenant ou étant sous le contrôle opérationnel du responsable des travaux, et ce, pendant toute la durée du projet. Ces émissions incluent celles provenant d'activités pouvant être sous-traitées sur le site. Il s'agit essentiellement des émissions provenant de la combustion de sources d'énergie fossile comme l'utilisation de carburants dans les véhicules et dans la machinerie opérée sur les sites des plages et des berges. Cette portée inclut également les émissions de GES reliées aux transports des matériaux des bancs d'emprunt jusqu'aux sites puisque ce sont les camions de l'entrepreneur.

2.1.2 Émissions indirectes liées à l'énergie (Portée 2)

Ces émissions indirectes ne sont pas produites sur le site du projet, mais sont générées par l'achat d'énergie, par exemple, les émissions liées à la production d'électricité d'Hydro-Québec.

Ce type d'émission n'est pas applicable dans le cadre du PGEPBLSJ.

2.1.3 Émissions indirectes de gaz à effet de serre (Portée 3)

Les émissions indirectes sont des émissions qui sont indirectement produites par les activités du projet d'exploitation. Il s'agit essentiellement des émissions provenant d'activités connexes, typiquement sous le contrôle opérationnel d'une autre entité. Par exemple, cela aurait pu être le chargement des camions dans les sablières pour les équipements de la sablière. Cependant, ces émissions ne sont pas considérées ici.

2.2 Identification des sources et des puits de gaz à effet de serre

La norme ISO 14064-1 définit :

- une source de GES comme une unité physique ou un processus rejetant un GES dans l'atmosphère;
- un puits de GES comme une unité physique ou un processus retirant un GES de l'atmosphère.

Le projet n'inclut aucune altération de milieux boisés ou humides.

Le tableau 1 identifie les sources et les puits de GES par activité.

Tableau 1 Sources et puits de gaz à effet de serre par activité du projet

Activité	Source	Puits	Type de gaz à effet de serre						
			CO_2	CH_4	N_2O	HFC	PFC	SF_6	NF_3
Activités de construction	Combustion de carburants fossiles par des équipements motorisés mobiles	Pas de puits identifié	✓	✓	✓				

Légende : CO_2 : dioxyde de carbone; HFC : hydrofluorocarbures; NF_3 : trifluorure d'azote; CH_4 : méthane; PFC : perfluorocarbure; SF_6 : hexafluorure de soufre; N_2O : protoxyde d'azote (oxyde nitreux)

Les GES sont quantifiés en tonnes de CO_2 équivalent (T CO_2e). L'équivalent dioxyde de carbone est calculé à l'aide de la masse d'un GES donné, multipliée par son potentiel de réchauffement planétaire (PRP). Les PRP utilisés sont ceux du guide de quantification des émissions de GES de 2025 du ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs (ci-après MELCCFP) :

- 1 TCO_2 = 1 TCO_2e;
- 1 TCH_4 = 28 TCO_2e;
- 1 TN_2O = 265 TCO_2e;
- 1 TCN[1] = 900 TCO_2e

Il est à noter que la variation des PRP affecte principalement les sources émettant du CH_4 et du N_2O; les sources de combustion émettant principalement du CO_2 sont moins affectées par un recalcul des émissions de CO_2eq utilisant des PRP différents. Les autres GES (HFC, PFC, SF_6 et NF_3) ne sont pas considérés ici puisqu'ils ne sont pas émis dans les travaux du projet. Les HFC sont utilisés comme réfrigérant, les PFC dans les climatiseurs, le SF_6 dans la réalisation de disjoncteur haute-tension et le NF_3 dans la fabrication d'équipements électroniques.

[1] CN pour carbone noir, voir point 2.5.

2.3 Gaz à effet de serre pendant les travaux de construction

Les émissions de GES proviennent principalement de la combustion de sources d'énergie fossile comme l'utilisation de carburants dans les véhicules et dans la machinerie opérée sur le site du projet.

Pour toute combustion de diesel ou d'essence, le calcul des émissions de GES est réalisé à partir de l'équation suivante :

Émissions GES = $\sum$ ($Carburant_j$ * FE_j)

(Source : Environnement Canada 1990-2022, Annexe 3, Équation A3.1-1)

Où :

- $Carburant_j$ = quantité de carburant j consommée (en L, kg ou m^3);
- FE_j = facteur d'émissions (g GES/L, kg ou m^3 de carburant);
- j = type de carburant.

Des facteurs d'émissions différenciés sont utilisés selon les activités de routage de camion de transport et des activités hors route des pelles et autres machineries. Selon les cas, d'autres activités peuvent générer des GES comme l'utilisation d'explosifs ou encore des activités de déboisement.

2.4 Facteurs d'émission

Les facteurs d'émissions proviennent du *Guide de quantification des émissions de gaz à effet de serre* du MELCCFP et sont indiqués au tableau 2 pour les sources mobiles.

Tableau 2 Facteurs d'émission d'équipements mobiles

Combustibles	Facteurs d'émission (g/L)			
	CO_2	CH_4	N_2O	CO_2e
Diesel	2 681	0,11	0,151	2 729
Diesel hors route	2 681	0,073	0,227	2 750
Essence	2 307	0,14	0,022	2 317
Propane	1 515	0,64	0,028	1 539

2.5 Carbone noir

Le carbone noir est un aérosol (particules en suspension dans l'air) émis au cours du processus de combustion dont la durée de vie dans l'atmosphère est courte et qui a des effets sur le réchauffement climatique et sur la santé. Le carbone noir n'est pas émis seul; il fait partie, avec d'autres composants, de particules d'un diamètre inférieur ou égal à 2,5 microns ($PM_{2,5}$).

Les moteurs diesel présentent à la fois des taux d'émission de $PM_{2,5}$ significatifs et des proportions de carbone noir dans ces $PM_{2,5}$ relativement élevées. Ils représentent, par conséquent, une des principales sources d'émission de carbone noir.

Pour ce qui est de la méthodologie du calcul des émissions de carbone noir, le guide du MELCCFP suit les recommandations du document « Lignes directrices relatives à l'évaluation des émissions de carbone noir en

Amérique du Nord : méthodes recommandées d'estimation des émissions de carbone noir », élaboré en novembre 2015 par la Commission de coopération environnementale (CCE).

Les émissions de carbone noir (CN) sont calculées pour les véhicules routiers et hors route du projet.

2.5.1 Calcul des émissions de carbone noir attribuables aux systèmes de combustion mobiles routiers

Les sources mobiles routières utilisent un éventail varié de carburants, à savoir l'essence, le diesel, des carburants à l'éthanol, le gaz de pétrole liquéfié (GPL) et le gaz naturel comprimé (GNC). Les sources mobiles routières qui contribuent le plus aux émissions de carbone noir sont, de loin, les camions lourds au diesel. Dans ce type de véhicules, la combustion incomplète des hydrocarbures à chaine longue du diesel est à la base des émissions de carbone noir.

Le calcul des émissions de carbone noir attribuables aux sources mobiles routières est basé sur la consommation de carburant de l'activité considérée, multipliée par un facteur d'émission de carbone élémentaire (CE) basé sur le type de carburant (le facteur d'émission de CE est ici présumé identique au facteur d'émission de carbone noir). L'équation s'écrit :

$$E_{CN} = Q \times FE \times 0{,}001$$

Où E_{CN} = émissions de CN attribuables aux sources mobiles routières, en kilogramme par an;

Q = quantité de carburant consommée;

FE = facteur d'émission de $PM_{2,5}$ associé au type de combustible;

0,001 = facteur de conversion de grammes à kilogrammes.

Le guide du MELCCFP fournit le facteur d'émission pour l'essence et le diesel, à savoir, respectivement, 0,132 g/L et 0,391 g/L.

Le calcul de la quantité de CN émis nécessitant la quantité de carburant consommé, il faut estimer la quantité de carburant consommé par les véhicules roulant sur le boulevard.

2.5.2 Calcul des émissions de carbone noir attribuables aux systèmes de combustion mobiles hors route

Les émissions de carbone noir provenant des sources mobiles hors route sont principalement attribuables à la combustion de carburant diesel et, dans une moindre mesure, à la combustion d'essence et d'autres carburants comme le GPL ou le gaz naturel.

Les émissions annuelles de carbone noir des sources mobiles hors route peuvent être calculées à partir du taux d'émission spécifique de carbone noir multiplié par la durée d'utilisation prévue, selon l'équation suivante :

$$E_{CN} = \sum(t_i \times P \times FC \times FE_{i,PM10} \times PM_{2,5}/PM_{10} \times FS_{CN}) \times 0{,}001$$

Où E_{CN} = Émissions annuelles de carbone noir attribuables aux sources mobiles hors route;

i = Type de source mobile hors route;

t_i = Temps d'utilisation par année de la source mobile hors route i, exprimé en heures par année;

P = Puissance de la source mobile, en kW;

FC = facteur de charge de l'équipement;

$FE_{i,PM10}$ = Facteur d'émission de particules de diamètre inférieur à 10 microns pour le type de source mobile i, en grammes par kW, par heure;

$PM_{2,5}/PM_{10}$ = fraction de particules de diamètre inférieur à 2,5 microns par rapport aux particules de diamètre inférieur à 10 microns[2] = 0,97;

FS_{CN} = Facteur de spéciation à appliquer pour convertir les $PM_{2,5}$ en carbone noir pour le carburant diesel = 0,7897;

0,001 = Facteur de conversion de grammes à kilogrammes.

Le facteur de charge et les facteurs d'émissions sont disponibles dans les tables des annexes A et C du document *Exhaust and Crankcase Emission factors for nonroad engine modeling-compression-ignition* de l'US-EPA.

3 Quantification des émissions de GES

Les hypothèses de bases sont établies afin de déterminer la consommation de diesel – cette consommation est divisée en deux catégories, soit la consommation pour le transport des matériaux ainsi que la consommation pour la réalisation des travaux sur site. Comme les rendements pour ces deux catégories sont similaires pour un rechargement en sable ou en gravillon, les mêmes rendements s'appliquent aux deux types d'ouvrages.

Pour ce qui est de la consommation liée au transport, le banc d'emprunt terrestre utilisé pour l'approvisionnement est déterminé à partir de la carte 8-3 – Localisation des bancs d'emprunt terrestres et des carrières de l'ÉIE.

La distance du site ainsi que le nombre de voyages requis sont estimés afin d'obtenir un nombre total de kilomètres à parcourir. Un ratio de litres de diesel consommés/kilomètre est déterminé en se basant sur l'hypothèse qu'un camion 12 roues conventionnel sera utilisé, avec un aller chargé de matériaux et un retour vide pour le ravitaillement.

Pour la consommation liée aux travaux sur site, les ressources projetées nécessaires à la réalisation des travaux sont estimées en se basant sur les interventions historiques – une équipe de travail comprenant toutes les machineries nécessaires est prise en considération et la consommation de diesel totale par heure est estimée. Un taux de pose (en tonnes/heure) du matériel est établi en se basant également sur les données historiques du PSBLSJ – ce taux donne une indication du temps requis aux fins de réalisation des travaux, et ultimement, du nombre d'heures total où l'équipe de travail sera en opération. Comme le site requiert habituellement une préparation de quelques jours préalablement au début du rechargement aux fins de déneigement, la consommation en diesel de ces travaux est également estimée de façon similaire et prise en considération dans le calcul global.

La consommation des équipements est basée sur des modèles récents et sur la base de 7 heures de travail pour 1 heure d'attente pour la machinerie.

3.1 Émissions des travaux de rechargement

3.1.1 Transport de sables et gravillons

Dans le cadre des travaux de rechargement, les émissions de GES proviennent du transport du sable et des gravillons, de la manipulation de ces matériaux sur les différents sites de dépôt ainsi que de l'entretien de ces sites. Cette section se concentre sur le transport des matériaux. Notons qu'aux fins d'évaluation de la distance du site en

[2] Les émissions des particules totales sont considérées comme des émissions de particules de diamètre inférieur à 10 microns.

kilomètre, la distance est estimative et basée sur la disponibilité des matériaux appropriés au banc d'emprunt terrestre sélectionnée la plus proche du site au moment de l'étude. Le transport se fait à l'aide de camions 12 roues avec une capacité de transport de 20 tonnes.

Tableau 3 Quantité de sable transporté par site

Secteur	Origine – banc d'emprunt	Destination – Nom (site)	Long. totale (m)	Qté tot. (T)	Distance du site (km)
Alma	Donckin Simard (Hébertville)	Tombolo (94.01.02)	100	4 000	31
Saint-Gédéon	Donckin Simard (Hébertville)	Étang des Îles (92.02.01)	200	10 000	21
Métabetchouan–Lac-à-la-Croix	Donckin Simard (Hébertville)	Centre Plein-Air Saint-Pierre (94.03.01)	400	20 000	18
	Donckin Simard (Hébertville)	Chemin n° 14 (92.03.02)	200	15 000	16
Chambord	Donckin Simard (Hébertville)	Plage Blanchet et le Norois (94.05.01)	600	30 000	26
	Donckin Simard (Hébertville)	Domaine du Marais (94.05.05)	800	40 000	27
	Donckin Simard (Hébertville)	Plage au sable (96.05.04)	150	5 000	37
	Donckin Simard (Hébertville)	Chemin Bouchard (2014.05.01)	600	20 000	40
Roberval	Giguère #6	Plage municipale (96.06.02)	85	3 000	19
Mashteuiatsh	Giguère #6	Plage Robertson (89.07.02)	300	15 000	14
Dolbeau-Mistassini	Gaston Morin (Ste-Jeanne-d'Arc)	Racine-sur-le-Lac (BI 85) (94.11.01)	600	30 000	22
	Gaston Morin (Ste-Jeanne-d'Arc)	L'amical (95.11.02)	2 000	80 000	18
Sainte-Monique	Guy Maltais	Île du Repos[1]	100	4 000	4
Saint-Henri-de-Taillon	Guy Maltais	Saint-Henri-sur-le-Lac (BI 14) (88.15.01)	600	30 000	13
	Guy Maltais	Saint-Henri-sur-le-Lac (BI 27) (94.15.01)	600	30 000	13
Total			**7 335**	**336 000**	

1 Première intervention potentielle.

Tableau 4 Quantité de gravillons transportés par site

Secteur	Origine – banc d'emprunt	Destination – Nom (site)	Long. totale (m)	Qté tot. (T)	Distance du site (km)
Saint-Gédéon	Donckin Simard (Hébertville)	Relais des Bernaches	100	4 000	20
	Donckin Simard (Hébertville)	Saint-Gédéon-sur-le-Lac	400	20 000	19
Métabetchouan–Lac-à-la-Croix	Donckin Simard (Hébertville)	Grand Marais	150	6 000	19
	Donckin Simard (Hébertville)	Marais Bolduc	1000	50 000	16
	Donckin Simard (Hébertville)	Chemin n° 16	250	7 500	16
	Donckin Simard (Hébertville)	Camping Eau-Bois	250	10 000	18
Chambord	Guy Boivin #5	Nouveau secteur depuis 2015	150	7 500	10
	Guy Boivin #5	Alonzo	100	4 000	6
	Guy Boivin #5	Baie du Repos	300	12 000	9
	Guy Boivin #5	Pointe-aux-Pins	200	8 000	5
Mashteuiatsh	Giguère #6	Domaine Robertson	400	12 000	19
	Giguère #6	Domaine Philippe	200	6 000	15
Saint-Prime	Giguère #6	Domaine Parent	300	15 000	14
	Giguère #6	Chemin des Oies Blanches	50	2 000	11
Saint-Félicien/ Saint-Méthode	Giguère #6	Chemin Villeneuve (Bl 56)	150	7 500	30
	Giguère #6	Chemin Villeneuve (Bl 52)	300	15 000	30
	Giguère #6	Chemin Girard (BI 49)	100	5 000	30
	Giguère #6	Chemin Girard (BI 45)	100	5 000	30
	Giguère #6	Chemin Girard (BI 31)	500	20 000	29
	Giguère #6	Chemin sur le lac (BI 18)	200	10 000	28
	Giguère #6	Chemin sur le lac (BI 13)	100	5 000	28
Dolbeau-Mistassini	Gaston Morin (chemin Domtar)	Racine sur mer (BI 106)	300	10 000	31
	Gaston Morin (chemin Domtar)	Racine sur mer (BI 101)	400	20 000	31
	Gaston Morin (chemin Domtar)	Racine-sur-le-Lac (BI 75)	800	30 000	30
	Gaston Morin (chemin Domtar)	Racine-sur-le-Lac (BI 60)	600	30 000	28
	Gaston Morin (chemin Domtar)	Chemin de la Pointe	150	5 000	33
	Gaston Morin (chemin Domtar)	Pointe Langevin	600	30 000	33
Péribonka	Guy Maltais	Ch. Édouard-Niquet	100	4 000	20
Saint-Henri-de-Taillon	Guy Maltais	Baie de la Pipe	100	5 000	13
Total			**8 350**	**365 500**	

En prenant des camions de transport 12 roues et consommant environ 0,39 L/km, la quantité de diesel consommée est obtenue.

Tableau 5 Quantité de diesel pour le transport du sable

Secteur	Origine – banc d'emprunt	Destination – Nom (site)	Diesel camions (L)
Alma	Donckin Simard (Hébertville)	Tombolo (94.01.02)	4 836
Saint-Gédéon	Donckin Simard (Hébertville)	Étang des Îles (92.02.01)	8 190
Métabetchouan–Lac-à-la-Croix	Donckin Simard (Hébertville)	Centre Plein-Air Saint-Pierre (94.03.01)	14 040
	Donckin Simard (Hébertville)	Chemin n° 14 (92.03.02)	9 360
Chambord	Donckin Simard (Hébertville)	Plage Blanchet et le Norois (94.05.01)	30 420
	Donckin Simard (Hébertville)	Domaine du Marais (94.05.05)	42 120
	Donckin Simard (Hébertville)	Plage au sable (96.05.04)	7 215
	Donckin Simard (Hébertville)	Chemin Bouchard (2014.05.01)	31 200
Roberval	Giguère #6	Plage municipale (96.06.02)	2 165
Mashteuiatsh	Giguère #6	Plage Robertson (89.07.02)	8 190
Dolbeau-Mistassini	Gaston Morin (Ste-Jeanne-d'Arc)	Racine-sur-le-Lac (BI 85) (94.11.01)	25 155
	Gaston Morin (Ste-Jeanne-d'Arc)	L'amical (95.11.02)	56 160
Sainte-Monique	Guy Maltais	Île du Repos (?)	624
Saint-Henri-de-Taillon	Guy Maltais	Saint-Henri-sur-le-Lac (BI 14) (88.15.01)	15 210
	Guy Maltais	Saint-Henri-sur-le-Lac (BI 27) (94.15.01)	14 625
Total			**269 510**

Tableau 6 Quantité de diesel pour le transport des gravillons

Secteur	Origine – banc d'emprunt	Destination – Nom (site)	Diesel camion (L)
Saint-Gédéon	Donckin Simard (Hébertville)	Relais des Bernaches	3 120
	Donckin Simard (Hébertville)	Saint-Gédéon-sur-le-Lac	14 820
Métabetchouan–Lac-à-la-Croix	Donckin Simard (Hébertville)	Grand Marais	4 329
	Donckin Simard (Hébertville)	Marais Bolduc	31 200
	Donckin Simard (Hébertville)	Chemin n° 16	4 680
	Donckin Simard (Hébertville)	Camping Eau-Bois	7 020
Chambord	Guy Boivin #5	Nouveau secteur depuis 2015	2 779
	Guy Boivin #5	Alonzo	858
	Guy Boivin #5	Baie du Repos	4 212
	Guy Boivin #5	Pointe-aux-Pins	1 560
Mashteuiatsh	Giguère #6	Domaine Robertson	8 892
	Giguère #6	Domaine Philippe	3 510
Saint-Prime	Giguère #6	Domaine Parent	8 190
	Giguère #6	Chemin des Oies Blanches	819
Saint-Félicien/ Saint-Méthode	Giguère #6	Chemin Villeneuve (Bl 56)	8 775
	Giguère #6	Chemin Villeneuve (Bl 52)	62 550
	Giguère #6	Chemin Girard (BI 49)	5 850
	Giguère #6	Chemin Girard (BI 45)	5 850
	Giguère #6	Chemin Girard (BI 31)	22 620
	Giguère #6	Chemin sur le lac (BI 18)	10 920
	Giguère #6	Chemin sur le lac (BI 13)	5 460
Dolbeau-Mistassini	Gaston Morin (chemin Domtar)	Racine sur mer (BI 106)	12 090
	Gaston Morin (chemin Domtar)	Racine sur mer (BI 101)	24 180
	Gaston Morin (chemin Domtar)	Racine-sur-le-Lac (BI 75)	34 515
	Gaston Morin (chemin Domtar)	Racine-sur-le-Lac (BI 60)	32 760
	Gaston Morin (chemin Domtar)	Chemin de la Pointe	6 338
	Gaston Morin (chemin Domtar)	Pointe Langevin	38 025
Péribonka	Guy Maltais	Ch. Édouard-Niquet	3 120
Saint-Henri-de-Taillon	Guy Maltais	Baie de la Pipe	2 438
Total			**371 479**

Les émissions de GES sont calculées en utilisant les facteurs d'émission de la section 2.4 et sont présentées ci-dessous pour le transport du sable, des gravillons et pour le deux.

Tableau 7 Quantité de GES émis pour le transport du sable

Secteur	Nom (site)	Émissions de GES (tonnes)			
		CO_2	CH_4	N_2O	CO_2eq
Alma	Tombolo (94.01.02)	13	5,32E-04	7,30E-04	13
Saint-Gédéon	Étang des Îles (92.02.01)	22	9,01E-04	1,24E-03	22
Métabetchouan–Lac-à-la-Croix	Centre Plein-Air Saint-Pierre (94.03.01)	38	1,54E-03	2,12E-03	38
	Chemin n° 14 (92.03.02)	25	1,03E-03	1,41E-03	26
Chambord	Plage Blanchet et le Norois (94.05.01)	82	3,35E-03	4,59E-03	83
	Domaine du Marais (94.05.05)	113	4,63E-03	6,36E-03	115
	Plage au sable (96.05.04)	19	7,94E-04	1,09E-03	20
	Chemin Bouchard (2014.05.01)	84	3,43E-03	4,71E-03	85
Roberval	Plage municipale (96.06.02)	6	2,38E-04	3,27E-04	6
Mashteuiatsh	Plage Robertson (89.07.02)	22	9,01E-04	1,24E-03	22
Dolbeau-Mistassini	Racine-sur-le-Lac (BI 85) (94.11.01)	67	2,77E-03	3,80E-03	69
	L'amical (95.11.02)	151	6,18E-03	8,48E-03	153
Sainte-Monique	Île du Repos (?)	2	6,86E-05	9,42E-05	2
Saint-Henri-de-Taillon	Saint-Henri-sur-le-Lac (BI 14) (88.15.01)	41	1,67E-03	2,30E-03	42
	Saint-Henri-sur-le-Lac (BI 27) (94.15.01)	39	1,61E-03	2,21E-03	40
Total		**723**	**2,96E-02**	**4,07E-02**	**735**

Tableau 8 Quantité de GES émis pour le transport des gravillons

Secteur	Nom (site)	Émissions de GES (tonnes)			
		CO_2	CH_4	N_2O	CO_2eq
Saint-Gédéon	Relais des Bernaches	8	3,43E-04	4,71E-04	9
	Saint-Gédéon-sur-le-Lac	40	1,63E-03	2,24E-03	40
Métabetchouan–Lac-à-la-Croix	Grand Marais	12	4,76E-04	6,54E-04	12
	Marais Bolduc	84	3,43E-03	4,71E-03	85
	Chemin n° 16	13	5,15E-04	7,07E-04	13
	Camping Eau-Bois	19	7,72E-04	1,06E-03	19
Chambord	Nouveau secteur depuis 2015	7	3,06E-04	4,20E-04	8
	Alonzo	2	9,44E-05	1,30E-04	2
	Baie du Repos	11	4,63E-04	6,36E-04	11
	Pointe-aux-Pins	4	1,72E-04	2,36E-04	4
Mashteuiatsh	Domaine Robertson	24	9,78E-04	1,34E-03	24
	Domaine Philippe	9	3,86E-04	5,30E-04	10
Saint-Prime	Domaine Parent	22	9,01E-04	1,24E-03	22
	Chemin des Oies Blanches	2	9,01E-05	1,24E-04	2
Saint-Félicien/ Saint-Méthode	Chemin Villeneuve (Bl 56)	24	9,65E-04	1,33E-03	24
	Chemin Villeneuve (Bl 52)	168	6,88E-03	9,45E-03	171
	Chemin Girard (BI 49)	16	6,44E-04	8,83E-04	16
	Chemin Girard (BI 45)	16	6,44E-04	8,83E-04	16
	Chemin Girard (BI 31)	61	2,49E-03	3,42E-03	62
	Chemin sur le lac (BI 18)	29	1,20E-03	1,65E-03	30
	Chemin sur le lac (BI 13)	15	6,01E-04	8,24E-04	15
Dolbeau-Mistassini	Racine sur mer (BI 106)	32	1,33E-03	1,83E-03	33
	Racine sur mer (BI 101)	65	2,66E-03	3,65E-03	66
	Racine-sur-le-Lac (BI 75)	93	3,80E-03	5,21E-03	94
	Racine-sur-le-Lac (BI 60)	88	3,60E-03	4,95E-03	89
	Chemin de la Pointe	17	6,97E-04	9,57E-04	17
	Pointe Langevin	102	4,18E-03	5,74E-03	104
Péribonka	Ch. Édouard-Niquet	8	3,43E-04	4,71E-04	9
Saint-Henri-de-Taillon	Baie de la Pipe	7	2,68E-04	3,68E-04	7
Total		**996**	**4,09E-02**	**5,61E-02**	**1014**

Tableau 9 Quantité de GES émis pour le transport du sable et des gravillons

Secteur	Émissions de GES (tonnes)			
	CO_2	CH_4	N_2O	CO_2eq
Alma	13	5,32E-04	7,30E-04	13
Saint-Gédéon	70	2,87E-03	3,95E-03	71
Métabetchouan–Lac-à-la-Croix	189	7,77E-03	1,07E-02	193
Chambord	323	1,32E-02	1,82E-02	328
Roberval	6	2,38E-04	3,27E-04	6
Mashteuiatsh	55	2,27E-03	3,11E-03	56
Saint-Prime	24	9,91E-04	1,36E-03	25
Saint-Félicien/Saint-Méthode	327	1,34E-02	1,84E-02	333
Dolbeau-Mistassini	615	2,52E-02	3,46E-02	625
Péribonka	8	3,43E-04	4,71E-04	9
Sainte-Monique	2	6,86E-05	9,42E-05	2
Saint-Henri-de-Taillon	87	3,55E-03	4,87E-03	88
Total	**1 718**	**7,05E-02**	**9,68E-02**	**1 749**

Le total des GES pour le transport du sable et des gravillons s'élève à 1 749 T CO_2eq.

Afin d'estimer les besoins en matériaux (sable et gravillons) pour les rechargements de plage dans le cadre du Programme 2028-2037, un bilan cumulatif conservateur en fonction du niveau de vulnérabilité de chaque site pris individuellement a été considéré au départ. Selon l'intensité de l'érosion, les secteurs identifiés pourraient faire l'objet d'un à trois rechargements au cours de la période du décret. Il est toutefois peu probable que l'ensemble de ces besoins se matérialisent en totalité au cours du Programme. Basé sur l'historique des quantités de matériaux utilisés pour les rechargements de plages des trois précédents programmes décennaux de travaux, il apparait raisonnable de croire que l'envergure des interventions de rechargements devrait demeurer comparable, ce qui correspond à environ 64 % des besoins identifiés. Dès lors, les émissions des GES seraient de 1 122 T CO_2eq.

Tableau 10 Quantité de GES selon l'envergure des rechargements de plages projetés

Type de travaux	Longueurs d'interventions (m)	Quantités de matériaux (Tonnes)	GES (T CO_2eq)
Bilan cumulatif des besoins identifiés (sable et gravillon combinés)	15 685	701 500	1 749
Envergure des rechargements de plages projetés pour la période 2028-2037 (sable et gravillon combinés)	10 060	450 000	1 122

3.1.2 Manipulation des matériaux déposés

Cette section s'occupe des émissions de GES provenant des opérations de rechargement et de la préparation des sites.

Les tableaux suivants fournissent les informations sur les équipements mobiles utilisés pour les travaux d'opération de rechargement et de préparation des sites. Notons que l'exercice estimatif se base sur la machinerie typiquement utilisée pour ce type de travaux, ainsi que l'utilisation de modèles de machinerie raisonnablement récents.

Tableau 11 Équipements pour le rechargement du sable et des gravillons

	Équipement	Modèle	HP	Consommation (L/h)
Équipe type	Bouteur	CATERPILLAR D6	215	18
	Chargeuse	CATERPILLAR 938	191	12
	Camion	12 roues	350	0[3]
	Camionnettes :	Ford-F250 (2)	405	8

Tableau 12 Équipements pour la préparation du site

	Équipement	Modèle	HP	Consommation (L/h)
Équipe type	Pelle mécanique	CATERPILLAR 336	300	25
	Chargeuse	CATERPILLAR 938	191	12
	Camionnettes	Ford-F250 (1)	405	4

À partir des temps de fonctionnement, les quantités de diesel sont obtenues.

[3] Les camions 12 roues sont déjà inclus dans le transport des matériaux.

Tableau 13 Quantité de diesel hors route[4] pour le sable

Secteur	Origine – banc d'emprunt	Destination – Nom (site)	Diesel hors route (L)
Alma	Donckin Simard (Hébertville)	Tombolo (94.01.02)	1 496
Saint-Gédéon	Donckin Simard (Hébertville)	Étang des Îles (92.02.01)	2 509
Métabetchouan–Lac-à-la-Croix	Donckin Simard (Hébertville)	Centre Plein-Air Saint-Pierre (94.03.01)	4 198
	Donckin Simard (Hébertville)	Chemin n° 14 (92.03.02)	3 353
Chambord	Donckin Simard (Hébertville)	Plage Blanchet et le Norois (94.05.01)	5 887
	Donckin Simard (Hébertville)	Domaine du Marais (94.05.05)	7 576
	Donckin Simard (Hébertville)	Plage au sable (96.05.04)	1 664
	Donckin Simard (Hébertville)	Chemin Bouchard (2014.05.01)	4 198
Roberval	Giguère #6	Plage municipale (96.06.02)	1 327
Mashteuiatsh	Giguère #6	Plage Robertson (89.07.02)	3 353
Dolbeau-Mistassini	Gaston Morin (Ste-Jeanne-d'Arc)	Racine-sur-le-Lac (BI 85) (94.11.01)	5 887
	Gaston Morin (Ste-Jeanne-d'Arc)	L'amical (95.11.02)	14 331
Sainte-Monique	Guy Maltais	Île du Repos	1 496
Saint-Henri-de-Taillon	Guy Maltais	Saint-Henri-sur-le-Lac (BI 14) (88.15.01)	5 887
	Guy Maltais	Saint-Henri-sur-le-Lac (BI 27) (94.15.01)	5 887
Total			**69 047**

4 Hors route, indique les activités sur les sites.

Tableau 14 Quantité de diesel hors route pour les gravillons

Secteur	Origine – banc d'emprunt	Destination – Nom (site)	Diesel hors route (L)
Saint-Gédéon	Donckin Simard (Hébertville)	Relais des Bernaches	1 496
	Donckin Simard (Hébertville)	Saint-Gédéon-sur-le-Lac	4 198
Métabetchouan–Lac-à-la-Croix	Donckin Simard (Hébertville)	Grand Marais	1 833
	Donckin Simard (Hébertville)	Marais Bolduc	9 264
	Donckin Simard (Hébertville)	Chemin n° 16	2 087
	Donckin Simard (Hébertville)	Camping Eau-Bois	2 509
Chambord	Guy Boivin #5	Nouveau secteur depuis 2015	2 087
	Guy Boivin #5	Alonzo	1 496
	Guy Boivin #5	Baie du Repos	2 847
	Guy Boivin #5	Pointe-aux-Pins	2 171
Mashteuiatsh	Giguère #6	Domaine Robertson	2 847
	Giguère #6	Domaine Philippe	1 833
Saint-Prime	Giguère #6	Domaine Parent	3 353
	Giguère #6	Chemin des Oies Blanches	1 158
Saint-Félicien/ Saint-Méthode	Giguère #6	Chemin Villeneuve (Bl 56)	2 087
	Giguère #6	Chemin Villeneuve (Bl 52)	3 342
	Giguère #6	Chemin Girard (BI 49)	1 664
	Giguère #6	Chemin Girard (BI 45)	1 664
	Giguère #6	Chemin Girard (BI 31)	4 198
	Giguère #6	Chemin sur le lac (BI 18)	2 509
	Giguère #6	Chemin sur le lac (BI 13)	1 664
Dolbeau-Mistassini	Gaston Morin (chemin Domtar)	Racine sur mer (BI 106)	2 509
	Gaston Morin (chemin Domtar)	Racine sur mer (BI 101)	4 198
	Gaston Morin (chemin Domtar)	Racine-sur-le-Lac (BI 75)	5 887
	Gaston Morin (chemin Domtar)	Racine-sur-le-Lac (BI 60)	5 887
	Gaston Morin (chemin Domtar)	Chemin de la Pointe	1 664
	Gaston Morin (chemin Domtar)	Pointe Langevin	5 887
Péribonka	Guy Maltais	Ch. Édouard-Niquet	1 496
Saint-Henri-de-Taillon	Guy Maltais	Baie de la Pipe	1 664
Total			**85 498**

Les émissions de GES sont calculées en utilisant les facteurs d'émission de la section 2.4 et sont présentées ci-dessous.

Tableau 15 Quantité de GES émis pour le sable (hors route)

Secteur	Émissions de GES (tonnes)			
	CO_2	CH_4	N_2O	CO_2eq
Alma	4	1,09E-04	3,39E-04	4
Saint-Gédéon	7	1,83E-04	5,70E-04	7
Métabetchouan–Lac-à-la-Croix	11	3,06E-04	9,53E-04	12
	9	2,45E-04	7,61E-04	9
Chambord	16	4,30E-04	1,34E-03	16
	20	5,53E-04	1,72E-03	21
	4	1,22E-04	3,78E-04	5
	11	3,06E-04	9,53E-04	12
Roberval	4	9,68E-05	3,01E-04	4
Mashteuiatsh	9	2,45E-04	7,61E-04	9
Dolbeau-Mistassini	16	4,30E-04	1,34E-03	16
	38	1,05E-03	3,25E-03	39
Sainte-Monique	4	1,09E-04	3,39E-04	4
Saint-Henri-de-Taillon	16	4,30E-04	1,34E-03	16
	16	4,30E-04	1,34E-03	16
Total	**185**	**5,04E-03**	**1,57E-02**	**190**

Tableau 16 Quantité de GES émis pour les gravillons (hors route)

Secteur	Émissions de GES (tonnes)			
	CO_2	CH_4	N_2O	CO_2eq
Saint-Gédéon	4	1,09E-04	3,39E-04	4
	11	3,06E-04	9,53E-04	12
Métabetchouan–Lac-à-la-Croix	5	1,34E-04	4,16E-04	5
	25	6,76E-04	2,10E-03	25
	6	1,52E-04	4,74E-04	6
	7	1,83E-04	5,70E-04	7
Chambord	6	1,52E-04	4,74E-04	6
	4	1,09E-04	3,40E-04	4
	8	2,08E-04	6,46E-04	8
	6	1,58E-04	4,93E-04	6
Mashteuiatsh	8	2,08E-04	6,46E-04	8
	5	1,34E-04	4,16E-04	5
Saint-Prime	9	2,45E-04	7,61E-04	9
	3	8,45E-05	2,63E-04	3
Saint-Félicien/Saint-Méthode	6	1,52E-04	4,74E-04	6
	9	2,44E-04	7,59E-04	9
	4	1,22E-04	3,78E-04	5
	4	1,22E-04	3,78E-04	5
	11	3,06E-04	9,53E-04	12
	7	1,83E-04	5,70E-04	7
	4	1,22E-04	3,78E-04	5
Dolbeau-Mistassini	7	1,83E-04	5,70E-04	7
	11	3,06E-04	9,53E-04	12
	16	4,30E-04	1,34E-03	16
	16	4,30E-04	1,34E-03	16
	4	1,22E-04	3,78E-04	5
	16	4,30E-04	1,34E-03	16
Péribonka	4	1,09E-04	3,39E-04	4
Saint-Henri-de-Taillon	4	1,22E-04	3,78E-04	5
Total	**229**	**6,24E-03**	**1,94E-02**	**235**

Tableau 17 Quantité de GES émis pour le sable et les gravillons (hors route)

Secteur	Émissions de GES (tonnes)			
	CO_2	CH_4	N_2O	CO_2eq
Alma	4	1,09E-04	3,39E-04	4
Saint-Gédéon	22	5,99E-04	1,86E-03	23
Métabetchouan–Lac-à-la-Croix	62	1,70E-03	5,28E-03	64
Chambord	75	2,04E-03	6,34E-03	77
Roberval	4	9,68E-05	3,01E-04	4
Mashteuiatsh	22	5,86E-04	1,82E-03	22
Saint-Prime	12	3,29E-04	1,02E-03	12
Saint-Félicien/Saint-Méthode	46	1,25E-03	3,89E-03	47
Dolbeau-Mistassini	124	3,38E-03	1,05E-02	127
Péribonka	4	1,09E-04	3,39E-04	4
Sainte-Monique	4	1,09E-04	3,39E-04	4
Saint-Henri-de-Taillon	36	9,81E-04	3,05E-03	37
Total	**414**	**1,13E-02**	**3,51E-02**	**425**

Le total des GES pour le transport du sable et des gravillons s'élève à 425 T CO_2eq. Et selon l'envergure des rechargements de plages projetés, 273 T CO_2eq.

Ainsi le total des émissions de GES concernant les activités du sable et des gravillons s'élève à 2,2 kT CO_2eq (1 749 + 425) entre 2028 et 2037. Pour rappel, ces émissions de GES sont conservatrices puisque les tonnages estimés sont conservateurs.

De nouveau, selon l'envergure des rechargements de plages projetés pour la période 2028-2037 (sable et gravillon combinés), les émissions GES concernant les activités du sable et des gravillons sont de 1,4 kT CO_2eq.

3.1.3 Émissions de carbone noir

3.1.3.1 Émissions de carbone noir pour les véhicules routiers

La quantité totale de diesel pour les véhicules routiers, incluant le diesel de la camionnette du contremaître et de l'arpenteur, est de 660 432 L.

En appliquant les facteurs d'émission pour le carbone noir, la quantité de CN émise est de 0,258 T CN équivalent à 232 TCO_2eq.

3.1.3.2 Émissions de carbone noir pour les véhicules hors route

Le tableau suivant indique les paramètres nécessaires pour calculer le CN pour les véhicules hors route.

Tableau 18 Paramètres de calcul pour le carbone noir

Type	Modèle	Puissance		Temps (h)	FC	FE_{PM10}	$PM_{2,5}/PM_{10}$	FS_{CN}
		HP	kW			g/kWh		
Bouteur	CATERPILLAR D6	215	160	1 423	0,367	0,0123	0,97	0,7897
Chargeuse	CATERPILLAR 938	191	142	1 809	0,367	0,0123	0,97	0,7897
Pelle mécanique	CATERPILLAR 336	300	224	860	0,367	0,0123	0,97	0,7897

En utilisant l'équation à la section 2.5.2, le CN émis par les véhicules hors route est de 2,21 kg CN soit 1,99 T CO_2eq. Soit 1,27 T CO_2eq selon l'envergure des travaux projetés.

Ainsi, le total d'émissions de GES pour les travaux de rechargement s'élève à 2 kT CO_2eq et 1,4 kT CO2eq selon l'envergure des travaux projetés.

Tableau 19 Quantité de GES selon le bilan cumulatif et l'envergure des rechargements de plages projetés

Type de travaux	Émissions de GES			
	Transports	Manutention	CN	GES
	T CO_2eq		T CN	kT CO_2eq
Bilan cumulatif des besoins identifiés (sable et gravillon combinés)	1 749	425	2	2,2
Envergure des rechargements de plages projetés pour la période 2028-2037 (sable et gravillon combinés)	1 122	273	2	1,4

3.2 Émissions des travaux d'enrochement (entretien et nouveaux)

3.2.1 Transport des pierres

Dans le cadre des travaux d'enrochement, les émissions de GES proviennent du transport des pierres, de l'excavation, de la manipulation de ces matériaux sur les différents sites de dépôt ainsi que de l'entretien de ces sites. Cette section se concentre sur le transport des roches séparées en deux, pour les sites existants et pour les nouveaux sites. Encore une fois, notons qu'aux fins d'évaluation de la distance du site en kilomètre, la distance est estimative et basée sur la disponibilité des matériaux appropriés à la carrière sélectionnée la plus proche du site au moment de l'étude. Également, afin d'évaluer les quantités de pierres nécessaires à la réalisation des ouvrages de protection, un ratio en tonnes/mètre linéaire est établi pour chaque site. Pour ce faire, les interventions historiques pour chaque secteur sont consultées et une moyenne est établie, en mettant l'accent sur les interventions plus récentes. Ce ratio est ensuite multiplié par la longueur projetée d'intervention. Notons que, pour les travaux sur des sites existants, ou en entretien, un taux de récupération de 15 % est appliqué et donc déduit du tonnage total requis pour ces interventions.

Tableau 20 Quantité de pierres transportées par site (entretien)

Secteur	Origine – carrières	Destination – Nom (site)	Long. (m)	Qté tot. (T)	Distance du site (km)
Alma	Donckin Simard & fils (St-Gédéon)	ALMA-27 (91.02.01-2)	40	187	8
	Excavation G. Larouche (Isle-Maligne)	ALMA-110 (93.01.02)	40	187	10
	Excavation G. Larouche (Isle-Maligne)	ALMA-114 (98.01.01)	60	281	10
	Excavation G. Larouche (Isle-Maligne)	ALMA-152 (87.16.02)	55	257	8
	Excavation G. Larouche (Isle-Maligne)	ALMA-163 (95.16.01)	25	117	9
	Excavation G. Larouche (Saint-Henri-de-Taillon)	ALMA-236	50	300	10
Saint-Gédéon	Donckin Simard & fils (St-Gédéon)	GEDE-20	45	495	8
	Donckin Simard & fils (St-Gédéon)	GEDE-34	70	770	8
	Donckin Simard & fils (St-Gédéon)	GEDE-76	75	825	8
	Donckin Simard & fils (St-Gédéon)	GEDE-98	90	990	8
	Donckin Simard & fils (St-Gédéon)	GEDE-51 (88.02.01)	114	775	8
	Donckin Simard & fils (St-Gédéon)	GEDE-69 (90.02.01-2)	55	374	8
Métabetchouan–Lac-à-la-Croix	Inter-Cité (Chambord)	META-11 (91.03.05)	30	153	15
	Donckin Simard (Hébertville)	META-14	65	650	17
Chambord	Inter-Cité (Chambord)	CHAM-51 (92.05.03)	38	226	10
	Inter-Cité (Chambord)	CHAM-56 (94.05.03)	100	595	9
	Inter-Cité (Chambord)	CHAM-58 (94.05.03)	80	476	9
	Inter-Cité (Chambord)	CHAM-65 (94.05.02)	75	446	8
	Inter-Cité (Chambord)	CHAM-66 (94.05.02)	60	357	8
	Inter-Cité (Chambord)	CHAM-81 (93.05.03)	35	208	4
	Inter-Cité (Chambord)	CHAM-84 (93.05.02)	56	332	4
	Inter-Cité (Chambord)	CHAM-86 (93.05.02)	60	357	4
	Inter-Cité (Chambord)	CHAM-90 (95.05.02)	45	268	5
	Inter-Cité (Chambord)	CHAM-91 (95.05.02)	110	655	5
	Inter-Cité (Chambord)	CHAM-92 (95.05.02)	89	530	5
	Inter-Cité (Chambord)	CHAM-94 (95.05.02)	19	114	5
	Inter-Cité (Chambord)	CHAM-104 (95.05.02)	70	417	5
	Inter-Cité (Chambord)	CHAM-106 (95.05.02)	35	208	5
	Inter-Cité (Chambord)	CHAM-108	255	2 678	5
	Inter-Cité (Chambord)	CHAM-114 (94.05.05)	55	327	8
	Inter-Cité (Chambord)	CHAM-125 (96.05.01)	20	119	10

Tableau 20 Quantité de pierres transportées par site (entretien) (suite)

Secteur	Origine – carrières	Destination – Nom (site)	Long. (m)	Qté tot. (T)	Distance du site (km)
Roberval	Excavation Piékouagamie (Mashteuiatsh)	ROBE-11 (94.06.03)	30	167	2
	Excavation Piékouagamie (Mashteuiatsh)	ROBE-21 (96.06.02)	90	497	4
	Excavation Piékouagamie (Mashteuiatsh)	ROBE-31 (2011.06.01)	100	553	4
	Excavation Piékouagamie (Mashteuiatsh)	ROBE-47 (97.06.01)	59	328	6
	Excavation Piékouagamie (Mashteuiatsh)	ROBE-49 (97.06.01)	13	72	6
	Excavation Piékouagamie (Mashteuiatsh)	ROBE-51 (97.06.01)	60	332	6
	Excavation Piékouagamie (Mashteuiatsh)	ROBE-70 (93.06.01)	35	193	10
	Excavation Piékouagamie (Mashteuiatsh)	ROBE-79 (95.06.01-1)	45	248	11
	Excavation Piékouagamie (Mashteuiatsh)	ROBE-89 (95.06.01-2)	60	332	11
	Inter-Cité (Chambord)	ROBE-93 (95.06.01-3)	70	387	12
	Inter-Cité (Chambord)	ROBE-101	70	700	12
Mashteuiatsh	Excavation Piékouagamie (Mashteuiatsh)	MASH-33 (2008.07.01)	150	765	5
	Excavation Piékouagamie (Mashteuiatsh)	MASH-34 (2008.07.01)	72	367	5
	Excavation Piékouagamie (Mashteuiatsh)	MASH-38 (90.07.02)	120	612	3
	Excavation Piékouagamie (Mashteuiatsh)	MASH-43 (90.07.02)	16	84	3
	Excavation Piékouagamie (Mashteuiatsh)	MASH-48	50	375	3
	Excavation Piékouagamie (Mashteuiatsh)	MASH-51 (91.07.01)	30	153	3
Péribonka	Terrassement Belleau (Ste-Monique)	PERI-32	70	700	18
	Terrassement Belleau (Ste-Monique)	PERI-34	146	1 460	18
Total			**3303**	**22 997**	

1 Selon le scénario réaliste (voir WSP, 2025).

Tableau 21 Quantité de roches transportées par site (nouveaux)

Secteur	Origine – carrières	Destination – Nom (nouveau site)	Long. (m)	Qté tot. (T)	Distance du site (km)
Alma	Excavation G. Larouche (Isle Maligne)	ALMA-132	148	888	7,5
Saint-Gédéon	Donckin Simard & fils (St-Gédéon)	GEDE-101	40	340	11
Chambord	Inter-Cité (Chambord)	CHAM-87	60	480	3
	Inter-Cité (Chambord)	CHAM-88	40	320	3
Desbiens	Inter-Cité (Chambord)	DESB-01	130	1 560	9
Roberval	Excavation Piékouagamie (Mashteuiatsh)	ROBE-15	151	1 210	2
	Excavation Piékouagamie (Mashteuiatsh)	ROBE-16	49	392	2
	Inter-Cité (Chambord)	ROBE-102	120	1 080	12
Saint-Henri-de-Taillon	Excavation G. Larouche (Saint-Henri-de-Taillon)	HENR-02	142	1 704	10
Total			**880**	**7 974**	

En prenant des camions de transport 12 roues et consommant environ 0,39 L/km, la quantité de diesel consommée est obtenue.

Afin d'estimer les longueurs d'intervention à prévoir dans le cadre Programme 2028-2037, une approche méthodologique combinant la matrice des priorités, les probabilités d'occurrence et les données historiques a été mise en œuvre. Chaque intervention potentielle s'est donc vue attribuer une valeur de probabilité (rare, improbable, possible, probable ou presque certain), qui guide le processus décisionnel à la fois sur le déclenchement d'un potentiel d'intervention et également sur la longueur projetée de celle-ci, en multipliant la longueur potentielle par un pourcentage relatif, croissant selon le niveau de probabilité défini. Dès lors, le tableau suivant représente les quantités de diesel dans le cas optimiste et le cas réaliste.

Tableau 22 Quantité de diesel pour le transport des roches (entretien)

Secteur	Nom (Site)	Diesel camion		
		Totale (L)	Probabilité du scénario réaliste (%)	Réaliste (L)
Alma	ALMA-27 (91.02.01-2)	75	755	56
	ALMA-110 (93.01.02)	94	755	71
	ALMA-114 (98.01.01)	140	505	70
	ALMA-152 (87.16.02)	106	505	53
	ALMA-163 (95.16.01)	56	505	28
	ALMA-236	148	505	74
Saint-Gédéon	GEDE-20	112	505	56
	GEDE-34	207	205	41
	GEDE-76	281	505	140
	GEDE-98	412	505	206
	GEDE-51 (88.02.01)	306	205	61
	GEDE-69 (90.02.01-2)	150	755	113
Métabetchouan–Lac-à-la-Croix	META-11 (91.03.05)	117	205	23
	META-14	386	755	290
Chambord	CHAM-51 (92.05.03)	111	505	56
	CHAM-56 (94.05.03)	267	505	134
	CHAM-58 (94.05.03)	211	505	106
	CHAM-65 (94.05.02)	175	505	88
	CHAM-66 (94.05.02)	144	505	72
	CHAM-81 (93.05.03)	44	505	22
	CHAM-84 (93.05.02)	66	205	13
	CHAM-86 (93.05.02)	72	205	14
	CHAM-90 (95.05.02)	66	505	33
	CHAM-91 (95.05.02)	160	505	80
	CHAM-92 (95.05.02)	133	755	100
	CHAM-94 (95.05.02)	31	505	16
	CHAM-104 (95.05.02)	105	505	53
	CHAM-106 (95.05.02)	55	505	28
	CHAM-108	499	505	250
	CHAM-114 (94.05.05)	131	755	98
	CHAM-125 (96.05.01)	62	505	31

Tableau 22 Quantité de diesel pour le transport des roches (entretien) (suite)

Secteur	Nom (Site)	Diesel camion		
		Totale (L)	Probabilité du scénario réaliste (%)	Réaliste (L)
Roberval	ROBE-11 (94.06.03)	17	50	9
	ROBE-21 (96.06.02)	100	20	20
	ROBE-31 (2011.06.01)	109	50	55
	ROBE-47 (97.06.01)	98	50	49
	ROBE-49 (97.06.01)	23	50	12
	ROBE-51 (97.06.01)	98	50	49
	ROBE-70 (93.06.01)	101	50	51
	ROBE-79 (95.06.01-1)	137	50	69
	ROBE-89 (95.06.01-2)	180	50	90
	ROBE-93 (95.06.01-3)	234	50	117
	ROBE-101	374	50	187
Mashteuiatsh	MASH-33 (2008.07.01)	187	50	94
	MASH-34 (2008.07.01)	90	50	45
	MASH-38 (90.07.02)	91	50	46
	MASH-43 (90.07.02)	14	50	7
	MASH-48	56	50	28
	MASH-51 (91.07.01)	23	50	12
Péribonka	PERI-32	618	20	124
	PERI-34	1 292	50	646
Total		**8 767**		**4 180**

Tableau 23 Quantité de diesel pour le transport des roches (nouveaux)

Secteur	Nom	Diesel camion		
		Totale (L)	Probabilité (%)	Réaliste (L)
Alma	ALMA-132	328	50	164
Saint-Gédéon	GEDE-101	189	50	94
Chambord	CHAM-87	70	50	35
	CHAM-88	47	20	9
Desbiens	DESB-01	688	75	516
Roberval	ROBE-15	119	50	59
	ROBE-16	39	75	29
	ROBE-102	636	50	318
Saint-Henri-de-Taillon	HENR-02	835	20	167
Total		**2 950**		**1 392**

Les émissions de GES sont calculées en utilisant les facteurs d'émission de la section 2.4 et sont présentées ci-dessous pour le transport des roches (entretien et nouveaux) pour le scénario total et réaliste.

Tableau 24 Quantité de GES émis pour le transport des roches (entretien)

Secteur	Nom (Site)	Émissions de GES (tonnes)				
		CO_2	CH_4	N_2O	CO_2eq Total	CO_2eq Réaliste
Alma	ALMA-27 (91.02.01-2)	2,01E-01	8,25E-06	1,13E-05	2,05E-01	1,53E-01
	ALMA-110 (93.01.02)	2,52E-01	1,03E-05	1,42E-05	2,57E-01	1,92E-01
	ALMA-114 (98.01.01)	3,75E-01	1,54E-05	2,11E-05	3,82E-01	1,91E-01
	ALMA-152 (87.16.02)	2,84E-01	1,17E-05	1,60E-05	2,89E-01	1,45E-01
	ALMA-163 (95.16.01)	1,50E-01	6,16E-06	8,46E-06	1,53E-01	7,64E-02
	ALMA-236	3,97E-01	1,63E-05	2,24E-05	4,04E-01	2,02E-01
Saint-Gédéon	GEDE-20	3,01E-01	1,24E-05	1,70E-05	3,06E-01	1,53E-01
	GEDE-34	5,56E-01	2,28E-05	3,13E-05	5,66E-01	1,13E-01
	GEDE-76	7,53E-01	3,09E-05	4,24E-05	7,66E-01	3,83E-01
	GEDE-98	1,10E+00	4,53E-05	6,22E-05	1,12E+00	5,62E-01
	GEDE-51 (88.02.01)	8,20E-01	3,37E-05	4,62E-05	8,35E-01	1,67E-01
	GEDE-69 (90.02.01-2)	4,02E-01	1,65E-05	2,27E-05	4,09E-01	3,07E-01
Métabetchouan–Lac-à-la-Croix	META-11 (91.03.05)	3,14E-01	1,29E-05	1,77E-05	3,19E-01	6,39E-02
	META-14	1,04E+00	4,25E-05	5,83E-05	1,05E+00	7,90E-01
Chambord	CHAM-51 (92.05.03)	2,98E-01	1,22E-05	1,68E-05	3,03E-01	1,51E-01
	CHAM-56 (94.05.03)	7,16E-01	2,94E-05	4,03E-05	7,29E-01	3,64E-01
	CHAM-58 (94.05.03)	5,66E-01	2,32E-05	3,19E-05	5,76E-01	2,88E-01
	CHAM-65 (94.05.02)	4,69E-01	1,93E-05	2,64E-05	4,78E-01	2,39E-01
	CHAM-66 (94.05.02)	3,86E-01	1,58E-05	2,17E-05	3,93E-01	1,96E-01
	CHAM-81 (93.05.03)	1,18E-01	4,84E-06	6,64E-06	1,20E-01	6,00E-02
	CHAM-84 (93.05.02)	1,77E-01	7,26E-06	9,97E-06	1,80E-01	3,60E-02
	CHAM-86 (93.05.02)	1,93E-01	7,92E-06	1,09E-05	1,96E-01	3,93E-02
	CHAM-90 (95.05.02)	1,77E-01	7,26E-06	9,97E-06	1,80E-01	9,00E-02
	CHAM-91 (95.05.02)	4,29E-01	1,76E-05	2,42E-05	4,37E-01	2,18E-01
	CHAM-92 (95.05.02)	3,57E-01	1,46E-05	2,01E-05	3,63E-01	2,72E-01
	CHAM-94 (95.05.02)	8,31E-02	3,41E-06	4,68E-06	8,46E-02	4,23E-02
	CHAM-104 (95.05.02)	2,82E-01	1,16E-05	1,59E-05	2,87E-01	1,43E-01
	CHAM-106 (95.05.02)	1,47E-01	6,05E-06	8,31E-06	1,50E-01	7,50E-02
	CHAM-108	1,34E+00	5,49E-05	7,54E-05	1,36E+00	6,81E-01
	CHAM-114 (94.05.05)	3,51E-01	1,44E-05	1,98E-05	3,57E-01	2,68E-01
	CHAM-125 (96.05.01)	1,66E-01	6,82E-06	9,36E-06	1,69E-01	8,46E-02

Tableau 24 Quantité de GES émis pour le transport des roches (entretien) (suite)

Secteur	Nom (Site)	Émissions de GES (tonnes)				
		CO_2	CH_4	N_2O	CO_2eq Total	CO_2eq Réaliste
Roberval	ROBE-11 (94.06.03)	4,60E-02	1,89E-06	2,59E-06	4,68E-02	2,34E-02
	ROBE-21 (96.06.02)	2,68E-01	1,10E-05	1,51E-05	2,72E-01	5,45E-02
	ROBE-31 (2011.06.01)	2,93E-01	1,20E-05	1,65E-05	2,98E-01	1,49E-01
	ROBE-47 (97.06.01)	2,63E-01	1,08E-05	1,48E-05	2,68E-01	1,34E-01
	ROBE-49 (97.06.01)	6,27E-02	2,57E-06	3,53E-06	6,39E-02	3,19E-02
	ROBE-51 (97.06.01)	2,63E-01	1,08E-05	1,48E-05	2,68E-01	1,34E-01
	ROBE-70 (93.06.01)	2,72E-01	1,12E-05	1,53E-05	2,77E-01	1,38E-01
	ROBE-79 (95.06.01-1)	3,68E-01	1,51E-05	2,07E-05	3,75E-01	1,87E-01
	ROBE-89 (95.06.01-2)	4,83E-01	1,98E-05	2,72E-05	4,92E-01	2,46E-01
	ROBE-93 (95.06.01-3)	6,27E-01	2,57E-05	3,53E-05	6,39E-01	3,19E-01
	ROBE-101	1,00E+00	4,12E-05	5,65E-05	1,02E+00	5,11E-01
Mashteuiatsh	MASH-33 (2008.07.01)	5,02E-01	2,06E-05	2,83E-05	5,11E-01	2,55E-01
	MASH-34 (2008.07.01)	2,40E-01	9,87E-06	1,35E-05	2,45E-01	1,22E-01
	MASH-38 (90.07.02)	2,45E-01	1,00E-05	1,38E-05	2,49E-01	1,25E-01
	MASH-43 (90.07.02)	3,76E-02	1,54E-06	2,12E-06	3,83E-02	1,92E-02
	MASH-48	1,51E-01	6,18E-06	8,48E-06	1,53E-01	7,66E-02
	MASH-51 (91.07.01)	6,17E-02	2,53E-06	3,47E-06	6,28E-02	3,14E-02
Péribonka	PERI-32	1,66E+00	6,80E-05	9,33E-05	1,69E+00	3,37E-01
	PERI-34	3,46E+00	1,42E-04	1,95E-04	3,52E+00	1,76E+00
Total		**24**	**9,64E-04**	**1,32E-03**	**24**	**11**

Tableau 25 Quantité de GES émis pour le transport des roches (nouveaux)

Secteur	Nom (Site)	Émissions de GES (tonnes)				
		CO_2	CH_4	N_2O	CO_2eq Total	CO_2eq Réaliste
Alma	ALMA-132	8,78E-01	3,60E-05	4,95E-05	8,94E-01	4,47E-01
Saint-Gédéon	GEDE-101	8,78E-01	3,60E-05	4,95E-05	8,94E-01	4,47E-01
Chambord	CHAM-87	5,06E-01	2,08E-05	2,85E-05	5,15E-01	2,58E-01
	CHAM-88	1,88E-01	7,72E-06	1,06E-05	1,92E-01	3,83E-02
Desbiens	DESB-01	1,25E-01	5,15E-06	7,07E-06	1,28E-01	9,58E-02
Roberval	ROBE-15	1,84E+00	7,57E-05	1,04E-04	1,88E+00	9,39E-01
	ROBE-16	3,18E-01	1,30E-05	1,79E-05	3,24E-01	2,43E-01
	ROBE-102	1,05E-01	4,29E-06	5,89E-06	1,06E-01	5,32E-02
Saint-Henri-de-Taillon	HENR-02	1,71E+00	7,00E-05	9,61E-05	1,74E+00	3,47E-01
Total		**7**	**2,69E-04**	**3,69E-04**	**7**	**3**

Tableau 26 Quantité de GES émis pour le transport des roches (entretien et nouveaux)

Secteur	Émissions de GES (tonnes)				
	CO_2	CH_4	N_2O	CO_2eq Total	CO_2eq Réaliste
Alma	3	1,04E-04	1,43E-04	3	1
Saint-Gédéon	5	1,98E-04	2,71E-04	5	2
Métabetchouan–Lac-à-la-Croix	1	5,53E-05	7,60E-05	1	1
Chambord	7	2,85E-04	3,91E-04	7	4
Roberval	6	2,55E-04	3,50E-04	6	3
Mashteuiatsh	1	5,07E-05	6,97E-05	1	1
Desbiens	0	5,15E-06	7,07E-06	0	0
Péribonka	5	2,10E-04	2,88E-04	5	2
Saint-Henri-de-Taillon	2	7,00E-05	9,61E-05	2	0
Total	**30**	**1,23E-03**	**1,69E-03**	**31**	**14**

Le total des GES pour le transport des roches s'élève à 31 T CO_2eq pour le scénario total et à 14 T CO_2eq pour le scénario réaliste.

3.2.2 Manipulation des matériaux relatifs aux enrochements

Cette section s'occupe des émissions de GES provenant des opérations de mise en place des pierres et de la préparation des sites.

Les tableaux suivants fournissent les informations sur les équipements mobiles utilisés pour les travaux d'excavation, du traitement de ces matériaux sur les différents sites de dépôt ainsi que de l'entretien de ces sites.

Notons que l'exercice estimatif se base sur la machinerie typiquement utilisée pour ce type de travaux, ainsi que l'utilisation de modèles de machinerie raisonnablement récents.

Tableau 27 Équipements pour l'enrochement

	Équipement	Modèle	HP	Consommation (L/h)
Équipe type	Pelle	CATERPILLAR 336	300	25
	Chargeuse	CATERPILLAR 938	191	12
	Camion	12 roues	350	2[5]
	Camionnettes	Ford-F250 (2)	405	8
Total				**47**

Tableau 28 Équipements pour la préparation du site

	Équipement	Modèle	HP	Cons. totale (L)
Équipe type	Pelle mécanique	CATERPILLAR 336	300	500
	Chargeuse	CATERPILLAR 938	191	240
	Camionnettes	Ford-F250 (1)	405	80
Total				**820**

Contrairement aux sites de rechargement, les sites d'enrochement nécessitent typiquement une étape supplémentaire qui génère des émissions de GES, soit l'excavation sur site. Le tableau 27 liste les équipements nécessaires pour cette phase ainsi que leur consommation en diesel, par mètre linéaire de travaux. Les données sont pour une distance de 75 m.

Tableau 29 Équipements pour l'excavation

	Équipement	Modèle	HP	Cons. totale (L)
Équipe type	Pelle mécanique	CATERPILLAR 336	300	1 000
	Chargeuse	CATERPILLAR 938	191	480
	Camionnettes	Ford-F250 (2)	405	320
Total pour 75 mètres				**1800**
Total (par mètre)				**24**

À partir des temps de fonctionnement et des longueurs des sites, les quantités de diesel sont obtenues.

[5] Les camions 12 roues sont déjà inclus dans le transport des roches.

Tableau 30 Quantité de diesel hors route pour toutes les opérations (entretien)

Secteur	Nom (Site)	Diesel hors route Total (L)	Diesel hors route réaliste (L)
Alma	ALMA-27 (91.02.01-2)	2 734	2 050
	ALMA-110 (93.01.02)	2 753	2 064
	ALMA-114 (98.01.01)	3 719	1 859
	ALMA-152 (87.16.02)	3 455	1 727
	ALMA-163 (95.16.01)	2 025	1 013
	ALMA-236	3 578	1 789
Saint-Gédéon	GEDE-20	3 810	1 905
	GEDE-34	5 504	1 101
	GEDE-76	5 897	2 949
	GEDE-98	5 789	2 894
	GEDE-51 (88.02.01)	6 291	1 258
	GEDE-69 (90.02.01-2)	4 048	3 036
Métabetchouan–Lac-à-la-Croix	META-11 (91.03.05)	2 376	475
	META-14	5 210	3 908
Chambord	CHAM-51 (92.05.03)	2 906	1 453
	CHAM-56 (94.05.03)	6 283	3 142
	CHAM-58 (94.05.03)	5 188	2 594
	CHAM-65 (94.05.02)	4 892	2 446
	CHAM-66 (94.05.02)	4 081	2 041
	CHAM-81 (93.05.03)	2 682	1 341
	CHAM-84 (93.05.02)	3 785	757
	CHAM-86 (93.05.02)	4 010	802
	CHAM-90 (95.05.02)	3 225	1 612
	CHAM-91 (95.05.02)	5 671	2 835
	CHAM-92 (95.05.02)	5 577	4 183
	CHAM-94 (95.05.02)	1 849	924
	CHAM-104 (95.05.02)	4 563	2 281
	CHAM-106 (95.05.02)	2 693	1 347
	CHAM-108	12 233	6 117
	CHAM-114 (94.05.05)	3 809	2 857
	CHAM-125 (96.05.01)	1 922	961

Tableau 30 Quantité de diesel hors route pour toutes les opérations (entretien) (suite)

Secteur	Nom (Site)	Diesel hors route Total (L)	Diesel hors route réaliste (L)
Roberval	ROBE-11 (94.06.03)	2 351	1 176
	ROBE-21 (96.06.02)	5 417	1 083
	ROBE-31 (2011.06.01)	5 060	2 530
	ROBE-47 (97.06.01)	3 886	1 943
	ROBE-49 (97.06.01)	1 493	746
	ROBE-51 (97.06.01)	3 916	1 958
	ROBE-70 (93.06.01)	2 670	1 335
	ROBE-79 (95.06.01-1)	3 201	1 600
	ROBE-89 (95.06.01-2)	3 998	1 999
	ROBE-93 (95.06.01-3)	4 552	2 276
	ROBE-101	5 835	2 918
Mashteuiatsh	MASH-33 (2008.07.01)	7 004	3 502
	MASH-34 (2008.07.01)	4 364	2 182
	MASH-38 (90.07.02)	6 668	3 334
	MASH-43 (90.07.02)	1 621	810
	MASH-48	3 839	1 919
	MASH-51 (91.07.01)	2 283	1 141
Péribonka	PERI-32	6 408	1 282
	PERI-34	10 190	5 095
Total		**217 313**	**104 552**

Tableau 31 Quantité de diesel hors route pour toutes les opérations (nouveaux)

Secteur	Nom	Diesel hors route Total (L)	Diesel hors route réaliste (L)
Alma	ALMA-132	7 482	3 741
Saint-Gédéon	GEDE-101	3 567	1 783
Chambord	CHAM-87	4 586	2 293
	CHAM-88	3 331	666
Desbiens	DESB-01	9 516	7 137
Roberval	ROBE-15	8 357	4 179
	ROBE-16	3 877	2 908
	ROBE-102	7 720	3 860
Saint-Henri-de-Taillon	HENR-02	9 067	1 813
Total		**57 504**	**28 381**

Les émissions de GES sont calculées en utilisant les facteurs d'émission de la section 2.4 et sont présentées ci-dessous.

Tableau 32 Quantité de GES émis pour les opérations hors route (entretien)

Secteur	Nom (Site)	Émissions de GES (tonnes)				
		CO_2	CH_4	N_2O	CO_2eq Total	CO_2eq Réaliste
Alma	ALMA-27 (91.02.01-2)	7	2,00E-04	6,21E-04	8	6
	ALMA-110 (93.01.02)	7	2,01E-04	6,25E-04	8	6
	ALMA-114 (98.01.01)	10	2,71E-04	8,44E-04	10	5
	ALMA-152 (87.16.02)	9	2,52E-04	7,84E-04	10	5
	ALMA-163 (95.16.01)	5	1,48E-04	4,60E-04	6	3
	ALMA-236	10	2,61E-04	8,12E-04	10	5
Saint-Gédéon	GEDE-20	10	2,78E-04	8,65E-04	10	5
	GEDE-34	15	4,02E-04	1,25E-03	15	3
	GEDE-76	16	4,30E-04	1,34E-03	16	8
	GEDE-98	16	4,23E-04	1,31E-03	16	8
	GEDE-51 (88.02.01)	17	4,59E-04	1,43E-03	17	3
	GEDE-69 (90.02.01-2)	11	2,95E-04	9,19E-04	11	8
Métabetchouan–Lac-à-la-Croix	META-11 (91.03.05)	6	1,73E-04	5,39E-04	7	1
	META-14	14	3,80E-04	1,18E-03	14	11
Chambord	CHAM-51 (92.05.03)	8	2,12E-04	6,60E-04	8	4
	CHAM-56 (94.05.03)	17	4,59E-04	1,43E-03	17	9
	CHAM-58 (94.05.03)	14	3,79E-04	1,18E-03	14	7
	CHAM-65 (94.05.02)	13	3,57E-04	1,11E-03	13	7
	CHAM-66 (94.05.02)	11	2,98E-04	9,26E-04	11	6
	CHAM-81 (93.05.03)	7	1,96E-04	6,09E-04	7	4
	CHAM-84 (93.05.02)	10	2,76E-04	8,59E-04	10	2
	CHAM-86 (93.05.02)	11	2,93E-04	9,10E-04	11	2
	CHAM-90 (95.05.02)	9	2,35E-04	7,32E-04	9	4
	CHAM-91 (95.05.02)	15	4,14E-04	1,29E-03	16	8
	CHAM-92 (95.05.02)	15	4,07E-04	1,27E-03	15	12
	CHAM-94 (95.05.02)	5	1,35E-04	4,20E-04	5	3
	CHAM-104 (95.05.02)	12	3,33E-04	1,04E-03	13	6
	CHAM-106 (95.05.02)	7	1,97E-04	6,11E-04	7	4
	CHAM-108	33	8,93E-04	2,78E-03	34	17
	CHAM-114 (94.05.05)	10	2,78E-04	8,65E-04	10	8
	CHAM-125 (96.05.01)	5	1,40E-04	4,36E-04	5	3

Tableau 32 Quantité de GES émis pour les opérations hors route (entretien) (suite)

Secteur	Nom (Site)	Émissions de GES (tonnes)				
		CO_2	CH_4	N_2O	CO_2eq Total	CO_2eq Réaliste
Roberval	ROBE-11 (94.06.03)	6	1,72E-04	5,34E-04	6	3
	ROBE-21 (96.06.02)	15	3,95E-04	1,23E-03	15	3
	ROBE-31 (2011.06.01)	14	3,69E-04	1,15E-03	14	7
	ROBE-47 (97.06.01)	10	2,84E-04	8,82E-04	11	5
	ROBE-49 (97.06.01)	4	1,09E-04	3,39E-04	4	2
	ROBE-51 (97.06.01)	10	2,86E-04	8,89E-04	11	5
	ROBE-70 (93.06.01)	7	1,95E-04	6,06E-04	7	4
	ROBE-79 (95.06.01-1)	9	2,34E-04	7,27E-04	9	4
	ROBE-89 (95.06.01-2)	11	2,92E-04	9,08E-04	11	5
	ROBE-93 (95.06.01-3)	12	3,32E-04	1,03E-03	13	6
	ROBE-101	16	4,26E-04	1,32E-03	16	8
Mashteuiatsh	MASH-33 (2008.07.01)	19	5,11E-04	1,59E-03	19	10
	MASH-34 (2008.07.01)	12	3,19E-04	9,91E-04	12	6
	MASH-38 (90.07.02)	18	4,87E-04	1,51E-03	18	9
	MASH-43 (90.07.02)	4	1,18E-04	3,68E-04	4	2
	MASH-48	10	2,80E-04	8,71E-04	11	5
	MASH-51 (91.07.01)	6	1,67E-04	5,18E-04	6	3
Péribonka	PERI-32	17	4,68E-04	1,45E-03	18	4
	PERI-34	27	7,44E-04	2,31E-03	28	14
Total		**583**	**1,59E-02**	**4,93E-02**	**598**	**288**

Tableau 33 Quantité de GES émis pour les opérations hors route (nouveaux)

Secteur	Nom (Site)	Émissions de GES (tonnes)				
		CO_2	CH_4	N_2O	CO_2eq Total	CO_2eq Réaliste
Alma	ALMA-132	20	5,46E-04	1,70E-03	21	10
Saint-Gédéon	GEDE-101	10	2,60E-04	8,10E-04	10	5
Chambord	CHAM-87	12	3,35E-04	1,04E-03	13	6
	CHAM-88	9	2,43E-04	7,56E-04	9	2
Desbiens	DESB-01	26	6,95E-04	2,16E-03	26	20
Roberval	ROBE-15	22	6,10E-04	1,90E-03	23	11
	ROBE-16	10	2,83E-04	8,80E-04	11	8
	ROBE-102	21	5,64E-04	1,75E-03	21	11
Saint-Henri-de-Taillon	HENR-02	24	6,62E-04	2,06E-03	25	5
Total		**154**	**4,20E-03**	**1,31E-02**	**158**	**78**

Tableau 34 Quantité de GES émis pour les opérations hors route (entretien et nouveaux)

Secteur	Émissions de GES (tonnes)				
	CO_2	CH_4	N_2O	CO_2eq Total	CO_2eq Réaliste
Alma	69	1,88E-03	5,84E-03	71	39
Saint-Gédéon	94	2,55E-03	7,92E-03	96	41
Métabetchouan–Lac-à-la-Croix	20	5,54E-04	1,72E-03	21	12
Chambord	223	6,08E-03	1,89E-02	229	112
Roberval	167	4,55E-03	1,42E-02	171	84
Mashteuiatsh	69	1,88E-03	5,85E-03	71	35
Desbiens	26	6,95E-04	2,16E-03	26	20
Péribonka	44	1,21E-03	3,77E-03	46	18
Saint-Henri-de-Taillon	24	6,62E-04	2,06E-03	25	5
Total	**737**	**2,01E-02**	**6,24E-02**	**756**	**366**

Le total des GES pour les opérations hors route pour l'enrochement s'élève à 756 T CO_2eq pour le scénario total et 366 T CO_2eq pour la version réaliste. Ainsi le total des émissions de GES concernant les activités d'enrochement s'élève à 787 T CO_2eq (31 + 756) pour le scénario total et 380 T CO_2eq (14 + 366) pour le scénario réaliste.

3.2.3 Émissions de carbone noir pour les opérations d'enrochement

3.2.3.1 Émissions de carbone noir pour les véhicules routiers - enrochement

La quantité totale de diesel pour les véhicules routiers, incluant le diesel de la camionnette du contremaître et de l'arpenteur, est de 53 745 L (25 611 L pour la version réaliste).

En appliquant les facteurs d'émission pour le carbone noir, la quantité de CN émise est de 0,021 T CN équivalent à 19 T CO_2eq. Pour la version réaliste, la quantité de CN est de 0,01 T CN équivalent à 9 T CO_2eq.

3.2.3.2 Émissions de carbone noir pour les véhicules hors route - enrochement

Le tableau suivant indique les paramètres nécessaires pour calculer le CN pour les véhicules hors route (enrochement, excavation et entretien).

Tableau 35 Paramètres de calcul pour le carbone noir

Type	Modèle	Puissance		Temps (h)	FC	FE_{PM10}	$PM_{2,5}/PM_{10}$	FS_{CN}
		HP	kW			g/kWh		
Pelle	CATERPILLAR 336	300	224	Dépendant de l'opération	0,367	0,0123	0,97	0,7897
Chargeuse	CATERPILLAR 938	191	142		0,367	0,0123	0,97	0,7897

Tableau 36 Temps selon les opérations

Type	Modèle	Temps (h)		
		Enrochement	Excavation	Entretien
Pelle	CATERPILLAR 336	1906	2560	1280
Chargeuse	CATERPILLAR 938	915	2560	1280

En utilisant l'équation à la section 2.5.2, le CN émis par les véhicules hors route est de 6,10 kg CN soit 5,49 T CO_2eq. Pour le scénario réaliste, les émissions sont de 2,93 kg CN soit 2,64 T CO_2eq.

Ainsi, le total des émissions de GES pour les travaux d'enrochement s'élève à 793 T CO_2eq (787 + 6) et 383 T CO_2eq (380 + 3) pour le scénario réaliste.

4 Conclusion

Dans le cadre de l'étude d'impact sur l'environnement pour la mise en œuvre du Programme de gestion de l'érosion des plages et des berges du lac Saint-Jean 2028-2037, cette note technique s'est concentrée sur l'estimation des émissions des gaz à effet de serre pour les différents travaux de rechargement et d'enrochement. Le calcul a été fait pour la totalité des sites et pour le scénario réaliste.

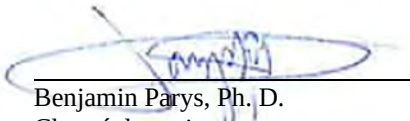
Les quantités de GES sont conservatrices parce que les tonnages utilisés sont eux-mêmes conservateurs. Les émissions de GES pour les travaux de rechargement s'élèvent à 1,4 kT CO_2eq incluant 2 kg CN. Pour l'enrochement, les GES s'élèvent à 383 T CO_2eq pour les travaux d'enrochement incluant 2,93 kg CN. Donc un total de 3 kT CO_2eq pour tous les travaux. En ce qui concerne le scénario réaliste, les émissions totales sont de 1,8 kT CO_2eq.

5 Références bibliographiques

MELCCFP. 2025. *Guide de quantification des émissions de gaz à effet de serre*. 126 p. En ligne : https://www.environnement.gouv.qc.ca/changements/ges/guide-quantification/index.htm.

WSP. 2025. *Programme de gestion de l'érosion des plages et des berges du lac Saint-Jean 2028-2037. Inventaire et analyse détaillée des berges et plages du lac Saint-Jean et description de la méthodologie*. 16 pages et annexes.

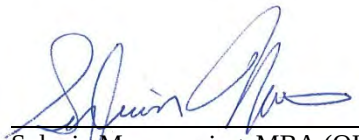
PRÉPARÉ PAR



Benjamin Parys, Ph. D.
Chargé de projet

17 décembre 2025
Date

RÉVISÉ PAR



Sylvain Marcoux, ing. MBA (OIQ nº 116307)
Chef d'équipe, Acoustique, Vibration et Air

17 décembre 2025
Date

ANNEXE

A7-1 *Compte rendu Consultation MELCCFP sur l'Avis de projet*

Ministère
de l'Environnement,
de la Lutte contre
les changements
climatiques, de la Faune
et des Parcs
Québec

Direction générale de l'évaluation environnementale et stratégique

Québec, 6 février 2025

Monsieur Stéphane Larouche
Directeur général
Énergie électrique et Programme de stabilisation des berges du lac Saint-Jean
Rio Tinto Alcan inc.
1190, avenue des Canadiens-de-Montréal
Montréal (Québec) G3B 0E3

Objet : **Compilation des enjeux soumis dans le cadre de la consultation publique concernant les enjeux que l'étude d'impact devrait aborder pour le programme de gestion de l'érosion des plages et des berges du lac Saint-Jean 2028-2037 par Rio Tinto Alcan inc.**

(Dossier 3211-02-348)

Monsieur,

Dans le cadre de la procédure d'évaluation et d'examen des impacts sur l'environnement, et conformément au premier alinéa de l'article 31.3.1 de la Loi sur la qualité de l'environnement (RLRQ, chapitre Q-2), le Ministère a tenu une consultation publique sur les enjeux que l'étude d'impact du projet mentionné en objet devrait aborder. Celle-ci s'est déroulée du 11 novembre 2024 au 25 janvier 2025. Au cours de cette période, 73 commentaires pertinents ont été transmis au Ministère.

Comme prévu au deuxième alinéa de l'article 31.3.1, vous trouverez ci-joint la compilation des enjeux soumis dans le cadre de la consultation publique, dont la pertinence justifie leur prise en compte lors de la réalisation de l'étude d'impact. Ceux-ci doivent être traités conformément aux sections 2.2 et 2.5 de la directive transmise le 18 novembre 2024.

... 2

Édifice Marie-Guyart, 6e étage
675, boulevard René-Lévesque Est
Québec (Québec) G1R 5V7
Téléphone : 418 521-3933
Télécopieur : 418 644-8222
Internet : www.environnement.gouv.qc.ca

Veuillez noter que le document ci-joint sera publié au Registre des évaluations environnementales, conformément au deuxième alinéa de l'article 31.3.1 de la Loi sur la qualité de l'environnement.

Je vous prie de recevoir, Monsieur, mes meilleures salutations.

Le directeur général,

Ian Courtemanche

p. j. Compilation des enjeux soumis dans le cadre de la consultation sur les enjeux que l'étude d'impact devrait aborder ainsi que les documents fournis en référence.

Compilation des enjeux soumis

dans le cadre de la consultation sur les enjeux que l'étude d'impact devrait aborder

Programme de gestion de l'érosion des plages et des berges du lac Saint-Jean 2028-2037 par Rio Tinto Alcan inc.

3211-02-348

Ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs

6 février 2025

Ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs
Québec

LE PROJET

Le programme de stabilisation des berges du lac Saint-Jean fut initialement autorisé par le gouvernement du Québec en 1986. Le présent programme représente le quatrième que Rio Tinto Alcan inc. souhaite mettre en place afin de proposer une gestion de l'érosion riveraine observée au niveau de 50 km de plage et 220 km de berges du lac Saint-Jean. Rio Tinto Alcan inc. prévoit ainsi la mise en place d'approches de gestion de l'érosion via différents types d'ouvrages qui répondront aux problématiques érosives observées, de mécanismes de participation du milieu face au programme en général, mais aussi face aux interventions qui seraient nécessaires durant la période de validité de son programme, et d'un programme de contrôle et de suivi des interventions et des impacts du programme sur le milieu.

LE CONTEXTE LÉGAL

La Loi sur la qualité de l'environnement (LQE) prévoit qu'après avoir reçu la directive du ministre, l'initiateur du projet doit publier un avis annonçant le début de l'évaluation environnementale du projet et son dépôt sur le Registre des évaluations environnementales.

Cet avis doit également mentionner que toute personne, tout groupe ou toute municipalité peut faire part au ministre, par écrit, des enjeux que l'étude d'impact devrait aborder, par le biais d'une consultation publique sur les enjeux.

Les étapes de la procédure d'évaluation et d'examen des impacts sur l'environnement dans laquelle s'insère la consultation sur les enjeux sont présentées à la page 3 du présent document.

LES OBJECTIFS DE LA CONSULTATION

La consultation sur les enjeux que l'étude d'impact devrait aborder, vise à offrir à la population la possibilité de s'exprimer sur les enjeux anticipés d'un projet, et ce, en amont de la réalisation de l'étude d'impact, permettant ainsi à l'initiateur de tenir compte des préoccupations du public lors de la réalisation de son étude d'impact. Elle est effectuée à partir du Registre des évaluations environnementales qui est disponible sur le site Web du ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs.

Cette consultation ne remplace pas celles pouvant être menées par le Bureau d'audiences publiques sur l'environnement (BAPE) à la suite d'un mandat donné par le ministre. ***Les consultations du BAPE ont lieu à la suite du dépôt de l'étude d'impact, donc lors d'une phase ultérieure***.

LES OBSERVATIONS SOULEVÉES LORS DE LA CONSULTATION

La consultation pour le présent projet a débuté le 11 novembre 2024 et s'est terminée le 25 janvier 2025. À noter que la période initiale devait prendre fin le 28 décembre 2024, mais que l'initiateur a accepté de la prolonger en réaction à une demande du milieu municipal. Au cours de cette période, 73 commentaires jugés pertinents ont été transmis au Ministère.

Le Tableau 1 présente les observations soulevées lors de cette consultation. Elles sont présentées sous une forme synthèse et classées par enjeu afin de faciliter le traitement par l'initiateur de projet. Il ne s'agit pas d'une prise de position du Ministère ou du gouvernement du Québec.

Selon la section 2.2 de la directive ministérielle datée du 18 novembre 2024, l'étude d'impact doit faire état de ces observations et, le cas échéant, décrire les modifications apportées au projet et les mesures d'atténuation prévues en réponse aux observations sur les enjeux soulevés. S'il y a lieu, l'étude d'impact doit également indiquer les préoccupations auxquelles l'initiateur ne peut répondre et expliquer la raison pour laquelle ces éléments n'ont pas été traités. La section 2.5 de la directive demande également que les préoccupations exprimées lors de la présente consultation soient considérées dans la détermination des enjeux du projet qui seront analysés dans l'étude d'impact.

À des fins d’information, l’ensemble des commentaires, tels que transmis lors de la consultation publique, sont présentés en annexe. Le ministre s’est toutefois réservé le droit de ne pas inclure ceux comportant des propos injurieux, diffamatoires, discriminatoires, grossiers, crus ou offensants, nominatifs ainsi que ceux ayant un but commercial ou promotionnel.

Schéma 1 : Procédure d’évaluation et d’examen des impacts sur l’environnement (PÉEIE)

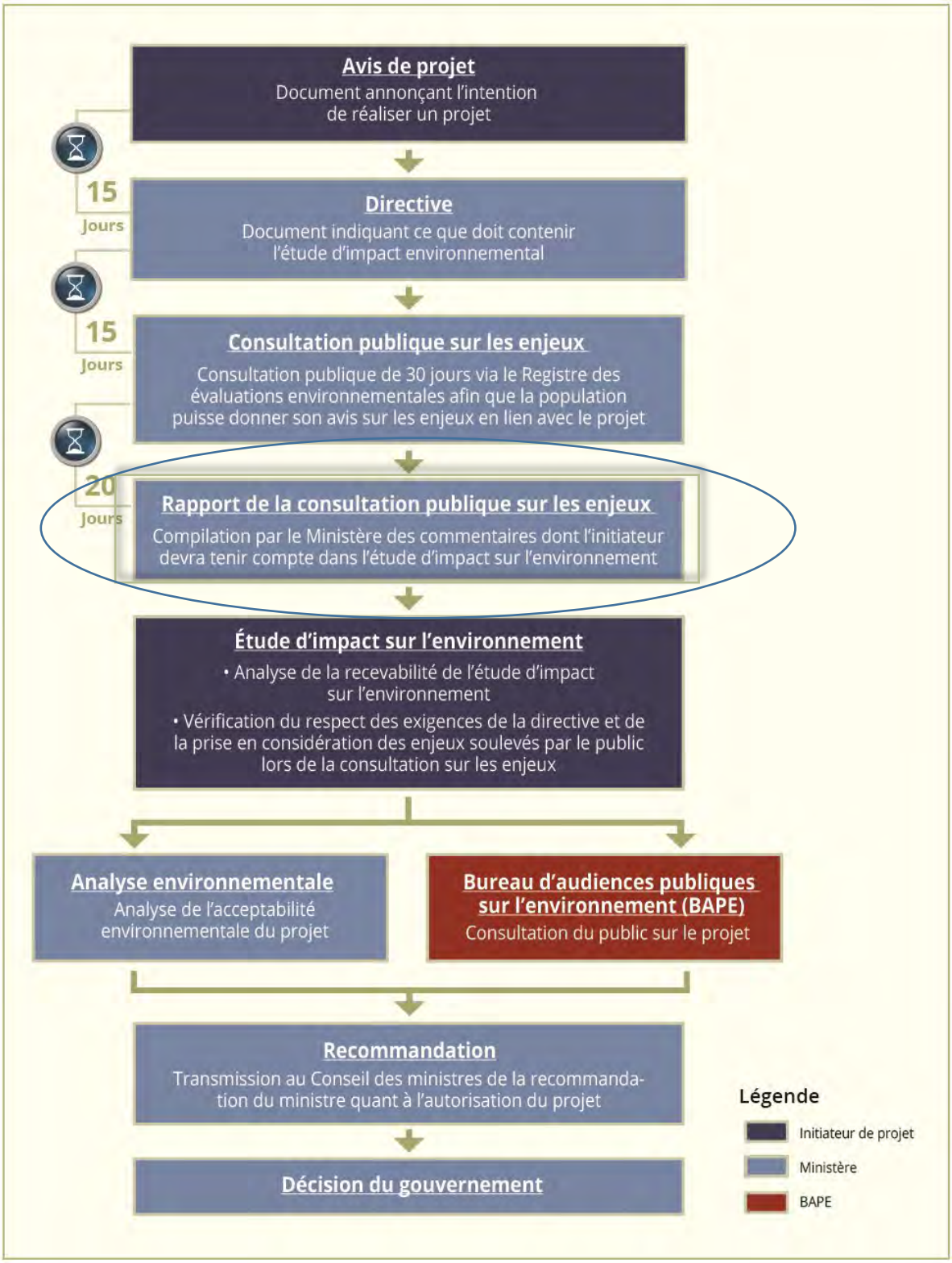

Avis de projet
Document annonçant l'intention de réaliser un projet
15 Jours
Directive
Document indiquant ce que doit contenir l'étude d'impact environnemental
15 Jours
Consultation publique sur les enjeux
Consultation publique de 30 jours via le Registre des évaluations environnementales afin que la population puisse donner son avis sur les enjeux en lien avec le projet
20 Jours
Rapport de la consultation publique sur les enjeux
Compilation par le Ministère des commentaires dont l'initiateur devra tenir compte dans l'étude d'impact sur l'environnement
Étude d'impact sur l'environnement
• Analyse de la recevabilité de l'étude d'impact sur l'environnement
• Vérification du respect des exigences de la directive et de la prise en considération des enjeux soulevés par le public lors de la consultation sur les enjeux
Analyse environnementale
Analyse de l'acceptabilité environnementale du projet
Bureau d'audiences publiques sur l'environnement (BAPE)
Consultation du public sur le projet
Recommandation
Transmission au Conseil des ministres de la recommandation du ministre quant à l'autorisation du projet
Décision du gouvernement
Légende
Initiateur de projet
Ministère
BAPE

Tableau 1 : Synthèse des observations et des enjeux soulevés par le public

Enjeux	Observations
La protection des milieux humides et hydriques	• Étendue de la zone couverte par le programme; • Caractéristiques et provenance du matériel utilisé pour le rechargement sédimentaire; • Érosion riveraine causée par la gestion du niveau de l'eau; • Érosion riveraine causée par les événements météorologiques (tempêtes); • Retrait d'anciennes structures en littoral; • Méthodes utilisées pour la stabilisation des berges et la gestion de l'érosion; • Impact des interventions sur les processus et la géomorphologie locale; • Protection des îles sableuses; • Protection de la biodiversité; • Maintien des fonctions écologiques; • Prise en compte des changements climatiques et des émissions de GES; • Prise en compte des principes de développement durable; • Évaluation et prise en compte des effets cumulatifs; • Acquisition de nouvelles connaissances pour éclairer la prise de décision; • Introduction ou propagation d'espèces exotiques envahissantes; • Fragmentation ou perte d'habitats fauniques; • Présence d'espèces menacées, vulnérables ou susceptibles d'être désignées; • Capacité de support du milieu; • Diminution de la qualité des sols; • Anthropisation ou artificialisation des berges et des plages; • Impact de la gestion du niveau d'eau sur l'habitat du poisson; • Intégration des milieux humides riverains à la zone d'étude; • Eutrophisation du lac; • Recouvrement de plage de sable fin par l'apport de matériel plus grossier utilisé à d'autres sites d'intervention à proximité; • Efficacité du scénario « M » de gestion du niveau de l'eau; • La mise en place de structures rigides jugées mal adaptées; • Assèchement des milieux humides;

Enjeux	Observations
	• Érosion au parc national de la Pointe-Taillon; • Dynamique sédimentaire de la baie près du Domaine Parent et de la rivière à la chasse à Saint-Prime; • Réutilisation du sable au fond du lac lors de rechargement sédimentaire; • Diversification des modes de production électrique.
La conservation et la protection des ressources en eau de surface et souterraine	• Protection de la qualité de l'eau; • Absence de traitement de l'eau à certains effluents municipaux.
La conciliation des usages du territoire	• Niveau du lac en étiage qui rend impossible la mise à l'eau des embarcations; • Utilisation et valeur foncière des terrains riverains; • Accès au plan d'eau; • Entretien des plages; • Sécurité des activités nautiques et aquatiques; • Ensablement de voies navigables; • Arrimage des interventions de l'initiateur avec celles comprises dans la planification municipale.
Le maintien de la qualité de vie	• Rechargement sédimentaire et ses impacts; • Inondation des terrains causée par les niveaux d'eau élevés en période de crue printanière; • Amplitude, élévations minimale et maximale des niveaux d'eau du scénario de gestion « M » ; • Mise en place d'un évacuateur d'eau à Alma pour contrer les effets d'une crue éclair; • Le maintien de la quiétude du milieu; • Le maintien de la qualité du paysage; • Stress et anxiété engendrés par les décisions d'action ou d'inaction dans certains secteurs.
L'acceptabilité sociale du projet	• Gestion participative et consultation du public; • Inaction envers l'érosion et ses impacts dans le secteur de la pointe Langevin;

Enjeux	Observations
	• Les effets potentiels du lobbysme de l'initiateur dans les décisions politiques pour le secteur du lac Saint-Jean; • La transparence du processus décisionnel; • Gestion indépendante du programme; • Inégalité du rapport de force entre les citoyens et l'initiateur; • Communication avec le public; • Cocréation du programme entre l'initiateur et le public; • Préséance de l'aspect économique sur le social dans la prise de décisions; • Neutralité du rapport produit pour Rio Tinto Alcan inc. relatif à l'érosion de la pointe Langevin; • Méconnaissance des droits des usagers et riverains; • Absence de possibilité de recours envers l'initiateur de la part des riverains; • Changement d'orientation de la part de l'initiateur envers la problématique d'érosion à la pointe Langevin; • Manque de prévisibilité envers l'étendue et la pérennité du Programme; • Inaccessibilité au public des données historiques locales (cartes, documents, stratégies) détenues par l'initiateur; • Fin du suivi bathymétrique près de la pointe Langevin; • Sentiment d'insécurité dans les zones à risque de glissement de terrain; • Imputabilité de l'initiateur envers la réalisation du programme et de ses activités; • Droits de l'initiateur envers la gestion du niveau de l'eau du lac.
La protection du patrimoine bâti et archéologique	• Conservation du patrimoine archéologique local; • Protection et adaptation des infrastructures municipales.
Les communautés autochtones	• Protection du patrimoine culturel des communautés autochtones locales.

ANNEXE

RECUEIL DES COMMENTAIRES REÇUS AU COURS DE LA CONSULTATION

Avis de non-responsabilité

Il est à noter que les commentaires suivants sont ceux qui ont été fournis par des tiers au cours de la consultation publique sur les enjeux du projet et reproduits tels quels dans la présente annexe. Ils ne peuvent être considérés comme constituant une prise de position du Ministère ou du gouvernement du Québec. Le Ministère n'assume aucune responsabilité tant dans leur forme que dans leur contenu.

Auteur	Organisation	Ville / Municipalité / Communauté	Enjeu	Préoccupation	Référence
Citoyen		Saint-Henri-de-Taillon	Oui, malgré les droits que possède Rio Tinto, les zones des berges à l'extérieur du PSBLSJ son souvent en net recul (Pointe Racine). Il faudrait faire une entente spécifique pour les secteurs hors du programme des berges actuel. L'importance de voir le lac Saint-Jean dans son ensemble est	Il y a aussi le phénomène de boulance qui se répète dans notre secteur. Le banc d'emprunt utilisé actuellement est à 1 km au nord de l'ancien banc d'emprunt. Les matériaux utilisés actuellement pour le rechargement semble avoir plus de particule fine que celui utilisé anciennement. Une étude sur la dimension et la quantité de particule fine du site actuel, comparer à l'ancien banc d'emprunt devrait valider ou non mon constat.Pour illustrer mon propos, voici un lien d'un de mes tournages sur YouTube.https://www.youtube.com/watch?v=B1AF_EKIrGEDe plus, il y a la qualité des matériaux utilisés pour le rechargement, qui son trop grossier. Cette année, lors du déglaçage en début de travaux de rechargement, il y a eu beaucoup de pierre du périré qui ont été déplacé vers l'avant-plage. Malgré une intervention de RT après les travaux, quelques semaines après les travaux	

Auteur	Organisation	Ville / Municipalité / Communauté	Enjeu	Préoccupation	Référence
			plus que nécessaire. Combien d'hectares de milieux humides sont disparues depuis l'exhaussement des eaux du lac Saint-Jean ? Il faut trouver le moyen de protéger ce qu'il reste des milieux humides actuels et inclure les zones hors PSBLSJ.	lors de la fonte des neiges, de la gravel et des pierres sont apparues., même après l'intervention de RT. (ramassage de pierres. J'ai une vidéo qui montre l'ampleur de la quntité de pierre et roches qui se sont retrouvés directement dans ma zone immédiate de baignage.,	
Citoyen		Saint-Félicien	Le principal enjeu est le niveau élevé du lac au printemps qui cause beaucoup d'érosion soit d'un côté ou de l'autre du lac lorsqu'il y a de forts vents comme c'est souvent le cas		

Auteur	Organisation	Ville / Municipalité / Communauté	Enjeu	Préoccupation	Référence
			à cette Eric de de l'année. Cela arrache carrément les berges naturelles qui sont remplacées par du sable rocailleux. Et le lac baisse trop bas en juillet mettant fin beaucoup trop tôt à la saison de pêche sportive car on ne peut plus mettre les bateaux à l'eau. En bordure du lac dans certains secteurs, le lac est à 12 pouces.		
Citoyen		Saint-Félicien	On devrait regarder la hauteur du terrain par rapport au plan d'eau. Comme chez moi, il y a une écart d'au moin 4 mètres. Il est	Peur de ne plus pourvoir réaliser des projets d'agrandissement et de rénovation sur ma propriété. Peur audsi d'une baisse de valeur marchande.	J'en ai aucune .

Auteur	Organisation	Ville / Municipalité / Communauté	Enjeu	Préoccupation	Référence
			impossible que le lac déborde de 4 mètres…surtout que c'est un réservoir.		
Citoyen		Roberval	Oui. Il y a des veilles infrastructures vétustes qui devraient être enlevées et les berges remis à l'état naturel. Par exemple, je suis propriétaire d'un terrain riverain sur lequel une marina privée avait été faite dans les années 1960. Cette infrastructure est désuète et ensablée. Le tout devrait être démolie et remis en état selon les normes en vigueur. Probablement pas un cas	Naturellement la préoccupation principale est l'érosion au printemps. Selon les règles actuelles, il existe un risque majeur d'érosion au printemps selon la direction du vent et de possibles tempêtes. (Secteur Roberval boulevard de l'anse)	Aucune

Auteur	Organisation	Ville / Municipalité / Communauté	Enjeu	Préoccupation	Référence
			unique autour du lac.		
Citoyen		Albanel	Non c'est ok	La Bonn. Gestion du lac par l'Alcan.	Ok
Citoyen		Chambord		L'accumulation du sable, gravier sur la plage face à ma demeure.Depuis quelques années Rio tinto fait du rechargement avec du graviers , avec les vent Est ce graviers s'accumule et augmente la plage.	
Citoyen		Roberval	Le niveau du lac à 17 pieds au printemps est préoccupant. Les changements climatiques font en sorte que les statistiques des années passées ne peuvent plus être une source fiable pour l'avenir.	Rio Tinto devrait construire une ouvrage pour évacuer plus d'eau au besoin. De cette façon, l'entreprise pourrait éviter toute forme d'inondation lors de la crue des eaux.	
Citoyen		Roberval		Un niveau du lac avec des balises plus restrictives . Le lac ne devrait pas	

Auteur	Organisation	Ville / Municipalité / Communauté	Enjeu	Préoccupation	Référence
				dépassé le seuil de 17 pieds ni descendre en bas de 14 pieds.	
Citoyen		Alma	De baisser le lac à 15 pieds parce que à 17 pieds la grande décharge l'eau embarque pare dessus les quais. Depuis une couple d'années c'est trop haut	Que vous maintenez la hauteur à 17 pieds le lac et que à la Dam en Terre l'eau vient à presque 19 pieds de haut pour avoir 17 pieds au Lac	D'avoir une réunion avec les riverains
Citoyen		Métabetchouan –Lac-à-la-Croix	Une sortie d'eau supplémentaire au barrage d'Alma pour évacuation plus rapide lors d'une montée soudaine.merci.		

Auteur	Organisation	Ville / Municipalité / Communauté	Enjeu	Préoccupation	Référence
Citoyen		Dolbeau-Mistassini		La pointe Langevin ne semble pas être une préoccupation dans ce projet monepouse et moi ouest des propriétaires depuis plus de 40 ans et nous qui avons travaillé à se construire un coin pour le futur et on est rendu à ce futur et il ne semble pas très agréable blé pour la suite car semble t il on n est pas présent dans le nouveau projet nous et nos enfants on été très présents tout ces années et notre investissement ne semble pas compté dans le portrait on vas directement vers une perte total .et je crois que l on as droit à plus de soutient on n à plus de plage et la valeur de notre investissement est à zéro et je crois que l on as droit à plus de regards ce qui est troublant on avance en âge et je suis inquiet pour la suite si on n est plus la pour prendre la parole notre ermitage pour notre descendance est compromis et cela n est pas normal merci de me lire et d en prendre connaissance.	
Citoyen		Saint-Gédéon	Il faut trouver des alternatives à la construction des épis pour régler le problème d'érosion des berges. C'est presque toujours cette méthode qui est utilisée et il	Que malgré les beaux mots qui sont écrits (participation de tout le monde, que le niveau du lac à un impact sur l'érosion des berges) finalement ce soit toujours l'aspect monétaire (produire plus) qui compte. Que finalement ce soit RTA qui décide du niveau du lac pour ne pas affecter sa production. Également que RTA réussisse à diviser les intervenants entre eux en raison des visions différentes et finissent par faire ce qui est bon pour eux et non pour l'ensemble des utilisateurs.	

Auteur	Organisation	Ville / Municipalité / Communauté	Enjeu	Préoccupation	Référence
			y a moyen de faire les chose autrement . Il suffit de regarder ce que fait la nature ailleurs, exemple les îles au nord de Cuba (Cayo Guillermo) qui ont de belles plages sans avoir besoin d'épis.		

Auteur	Organisation	Ville / Municipalité / Communauté	Enjeu	Préoccupation	Référence
Citoyen		Dolbeau-Mistassini	Mon épouse et moi avons été campeurs à Pointe Langevin dans les 1970. Nous y avons acheté un terrain et une résidence dans les 1980; enfin nous avons retraité à la fin des 1990 et y avons construit une maison pour retraiter. Nous avons élevé notre famille à la pointe et cet endroit fait partie de notre vie. À chaque fois, nous avons obtenu des permis municipaux et tenu compte de la présence de Rio Tinto pour protéger les berges. En préparant notre retraite, nous avons	J'ai 80 ans et mon épouse en a 85; cette dernière fait des débuts de démence. Nous voulons depuis plusieurs années déménager à Ottawa ou nos filles demeurent pour être prêts d'elles en fin de vie. Nous n'avons pas les moyens d'abandonner notre maison et il nous est impossible de vendre dans ces circonstances. J'ai besoin de l'appui de ma famille mais je suis contraint de demeurer ici. Je ne suis pas en mesure de quantifier dans quelle mesure le stress des dernières années et la fragilisation de notre projet de retraite et de notre situation financière, tous des facteurs causés par le retrait de Rio Tinto de la Pointe, ont favorisé la détérioration de la condition de mon épouse. Une chose est certaine, c'est que tous ces ennuis, sur lesquels nous n'avons aucun contrôle n'ont pas aidés. Ce que nous ne comprenons pas du tout, c'est le fait que le Gouvernement du Québec n'est pas intervenu tout de suite au début pour régler cette situation. Vous ne pensez toujours pas que ce sont des retraités comme nous en fin de vie qui vont combattre Rio Tinto! Nous n'avons pas l'énergie, les ressources ou la compréhension pour trouver des solutions. Mais nous souffrons toutes les conséquences du retrait de Rio Tinto. Nous demandons que le Gouvernement oblige Rio Tinto à faire les études et les travaux nécessaires pour corriger la situation. Vous devez contraindre Rio Tinto à inclure la Pointe dans leurs	

Auteur	Organisation	Ville / Municipalité / Communauté	Enjeu	Préoccupation	Référence
			tenu compte des travaux de berges Rio Tinto avant de prendre la décision d'investir. Rio Tinto est intervenue plusieurs fois pour stabiliser les berges, incluant avant l'adoption du décret 1986. Il y a toujours eu de l'érosion et une fosse à la Pointe; au besoin Rio Tinto a stabilisé la berge sans perte de terrain. Les conditions aujourd'hui sont les mêmes que celles depuis toujours. Nous ne comprenons pas la décision de Rio Tinto de se retirer de la Pointe;	études et leurs travaux planifiés en prévision du BAPE. Merci de votre écoute.	

Auteur	Organisation	Ville / Municipalité / Communauté	Enjeu	Préoccupation	Référence
			nous ne comprenons pas leur retrait du suivi des conditions de l'embouchure des deux rivières Péribonka. Les deux rivières ont toujours été en interaction et la fluviatilité a toujours été présente. Qu'est ce qui justifie un retrait de la Pointe de Rio Tinto? Quelle est la signification de ce retrait et ou s'arrête-t-il? Pourquoi le Gouvernement est-il resté inactif devant ce retrait? Rio Tinto a reçu des droits pour exploiter des barrages et utiliser le Lac. Ces droits leur profitent.		

Auteur	Organisation	Ville / Municipalité / Communauté	Enjeu	Préoccupation	Référence
			Qu'en est-il de leurs responsabilités envers les riverains?		
Citoyen		Saint-Gédéon	la conservation des hauts fonds au niveau des plages de	toujours l'ajoue de structures qui me semble inquiétante	je n'en ai pas

Auteur	Organisation	Ville / Municipalité / Communauté	Enjeu	Préoccupation	Référence
			Saint-Gédéon-sur-le-lac		
Citoyen		Péribonka	Protection de l'ile Boulianne inséparable du parc Pointe Taillon	Erosion progressive et aucune protection de la part de Rio Tinto.Une ile de sable facile a éroder	
Organisation	Développement Économique Alma Lac-Saint-Jean	Alma	Par la présente, j'appuie les enjeux et préoccupations déposés par Un lac pour tous dans son formulaire et j'insiste sur l'importance de mettre en évidence l'enjeu en lien avec l'accès au plan d'eau.	En lien avec la préoccupation concernant l'accès au plan d'eau: Le tourisme est un moteur économique important de la région. L'élément attractif principal du SLSJ est son lac immense. Y venir sans pouvoir s'y baigner, le voir, réaliser des sports ou activités permettant de l'apprécier est sans valeur. Il est vrai qu'il est important de s'assurer que l'accès soit fait de manière encadrée et durable, mais il est essentiel de s'assurer de rendre le lac plus accessible.	

Auteur	Organisation	Ville / Municipalité / Communauté	Enjeu	Préoccupation	Référence
Citoyen		Sainte-Jeanne-d'Arc	Mon épouse et moi avons pris notre retraite récemment. Comme projet de retraite nous désirions acheter une propriété à Vauvert et en particulier dans le secteur de la Pointe Langevin. Nous avons été surpris d'apprendre la situation à Pointe Langevin; notre première réaction a été d'exclure ce quartier de nos prospects. Ensuite, nous nous sommes demandés si la même chose pouvait survenir dans d'autres quartiers. Au bout du compte, nous avons conclu	Nous avons parlé avec plusieurs gens de Vauvert en cherchant une propriété à acheter. Personne ne comprend la décision de se retirer de la Pointe de Rio Tinto. Les gens sont surpris d'apprendre que le programme des berges est un programme volontaire de Rio Tinto et que la firme n'est pas tenue de livrer ce programme. Le gouvernement est intervenu rapidement à Saguenay à trois reprises pour des inondations, érosion et glissements de terrain. Pourquoi est-ce que les gens du Lac-St-Jean sont laissés pour compte? Nous sommes d'accord qu'il faut garder nos multinationales pour assurer le développement économique. Mais il faut aussi s'assurer que ces multinationales n'abusent pas des citoyens.	

Auteur	Organisation	Ville / Municipalité / Communauté	Enjeu	Préoccupation	Référence
			qu'il était trop périlleux à la retraite de prendre une chance d'acheter une propriété coûteuse, alors que l'entente entre le gouvernement, Rio Tinto et les riverains pouvait être aussi facilement mise de côté. Nous avons mis notre projet de côté et nous resterons où nous sommes.		

Auteur	Organisation	Ville / Municipalité / Communauté	Enjeu	Préoccupation	Référence
Citoyen		Dolbeau-Mistassini	J'ai un terrain à construire et de la famille qui demeure à Pointe Langevin. Je suis scandalisé de constater les dommages occasionnés par l'érosion des berges dans ce secteur et le gouvernement ne semble rien faire pour obliger Rio Tinto à réparer ces dommages. On entend régulièrement parlé des subventions, des prêts avantageux, et autres cadeaux du gouvernement à Rio Tinto. Rio Tinto profite des barrages et du lac pour produire une	Nouvellement retraité, nous avions le projet de se construire une résidence sur notre terrain, mais voilà, on hésite puisque, si Rio Tinto ne fait rien, la valeur des propriétés sera dépréciée à la pointe. Pourquoi Rio Tinto peut se retirer comme ça? On pensait que le programme des berges c'était un engagement de Rio Tinto en contrepartie des avantages que le gouvernement leur donne. Si Rio Tinto ne répare plus les berges en fournissant des raisons bidons, est ce qu'on va aussi fermer les barrages? Le gouvernement devrait forcer Rio Tinto à renverser son retrait de la Pointe et les forcer à réparer la pointe. Conséquemment, on vous demande d'inclure cela dans votre devis.	

Auteur	Organisation	Ville / Municipalité / Communauté	Enjeu	Préoccupation	Référence
			électricité bon marché. Depuis que Rio Tinto a repris Alcan, force est de constater qu'ils en font de moins en moins pour la protection berges. Pointe Langevin est un désastre et encore pire parce, à l'évidence, le gouvernement et Rio Tinto ne font rien depuis 2018 pour limiter les dommages. Quand on voit la pointe, c'est une honte. On voudrait en pleurer, quelle tristesse!		
Citoyen		Chambord	Plage spa lac St jean et camping spa lac St jean à chambord. Il y a un énorme résidu de copeaux , ce	Un nettoyage en profondeur de la baie de chambord est nécessaire, pour rétablir l'équilibre du lac .Il y y la traversée du lac St jean et tellement gênant de dire à ceux dé l international que cette plage est la plus laide du lac St jean	

Auteur	Organisation	Ville / Municipalité / Communauté	Enjeu	Préoccupation	Référence
			qui fait que lors de la baignade nos jambes enfonce , les enfants qui courent sur le bord de l'eau tombent parfois car les pieds restent pris .La pire plage du lac St jean		
Citoyen		Dolbeau-Mistassini	La Pointe Langevin au secteur de Vauvert doit etre inclus sur la liste de terrain qui doit etre protesger par la companie Rio Tinto contre l'erosion causer par le niveau elever du Lac St-Jean	Ma famille s'est etablie sur la Pointe Langevin dans les annee 1950 et a transformer ce terrain en camping pour etres apprecier par des gens de partout au Canada et visiteur AmericainCette pointe entre les deux rivieres Peribonka est un lieu speciale qui ne doit pas etre perdue par le Quebec. Notre famille a pout fait pour proteger la pointe juste quau annees 1970 et finallement la companie Alcan maintenant nomer Rio Tinto a admis sa responsabiliter et a commencer a protesger nos berges. Maintenant Rio Tinto veux abondaner sa responsibiliter dans cette region et ce n'est pas acceptable. Les gens autours du lac on perdue trop deja pandant que Rio Tinto s'est remplie les poches.Notre gouvernement doit protesger ses citoyen. On se fie a vous.	

Auteur	Organisation	Ville / Municipalité / Communauté	Enjeu	Préoccupation	Référence
Citoyen		Dolbeau-Mistassini	Les années 1920 a 1926 et 1940 a 1950 ont changé le cycle naturel de l'entré et de la sortie d'eau dans le lac St-Jean.Le régime hydrologique du lac a été modifié en 1926 à la suite de la construction du barrage de L'isle Maligne1940-1950 Modification du régime hydrologique naturel de la rivière Péribonka depuis la construction des différents barrages au cours des années 1940 et 1950 et la régularisation du débit 12 mois par année de la	Plusieurs rapports de professionnel a différente année nous confirme les changements majeur a l'environnement du lac St-Jean.Nous avons qu'a penser au rapport de M.A.B. Normandin du 13 juillet 1926, Le rapport de l'arpenteur géomètre Louis Joncos en 1945 ,Des études et des travaux d'envergures de RTA ont été effectuées afin de stabiliser les berges du secteur de Vauvert depuis les années soixante dix a deux mille seize.Dans son rapport d'enquête et d'audiences de 1985, le BAPE mentionne que « C'est en raison de la gravité de l'érosion . Cette érosion est due en grande partie à l'élévation et au maintien régulier des eaux du lac à des niveaux élevés.» (BAPE, 1985)et (MDDELCCC. 15 décembre 2016)Malgré deux rapports des firmes engagées par RTA en 2016 qui mais en garde:La firme Lasalle NHC a recommandé un suivi régulier du secteur pour bien identifier les épisodes érosifs et pouvoir ainsi documenter les conditions menant aux problèmes d'érosion affectant le site.Le rapport WSP spécifie que: Puisque l'équilibre hydro sédimentaire semble rompu, il est désormais très probable que l'évolution se poursuivre dans les prochaines années. La vitesse de déplacement du lit des rivières au fil des ans ne peut être évaluée avec fiabilité à ce stade. La poursuite des suivis est donc essentielle dans le cadre de la gestion des risques pour les biens et les personnes.Par ces	1926 Rapport de l' arpenteur M.A.B. Normandin du 13 juillet 1926, 1945 Le rapport de l'arpenteur géomètre Louis Joncos 1985 rapport d'enquête et audiences de 1985 du BAPE en raison de la gravité de l'érosion2014 Roche 101667.104-001 Les courants fluviaux doivent alors avoir une importance plus grande 2016 rapport MDDELCCC. Du 15 décembre 2016 en raison d'un débit élevé et contrôlé de la rivière 2016 les rapports de la firme LaSarre NHC et de WSP sur l'analyse de la pointe Langevin

Auteur	Organisation	Ville / Municipalité / Communauté	Enjeu	Préoccupation	Référence
			Péribonka.Le secteur de Pointe Langevin est un de ceux les plus durement affectés par ces travaux qui sont: 1. Rehaussement du niveau du lac, les superficies plus grandes d'eau ouverte et l'expansion des superficies sous l'eau font en sorte d'augmenter le potentiel d'érosion 2. Débit constant de la Rivière 12 mois par année, même en période de marnage, occasionne une érosion plus prononcée du chenal en hiver, 50% de tout l'eau entrant dans le	recommandations il faut inclure dans le prochain décret une étude afin de résoudre ces problèmes a la pointe	

Auteur	Organisation	Ville / Municipalité / Communauté	Enjeu	Préoccupation	Référence
			lac St-Jean provient de cette rivière , durant la période hivernal le pourcentage peut augmenté au-delà du 75% 3. Changements au lit du chenal, lesquels changements modifient les effets d'érosion,l'érosion et la disparition des îles à l'embouchure de la rivière 4. Toute ces actions ont fait en sorte de changer la géométrie de la confluence des deux rivières Péribonka.Donc l'érosion et la régularisation est amplifiée par le maintien		

Auteur	Organisation	Ville / Municipalité / Communauté	Enjeu	Préoccupation	Référence
			d'un niveau élevé du lac par rapport à son cycle naturel.L'érosion accrue est donc une conséquence de cette situation et le PSBLSJ permettra d'		

Auteur	Organisation	Ville / Municipalité / Communauté	Enjeu	Préoccupation	Référence
Organisation	Conseil régional de l'environnement et du développement durable du Saguenay-Lac-Saint-Jean	Alma	• Prise en compte des principes de développement durable dans le programme et les interventions• Maintien et amélioration de la gestion participative du lac Saint-Jean• Acceptabilité sociale du programme et des interventions associées• Consultation et implication de la communauté• Gestion du niveau de l'eau du lac pour la production hydroélectrique• Conciliation des usages du territoire (conservation, récréotourisme, villégiature,	- Dégradation et pertes de milieux humides et hydriques - Risque d'introduction et de prolifération d'espèces exotiques envahissantes (EEE)- Fragmentation, perturbation et perte d'habitats fauniques aquatiques, terrestres et riverains (une attention particulière doit être portée aux espèces menacées, vulnérables ou susceptibles d'être désignées ainsi qu'aux espèces d'intérêt pour la région)- Diminution de la capacité du milieu à répondre aux besoins de la faune aquatique et benthique- Diminution de la qualité de l'eau (risque de contamination, eutrophisation, pollution, etc.)- Diminution de la qualité des sols (rives, plages, berges, etc.)- Dégradation des services écosystémiques- Dérangement des espèces - Artificialisation des berges - Augmentation de l'ensablement du lac- Type et provenances des matériaux de rechargement- La dégradation et la destruction des sites archéologiques confirmés ou potentiels- Conflits d'usages entre les utilisateurs du lac- Crainte que le programme résulte en la réalisation d'interventions « à la pièce », sans avoir de réelle vision d'ensemble (effets cumulatifs des travaux sur le milieu récepteur, modification des dynamiques hydrologique et sédimentaire, etc.).	Bureau d'audiences publiques sur l'environnement. 2017. Rapport 337 – Programme de stabilisation des berges du lac Saint-Jean 2017-2026CREDD SagLac. 2017. Mémoire – Programme de stabilisation des berges du lac Saint-Jean 2017-2026. https://voute.bape.gouv.qc.ca/dl/?id=00000329377 Organisme de bassin versant du Lac-Saint-Jean. 2024. Plan directeur de l'eau 2024-2034. https://www.obvlacstjean.org/plan-directeur-de-l-eau/ Plans régionaux des milieux humides et hydriques des MRC

Auteur	Organisation	Ville / Municipalité / Communauté	Enjeu	Préoccupation	Référence
			production hydroélectrique, etc.)• Maintien de l'intégrité écologique et de la productivité des écosystèmes terrestres, riverains et aquatiques• Maintien des fonctions écologiques des écosystèmes terrestres, riverains et aquatiques• Protection des milieux humides et hydriques• Protection de la biodiversité• Protection de la qualité de l'eau• Prise en compte des changements climatiques (modification du régime hydrique, résilience des		

Auteur	Organisation	Ville / Municipalité / Communauté	Enjeu	Préoccupation	Référence
			infrastructures, risque d'inondation, etc.)• Objectif de carboneutralité et compensation des émissions de GES• Évaluation et prise en compte des effets cumulatifs • Actualisation des données existantes • Acquisition de nouvelles connaissances• Détermination de la portée géographique du programme• Choix des méthodes d'intervention (basées sur la nature, innovantes, flexibles, créatives, etc.)• Conservation		

Auteur	Organisation	Ville / Municipalité / Communauté	Enjeu	Préoccupation	Référence
			du patrimoine archéologique du lac Saint-Jean• Protection du patrimoine culturel de la communauté des Pekuakamiuln uatsh		

Auteur	Organisation	Ville / Municipalité / Communauté	Enjeu	Préoccupation	Référence
Citoyen		Dolbeau-Mistassini	bonjourl enjeu principal est de continuer a être maitre d oeuvre dans l entretien des berges sur le long de la pointe Langevin le fait échéant que vous vous destitué de l entretien de berges constitue selon moi un désaveu de votre responsabilité sociale et en tant que partenaire regional cela signifie un non sens puisque vous ne vous destitué pas des autres secteurs toujours entretenu par la société que vous entretenez depuis une	mes préoccupations dont celle -ci allez vous vous destitué aussi de vos ouvrages d entretiens des murs de roches tout aux alentours de la baie de Péribonka et de la sortie de la petite Péribonka ce qui me semblerait un non sens vu votre engagement de garder le reservoir d eau que vous exploiter pour vos installations en avalmerci de m avoir lu et compris ¡ espèreBien a vous [redacted]	

Auteur	Organisation	Ville / Municipalité / Communauté	Enjeu	Préoccupation	Référence
			cinquantaine d années		
Citoyen		Péribonka	Protection sans égard ni discrimination de toute les berges actuellement victimes d'érosion faisant parti d'un lotissement et cadastre légal d'une municipalité avec bâtiments et habitations tel la pointe Langevin à Dolbeau Mistassini actuellement condamnée à disparaître avec les propriétés dessus sans	Que des secteurs d'érosion plus difficiles et onéreux à contrôler avec peu de pression démographique et politique soient exclus du programme de stabilisation des berges sous prétexte financier , environnemental ou causes naturelles d'où le désengagement actuel de Rio Tinto pr la protection de la pointe Langevin cela constitue en soi un précédent ou dans le futur une jurisprudence dont personne n'est à l'abri.	

Auteur	Organisation	Ville / Municipalité / Communauté	Enjeu	Préoccupation	Référence
			intervention pour les berges avec les pertes financières encourues par les propriétaires .Protection de l'île Boulianne qui s'érode d'année en année , brise lame naturel contre l'érosion pour Peribonka et certaines berges du secteur de Dolbeau Mistassini .Conserver le niveau du Lac à un niveau plus élevé car le bas niveau du lac à 2 pieds l'hiver détruit l' habitat du poisson fourrage notamment ceux qui fraie l'automne d'où la grosseur de		

Auteur	Organisation	Ville / Municipalité / Communauté	Enjeu	Préoccupation	Référence
			nos poissons sportifs dorés et ouananiches qui souffrent de famine.		
Citoyen		Alma	Le rechargement des plages a modifié de manière importante la physionomie du lac Saint-Jean en artificialisant les berges et en diminuant la biodiversité. Cette technique visant à contrer l'érosion devrait faire	L'englacement et le déglacement des eaux du lac Saint-Jean subiront les conséquences des changements climatiques. Au cours des dernières décennies, la formation complète du couvert de glace se fait plus tardivement. Le lac gèle, de plus en plus souvent après le 20 décembre. Il arrive même que le gèle complet ne se fasse qu'en janvier. Il devient donc important de tenir compte de ce phénomène dans la gestion du niveau des eaux du lac Saint-Jean au cours de l'automne.Les bas niveaux du lac Saint-Jean, pendant la saison estivale, sont également plus fréquents. Il faudra aussi, dans ce cas, en tenir compte et établir un niveau minimum pendant cette période.	

Auteur	Organisation	Ville / Municipalité / Communauté	Enjeu	Préoccupation	Référence
			l'objet d'une évaluation plus exhaustive ne se limitant pas au seul gain touchant la largeur des plages.Bien qu'il soit privilégié par la compagnie, le rechargement des plages n'a qu'une efficacité temporaire. Il doit être répété à des fréquences diverses. À certains endroits, comme au marais Bolduc, il aurait été préférable d'utiliser des perrés et empierrements associés à des techniques de végétalisation.		

Auteur	Organisation	Ville / Municipalité / Communauté	Enjeu	Préoccupation	Référence
Citoyen		Saint-Henri-de-Taillon	J'espère que cette fois-ci le gouvernement penchera du côté des riverains qui souhaitent la préservation de leur précieux Lac-St-Jean.	Le niveau du Lac-St-Jean ne devrait pas dépasser 15:50 pieds en tout temps. Cela éviterait l'érosion massive de notre secteur Wilson à St-Henri-de-Taillon ainsi que tout le tour du Lac. Notre plage de sable fin a été durement touché par le niveau du Lac trop élevé à plusieurs reprises. Le facteur vent n'est pas pris en considération et avec un niveau du Lac plus élevé cela cause de grands ravages. On se fait répondre que ce sont les changements climatiques qui causent tous ces ravages. Cependant, si nous agissons en prévention en conservant le niveau à 15:50 pieds cela donnera une marge de manœuvre aux gestionnaires du Lac-St-Jean et épargnerait bien des soucis mais nous savons qu'il y a des enjeux monétaires. Nous ne souhaitons pas recevoir de rechargement de la part de Rio Tinto car nous souhaitons garder notre sable unique et le préserver à l'état naturel. Nous aimerions que Rio Tinto puisse ramener notre sable à l'aide de machineries qui répondent aux normes environnementales à l'automne lorsque le niveau du Lac-St-Jean est plus bas plutôt que nous proposer une autre composante de sable qui est complétement différente de celui que nous avons actuellement. Comme Alexis Brunelle-Duceppe a dit, il serait temps que Rio Tinto arrête de gérer le Lac comme s'il lui appartenait, il nous appartient à tous mais nous avons l'impression d'être impuissant face à une	

Auteur	Organisation	Ville / Municipalité / Communauté	Enjeu	Préoccupation	Référence
				multinationale qui a peu d'égard et de respect envers ce milieu unique.	

Auteur	Organisation	Ville / Municipalité / Communauté	Enjeu	Préoccupation	Référence
Citoyen		Saint-Henri-de-Taillon	Garder la plage à son état naturel le plus possible en ramenant le sable original érodé vers la plage.Pour diminuer l'érosion le plus possible, il faudrait exiger que le niveau maximum soit limité à 15:50 pieds en tous temps	Bonsoir à vous tous,Lorsque le niveau du lac est trop élevé (dépassant 15,50 pieds) il y a beaucoup d'érosion et de dégâts sur nos berges et aussi un impact monétaire pour les citoyens qui doivent réparer ou mettre en place des structures (sacs de sable ou autres) pour prévenir l'érosion des berges.Le rechargement avec du gravier n'est pas acceptable dans le contexte où nous avons de belles plages de sable fin, parmi les plus belles du Québec. Le rechargement avec du gravier les dénature. La seule façon acceptable à mon avis est de ramener le sable original érodé vers la plage.	
Citoyen		Métabetchouan–Lac-à-la-Croix	La qualité des plages: Depuis le début du rechargement des plages, les propriétaires se retrouvent avec une plage avec beaucoup de roches de différentes grosseurs sans parler des roches sur 5-10 mètres	La qualité de l'eau surtout en considérant que certaines municipalités de même que certaines compagnies rejettent directement leurs résidus dans le Lac sans traitement. C'est le même phénomène avec l'agriculture, comment peut-on s'assurer que la distance de sécurité pour l'écoulement des phosphates soit respectée? Pour les utilisateurs d'embarcations qui proviennent de l'extérieur il faut les obliger à laver embarcation et remorque à chaque fois. Les nouvelles stations de lavage sont les bienvenus mais encore il faut trouver une façon de s'assurer que tout le monde les utilise.	

Auteur	Organisation	Ville / Municipalité / Communauté	Enjeu	Préoccupation	Référence
			pour entrer dans l'eau lors de la baignade. Dans un premier temps on devrait tamiser le sable du haut de la plage pour permettre aux propriétaires de jouir de la plage. Présentement on a de la difficulté à marcher pour se rendre à l'eau et souvent on se blesse si on ne porte pas de souliers de protection. C'est la même chose avec les enfants qui jouent sur la plage.		
Citoyen		Saint-Henri-de-Taillon	Non	Recul des berges	
Citoyen		Saint-Henri-de-Taillon		Que la plage demeure telle qu'elle a toujours été	

Auteur	Organisation	Ville / Municipalité / Communauté	Enjeu	Préoccupation	Référence
Organisation	Comité de la Pointe	Dolbeau-Mistassini	Depuis 2018, à compter du retrait de la Pointe de Rio Tinto (RT), nous avons formé le Comité de la Pointe, au sein de la Ligue des propriétaires de Vauvert (LPV), pour organiser nos actions et parler au nom du groupe. RT, une fois retirée, affirmait n'avoir aucune responsabilité au dossier. La LPV a fait des représentations à la Ville de Dolbeau-Mistassini, à la MRC Maria Chapdelaine, au Conseil de gestion durable du lac St-Jean et à multiples ministères du	Nous sommes, au sein du Comité de la Pointe, des retraités qui agissons de façon bénévole pour notre milieu. Toutes les familles directement affectées par la situation à la Pointe vivent des drames suite au retrait de RT et à l'inaction du GDQ. Nous vivons une perte d'évaluation foncière, la dévastation de nos plans de retraite, la perte de jouissance de nos propriétés, la perte d'options de vie et de flexibilité puisque nos propriétés sont gelées, et surtout la perte totale de notre quiétude. Les gens sont captifs, diminuées, dévastés et à bout de souffle et d'énergie. Nous ne sommes pas des révolutionnaires ou des fiers à bras qui vont descendre dans la rue pour manifester. Nous avons travaillé avec diligence en abordant chaque instance avec une documentation réfléchie, une argumentation rationnelle, et énormément de patience. Tout ceci sans résultats; c'est au Gouvernement d'agir et ce au plus vite pour clarifier le panier de crabes dans lequel nous avons été laissé. C'est au GDQ de clarifier le cadre législatif du lac et de répartir les rôles et responsabilités des parties prenantes qui régissent le Lac-St-Jean. De plus, le GDQ doit mandater un seul ministère ou instance gouvernementale qui réponde de ses responsabilités pour ce territoire.	

Auteur	Organisation	Ville / Municipalité / Communauté	Enjeu	Préoccupation	Référence
			Gouvernement (GDQ). Toutes ces instances nous ont informé que ce dossier n'était pas leur responsabilité; on ne refuse pas une collaboration, mais on est clair que ce n'est pas leur rôle d'agir. Il règne un flou administratif qui fait que le dossier ne relève directement d'aucune instance. Notre situation démontre des lacunes béantes dans le régime administratif du lac. C'est la responsabilité du GDQ de clarifier comment elle entend répartir les rôles des		

Auteur	Organisation	Ville / Municipalité / Communauté	Enjeu	Préoccupation	Référence
			parties prenantes dans la gestion du Lac. Nous avons perdu 7 ans et des heures innombrables à présenter des demandes qui ne mènent à rien. De plus, nous avons atteint notre limite de soumettre des rapports et mémoires au GDQ pour ne recevoir aucune rétroaction. Alors que, contrairement à la recommandation des commissaires du BAPE en 1986 à l'effet que le GDQ se devait de clarifier le flou juridique concernant les droits des		

Auteur	Organisation	Ville / Municipalité / Communauté	Enjeu	Préoccupation	Référence
			riverains, il ne faut pas se surprendre des problèmes qui surgissent ou des contradictions qui perdurent dans la gestion du Lac-St-Jean.		

Auteur	Organisation	Ville / Municipalité / Communauté	Enjeu	Préoccupation	Référence
Citoyen		Dolbeau-Mistassini	J'ai participé bénévolement à 25 réunions du Comité des parties prenantes pour la gestion du LSJ, comme représentant de la Ligue des propriétaires de Vauvert, en préparation au BAPE de 2016. J'ai aussi participé à la préparation d'un mémoire au BAPE pour la Ligue. J'étais motivé puisque Pointe Langevin, ou je demeure, était en péril. Rio Tinto avait déclaré qu'ils étudiaient des solutions pour la Pointe. J'ai été amèrement déçu lorsque	Quelles sont les motivations de Rio Tinto? La firme a dépensé 100 millions pour le programme des berges au fil des 30 premières années, donc, environ 3.0 millions / année. Leurs dépenses sont environ les mêmes maintenant. Ceci pour sécuriser les 5000 familles présentes au bord du lac. Ils déboursent plus annuellement pour le salaire et bénéfices d'un seul de leurs dirigeants. Pourquoi le Gouvernement croit-il qu'il soit approprié de demander aux riverains retraités de financer Rio Tinto? Pourquoi le Gouvernement veut-il utiliser les fonds de la sécurité civile pour compenser la destruction de nos propriétés, alors que c'est Rio Tinto qui est imputable? Cette situation n'est pas sans conséquences : nos vies sont bouleversées, nos retraites fragilisées, notre santé mise en péril. Je vous demande Messieurs, mesdames les commissaires : Imposeriez-vous un tel calvaire à vos vieux parents retraités? Pour Rio Tinto, c'est un dossier en litige parmi d'autres; un gain au dossier procurera sans doute un bonus à un ou l'autre. Pour nous, c'est un assaut sur notre fin de vie. Tous les gouvernements depuis 1986 ont respecté l'engagement de maintenir les 55 km de berges. Ce gouvernement est le premier à autoriser un retrait. Cette gestion du lac n'a plus l'acceptabilité sociale du milieu.	

Auteur	Organisation	Ville / Municipalité / Communauté	Enjeu	Préoccupation	Référence
			suite au BAPE, Rio Tinto s'est retiré de la Pointe. J'ai été un fonctionnaire et j'ai fait un travail professionnel, intègre, au mieux de mes capacités. Jamais je n'aurais traité un citoyen comme nous l'avons été avec le dossier de la Pointe depuis 2018 par le Gouvernement. J'ai confiance en nos institutions; j'espère que le BAPE à venir, va étudier à fond le dossier de la Pointe et rétablir un équilibre entre les forces en présence. Un petit groupe		

Auteur	Organisation	Ville / Municipalité / Communauté	Enjeu	Préoccupation	Référence
			de citoyens ne peut pas combattre une firme comme Rio Tinto avec son personnel, tous ses droits et ses ressources; et encore moins lorsque le Gouvernement appuie tacitement la firme en demeurant passif et muet. Pourtant, le gouvernement, en affectant une équipe chevronnée, pourrait démontrer en quelques jours d'analyse que le retrait de Rio Tinto est injustifié.		
Citoyen		Saint-Henri-de-Taillon	Nos rives ne devraient jamais être comblées par des matériaux venant d'ailleurs que ceux de notre	Que le lac Saint Jean ne sois jamais plus haut que 15,5 pieds en TOUT TEMPS … et si un événement extraordinaire se produisait … que cette industriE (RTA)remonte le sable sur la berge avec des machines écologiques non polluantes, car celui existe !	

Auteur	Organisation	Ville / Municipalité / Communauté	Enjeu	Préoccupation	Référence
			plage … si la grande industrie (RTA) qui exploite notre lac n'a pas la conscience sociale de protéger notre environnement, alors qu'elle s'abstienne de pourrir celui-ci.		
Citoyen		Saint-Henri-de-Taillon	La qualité du sable et la drague pour nos berges	Le niveau du lac st jean et les berges	
Citoyen		Saint-Henri-de-Taillon	Ne plus recharger les plages avec du matériel venu d'ailleurs. Ça déglingue l'écosystème . Utiliser les méthode existantes de ramener le sable naturel sur les plages.	Ne plus laisser le lac monter à plus de 15.5 pieds en tout temps, printemps, été et automne. Ainsi, vous n'aurez plus à faire du rechargement .	

Auteur	Organisation	Ville / Municipalité / Communauté	Enjeu	Préoccupation	Référence
Citoyen		Saint-Henri-de-Taillon		La permission de maintenir le lac au delà de 15,5 pieds pour une certaine période à trop souvent un impact catastrophique sur les berges au printemps. La limite de 15,5 ne devrait jamais être dépassée. Les solutions de rechargement proposés en apporte du sable de bien moins bonne qualité qui n'a rien à voir avec la qualité du sable déjà sur nos plages. Tout rechargement devrait être fait en ramenant le sable original érodé qui est maintenant dans le lac.	
Citoyen		Saint-Henri-de-Taillon	Localisé à la plage Wilson, nous avons été énormément impactés dans notre secteur au cours des dernières années par le niveau du Lac-St-Jean trop élevé au printemps. Nous avons dû protéger nos berges avec l'ajout de sacs de sables.Le niveau du lac ne devrait JAMAIS excéder 15.5 pieds.	Que la voix des citoyens et des riverains ne soit pas écouté et le lobbying des multinationales l'emporte encore une fois.	

Auteur	Organisation	Ville / Municipalité / Communauté	Enjeu	Préoccupation	Référence
Citoyen		Saint-Henri-de-Taillon	Niveau de l'eau maintenu à 15pds pendant toute l'année	Protection des berges	Références que monsieur Gérald Bobsawin nous a légués tout au long de son combat pour protéger nos berges.
Citoyen		Alma	Oui, la hauteur du niveau du lac au printemps après la période de crue puisque Rio Tinto peut élever le lac Saint-Jean pendant presque que 14 jours à 17 pieds et cela est vraiment trop haut. Cela entraine de l'érosion des berges évidentes tout au tour du lac et maintenant, on dirait qu'il y a autant de grand vend le printemps que l'automne.Mai ntenir un lac à 16 pieds donne une marge de manoeuvre et	Ce qui me préoccupe, c'est les infrastructures et les berges et toujours le rechargement des plages. Je ne comprends pas que le Ministère accepte que Rio Tinto recharge les plages d'année en année. Si la hauteur du lac serait moins grande, il y aurait moins d'érosion des plages. Avant, nos quais étaient fait pour être à une hauteur de 16' et à cause de deux semaines à 17' il faut les rehausser de deux pieds ce qui fait qu'en été, le quai est plus haut pour les embarcations. Je demeure dans le secteur de la grande Décharge et un quai flottant n'est pas possible dans mon secteur étant donné les vents dominants. De plus, à 17 pieds, je suis à quelques pouces d'avoir de l'eau dans mon sous-sol. Heureusement, si l'eau monte plus et que Rio ouvre les déversoirs, le niveau de la grande Décharge baisse aussitôt.Avant le dernier décret, la faune et surtout les oiseaux migrateurs étaient habitués d'avoir leur nid avec un niveau inférieur à 17 pieds. Parfois, ils ont maintenant le bec à l'eau comme on pourrait dire. Il y a pas vraiment davantage pour la faune. Beaucoup de secteur dupuis 100 ans ont vu s'installer des plantes aquatiques et le milieux c'est adapté pour une hauteur de 16'.	Je n'ai pas de référence, mais il est évident que maintenir un lac à une cote maximale n'est pas propice à la préservation des berges surtout quand les plages sont nettoyées pour qu'elles demeurent propre pour les utilisateurs (baigneurs). Enlever les résidus de bois flottant fait en sorte de fragiliser les berges puisque lorsqu'il y a accumulation de bois sur la berge, selon fait en sorte de retenir le sol en plage et aide à l'implantation de végétation durable.

Auteur	Organisation	Ville / Municipalité / Communauté	Enjeu	Préoccupation	Référence
			permet au lac de d'équilibrer. Maintenir un lac à très plein capacité n'a pas de valeur ajouter selon moi. Je crois que permettre que la hauteur soit à 16 pieds à tout temps serait mieux que 17 au printemps et 15 à l'automne.		
Citoyen		Saint-Henri-de-Taillon	Le niveau maximal du Lac-St-Jean devrait être fixé à 15,5 pieds en tout temps de l'année.	Si une recharge de la plage Wilson s'avère nécessaire (la grève est une propriété privée dans ce cas-ci), les associations de propriétaires du secteur devraient être autorisées à rapporter le sable naturel du fond du lac à son emplacement d'origine, soit la plage elle-même.	

Auteur	Organisation	Ville / Municipalité / Communauté	Enjeu	Préoccupation	Référence
Organisation	ULPT	Alma	La sécurité des activités nautiques, aquatiques et hivernalesLes accès au plan d'eau pour les activités récréotouristiquesLa qualité de la pêche sportiveLa production hydroélectriqueLes droits d'usage et les droits fonciersL'influence des différents paliers gouvernementauxLa transparenceLes services dans les secteurs de villégiatureL'intégrité des bergesLa quiétudeLa cohésion et la mobilisation citoyenneLe patrimoine culturel des Pekuakamiuln	Les risques liés à la sécurité pour la pratique des activités nautiques, aquatiques et hivernalesLe manque, la mauvaise répartition et la faible diversité des accès au plan d'eau pour la pratique d'activités récréotouristiques, nautiques et contemplativesLa conciliation entre les besoins de RTA pour la production d'énergie et les besoins des autres usagersLes droits d'inondation, les droits de propriété et le désengagement de RTA de certains secteursLes conflits d'usages, la cohabitation et le respect des activitésL'érosion et l'artificialisation des bergesLe manque de communication et d'organisation entre le nautisme, la villégiature et les utilisateursLe manque d'homogénéité des servicesLa présence d'industries/commerces en bordure du lac et de ses affluentsLa dégradation et la disparition du patrimoine culturel des PekuakamiulnuatshLa dégradation et la destruction des sites archéologiques confirmés ou potentielsLa qualité et provenance des matériaux de rechargementLa conservation et la mise en valeur du patrimoine bâtiLa destruction et la dégradation des habitats fauniques, aquatique et terrestreLa présence de cyanobactéries et le risque d'eutrophisationLa contamination et la pollution du milieuLa protection des EMVSLa gestion et protection de parcs morcelésLe risque d'introduction d'EEELa destruction et la dégradation des milieux	Les archives de M. Éric Scullionhttps://ici.radio-canada.ca/empreintes/4522/eric-scullion-saguenay-berges-erosion-protection-rio-tintoPDE de l'OBV https://www.obvlacstjean.org/plan-directeur-de-l-eau/ https://www.obvlacstjean.org/wp-content/uploads/2024/03/documentpresentationpde-version-deposee.pdf Rapport du BAPE 337 https://www.bape.gouv.qc.ca/fr/dossiers/programme-stabilisation-berges-lac-saint-jean-2017-2026/ Mémoire CREDD https://voute.bape.gouv.qc.ca/dl/?id=00000329377

Auteur	Organisation	Ville / Municipalité / Communauté	Enjeu	Préoccupation	Référence
			uatsh et la pratique de l'Ilnu AitunLa qualité des paysagesLa qualité et le niveau de l'eau du lac et de ses tributairesLa conservation de la biodiversité et des sites à haute valeur écologique (habitat faunique essentiel, zone sensible)La conservation des milieux humides riverains et exclus du programmeL'intégrité écologique et la productivité des écosystèmes terrestres et aquatiquesL'intégrité écologique et la productivité	humidesL'absence de marnage adéquat pour conserver les milieux humides riverains	

Auteur	Organisation	Ville / Municipalité / Communauté	Enjeu	Préoccupation	Référence
			des milieux humides riverainsLes poissons fourrages littoraux La gestion hydrique et la plaine inondable Les effets cumulatifs des interventionsLa prises en comptes des principes de développement durableLa poursuite de l'acquisition des connaissances et l'innovationL'inclusions de nouveau territoire sensible (ex : Îles flottantes, Baie de Ptarmigan, Parc national de la Pointe-Taillon) Les effets des changements climatiques		

Auteur	Organisation	Ville / Municipalité / Communauté	Enjeu	Préoccupation	Référence
Citoyen		Saint-Henri-de-Taillon	Il est absolument essentiel que le niveau maximal du lac soit limité à 15,50 pieds. On s'en prendrait ainsi à la source même du problème d'érosion du lac. Cette limite en plus de réduire de beaucoup l'érosion des plages et des berges, réduirait par le fait même les rechargements qui sont toujours à refaire et qui sont fait avec des substrats inadéquats pour l'environnement du lac. Le matériel utiliser pour réhabiliter les plages devrait être le sable	Le niveau élevé du lac. L'érosion des plages et des berges. Le matériel inadéquat utiliser pour les rechargements et les conséquences néfastes que cela occasionne sur l'environnement du lac. La peur que les repercussions du saccage des plages et des berges deviennent irréversibles.	

Auteur	Organisation	Ville / Municipalité / Communauté	Enjeu	Préoccupation	Référence
			original érodé de ces dernières. RTA utilise des substrat qui défigurent les plages certaines devenant même non sécuritaire. A plusieurs endroits l'eau du lac devient brouillée, du gravier se retrouve sur des plages où il n'y a jamais eu de rechargements. Ces méthodes préserveraient la richesse inestimable du lac st jean, tout en permettant à RTA de continuer d'être prospère. C'est notre responsabilité à tous de préserver un		

Auteur	Organisation	Ville / Municipalité / Communauté	Enjeu	Préoccupation	Référence
			environnement aussi magnifique.		
Citoyen		Saint-Henri-de-Taillon	Que le niveau du lac soit maintenu à 15.50 pieds. Que les rechargements soit fait avec le sable original érodé des plages ou avec un substrat semblable et compatible qui ne brouillerait pas l'eau et qui ne se	Le niveau élevé du lac et les rechargements faits avec du matériel inadéquat. La volonté que semble avoir RTA que de continuer à maintenir des techniques qui se sont avérées néfastes pour l'environnement du lac.	

Auteur	Organisation	Ville / Municipalité / Communauté	Enjeu	Préoccupation	Référence
			retrouverait pas sur des plages n'ayant pas subit de rechargements.		

Auteur	Organisation	Ville / Municipalité / Communauté	Enjeu	Préoccupation	Référence
Citoyen		Otterburn Park	Sur la Pointe Langevin, nous subissons une importante érosion susceptible de mettre en péril nos habitations et nos terrains. Nous sommes à toutes les années plongés dans l'incertitude et l'insécurité : tous nos projets d'avenir sont compromis, nos propriétés ont perdu leur valeur, nous ne pouvons pas les vendre pour quitter, même vieux ou malade et devons attendre le jour de l'effondrement pour bénéficier d'un dédommagement de l'État et	Le programme de stabilisation des berges devrait inclure la totalité des berges du Lac St-Jean sans que Rio Tinto puisse se désister d'une partie du territoire. Dans toute situation d'érosion, il est évident que les causes sont multiples et qu'il sera toujours possible pour une multi-nationale de se dégager de ses responsabilités.Sur la pointe Langevin,nous sommes une poignée de propriétaires à subir une telle exclusion mais demain il y en aura d'autres et sans une participation, un engagement et une imputabilité plus grand de Rio Tinto, de nombreux riverains subiront des dommages sans avoir aucune protection.Pour le moment, nous devons nous rendre à l'évidence et reconnaitre que nous avons laissé libre cours à l'entreprise à notre grand détriment. Personnellement, je suis désolée de comprendre à quel point l'État n'est pas maître de la situation et j'ai espoir que des actions soient prises pour protéger la population.	

Auteur	Organisation	Ville / Municipalité / Communauté	Enjeu	Préoccupation	Référence
			ce, si nous sommes résidents permanents seulement. Il est évident que l'exploitation et la gestion des barrages tout comme la gestion du niveau du lac et l'absence de véritable intervention dans notre secteur depuis plusieurs années ont contribués à une détérioration de plus en plus rapide de la situation. À cause de la force du courant provenant de la grande Péribonka, qui frappe la pointe de plein fouet, le chenal s'est progressivem		

Auteur	Organisation	Ville / Municipalité / Communauté	Enjeu	Préoccupation	Référence
			ent approfondi et déplacé, précipitant l'effondrement de la Pointe Langevin. Nous avons fait une multitude de demandes, de consultations et de démarches sans que jamais aucune instance ne se porte volontaire pour nous aider et ou nous défendre. Pour toute réponse, Rio Tinto, qui a le mandat de la protection des berges du lac St-Jean, s'est efforcé de nous éviter par de multiples stratégies et s'est empressé de nous retirer du programme de		

Auteur	Organisation	Ville / Municipalité / Communauté	Enjeu	Préoccupation	Référence
			protection des berges en tentant de démontrer qu'ils ne sont pas totalement responsable de l'érosion de la Pointe Langevin.		

Auteur	Organisation	Ville / Municipalité / Communauté	Enjeu	Préoccupation	Référence
Citoyen		Dolbeau-Mistassini	Si le programme de stabilisation des berges par Rio Tinto est reconduit, il doit inclure la Pointe Langevin qui est partie prenante de l'ensemble des 55 km de berges inclus au programme lors de sa mise en place en 1986. Le retrait actuel de Rio Tinto de Pointe Langevin est inacceptable, car il est contraire au pacte social existant entre le gouvernement , Rio Tinto et les riverains. Cette décision unilatérale démontre que la compagnie ne respecte pas ses	Confier la gestion du lac st jean à une compagnie privée comme Rio Tinto est une aberration. Au XXI siecle, il faut cesser de reproduire les erreurs de l'époque de la révolution industrielle et ne plus prioriser les intérêts des compagnies. Il faut placer le citoyen au coeur des décisions. Dans ce cas ci, nous parlons des intérêts des 5000 residents des berges du lac. Laissons le lac, redevenir un territoire naturel avec un niveau des eaux conforme à ce que le BAPE a suggéré en 1986 lors de la creation du programme de stabilisation des berges. Il est temps que le gouvernement réalise que la poursuite des activités de Rio Tinto n'est pas rentable pour la société québécoise aux niveaux environnemental, social et économique (A ce dernier sujet, voir la reference ci-dessous).Personnellement, quand je suis arrivé au bord du lac st jean, il y a trente ans, je croyais que c'etait un lac. J'ai ensuite compris que c'etait un réservoir contrôlé par une compagnie étrangère dont le bilan écologique et social est déplorable au niveau mondial. Au cours des dernières années, alors que le chalet construit par mon défunt beau-père et où mon épouse prévoyait passer sa retraite a perdu toute valeur foncière, nous avons été abandonné par Rio Tinto qui ne reconnaît pas sa responsabilité sur la situation à la Pointe Langevin. Je continue d'espérer que le gouvernement contraigne Rio Tinto à prendre les	Martine Ouellet, 3 juin 2023. Journal de Montréal.

Auteur	Organisation	Ville / Municipalité / Communauté	Enjeu	Préoccupation	Référence
			engagements de stabilisation des berges sur l'ensemble du territoire du lac st jean touché par ses activités de rehaussement artificiel du niveau du lac. Se désengager de la Pointe Langevin équivaut à laisser tomber des citoyens victimes des activités de Rio Tinto et est contraire à l'essence du programme de stabilisation des berges qui engage le gouvernement et Rio Tinto à protéger les investissements fonciers et les caractères résidentiels, touristiques et de villégiature	mesures pour que cesse l'érosion de la Pointe Langevin et compenser adéquatement les résidents	

Auteur	Organisation	Ville / Municipalité / Communauté	Enjeu	Préoccupation	Référence
			des berges du lac st jean. Il est essentiel d'inclure la Pointe Langevin dans le programme afin de conserver et raffermir ce qui reste du lien de confiance qui unit Rio Tinto, le gouvernement et les residents du pourtour du lac st jean.		
Citoyen		Saint-Gédéon	Maintenir le niveau du Lac à un maximum de 15 pi .Privilégier un rechargement	L'ensemble du projet devrait être piloté par un organisme indépendant.	

Auteur	Organisation	Ville / Municipalité / Communauté	Enjeu	Préoccupation	Référence
			de plage avec le sable plus au large et/ou de l'ensablement près du site à aménager.		
Citoyen		Saint-Henri-de-Taillon	Commentaire pour les sections 3.7 et 3.8.2Dans notre secteur, nous avons toujours refusé le rechargement depuis l'arrêt du dragage de sable en bordure des berges pour recharger les plages avec le sable naturel "de la place". Depuis lors, nous comptons uniquement sur la végétalisation et l'apport de sable par le vent sur nos dunes pour nous protéger de l'érosion.		

Auteur	Organisation	Ville / Municipalité / Communauté	Enjeu	Préoccupation	Référence
			Malheureusement, avec les épisodes fréquents où le niveau du lac dépasse les 15,5 pieds, nous voyons la dune s'éroder de plus en plus.Cependant, grâce à cette approche, nous n'avons pas d'épisodes de "sables mouvants" mais percevons graduellement des cailloux arriver sur nos plages, provenant des rechargements des autres plages, dus au mouvement du sable et des cailloux dans l'eau.Les enjeux devraient également		

Auteur	Organisation	Ville / Municipalité / Communauté	Enjeu	Préoccupation	Référence
			être tirés des nouvelles régionales des dernières années où plusieurs riverains ont été interviewés.Exemple d'enjeux :Sables mouvantsDiminution de la capacité du réservoirEnsablement des voies navigablesDiminution de la qualité des plagesCommentaire pour la section 3.6.2Est-ce qu'il pourrait être ajouté la réévaluation d'anciennes méthodes, telles que le dragage, qui réduiraient grandement l'empreinte environnementale des		

Auteur	Organisation	Ville / Municipalité / Communauté	Enjeu	Préoccupation	Référence
			travaux et qui pourraient être mises en place dans un cadre différent pour assurer la préservation des fonds marins ?		

Auteur	Organisation	Ville / Municipalité / Communauté	Enjeu	Préoccupation	Référence
Citoyen		Dolbeau-Mistassini	La problématique d'érosion à l'extrémité du quartier de la Pointe (Pointe Langevin) à Dolbeau-Mistassini devrait être particulièrement prise en compte, étant donné l'impact sur les résidents du quartier et la possibilité pour Rio Tinto de se déresponsabiliser de certains secteurs. Le programme de stabilisation des berges ne devrait pas permettre à Rio Tinto de retirer des bornes de plage ou de ne pas initier de travaux pour des des sections de berge, comme	Ma résidence secondaire est à risque, étant donné que le secteur plage derrière mon chalet ([redacted] n'est plus entretenu par Rio Tinto. J'ai perdu l'usage d'une partie de mon terrain en raison de l'érosion et conséquemment l'installation d'une clôture de sécurité par la ville de Dolbeau-Mistassini. Cette problématique nous expose à un danger, en raison de l'instabilité du terrain, ainsi qu'à un stress psychologique persistant depuis plusieurs années. De plus, ma famille risque de subir une perte financière importante au profit de Rio Tinto.	Le secteur de l'extrémité de la Pointe a été entretenu et réparé pendant les 30 années précédant le récent refus d'assurer la stabilisation des berges dans mon secteur.

Auteur	Organisation	Ville / Municipalité / Communauté	Enjeu	Préoccupation	Référence
			c'est le cas à l'extrémité de la Pointe Langevin. Si le programme de stabilisation des berges offre la possibilité pour Rio Tinto de se désengager de certains secteurs, il devrait avoir une entente associée afin de compenser les résidents victimes d'une décision de ne plus entretenir un secteur.		

Auteur	Organisation	Ville / Municipalité / Communauté	Enjeu	Préoccupation	Référence
Citoyen		Dolbeau-Mistassini	Bonjour Monsieur le ministre, mon mari et moi faisons face à un enjeu majeur actuellement. En 2012 nous avons fait l'acquisition de la résidence du 238 rue de la Pointe pour une somme de $200,000.00 en prévision d'un legs pour notre fille. Pour cumuler ce montant nous avons travailler et mis l'argent de coté à un rythme de $10,000 par année donc cela a pris 10 ans de privation pour accumuler ce montant. RTA en 2015 a fait un rechargement sur la plage en	Nous on se pose la question suivante: Pourquoi RTA qui gère les niveaux du Lac s-jean avec leur barrages, et qui gère aussi la rivière Péribonka pour son débit en fonction de leur besoin énergétique, ne sont plus responsable de l'Érosion de notre secteur et revoie la tache à la ville de Dolbeau qui ne fait rien et qui selon eux lors de notre dernière rencontre du 25 Novembre nous disait qu'il n'ont pas le moyens monétaires ou technique pour faire quelque chose? On a demandé à la ville vers qui devrions-nous faire un recours judiciaire pour se faire compenser la valeur perdu de notre investissement et la réponse fut: la ville n'a pas les moyens et leur responsabilité est limité pour ne pas dire nul et ils se tourne vers la sécurité civil qui eux ne paie que pour les résidences permanentes. Donc nous avec notre résidence secondaire cela sera une perte total. On est considérer comme un abri sommaire ou camp de chasse...cela n'a pas de sens pour une résidence qui a payer des taxes pendant 30 ans. J'ai pas a vous dire que le stress pour nous est très grand avec beaucoup d'inquiétude. On songeait faire un recours judiciaire à RTA sachant que c'est leurs opérations du Lac et de la rivière Péribonka qui cause ce problème d'érosion, mais on sait très bien que cela va nous coûter argent, stress et anxiété et que RTA va étiré cela pour nous mettre au pieds du mur car eux ils ont les	

Auteur	Organisation	Ville / Municipalité / Communauté	Enjeu	Préoccupation	Référence
			face de la résidence secondaire nous confirmant par ce fait que cette zone d'érosion faisait partie du programme de stabilisation des berges. À partir de cette date, nous avons entrepris de rénover le chalet. Nous avions beaucoup de projet d'amélioration pour rendre la maison au goût du jour, toit, parement extérieur, fondations,isolation, terrassement, etc. Nous avons investie dans un premier temps avec la toiture et réfection de	moyens. Nous pensons que l'étude de projet de RTA devrait inclure la situation de la pointe Langevin.	

Auteur	Organisation	Ville / Municipalité / Communauté	Enjeu	Préoccupation	Référence
			la remise au coût de $10,000 en 2016. En 2018, à notre grande surprise, RTA a faite installer une clôture sur la plage du bout de la pointe jusqu'à notre résidence secondaire en nous interdisant l'accès à notre quai. À partir de ce moment, la maison fut dévaluer par la ville de Dolbeau à une valeur de $2,000.00 et nous avons arrêter tout travaux d'amélioration. Donc une perte de $210,000.00 pour nous. Nous pensions que		

Auteur	Organisation	Ville / Municipalité / Communauté	Enjeu	Préoccupation	Référence
			RTA allait faire les travaux nécessaire pour regler la situation, mais on s'est fait dire que maintenant s'était la ville qui allait gérer le dossier.		

Auteur	Organisation	Ville / Municipalité / Communauté	Enjeu	Préoccupation	Référence
	MRC de Maria-Chapdelaine	MRC de Maria-Chapdelaine	L'efficacité du modèle de gestion participative : le promoteur devrait évaluer si les objectifs initiaux sont atteints et si le modèle génère des bénéfices tangibles pour les parties prenantes. La performance du scénario M : le promoteur devrait tester la capacité du scénario à s'adapter à des conditions imprévues ou extrêmes. Les techniques de stabilisation des berges : les techniques présentées dans l'avis de projet sont des techniques qui	La gouvernance participative et la communication avec le milieu : la communication devrait privilégier le dialogue, c'est-à-dire des échanges visant non pas à défendre une position, mais à co-construire un projet. Les différentes parties prenantes ont manifesté leur volonté d'être impliquées et considérées comme des partenaires dans les réflexions. Les risques et la vulnérabilité associés aux changements climatiques : l'entreprise doit anticiper les impacts du projet pour réduire les risques associés à ses interventions et la vulnérabilité des composantes du milieu. Les principaux enjeux du projet identifiés par le promoteur n'abordent pas clairement les changements climatiques, bien que ceux-ci soient transversaux aux enjeux retenus. La maladaptation : la maladaptation désigne un processus d'adaptation qui résulte en un accroissement de la vulnérabilité au changement climatique. Les techniques de stabilisation des berges employées historiquement par le promoteur sont susceptibles d'exacerber d'autres aléas et conduire à la maladaptation. Restauration des milieux humides : l'intégrité des communautés végétales des milieux humides est altérée par le marnage des réservoirs	https://constellation.uqac.ca/id/eprint/3955/ https://constellation.uqac.ca/id/eprint/9743/ https://constellation.uqac.ca/id/eprint/5467/ https://constellation.uqac.ca/id/eprint/6486/ https://constellation.uqac.ca/id/eprint/8198/ https://constellation.uqac.ca/id/eprint/8714/

Auteur	Organisation	Ville / Municipalité / Communauté	Enjeu	Préoccupation	Référence
			date de la mise en place du programme en 1986. Toutefois, l'évolution des connaissances scientifiques a permis l'émergence de techniques innovantes et moins invasives. Les effets cumulatifs : le programme étant mis en œuvre depuis 1986, différents impacts cumulatifs sont susceptibles d'être apparus. Ces impacts, souvent négligeables individuellement, s'ils ne sont ni mesurés ni pris en compte, sont susceptible de	hydroélectriques. Des mesures visant la restauration de conditions naturelles devraient être envisagées. L'impact des travaux de stabilisation des berges sur les espèces de poisson fourrages : les résultats de l'étude 2019-2027 montrent une importance baisse d'abondance depuis 1985.	

Auteur	Organisation	Ville / Municipalité / Communauté	Enjeu	Préoccupation	Référence
			s'aggraver progressivement au fil du temps. La zone couverte par le programme de gestion de l'érosion : le programme exclut des secteurs où les conditions érosives menacent l'intégrité écologique et les infrastructures. La zone couverte par le programme devrait être revue afin d'y intégrer l'ensemble des secteurs menacé par l'érosion pour que ceux-ci fassent l'objet de travaux de stabilisation (rivières Moreau et Petite		

Auteur	Organisation	Ville / Municipalité / Communauté	Enjeu	Préoccupation	Référence
			Péribonka, parc de la Pointe-Taillon, quai et marina de Péribonka, Pointe Langevin).		

Auteur	Organisation	Ville / Municipalité / Communauté	Enjeu	Préoccupation	Référence
citoyen		Péribonka	J'ai 72 ans et j'ai passé tous mes étés sur le bord du lac-Saint-Jean. J'ai vu disparaître graduellement, sous mes yeux : le Lac Askeen et d'immenses plages situées dans le parc de conservation de la Pointe Taillon, de même que la magnifique Ils aux Pins à l'embouchure de la rivière Mistassini, sans qu'une intervention ne soit faite, tant de la part du gouvernement que de la compagnie Alcan, qui est devenu Rio Tinto. J'étais président du Conseil	Actuellement la compagnie fait les travaux minimums, qui coûtent le moins cher. On déverse en tas des tonnes de roches sur de magnifiques plages, sur lesquels les enfants grimpent et se blessent, dans un parc de conservation. C'est à la fois inesthétique et dangereux, également parce que certaines de ces roches se déplacent alors qu'elles sont prises dans la glace et s'éparpillent un peu partout sur les plages, avec le coup d'eau du printemps. Elles deviennent un danger pour les pieds et les orteils. Il faut que ces tas de roches soient remplacés par des gabions, qui seront plus beaux, plus sécuritaires et plus accessibles. La demande pour avoir accès à de belles plages, où l'eau est chaude, ne cessera d'augmenter dans l'avenir. Il faut donc que les travaux contre l'érosion favorisent l'accessibilité et permettent de pouvoir y faire des piques niques ou du camping. Par ailleurs, on ne peut séparer le dossier des berges, de celui du manque à gagner, relié au fait que nous avons perdu plus de 7,000 emplois chez Rio Tinto en 40 ans. Il faut qu'il y ait un nouveau contrat social gagnant/gagnant entre la région et la compagnie. Il faut également que les affluents du lac et tout son pourtour fassent parti intégrantes de la responsabilité de Rio Tinto. La question des « dérèglements » climatiques, de la qualité de l'eau, de même que celle des espèces	

Auteur	Organisation	Ville / Municipalité / Communauté	Enjeu	Préoccupation	Référence
			régional de l'environnement, en 1984, lorsqu'on a demandé des Audiences publiques sur l'environnement concernant l'érosion des berges du Lac-Saint-Jean. Il y avait eu plus d'une centaine de mémoires de déposés. Les commissaires d'alors avaient fait toute une série de recommandations toujours pertinentes, dont le rabaissement du niveau du lac à un maximum de 15,5 pieds afin d'éviter le plus d'érosion possible, de même qu'une gestion collective du lac. Ces deux	envahissantes doivent également y être inclus. Le partage équitable des redevances sur les ressources naturelles, entre la région et le gouvernement, doit également être discuté. Enfin, Il est sans doute temps de redonner à notre lac, son nom d'origine : « le Piekouakami » qui signifie lac peu profond.	

Auteur	Organisation	Ville / Municipalité / Communauté	Enjeu	Préoccupation	Référence
			recommandations essentielles, n'ont pas été retenues par le gouvernement Bourassa, laissant la compagnie seul maître de ce que nous considérions comme étant un bien commun. 40 ans plus tard, alors que je vois reculer, tant la Pointe Langevin, qui n'avait pas bougée depuis 60 ans, que l'ile Bouliane, sans qu'aucune intervention ne soit faite, ça me désole et je ne peux accepter cela. Avant de commencer à négocier une nouvelle entente		

Auteur	Organisation	Ville / Municipalité / Communauté	Enjeu	Préoccupation	Référence
			concernant l'érosion, il faut que le gouvernement oblige la compagnie à protéger et à remettre en état, à ses frais, la Pointe Langevin et l'ile Bouliane, de même que les plages environnantes .		

Auteur	Organisation	Ville / Municipalité / Communauté	Enjeu	Préoccupation	Référence
citoyen		Dolbeau-Mistassini	La situation à la Pointe Langevin. Au printemps 2018, RTA se désistait de sa responsabilité du problème d'érosion de la pointe Langevin sous le grand mécontentement des citoyens résidents de la pointe Langevin et sur la prémisse d'un débit plus élevé sur la petite rivière Péribonka en 2017. Cette année là fut la pire année pour les inondations au Québec. Un comité de la pointe fut formé pour faire des représentations auprès des instances	Ma préoccupation principale quand nous analysons ces deux rapports de WSP et JFSA nous indique que celui de WSP semble biaiser en faveur d'une direction que le promoteur veux aller. L'implication des débits variables contrôler de la Grande Péribonka par RTA ainsi que la variation du niveau du lac St-Jean aussi gérer par RTA ne sont pas simuler dans l'étude de WSP. L'Étude de WSP se base surtout sur des simulations incomplètes mais moins sur des constats factuels comme la bathymétrie du secteur, le sens des écoulements de la Grande Péribonka au printemps, l`` impact de la glace et variation du débit de la Péribonka l'hiver, la sédimentation vis à vis la pointe Langevin, le transport des sédiments entre l'ile Boulianne et pointe Taillon vers la pointe Langevin, l'érosion de la partie nord de la pointe Taillon qui se fait éroder par la rivière Péribonka et le vent sur le Lac St-jean et que les sédiments se dépose dans le Lac vis a vis la pointe Langevin, autants de facteurs non étudier dans le rapport de WSP. Nous avons depuis ce rapport de WSP fait des observations au printemps du secteurs que vous trouverez dans une présentation ci-jointe , faite par notre comité pour le maire de Dolbeau qui se demandait combien cela coûte exproprié les résidences comparer à résoudre le problème d'érosion lors d'une rencontre avec le maire. Nous avons un seul opérateur qui gère le niveau du Lac ainsi	Rapport 1798 de J.F. Sabourin et associés inc. Experts-conseils en ressources hydriques et en environnement 26/11/2019 Pointe Langevin- Résolution de la problématique de l'érosion par le comité de la pointe Langevin Janvier 2022 Présentation Power point transposer en PDF

Auteur	Organisation	Ville / Municipalité / Communauté	Enjeu	Préoccupation	Référence
			gouvernementales et municipale ainsi que MRC. La première action du comité fut de demander un avis technique par un firme de spécialistes, experts-conseils en ressources hydriques et en environnement JFSA, pour évaluer la situation de l'érosion à la pointe Langevin. Ils ont revue le rapport de WSP, les analyses faites par WSP ainsi que les conclusions. Le coût pour cet avis technique avec les	que le débit tres variable de la riviere Péribonka. RTA doit prendre ses responsabilités.	

Auteur	Organisation	Ville / Municipalité / Communauté	Enjeu	Préoccupation	Référence
			présentations aux citoyens, maire et MRC a coûté environ $18,000.00 payé par les citoyens. Leurs conclusions jettent un sérieux doute sur la seul raison dicter par l'étude de WSP qui crée l'érosion de la pointe selon eux plusieurs facteurs sont en causes et principalement les changements effectuer par l'homme, soit les installations hydro-électrique de RTA sur le Lac St-Jean ainsi que celles sur la rivière Péribonka.		

Auteur	Organisation	Ville / Municipalité / Communauté	Enjeu	Préoccupation	Référence
	Comité de la pointe	Dolbeau-Mistassini	Depuis 2018, nous avons observé le Gouvernement Legault à multiples reprises, en particulier dans le comté de la Ministre des affaires municipales, se mobiliser pour rapidement faire face à des situations d'érosion et de glissements de terrain au Saguenay. En temps réel, ministres et équipes sont sur place et veillent à protéger les citoyens. Depuis 2018, la communauté de Pointe Langevin est en péril : deux propriétés ont été perdues, une autre est	Le Gouvernement Legault (GDQ) choisit d'être complaisant devant la dévastation générée par le retrait de Rio Tinto (RT) de Pointe Langevin. Par son inaction, elle appuie les actions de RT. Pourtant, le GDQ prend bien garde de ne pas prendre position officiellement. On ne partage pas avec les riverains l'analyse du GDQ du rapport WSP et du bien-fondé du retrait de RT. Tout le dossier demeure intentionnellement opaque. Le GDQ n'agit pas et laisse les riverains sans appuis. Quelle est la motivation du GDQ? Le GDQ a eu 7 ans pour se mobiliser et adopter une stratégie pour régler cette situation. Au minimum, avec la planification pour le prochain décret débutée et un BAPE prévu, il est critique que le GDQ impose à RT de justifier la rationalité de son retrait de Pointe Langevin. De plus, le GDQ doit établir des règles de fonctionnement de la gestion du lac afin d'éviter un autre retrait sauvage ailleurs autour du lac selon le bon vouloir de RT. Par son inaction et son mutisme, le GDQ est imputable de la destruction de Pointe Langevin et de la dévastation de la communauté de la Pointe.	

Auteur	Organisation	Ville / Municipalité / Communauté	Enjeu	Préoccupation	Référence
			en péril imminent et plusieurs autres sont dépréciées. Les propriétés suivantes affectées sont gelées : on ne peut y faire d'améliorations et on ne pourrait les vendre que comme des propriétés sinistrées à rabais. Les riverains sont dévastés par les pertes de quiétude, de stabilité financière et par le manque d'options et l'incertitude à laquelle ils font face. On ne voit pas notre députée, et certainement aucun ministre. Au contraire, le Gouvernement Legault brille		

Auteur	Organisation	Ville / Municipalité / Communauté	Enjeu	Préoccupation	Référence
			par son absence et son mutisme. La gestion de RT est opaque : on refuse de rencontrer les représentants du Comité de la Pointe, on avise la Ville que RT ne se présentera pas à des discussions si certains représentants de la Pointe sont présents; RT entame des négociations secrètes avec des riverains individuels et vient ainsi semer la méfiance dans la communauté. La majorité des riverains de la Pointe sont des retraités âgés de plus en plus fragiles.		

Auteur	Organisation	Ville / Municipalité / Communauté	Enjeu	Préoccupation	Référence
			Le stress de l'incertitude et des impacts cumulatifs de cette situation mine la santé et l'équilibre des riverains.		

Auteur	Organisation	Ville / Municipalité / Communauté	Enjeu	Préoccupation	Référence
	Comité de la pointe	Dolbeau-Mistassini	Les commissaires du BAPE de 1986 ont recommandé de clarifier le flou légal quant aux droits des usagers et propriétaires autres que Rio Tinto (RT). Nous continuons aujourd'hui à être pénalisés par l'absence de définition de nos droits. Le Programme des berges de Rio Tinto (RT) est un programme volontaire que la firme peut définir et interrompre à sa guise. Les interventions et l'attribution de fonds, le choix des mesures à appliquer et	RT a choisi de se retirer de Pointe Langevin en 2018 en invoquant que les dommages à la pointe étaient dus à une crue plus prononcée de la petite rivière Péribonka et à la fluviatilité. La crue inhabituelle est un modeste facteur parmi 100 ans d'histoire et 50 ans de travaux et d'interventions par RT dans le secteur de la Pointe. Depuis 1986, RT ne s'est retiré d'aucun secteur des 55 kilomètres de plages et berges inclus au programme depuis le début. Nous considérons le retrait injustifié mais aucune autorité ne remet en doute la décision de RT. Tous les éléments qui interagissent maintenant sont les mêmes qui le font depuis 50 ans pendant lesquelles RT a protégé la Pointe. Il y a eu des crues plus abondantes auparavant et l'eau coule (la fluviatilité) depuis toujours. Le facteur critique est le débit géré de la rivière Péribonka 12 mois par année incluant en période d'étiage. Le flou juridique et l'absence de droits définis sur lesquels basés tout recours, font en sorte de nous laisser à la merci du bon vouloir de RT. Puisque le gouvernement considère le programme des berges comme une initiative volontaire de RT, il n'y a aucune instance gouvernementale saisie du dossier à qui nous puissions faire appel.	

Auteur	Organisation	Ville / Municipalité / Communauté	Enjeu	Préoccupation	Référence
			quand et comment les appliquer, sont autant de considérations entièrement contrôlées par Rio Tinto. De plus, les mêmes gestionnaires qui ont planifié et géré les travaux en font aussi l'évaluation. Le Gouvernement ne vérifie pas la tenue du Programme ou ses réalisations. Un riverain qui est insatisfait des actions de RT n'a aucun recours.		

Auteur	Organisation	Ville / Municipalité / Communauté	Enjeu	Préoccupation	Référence
	Comité de la pointe	Dolbeau-Mistassini	En 2018, Rio Tinto (RT) a tenu une réunion pour informer les riverains de leur retrait de Pointe Langevin. Aussi présents, il y avait des représentants de WSP, de ministères, de la MRC et de la Ville. Bien que ces intervenants eussent été informés au préalable, aucun d'eux n'a signifié la moindre objection au retrait d'un secteur que RT desservait depuis 50 ans. La Sécurité civile a expliqué son programme d'aide aux sinistrés. Aucun	Depuis 1986, RT est l'acteur unique sur les berges du Lac. C'est ainsi puisque toute intervention affecte non seulement le secteur immédiat, mais en cascades, tout l'environnement contigu. Pour l'imputabilité, il doit y avoir un acteur unique. C'est RT qui planifie, analyse, intervient. Il n'y a pas de structures pour un scénario alternatif. Le GDQ n'a pas de responsable du Programme des berges puisque c'est un programme volontaire de RT. Le ministère de l'environnement ne fait qu'approuver les projets ponctuels proposés par RT. En situation de retrait de RT d'un secteur, une situation inédite, le GDQ n'est pas outillé pour agir. Après presque 8 ans de représentations auprès du GDQ, nous sommes au même point, sans responsables et sans actions. De plus, le GDQ ignore nos rapports et analyses et ne répond pas à nos soumissions. En fait, la réalité, c'est que seul RT peut intervenir; toute autre solution interfère avec l'imputabilité unique. Le retrait, d'un secteur aussi névralgique que l'embouchure des rivières Péribonka, un secteur perturbé à outrance, est irréaliste. La réalité, c'est qu'une multiplicité de facteurs sont en jeu, dont assez sont la responsabilité de RT pour que RT continue son engagement. Ce qui importe encore davantage maintenant, c'est que le programme soutenu de suivi du secteur recommandé par les experts consultants de RT, a été abandonné. Maintenant,	

Auteur	Organisation	Ville / Municipalité / Communauté	Enjeu	Préoccupation	Référence
			représentant ministériel n'a expliqué suivant quelle analyse le Gouvernement (GDQ) avalisait la décision de RT de se retirer; pas plus qu'on n'a expliqué la suite des choses. De 2018 à 2024, nous avons appris que la MRC, malgré son rôle de coordination du Conseil de gestion durable du lac Saint-Jean et ses responsabilités pour le territoire, n'était pas responsable du dossier; ensuite que Dolbeau-Mistassini n'avait ni les ressources, ni	nous ignorons tous comment la situation évolue et quels nouveaux dangers nous guettent.	

Auteur	Organisation	Ville / Municipalité / Communauté	Enjeu	Préoccupation	Référence
			un mandat pour résoudre cette situation. Les Ministères de l'environnement et des Affaires municipales non plus. Depuis 2018, tous nous renvoient à droite et à gauche sans accepter de responsabilité. Ils forment des comités qui se rencontrent sans agir ou avancer le dossier. Nous avons rencontré le 25/11/2024 le Maire de Dolbeau, qui nous a réitéré que la Ville était impuissante et n'acceptait de faire autre chose que de coordonner des réunions		

Auteur	Organisation	Ville / Municipalité / Communauté	Enjeu	Préoccupation	Référence
			au besoin. RT laisse entendre vaguement que si le GDQ proposait des solutions, ils pourraient y contribuer sans prendre d'engagement spécifique ou chiffré.		

Auteur	Organisation	Ville / Municipalité / Communauté	Enjeu	Préoccupation	Référence
	Comité de la pointe Langevin	Dolbeau-Mistassini	Les problèmes à Pointe Langevin étaient connus par Rio Tinto (RT) et avaient fait l'objet d'interventions en 2016 et 2017. Dans sa soumission au BAPE 2017, elle affirme : ''Rio Tinto, les municipalités de Dolbeau-Mistassini et de Péribonka ainsi que la MRC de Maria-Chapdelaine travaillent en collaboration afin de trouver une solution durable et de gérer la situation ensemble. La réalisation d'un projet d'envergure sera probablement nécessaire, ce qui	Avant le BAPE de 2017, RT a acquis la propriété au bout de la Pointe au prix du marché. Lorsqu'on ajoute cette acquisition à la déclaration de RT au BAPE, on comprend que le milieu était en confiance que RT était responsable de la Pointe. Que s'est-il passé? La Ligue des propriétaires a soumis un mémoire au BAPE qui commentait positivement et négativement le Programme de RT. Le BAPE invite les citoyens à commenter le projet du proposeur; c'est ce que la Ligue a fait. Comment doit-on expliquer le revirement complet de RT? Est-ce que la firme veut passer le message aux riverains d'éviter de critiquer la firme? La gestion du dossier par RT est incohérente. Sans nouvelles études, RT a adopté une position diamétralement opposée à sa position précédente. De plus, la firme a rompu avec les tenants d'un pacte social entre la firme, le Gouvernement et les riverains, lequel a maintenu l'acceptabilité sociale de sa gestion du lac depuis 1986. Le Gouvernement du Québec semble infiniment complaisant envers la firme, multipliant les avantages conférés à celle-ci. Depuis 7 ans, le Gouvernement demeure muet et passif sur le dossier de la Pointe. Nous ne comprenons pas la logique de la firme ou la position du Gouvernement dans ce dossier. Le BAPE qui se prépare est une occasion pour RT de reprendre le dossier en main. Il n'y a pas de solution possible à	

Auteur	Organisation	Ville / Municipalité / Communauté	Enjeu	Préoccupation	Référence
			impliquerait l'obtention d'une autorisation ministérielle. Rio Tinto s'est engagé à investir plus de 400 000$ pour réaliser des travaux préliminaires et des études complémentaires. Ces études permettront à l'ensemble des intervenants d'évaluer et de mieux comprendre la situation afin de déterminer les solutions possibles et soutenir les besoins du milieu.'' Le programme 2017-2026 de RT a été approuvé sur la base de ces affirmations de RT. Une fois le	la Pointe, autre que Rio Tinto réintègre la Pointe dans son programme des berges et règle le problème.	

Auteur	Organisation	Ville / Municipalité / Communauté	Enjeu	Préoccupation	Référence
			Décret adopté, RT a renié la position qu'elle avait signifié à tous au BAPE. Ils savaient alors tout ce qu'ils savaient plus tard en 2018 lorsque la firme a déclaré son retrait de Pointe Langevin. Est-ce que RT peut affirmer une chose pour obtenir une approbation et une fois l'approbation acquise, dire le contraire? La firme ne doit-elle pas respecter ses engagements ? Pourquoi devrions-nous comme citoyens et riverains croire à la crédibilité de ce que propose RT, si		

Auteur	Organisation	Ville / Municipalité / Communauté	Enjeu	Préoccupation	Référence
			la firme peut ensuite se désister? La firme est-elle tenue de respecter ses engagements du BAPE?		

Auteur	Organisation	Ville / Municipalité / Communauté	Enjeu	Préoccupation	Référence
citoyen		Dolbeau-Mistassini	La situation à la Pointe Langevin: Mise en situation. 2017 Automne- Rencontre d'information sur le phénomène d'érosion de la Pointe Langevin : ou les représentants de Rio Tinto avec leur consultants WSP nous présentaient les résultats préliminaires d'une étude effectuée pour comprendre le phénomène d'érosion intensive à cet endroit en particulier. À cette rencontre seul les représentants de la	Nous avons eu une mise à jour de l'étude fait par WSP avec les conclusions officiels sur ce qui produit le phénomène d'érosion, WSP a présenter une liste de solutions potentielles pour remédier au problème d'érosion avec les impacts et risques reliés à ces solutions mais le plus surprenant fut le commentaire des représentants de Rio Tinto qui nous a dit que ce phénomène d'érosion ne faisait plus partie du programme de stabilisation des berges et que maintenant le problème était du ressort des élus et du ministère de la sécurité public. Ma préoccupation est le changement d'orientation de la situation et surtout le manque d'explication de la part des élus et représentants des ministères du pourquoi de ce changement de rôle. En plus aucun des résidents n'avait eu accès au rapport final de WSP pour être en mesure de poser des questions à tous ces personnes. On venait de se faire passer un sapin...J'aimerais avoir dans leur projet une nouvelle étude sur la situation de la pointe faite par des spécialistes sous la responsabilité d'un entité neutre non superviser par RTA qui apporteras les vrais raisons ainsi que les solutions pour réglé le problème.	

Auteur	Organisation	Ville / Municipalité / Communauté	Enjeu	Préoccupation	Référence
			municipalité étaient présents avec les gens de Rio Tinto et WSP et une douzaine de résidents du secteur de la Pointe. Lors de cette rencontre on nous a fait part que des affiches seront apposées dans le secteur pour interdire l'accès au couvert de glace dans le secteur de la pointe, question de sécurité. À cette rencontre on sentait bien la responsabilité de Rio Tinto à comprendre la situation afin de déterminer une solution pour arrêter ou réduire le		

Auteur	Organisation	Ville / Municipalité / Communauté	Enjeu	Préoccupation	Référence
			problème d'érosion. 2018 Hiver- Deuxième rencontre avec les gens de Rio Tinto et leur consultants WSP mais cette fois avec une panoplie de représentants politiques : le représentant du député , les gens du ministère de l'environnement, du ministère de la sécurité public, les représentants de la MRC et de la ville de Dolbeau.		

Auteur	Organisation	Ville / Municipalité / Communauté	Enjeu	Préoccupation	Référence
	Comité de la pointe Langevin	Dolbeau-Mistassini	Depuis 1986, le Programme des berges inclut 50 km de berges avec des ajouts qui portent le total à environ 55 km aujourd'hui. Jamais il n'y a eu un retrait. RT a réparé Pointe Langevin pendant 50 ans. Les conditions sont les mêmes qu'elles ont toujours été. Il y a toujours eu des fluctuations des crues annuelles et la fluviatilité est documentée comme facteur important dans toutes les études de la Pointe. Quelle est la	Le secteur de la Pointe est un de ceux les plus perturbés par l'érosion depuis 1926 et le secteur le plus affecté par le débit géré constant de la Péribonka. Si RT peut justifier un retrait de la Pointe, ils peuvent le faire à tout endroit du lac. Depuis 2018, la Ligue des propriétaires a soumis une foule de documents au Gouvernement incluant une étude technique complétée à nos frais, un mémoire soumis au Premier Ministre, ainsi que rencontres et présentations pour défendre notre dossier. Nous n'avons pas reçu de réponse. Nous sommes des bénévoles qui assurent des efforts soutenus depuis 7 ans et des engagements financiers importants (20,000$ pour l'analyse technique). Collectivement, nous avons une longue expérience de l'administration. En toute une vie, nous n'avons aucune expérience pareille avec un Gouvernement. On nous ignore. Ce sont de piètres relations avec les citoyens et un manque flagrant de civilité. Le Gouvernement approuve le Programme des berges; ce programme, malgré son statut volontaire, est une entente entre la firme et l'état, moyennant laquelle, en contrepartie, le gouvernement confère des avantages à RT. Pourquoi les riverains sont-ils laissés à eux-mêmes à combattre le retrait de RT? Il n'y a aucun ministère chargé d'administrer l'entente. Lorsqu'il y a problème, il n'y a plus personne de responsable; personne n'a le mandat ou les crédits pour agir.	

Auteur	Organisation	Ville / Municipalité / Communauté	Enjeu	Préoccupation	Référence
			motivation de RT? Cherche-t-elle à minimiser ses frais aux dépens des riverains et du Gouvernement? Est-ce que RT entend punir le secteur Vauvert parce que la Ligue des propriétaires a critiqué RT au dernier BAPE ? Nous n'en savons rien, mais les justifications apportées ne justifient pas un retrait. Puisque la Pointe est incluse depuis 1986, que ce Programme a été soumis et approuvé 3 fois par les commissaires du BAPE, nous considérons		

Auteur	Organisation	Ville / Municipalité / Communauté	Enjeu	Préoccupation	Référence
			qu'il y a un engagement, sinon légal, au moins moral, de maintenir le Programme à Pointe Langevin jusqu'à la tenue d'un nouveau BAPE et le dépôt d'une étude spécifique pour justifier un retrait. Si le Programme est aléatoire et à la merci des préférences de RT, quelles garanties les riverains ont-ils ? Les riverains et les trois niveaux de gouvernement ont investi massivement pour aménager des résidences et les infrastructures nécessaires à		

Auteur	Organisation	Ville / Municipalité / Communauté	Enjeu	Préoccupation	Référence
			leur soutien depuis plusieurs décennies partout autour du Lac. Ces investissements reposent sur la stabilité, la prévisibilité et la pérennité du Programme des berges et plages.		

Auteur	Organisation	Ville / Municipalité / Communauté	Enjeu	Préoccupation	Référence
	Comité de la pointe Langevin	Dolbeau-Mistassini	Afin de tenir des consultations significatives, il est de mise que tous les intervenants bénéficient des mêmes données et de la même compréhension à long terme de l'évolution du Lac St Jean. Pour ce faire, il est nécessaire que Rio Tinto (RT) rende ses archives cartographiques, documentaires et stratégiques disponibles à l'ensemble des citoyens. Ces données ne sont pas des données confidentielles commerciales, mais davantage l'historique du	Si les archives n'ont pas été numérisées, cette initiative pourrait faire l'objet d'un projet à long terme en plusieurs étapes. 1) Inventaire 2) Numérisation 3) Diffusion Cette documentation est partie intégrale du développement de la Région du Lac-St-Jean. C'est une richesse inestimable qu'il importe de conserver et de disséminer.	

Auteur	Organisation	Ville / Municipalité / Communauté	Enjeu	Préoccupation	Référence
			Lac et du développement de la région. Depuis les premiers arpentages qui précèdent le rehaussement, passant par les études sur l'étendue éventuelle des inondations anticipées et éventuellement réelles, l'analyse et les projections du développement du bassin hydroélectrique, l'érosion anticipée des berges et la disparition des îles et de vastes étendues de territoire, ces données sont un vaste réservoir pour comprendre l'évolution de la situation que nous		

Auteur	Organisation	Ville / Municipalité / Communauté	Enjeu	Préoccupation	Référence
			retrouvons aujourd'hui. Ces données seront utiles aux citoyens et aux associations mais à long terme aux chercheurs universitaires et autres spécialistes de la gestion des plans d'eau. Ces archives sont partie intégrante de notre patrimoine collectif.		

Auteur	Organisation	Ville / Municipalité / Communauté	Enjeu	Préoccupation	Référence
	Comité de la pointe Langevin	Dolbeau-Mistassini	Les rapports WSP et Laboratoire Lasalle expliquent les phénomènes en présence à la Pointe. Ces apports insistent sur la nécessité d'un suivi soutenu des forces en présence et leur interaction. Ces études ne sont pas axées juste sur le bout de la Pointe Langevin, mais modélisent l'interaction des courants, bancs de sable, profondeurs, berges et plages de l'embouchure des rivières Péribonka au Lac. Ces études démontrent	Les rapports en annexe reconnaissent que l'érosion à la Pointe est influencée par plusieurs facteurs dont la fluviatilité. Si RT reconnait depuis 50 ans que la fluviatilité joue un rôle à Pointe Langevin, pourquoi invoque -t-elle aujourd'hui ce facteur pour se retirer de la Pointe? Sans intervention, il est clair que l'érosion va s'étendre et à moyen terme faire en sorte que le chenal principal de la rivière suivra la berge jusqu'à la sortie au lac. À mesure que l'érosion progresse et que l'eau profonde atteint la berge, il devient plus difficile et onéreux d'intervenir. Est-ce que RT choisit de retarder ses interventions pour justifier éventuellement de construire un perré de roches plutôt que de recharger les plages de la Pointe? En cessant le suivi de la situation et sachant que la Sécurité civile n'est pas experte ou chargée de tels travaux, l'absence de données fera en sorte qu'on ne comprendra pas la meilleure façon de protéger les berges. En absence de données, on ne peut faire porter le blâme. Si Rt est responsable de la gestion du Lac-Saint-Jean, comment peut-elle justifier un retrait de la Pointe et de cesser de faire même le suivi à l'embouchure du lac, un des secteurs les plus perturbés par la gestion du lac et des barrages par RT? Nous avons inclus une Fiche technique de RT, datant de 2017, qui exprime une attitude toute autre à la situation à la Pointe; on n'y parle pas de retrait.	Les rapports Lasalle et WSP sont déposés en appui à la soumission au BAPE de Rio Tinto pour le BAPE de 2016. Les 2 autres rapports sont disponibles de RT. Rapports Lasalle et WSP; Rapport CEGERTEC 2010: Avis technique, Projet : Programme de stabilisation des berges, Site 88.11.01. N/D : 15535-004; Rapport Roche, Groupe Conseils : Avis technique 2014: Sites 88.11.01 et 92.11.01 / Pointe Langevin. N/Réf. : 101667.104-001; Fiche Technique Rio Tinto, 2017 en pièce jointe.

Auteur	Organisation	Ville / Municipalité / Communauté	Enjeu	Préoccupation	Référence
			l'importance que Rio Tinto (RT) accordait à un suivi exhaustif de la Pointe. En 2024, Richard Dallaire de RT nous écrivait : « Soulignons qu'en 2020, à la demande du Ministère de la Sécurité publique, Rio Tinto a cessé la prise de relevés bathymétriques du secteur et de ce fait nous n'avons aucune information quant à l'évolution de la situation. » Avec le retrait de RT, la Sécurité civile a repris le suivi mais ils se limitent à des relevés bathymétriques de la fosse et de la proximité		

Auteur	Organisation	Ville / Municipalité / Communauté	Enjeu	Préoccupation	Référence
			de l'eau aux résidences à condamner. Le suivi doit couvrir toute l'embouchure des 2 rivières puisque le matériel se déplace en tous sens au gré des vagues, des vents, et de l'érosion causée par le débit régularisée de la Péribonka 12 mois/année. Ces déplacements forment des bancs de sable, qui détournent le cours de la rivière, qui fait pression sur les berges. L'érosion n'est pas limitée au bout de la Pointe mais continue		

Auteur	Organisation	Ville / Municipalité / Communauté	Enjeu	Préoccupation	Référence
			jusqu'à la sortie au lac.		

Auteur	Organisation	Ville / Municipalité / Communauté	Enjeu	Préoccupation	Référence
	Comité de la pointe Langevin	Dolbeau-Mistassini	En préparation du BAPE de 2016, Rio Tinto (RT) a retenu Laboratoire Lasalle et WSP pour analyser le secteur de Pointe Langevin et identifier des options de résolution. Ces analyse sont extensives, professionnelles et fournissent une foule d'informations utiles. Toutefois, le rapport WSP a deux lacunes importantes. La première est l'importance indue à l'effet de la crue de la petite rivière Péribonka sans mesurer l'effet encore	RT affirme que si nous sommes en désaccord, à nous de financer une étude pour contrer leurs conclusions. La MRC, la Ville et les ministères affirment ne pas avoir l'expertise ou les ressources pour mettre en doute les affirmations de RT. Le but du Rapport WSP n'était pas de justifier un retrait de Pointe Langevin. La crue de la petite rivière est un facteur. Le déplacement de la Péribonka est un autre facteur. Le rapport ne porte aucun jugement sur les autres facteurs qui ont influencé les difficultés à la Pointe, puisque ces considérations n'étaient pas l'objet du rapport. C'est RT qui a tiré la conclusion de se retirer en invoquant la crue et la fluviatilité. Ces mêmes facteurs ont été utilisés ailleurs par RT pour justifier leurs travaux. RT favorisait d'abord d'étudier davantage comment procéder pour sauver la Pointe. Pourquoi le revirement de RT? Pourquoi le Gouvernement accepte-t-il sans plus d'exigences ce premier retrait d'un secteur du lac après une gestion sans changements depuis 1986? Il nous semble que la pratique sensée aurait été que le Gouvernement avise RT que puisque Pointe Langevin avait été incluse au BAPE et au Décret de 2017, si RT voulait retirer Pointe Langevin du Décret, elle pourrait le faire en 2028 après avoir soumis une proposition, appuyée d'une étude spécifique à cette situation, pour justifier ce retrait. Entretemps, elle serait demeurée responsable de la situation à la Pointe.	

Auteur	Organisation	Ville / Municipalité / Communauté	Enjeu	Préoccupation	Référence
			plus considérable de la crue de la Péribonka et sans tenir compte du déplacement du chenal de la Péribonka vers la Pointe. À noter que ce déplacement est dû en partie à la dérive de remblais introduits par RT, qui créé des bancs de sable et font dévier la rivière. La deuxième lacune est avec les solutions proposées : la firme propose des solutions complexes avec des épis multiples. En même temps, WSP ignore la possibilité d'endiguer l'extrémité de		

Auteur	Organisation	Ville / Municipalité / Communauté	Enjeu	Préoccupation	Référence
			la Pointe avec des palles-planches. Cette dernière solution est celle proposée spontanément par tous les entrepreneurs en construction qui considèrent une solution à la Pointe.		

Auteur	Organisation	Ville / Municipalité / Communauté	Enjeu	Préoccupation	Référence
	Comité de la pointe Langevin	Dolbeau-Mistassini	Le Comité de la Pointe (à 90% des retraités) a déboursé plus de 20,000$ pour retenir la firme JFSA pour compléter une analyse du Rapport WSP et fournir une explication plus complète des variables en présence à Pointe Langevin. Le gouvernement ne nous a jamais fait part de leur évaluation du Rapport de WSP. Ils n'ont jamais commenté ou même reconnu et avoir lu le Rapport de JFSA. Ce rapport met en évidence le nombre important de	Si le gouvernement choisit de ne pas définir les droits des riverains et qu'en plus, ils choisissent aussi d'ignorer ce que nous apportons à nos frais comme argumentation, on en vient à se demander si l'état se comporte de façon équitable avec les riverains. Rio Tinto dénigre le rapport JFSA avec arrogance, mais sans le commenter. Rio Tinto sait bien que nous n'avons pas les ressources pour reproduire une étude comme celle de WSP. Sauf que ce n'est pas aux riverains à s'expliquer. Rio Tinto répare les abords des deux rivières sur plusieurs kilomètres; l'érosion sur tous ces kilomètres est certainement due à 80% au rehaussement et à l'effet fluviatile des rivières Péribonka. En fait, à la Pointe c'est sans doute moins de 80% puisque d'autres facteurs sont en jeu. Comment expliquer que ce qui est acceptable à gauche ne l'est plus à droite? C'est au gouvernement de refuser le retrait de Rio Tinto et de forcer la firme à faire les études et travaux nécessaires pour régler le problème à la Pointe Langevin.	Avis technique sur la problématique d'érosion de la Pointe Langevin, Secteur Vauvert, Dolbeau-Mistassini; Comité des résidents de la Pointe Langevin FINAL V.1 26/11/2019: Dossier JFSA : 1798, J-F Sabourin et Associés inc. (JFSA) copie ci-jointe au email.

Auteur	Organisation	Ville / Municipalité / Communauté	Enjeu	Préoccupation	Référence
			variables qui influencent ce qui se passe à Pointe Langevin. On peut ajouter à ceci, la cumulation sur 100 ans des impacts continus du rehaussement et des multiples interventions d'Alcan et Rio Tinto depuis plus de 50 ans. Dans un contexte pareil avec une multitude de facteurs, on ne peut que se retrancher sur les facteurs prépondérants et les plus évidents. Ces facteurs prépondérants sont le rehaussement et le débit constant de la Péribonka géré par Rio		

Auteur	Organisation	Ville / Municipalité / Communauté	Enjeu	Préoccupation	Référence
			Tinto pour approvisionner ses turbines même en période d'étiage.		

Auteur	Organisation	Ville / Municipalité / Communauté	Enjeu	Préoccupation	Référence
	Comité de la pointe Langevin	Dolbeau-Mistassini	Alcan avait acquis les terres le long du littoral de Pointe Taillon, suite à la fermeture forcée du Village de Jeanne-D'Arc. Cet achat visait essentiellement à avoir la licence de détruire ces terres à petit feu par l'érosion. Les terres à l'embouchure des rivières Péribonka ont subi un maximum de destruction avec un recul massif, lequel a créé par le fait même l'Île Boulianne. Depuis, l'érosion continue son action et la superficie de l'Île diminue à	Avant le rehaussement du lac, la berge de Pointe Langevin était rectiligne. Avec la disparition des terres de Pointe Taillon, on peut observer comment la pointe a été érodée ou elle a été exposée à l'embouchure à la force des vagues. Si ma propriété est en péril et je ne fais rien pour la préserver, suis-je responsable des dommages en cascades que ça occasionne chez mon voisin? L'inaction de Rio Tinto et du gouvernement n'est pas sans conséquences. Bientôt, Pointe Langevin et le Village de Péribonka seront exposés à toute la force du lac.	

Auteur	Organisation	Ville / Municipalité / Communauté	Enjeu	Préoccupation	Référence
			chaque année. Alors qu'au rehaussement du lac en 1926, il y avait des îles qui protégeaient l'embouchure au lac et que Pointe Taillon se projetait plus d'un kilomètre plus loin, l'érosion des terres a fait en sorte d'exposer Pointe Langevin à toute la force des vagues du lac. Il semble qu'Alcan a cédé le reste des terres de Pointe Taillon au gouvernement pour 1$ dollar, moyennant l'entente qu'Alcan ne serait pas responsable d'y préserver les berges. On		

Auteur	Organisation	Ville / Municipalité / Communauté	Enjeu	Préoccupation	Référence
			perpétue que les terres publiques du Lac-St-Jean ne sont à personne, donc on peut impunément les détruire. Les terres publiques sont notre patrimoine à tous. Pourquoi le gouvernement permet-il cette destruction?		

Auteur	Organisation	Ville / Municipalité / Communauté	Enjeu	Préoccupation	Référence
Organisation	Assosiation des résidents du Domaine Parent	Saint-Prime	Les enjeux d'importances pour notre secteur sont : •Érosion de plage et des terrains du au niveau trop élevé du lac au cours de la période de 12 jours, au printemps, durant lequel le lac est monté à 17 pieds.•Problématique d'ensablement, du aux déplacements du sable de rechargements de plage dans les secteurs avoisinants qui se déplace avec le vent et les vagues.•Une partie de notre secteur (domaine parent) est constitué d'une baie et	Nos solutions : •Pour contrer l'érosion de plage et des terrains, nous sommes d'avis que le niveau du lac ne devrait pas excéder 16.5 pieds au cours de la période du printemps. Donc annulation de la possibilité d'atteindre le 17 pieds pendant 12 jours.•Afin de solutionné la problématique de l'ensablement du secteur de la baie de notre domaine et du renfermement de la rivière à la chasse et du même coup protéger la biodiversité ainsi que les propriétés du danger d'inondation, nous sommes d'avis que l'utilisation du sable en accumulation à ces endroits pour le rechargement des plages des secteurs avoisinants est la seule solution pour régler tous nos problèmes récurrents.	N/A

Auteur	Organisation	Ville / Municipalité / Communauté	Enjeu	Préoccupation	Référence
			cette baie se referme peu à peu.•Notre secteur possède une rivière, un affluent du Lac-St-Jean (Rivière à la chasse). Cette rivière se referme peu à peu due à l'ensablement. Notons que cette rivière fait partie d'un milieu humide protégé.•La biodiversité est menacée dans ce secteur (rivière à la chasse).•Les propriétés de notre secteur sont en danger d'inondation due à l'ensablement qui referme la baie et la rivière à la chasse. Ce qui cause		

Auteur	Organisation	Ville / Municipalité / Communauté	Enjeu	Préoccupation	Référence
			énormément de stress à nos membres en période critique du printemps et de l'automne.		

Auteur	Organisation	Ville / Municipalité / Communauté	Enjeu	Préoccupation	Référence
Organisation	Ville de Dolbeau-Mistassini	Dolbeau-Mistassini	La Ville de Dolbeau-Mistassini détient plusieurs kilomètres de plages bordant le lac Saint-Jean. En conséquence, nous souhaitons que le prochain programme de gestion de l'érosion tienne particulièrement compte des secteurs suivants, car nous avons pu constater que les dommages causés par l'érosion se sont accentués dans les dernières années et, principalement, à la pointe Langevin.	1. Pointe LangevinLa pointe Langevin subit des dommages inquiétants depuis quelques années. Cette pointe agit comme bouclier de protection à la zone de villégiature à Péribonka. Sa dégradation rapide et constatée impose l'établissement de mesures d'urgence en matière de protection et les dégâts déjà causés par l'érosion méritent réparation et une attention particulière dans les meilleurs délais.2. L'île Boulianne et le parc de la Pointe-TaillonL'île Boulianne, qui fait partie intégrante du parc de la Pointe-Taillon, nous sert de protection des grands vents. Cette île se dégrade également très rapidement et plus particulièrement à chacune de ses extrémités. Cette île et l'ensemble du parc de la Pointe-Taillon, qui est un parc de conservation, doivent être protégés.3. La Petite rivière PéribonkaCette rivière se jette dans la grande rivière Péribonka et, conséquemment, subit des dommages liés à l'érosion. Celle-ci devrait être incluse dans le prochain programme. Ces trois secteurs qui constituent un vaste espace interrelié se doivent d'être protégés et pris en compte dans un prochain programme de gestion de l'érosion des plages et des berges du lac Saint-Jean.Nous croyons que le ministère de l'Environnement du Québec doit conscientiser l'entreprise Rio Tinto sur l'importance d'amener les correctifs nécessaires aux menaces	

Auteur	Organisation	Ville / Municipalité / Communauté	Enjeu	Préoccupation	Référence
				d'érosion qui planent pour notre municipalité et ses alentours.	

Auteur	Organisation	Ville / Municipalité / Communauté	Enjeu	Préoccupation	Référence
Organisation	Les Riverains Lac-St-Jean 2000	Saint-Gédéon	La conciliation des usages du lac Saint-Jean et la cohabitation des activités doivent désormais être déterminées en fonction des besoins de tous les utilisateurs du plan d'eau.La gestion des niveaux du lac Saint-Jean (scénario M) doit être retenue comme un enjeu à réévaluer. Nous estimons que les niveaux maximums de 16 pieds au printemps, notamment au moment de la crue, et de 15 pieds pour l'ensemble de la saison estivale et	La gestion des GES émis par les va-et-vient des camions et la machinerie lourde lors des grands travaux de rechargement et d'empierrement des berges nous préoccupent. Il serait essentiel de trouver des solutions plus écologiques et durables comme l'adoption d'un niveau du lac moins destructeur tant au printemps qu'à l'automne. En référence à la Loi sur la qualité de l'environnement (LQE), qui a mené à des changements sur l'application de la séquence éviter-minimiser-compenser , notre crainte est que le terme éviter incite à réparer le moins possible, alors que pour les riverains, nous souhaitons que cela signifie « éviter de briser les plages, les berges et les milieux humides ».Nous comprenons qu'un lac contrôlé est nécessaire pour une production maximale d'électricité. Toutefois, le nombre d'usines de Rio Tinto a considérablement augmenté depuis 1926. Dans les faits, il faudrait revoir les autorisations de production d'électricité en fonction de la capacité du plan d'eau. Une autre préoccupation fait référence aux préoccupations soulevées par la communauté allochtone et il est impératif que le nouveau programme 2028-2037 en tienne compte. Enfin, nous sommes préoccupés par le fait que l'on demeure dans la production hydroélectrique, sans explorer d'autres façons de produire de l'électricité. En envisageant d'autres alternatives et	Avis de projet : Programme de gestions de l'érosion des plages et des berges du lac Saint-Jean 2028-2037. Octobre 2024;Mémoire de Riverains Lac Saint-Jean 2000 déposé au BAPE en juin 2017;Gouvernement du Québec : Décret 6-2018 17 janvier 2018.

Auteur	Organisation	Ville / Municipalité / Communauté	Enjeu	Préoccupation	Référence
			automnale sont essentiels à la bonne gestion des berges du lac Saint-Jean et à la protection des propriétés riveraines. Nous croyons le tout possible en envisageant d'autres moyens de maintenir un niveau idéal du plan d'eau (par des barrages supplémentaires sur les affluents, des déversoirs sur les décharges, etc.). Il serait également souhaitable d'analyser d'autres moyens de production d'électricité que l'hydroélectricité, comme	scénarios, on réduirait l'érosion et on assurerait mieux la protection de la faune et de ses habitats.	

Auteur	Organisation	Ville / Municipalité / Communauté	Enjeu	Préoccupation	Référence
			l'éolien et le solaire. Le rechargement des plages avec des matériaux granulaires devrait être effectué en conservant les caractéristiques du milieu dans lequel il est prévu. Nous demandons que la zone d'intervention s'applique à l'ensemble de la zone à l'étude. Il nous apparait important d'assurer la protection de tous les tributaires à l'étude ainsi que des propriétés qui y sont établies. La structure de gestion participative du lac Saint-		

Auteur	Organisation	Ville / Municipalité / Communauté	Enjeu	Préoccupation	Référence
			Jean doit être impérativement revue et améliorée. Le Ministère doit en assurer la disponibilité du financement et les ressources nécessaires à sa mise en œuvre.		

Auteur	Organisation	Ville / Municipalité / Communauté	Enjeu	Préoccupation	Référence
Citoyen		Saint-Félicien	Il faut introduire dans le décret l'enrochement de la berge du chemin du canal à St-Méthode (St-Félicien) Depuis 5 ans on voit que le canal de la rivière Mistassini se déplace de plus en plus vers nos berges et creuse de plus en plus. Il a 3 arrivés d'eau de la rivières Mistassini et forme un tourbillon devant les terrains du chemin du Canal juste avant le Bôme et creuse de plus en plus la berge.Selon Rio-Tinto le lac commence au Bôme de St-Méthode et	J'ai contacter Rio-Tinto pour ce problème et la réponse est que le chemin du Canal n'est pas dans le décret.Donc il faut la demander pour le prochain décret car les terrains seront miner par l'érosion bientôt.	

Auteur	Organisation	Ville / Municipalité / Communauté	Enjeu	Préoccupation	Référence
			on est juste avant le Bôme .		

Auteur	Organisation	Ville / Municipalité / Communauté	Enjeu	Préoccupation	Référence
Citoyen		Saint-Henri-de-Taillon	Enjeu 1- Détérioration de la qualité et de l'intégrité de l'environnement: L'érosion constante de nos terrains et des plages, malgré les interventions de rechargement répétées de Rio Tinto. La dégradation sévère de la qualité et de l'intégrité de la plage en raison du matériau de rechargement utilisé. Nous avions auparavant une des plus belles plages du Québec, de beau sable fin naturel sur la Pointe Taillon. Les	1-La conciliation entre les besoins énergétiques de Rio Tinto et les effets sur l'environnement est désavantageuse pour le patrimoine naturel des berges, des plages, et des propriétaires riverains. 2- Le rapport concernant la consultation de la population menée par Rio Tinto sur les impacts des interventions ne fait aucune mention des préoccupations exprimées relatives au danger. Nous n'avons pas retrouvé les préoccupations reliées au danger provoqué par le phénomène de boulance dans l'avis de projet de Rio Tinto sur le Programme de gestion de l'érosion des plages et des berges du Lac St Jean, pages 34 et 35, portant sur les principales préoccupations soulevées par la communauté allochtone. C'est pourtant une problématique qui s'est répétée dans plusieurs secteurs d'intervention et sur plusieurs historiques de rechargement au cours des 10 dernières années. Et qui a même entraîné l'installation de clôtures interdisant l'accès au lac en raison du danger d'enfoncement, privant ainsi les riverains touchés de l'usage du lac pendant plusieurs semaines. Alors que Rio Tinto savait que ce type de rechargement était dangereux. 3- Lors de nos communications avec Rio Tinto, ils nous réfèrent souvent aux	

Auteur	Organisation	Ville / Municipalité / Communauté	Enjeu	Préoccupation	Référence
			interventions successives de rechargement ont laissé une plage de gros sable rocailleux, poudreux et de texture cimentée. La faune et la flore de la rive, ainsi que les riverains, ont ainsi perdu leur milieu naturel. Enjeu 2- Protection et sécurité: Les dangers d'enfoncement dans le sable en raison du phénomène de boulance occasionné par l'usage de matériau de rechargement inadéquat pour le milieu naturel (interaction	règles strictes du ministère de l'environnement pour justifier le refus de mesures alternatives. Exemple: installation de murets, déplacement du sable naturel dans les zones d'accumulation vers les zones érodées.	

Auteur	Organisation	Ville / Municipalité / Communauté	Enjeu	Préoccupation	Référence
			des granulométries). Ce phénomène se répète d'un rechargement à l'autre, malgré le danger pour la sécurité des résidents et du public, documenté et connu de Rio Tinto depuis plusieurs années. Nous sommes propriétaires riverains depuis plus de 37 ans. Or ce phénomène de boulance n'avait jamais été observé avant les interventions de rechargement à partir des matériaux utilisés par RioTinto.		

Auteur	Organisation	Ville / Municipalité / Communauté	Enjeu	Préoccupation	Référence
citoyen		Dolbeau-Mistassini	En 2015-16, le taux d`érosion à la Pointe Langevin a augmenter. Rio Tinto a exécuter des travaux d'enrochement en urgence pour réduire cette érosion. Dans cette période RTA était en consultation pour leur décret. RTA réalisant que ces travaux ne faisait pas le travail ont décider d'acheter la propriété de la résidence secondaire à 1,5 fois la valeur du marché laissant planer le fait au voisinage qu'il ferait la même chose pour les autres voisin. Quand le	Les résidents ont eu le rapport de WSP après cette rencontre que RTA et les agences du gouvernement provinciales et régionales appuyait la décision de RTA de se retirer de leur responsabilité de la Pointe. Nous avons pu lire ce rapport et constater qu'il y a plusieurs points qui demeurent incomplets, des informations qui demande plus de réflexion et de recherche et surtout à la fin qui suggère de faire du suivit pour mieux comprendre. Nous pensons que ce rapport n'avait pas l'objectif indiquer au départ par RTA, n'a pas été revue par des experts indépendants ni par les experts du gouvernement. La cause de l'érosion dicter par WSP est une des causes qui crée l'érosion mais ne semble pas la cause fondamentale qui selon notre analyse est créé par le déplacement de la direction de la grande Péribonka dûe à un banc de sable former avec le temps par la sédimentation du sable que la grande Péribonka transporte surtout dans les période de débits variable lorsque le niveau du lac baisse mais aussi du sable apporter par les vagues entre la pointe Taillon et l'isle Boulianne et plein d'autres facteurs. Je joins à ce commentaire mes constatations et questionnement du rapport de WSP pour votre information.	Présentation de Paul-Henri Girard sur l'analyse du rapport de WSP au 27 Novembres 2019

Auteur	Organisation	Ville / Municipalité / Communauté	Enjeu	Préoccupation	Référence
			décret fut approuver par le gouvernement, RTA a présenter aux citoyens de la pointe une étude de WSP qui disait que cette érosion était fluviatile dû à la Petite rivière Péribonka qui coule avec un débit moyen de 40 m3/sec vs la grande Péribonka à 600 m3/sec raison qui à première vue semble illogique. Lors de la rencontre avec les représentants des ministères de l'environnement, sécurité public, de la ville, de la MRC, de RTA, de wsp et du		

Auteur	Organisation	Ville / Municipalité / Communauté	Enjeu	Préoccupation	Référence
			représentant du Premier Ministre Couillard ou RTA se dissociait de sa responsabilité de protéger les berges, personne de ce groupe n'a pu donner des explications aux résidents du pourquoi. Personnes de ce groupe a été capable de confirmer les résultats du rapport de WSP encore moins les résidents qui n'avait pas eu le rapport de ceux-ci. Les résidents étaient en furie pas seulement sur le fait que RTA se désengageait de sa responsabilité de la pointe		

Auteur	Organisation	Ville / Municipalité / Communauté	Enjeu	Préoccupation	Référence
			mais aussi sur le fait que tous les organisme du gouvernement et le gouvernement lui-même était de connivence avec RTA .		

Auteur	Organisation	Ville / Municipalité / Communauté	Enjeu	Préoccupation	Référence
Organisation	Ligue des propriétaires de Vauvert par Suzanne Morin présidente	Dolbeau-Mistassini	La Ligue des propriétaires de Vauvert représente environ 350 riverains. Nous sommes inquiets par la non intervention du gouvernement et de Rio Tinto dans le dossier de la Pointe Langevin qui est en train de se détruire. Le gouvernement a mal agi dans ce dossier en basant ses analyses sur celles payées et faites pour Rio Tinto par la firme WSP, ce qui est conflictuel. De plus la Sécurité civile agit de façon arbitraire ne priorisant pas ce dossier et jugeant les valeurs non	La Sécurité des riverains et la perte d'un territoire patrimonial font partie des impacts de l'absence de gestion du lac sur ce territoire Le gouvernement doit clarifier le décret de 1922 quant aux pouvoirs de Rio Tinto.Le gouvernement doit clarifier les zones appartenant à d'autres entités (île Bouliane par exemple) Le gouvernement faire doit faire un meilleur suivi de la la Pointe Langevin . Le suivi est actuellement inefficace et incomplet , le Ministère de la Sécurité publique ayant retiré cette responsabilité à Rio Tinto. Le gouvernement a abandonné beaucoup de ses responsabilités quant à la gestion du lac, pourtant il lui reste des compétences. Inclure la Pointe Langevin est essentiel. Rio Tinto doit participer au maintien de la Pointe.	WSP, Problématique d'Érosion de la Pointe Langevin, ville de Dolbeau Mistassini, diagnostic, mai 2018

Auteur	Organisation	Ville / Municipalité / Communauté	Enjeu	Préoccupation	Référence
			importantes. Elle utilise d'autres données que celles établies.(danger imminent) La Pointe fait partie du périmètre sous surveillance de Rio Tinto et il y a probablement de l'érosion non fluviale à déterminer L'île Bouliane devrait aussi faire partie de la réflexion puisqu'elle a un impact sur la Pointe.		

Auteur	Organisation	Ville / Municipalité / Communauté	Enjeu	Préoccupation	Référence
Citoyen		Dolbeau-Mistassini	Bonjour ,Oui nous serions bien heureux de pouvoir défaire partie de la solution être les premiers à être pris au sérieux notre patrimoine se rapprochant du gouffre.	Mes procurations premières sont en premier la perte d'évaluation de ma propriété j'ai perdue plusieurs milliers de dollars face à ce glissement de terrain .Je ne pourrai pas vendre simplement car cela n'est pas intéressant d'acheter une maison qui est vouée à la destruction .Cette maison a toujours été mon projet de vie , le seul héritage pour ma fille , un panier de crabes .Nous sommes sur un site de villégiature incroyable , le Lac-st Jean est magnifique , nous sommes riverains qui ont toujours payé des taxes et tenu nos terrains propres .Nous sommes à la merci de quatre palliers de gouvernement ! La ville , la MRC , le gouvernement du Québec et Rio Tinto !Il serai bien que nous soyons entendus et non seulement considéré comme un bassin hydrique qui rapporte à un géant !De plus nous sommes à la merci de le gentrification du secteur ! On augmente la valeur frontière de nos propriété afin de payer plus de taxes à notre ville , c'est très contradictoire.Les seules qui tirent bien leurs jeux sont les RBNB qui envahissent nôtre secteur sans tenir compte des fosses septiques qui ne fournissent pas et ils ne tiennent pas compte de la nappe fréatique sur la Pointe Langevin en plus de déranger la population qui habite à l'année sur la Pointe .Tout cela est désolant , j'espère que vous ferrai en sorte que les gens puissent vivre en sécurité et en paix .	

Auteur	Organisation	Ville / Municipalité / Communauté	Enjeu	Préoccupation	Référence
Organisation	Mouvement Onésime-Tremblay	Péribonka	1- Niveau maximum du lac St-Jean: En 1985, les commissaires du BAPE portant sur le même sujet recommandaient l'abaissement du niveau maximum à 15,5 pieds. Cette recommandation n'a pas été retenue par le gouvernement mais elle est toujours pertinente et même plus compte tenu des ravages de l'érosion.2- Étendre la responsabilité de RT à l'ensemble des berges du lac St-Jean et ses affluents. Actuellement, RT n'est responsable que des	La Pointe Langevin ne fait pas partie du projet. On en connaît la raison, Rio Tinto s'est déresponsabilisé en 2018 des graves problèmes vécus dans ce secteur névralgique sous prétexte de crue exceptionnelle de la petite Péribonka (sic). Ce problème colossal relève maintenant de la collectivité. Tout le monde sait cependant que ce phénomène est lié au niveau élevé du lac ainsi qu'au débit élevé de la rivière Péribonka en hiver, deux réalités relevant directement de la gestion de Rio Tinto. Avant tout nouveau programme des berges, le problème de la Pointe Langevin doit être réglé. À lui seul, ce problème nécessiterait la tenue d'un BAPE puisqu'il s'agit manifestement d'une question de santé publique.	

Auteur	Organisation	Ville / Municipalité / Communauté	Enjeu	Préoccupation	Référence
			dommages que sur les plages. Le niveau élevé du lac a des conséquences néfastes sur la totalité des berges et ses affluents. Il faut donc agir en conséquence. 3- Prioriser de façon urgente l'intervention à la Pointe Langevin. Ce territoire à l'embouchure de la rivière Péribonka subit une dégradation accélérée. Déjà, deux chalets ont du être démolis et d'autres sont en danger. Il y a urgence d'intervenir.4- Rendre disponible à l'ensemble de la population l'ensemble		

Auteur	Organisation	Ville / Municipalité / Communauté	Enjeu	Préoccupation	Référence
			des archives cartographique, documentaires et stratégiques couvrant l'ensemble de la période. 5- le programme de gestion des berges doit être obligatoire pour Rio Tinto et non volontaire.		

Auteur	Organisation	Ville / Municipalité / Communauté	Enjeu	Préoccupation	Référence
Organisation	Ville de Saint-Félicien	Saint-Félicien	Le lac Saint-Jean fait partie intégrante de la vie des Félicinoises et des Félicinois alors que nombre d'entre eux résident en bordure de celui-ci ou de l'un de ses affluents, nommément les rivières Ashuapmushuan, Ticouapé et Mistassini. Le littoral de Saint-Félicien est parmi les plus importants de la région, incluant une vingtaine de kilomètres de berges associées à la zone d'intervention du décret 2018-2027. De par sa mission de servir les	ÉROSION: Le projet doit minimiser les effets de l'érosion et des travaux de stabilisation sur la sécurité de la population et des biens, la quiétude et la qualité de vie, les infrastructures, la qualité de l'eau et de l'environnement. Il doit aussi accorder une attention à la qualité des matériaux granulaires utilisés pour aménager des plages sécuritaires et attractives pour le tourisme. CHANGEMENTS CLIMATIQUES: Saint-Félicien compte sur son territoire des secteurs sensibles aux inondations. Considérant la mainmise de RTA sur la gestion du niveau du lac, il faut une meilleure planification pour pallier les périodes de sécheresse ou de pluie abondante et assurer la sécurité des résidents et des plaisanciers. ZONE D'INTERVENTION ET D'INFLUENCE: La zone d'intervention est limitée à l'embouchure de la rivière Ashuapmushuan, alors qu'une portion plus large fait historiquement partie de la zone d'influence. Comme ville, il devient plus complexe et coûteux de protéger nos infrastructures dans cette zone, par exemple à la Chute-à-Michel où des travaux ont été faits pour éloigner les sentiers de la rivière, ou sur la route St-Eusèbe où il est impossible d'intervenir sans faire l'objet d'un BAPE. RTA devrait considérer ses travaux dans	Considérant le nombre limités de caractères du présent formulaire qui ne permet pas de fournir des explications claires aux préoccupations soulevées, la Ville de Saint-Félicien a préparé un document qui détaille davantage son avis. Celui-ci est joint au même courriel qui a permis de transmettre ce formulaire. Nous vous invitons à le consulter.

Auteur	Organisation	Ville / Municipalité / Communauté	Enjeu	Préoccupation	Référence
			citoyens dans le respect des ressources disponibles, et d'offrir des services et un environnement sécuritaire et de qualité, la Ville de Saint-Félicien est interpellée avant tout par les enjeux qui concernent la qualité de vie, la santé et la sécurité publique ainsi que les infrastructures et les services. En outre, les villes jouent un rôle de premier plan dans la lutte contre les changements climatiques, et doivent déjà s'adapter aux conséquences de la crise climatique. C'est pourquoi la Ville de	un plus grand ensemble pour inclure les zones d'influence, clarifier la répartition des responsabilités dans cette zone, arrimer son programme avec la planification municipale et offrir un accompagnement pour les interventions en zone d'influence.	

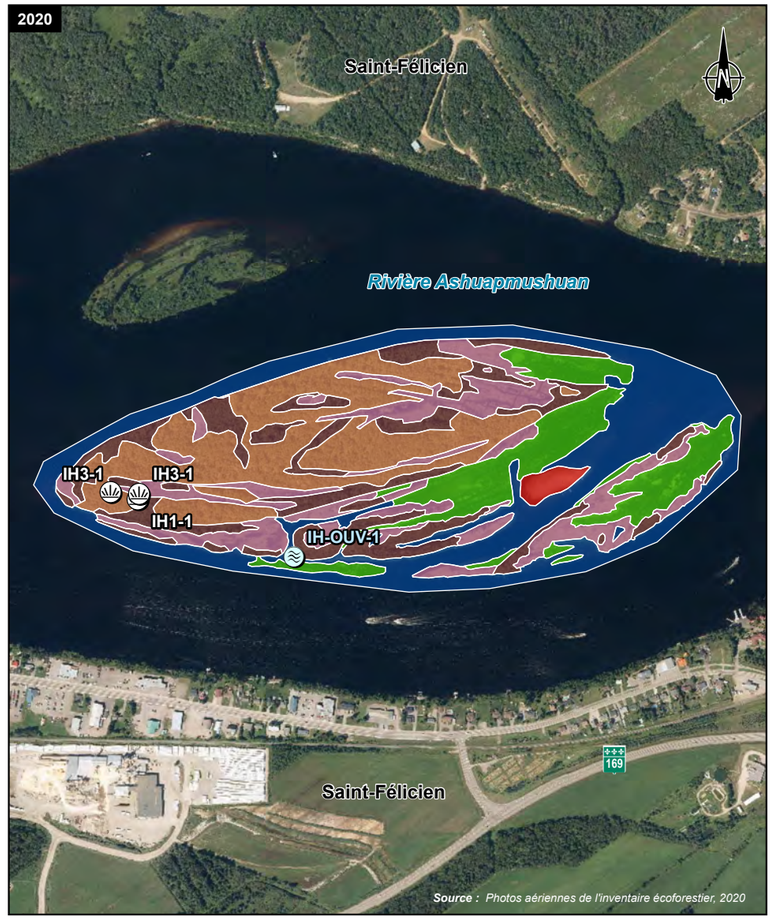
Auteur	Organisation	Ville / Municipalité / Communauté	Enjeu	Préoccupation	Référence
			Saint-Félicien accorde une attention particulière à cet enjeu. Finalement, vu l'importance touristique des plans d'eau dans son secteur, la Ville de Saint-Félicien souligne l'importance des enjeux relatifs aux activités récréotouristiques, nautiques et de villégiature.		

Ministère
de l'Environnement,
de la Lutte contre
les changements
climatiques, de la Faune
et des Parcs

Québec

ANNEXE

A8-1 *Évolution des strates de végétation entre l'état de référence et 2020 pour les milieux humides et localisation des ouvertures de cours d'eau et des parcelles d'inventaire de la végétation visitées en 2024*



Ouverture de cours d'eau

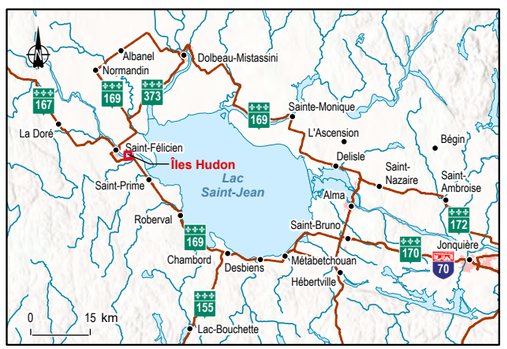
Végétation

Parcelle d'inventaire de la végétation

Complète

Strate de végétation dominante

- Arborée
- Arbustive
- Autre
- Eau libre
- Exondée
- Herbacée
- Herbier aquatique



RioTinto

Programme de gestion de l'érosion des plages et des berges du lac Saint-Jean 2028-2035

Étude d'impact sur l'environnement

Annexe A8-1
Évolution des strates de végétation entre l'état de référence et 2020 pour les îles Hudon et localisation des ouvertures de cours d'eau et des parcelles d'inventaire de la végétation visitées en 2024

Sources :
SDA, 1/20 0000, MRNF, 2024-08
BNDT, 1/250 000, RNCan, 2007
BDGA, 1/1 000 000, MERN, 2014
AQréseau+, réseau routier, MERN, 2024-03-01
Géobase du réseau hydrographique du Québec (GRHQ), MELCC et MERN, 2021

0 125 250 m
MTM, fuseau 7, NAD83

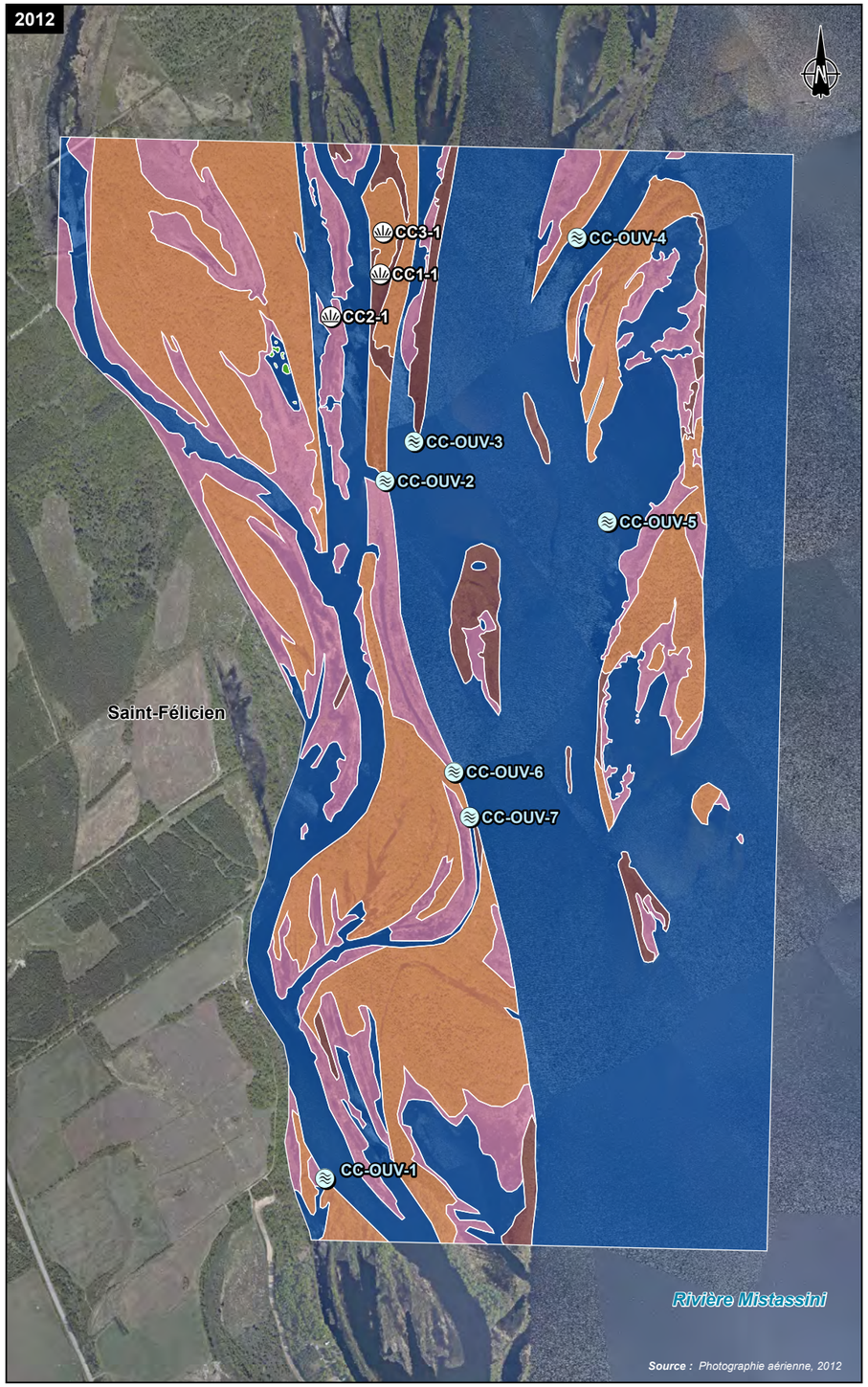
Nov 2025

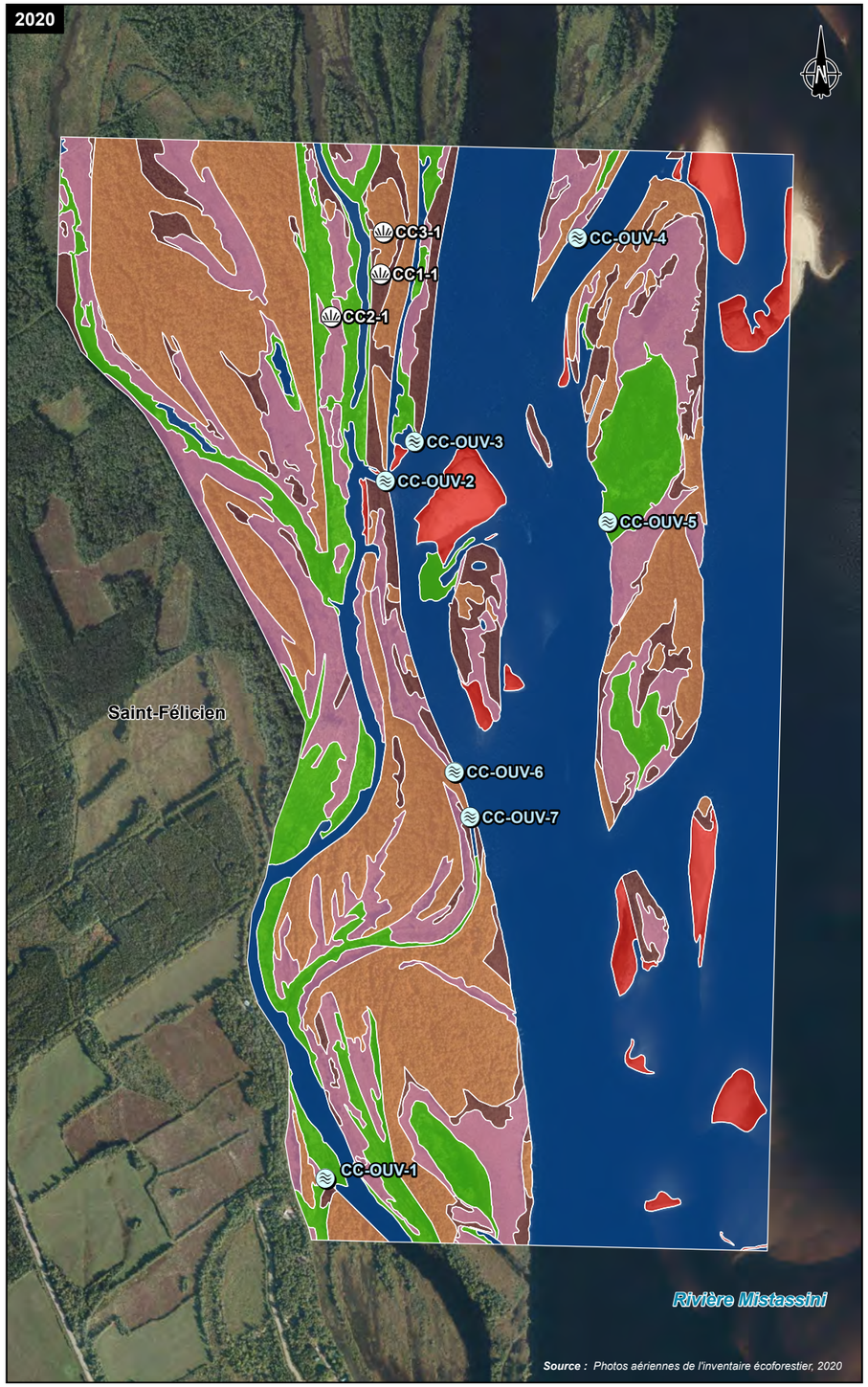
Préparation : D. Gauthier
Dessin : M. Dupraz
Approbation : L. Bouchard
CA0023135_4873_EIE_RTA_Ann_veg_251203.aprx
CA0023135_4873_EIE_A8_1_107_veg_Hudon_251203

GROUPE CONSEIL Nutshimit-Nippour

wsp

La précision des limites et les mesures montrées sur ce document ne doivent pas servir à des fins d'ingénierie ou de délimitation foncière. Aucune analyse foncière n'a été effectuée par un arpenteur-géomètre.





Ouverture de cours d'eau

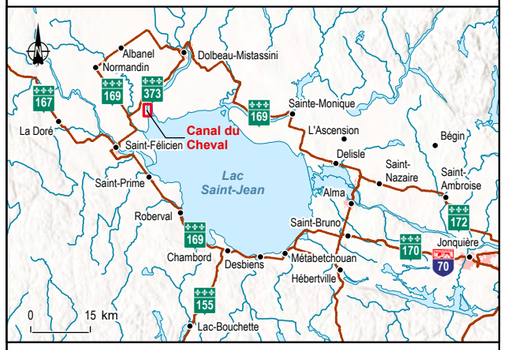
Végétation

Parcelle d'inventaire de la végétation

Complète

Strate de végétation dominante

- Arborée
- Arbustive
- Autre
- Eau libre
- Exondée
- Herbacée
- Herbier aquatique



RioTinto

Programme de gestion de l'érosion des plages et des berges du lac Saint-Jean 2028-2035

Étude d'impact sur l'environnement

Annexe A8-1
Évolution des strates de végétation entre l'état de référence et 2020 pour le canal du Cheval et localisation des ouvertures de cours d'eau et des parcelles d'inventaire de la végétation visitées en 2024

Sources :
SDA, 1/20 0000, MRNF, 2024-08
BNDT, 1/250 000, RNCan, 2007
BDGA, 1/1 000 000, MERN, 2014
AQréseau+, réseau routier, MERN, 2024-03-01
Géobase du réseau hydrographique du Québec (GRHQ), MELCC et MERN, 2021

0 125 250 m

MTM, fuseau 7, NAD83

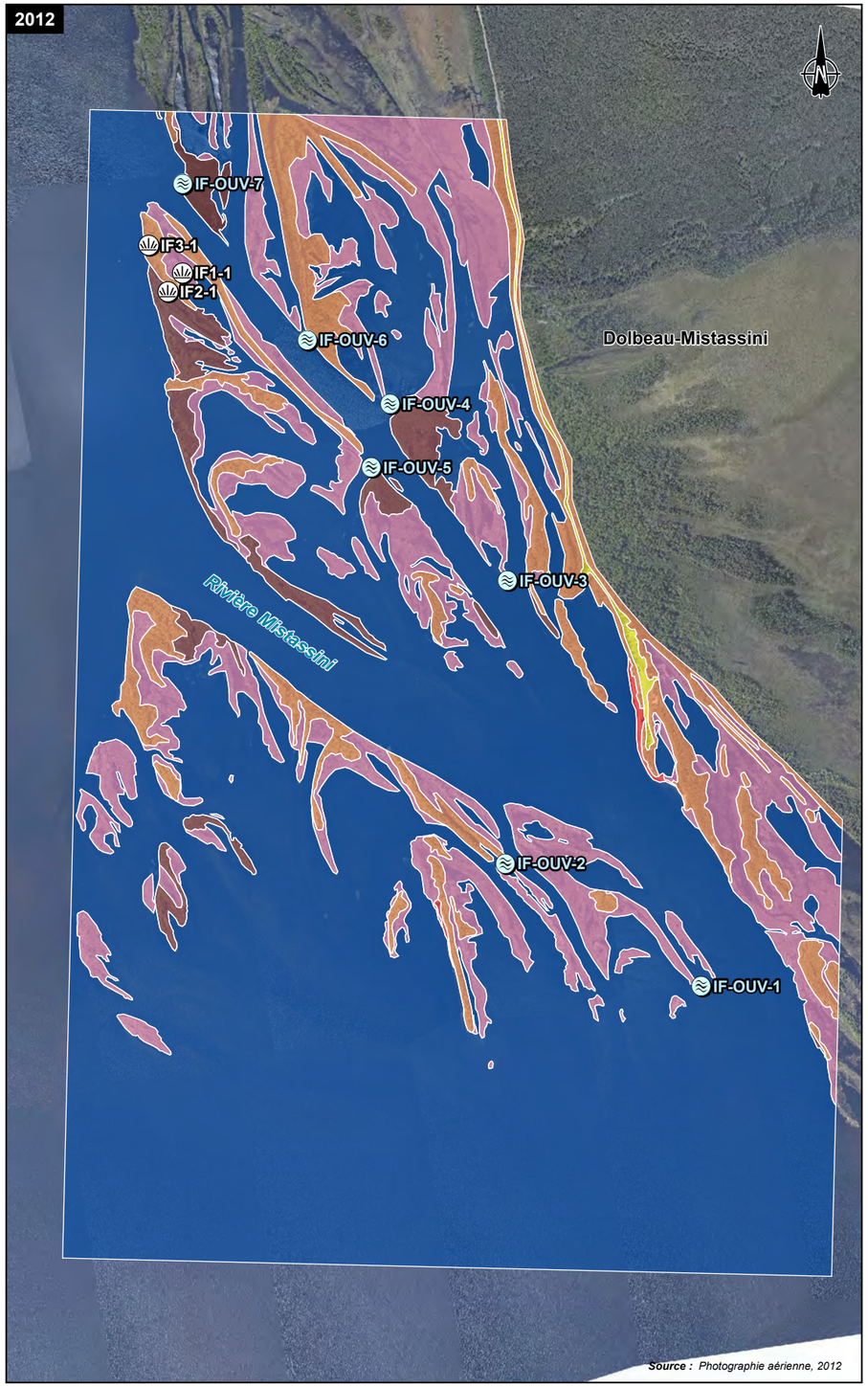
Nov 2025

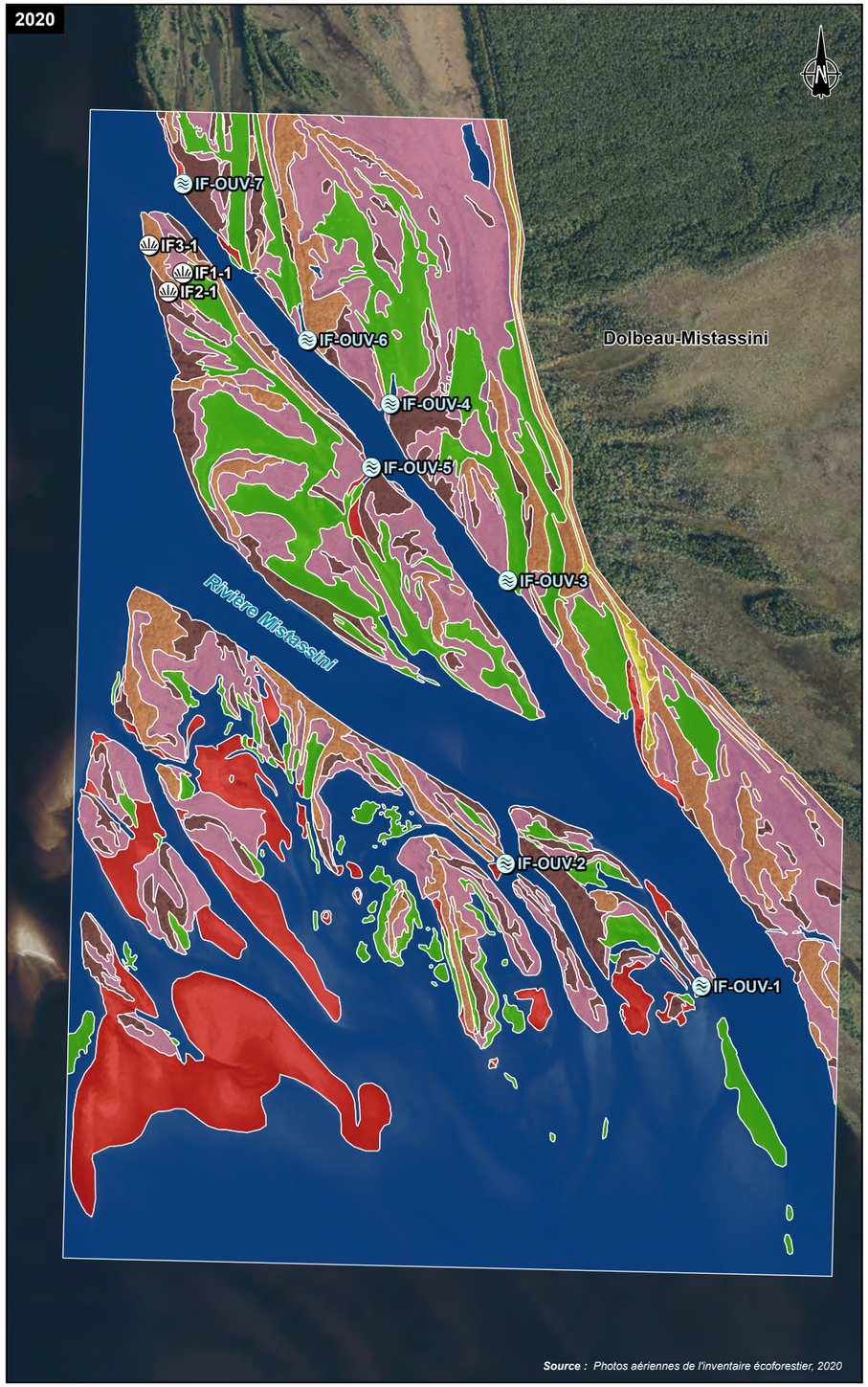
Préparation : D. Gauthier
Dessin : M. Dupraz
Approbation : L. Bouchard
CA0023135_4873_EIE_RTA_Ann_veg_251203.aprx
CA0023135_4873_EIE_A8_1_108_veg_Cheval_251203

GROUPE CONSEIL Nutshimit-Nippour

wsp

La précision des limites et les mesures montrées sur ce document ne doivent pas servir à des fins d'ingénierie ou de délimitation foncière. Aucune analyse foncière n'a été effectuée par un arpenteur-géomètre.





Ouverture de cours d'eau

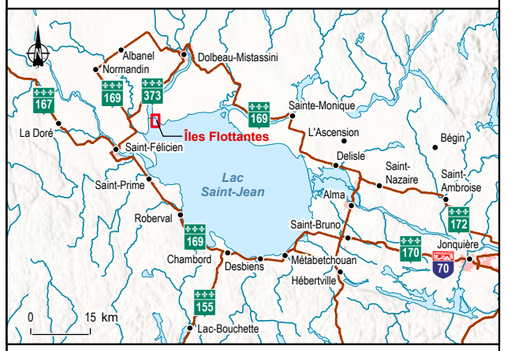
Végétation

Parcelle d'inventaire de la végétation

Complète

Strate de végétation dominante

- Arborée
- Arbustive
- Autre
- Eau libre
- Exondée
- Herbacée
- Herbier aquatique



RioTinto

Programme de gestion de l'érosion des plages et des berges du lac Saint-Jean 2028-2035

Étude d'impact sur l'environnement

Annexe A8-1
Évolution des strates de végétation entre l'état de référence et 2020 pour les îles Flottantes et localisation des ouvertures de cours d'eau et des parcelles d'inventaire de la végétation visitées en 2024

Sources :
SDA, 1/20 0000, MRNF, 2024-08
BNDT, 1/250 000, RNCan, 2007
BDGA, 1/1 000 000, MERN, 2014
AQréseau+, réseau routier, MERN, 2024-03-01
Géobase du réseau hydrographique du Québec (GRHQ), MELCC et MERN, 2021

0 125 250 m

MTM, fuseau 7, NAD83

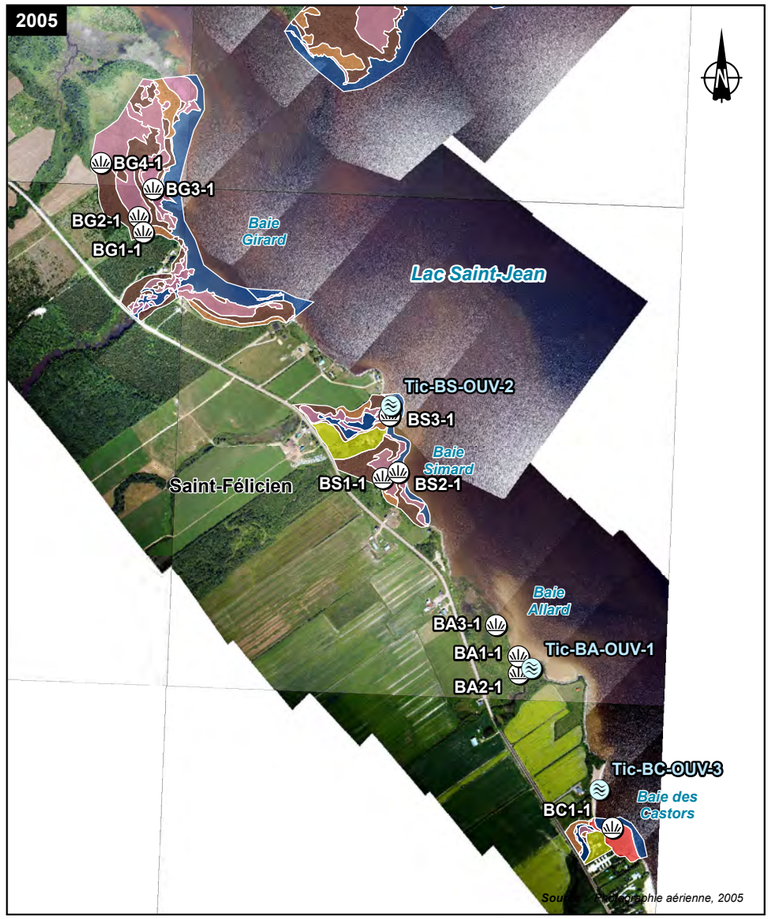
Nov 2025

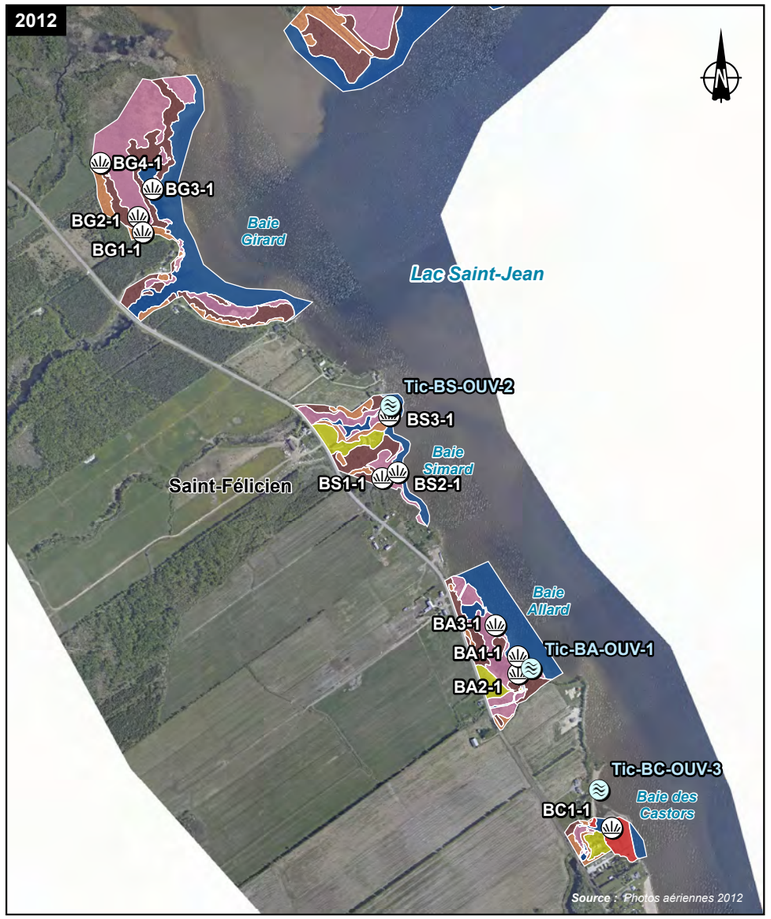
Préparation : D. Gauthier
Dessin : M. Dupraz
Approbation : L. Bouchard
CA0023135_4873_EIE_RTA_Ann_veg_251203.aprx
CA0023135_4873_EIE_A8_1_109_veg_Flott_251203

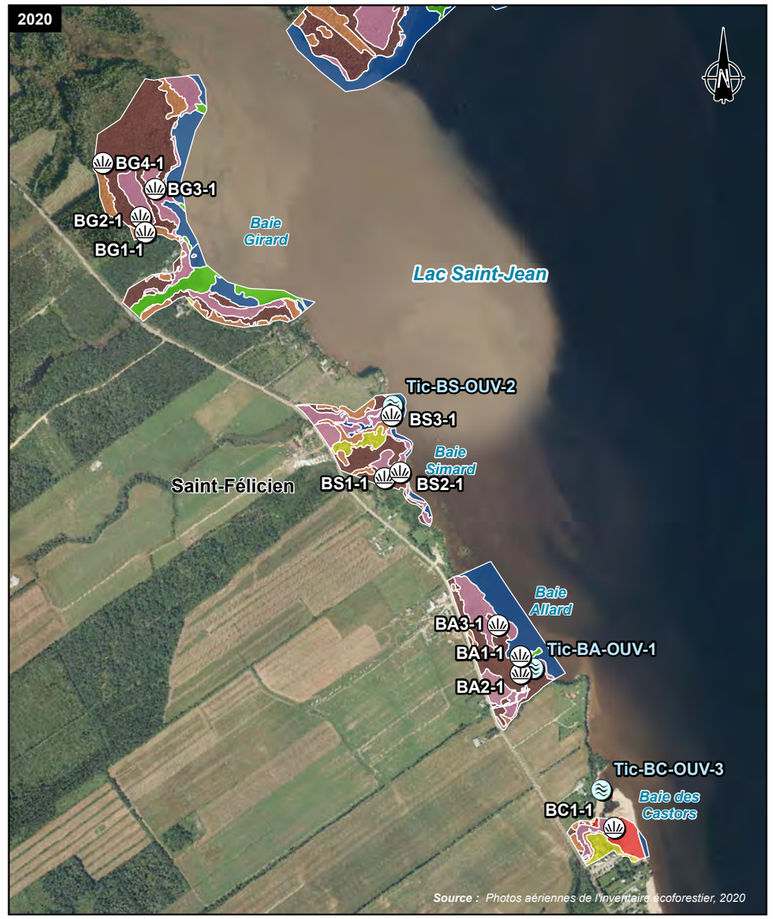
Groupe conseil Nutshimit-Nippour

wsp

La précision des limites et les mesures montrées sur ce document ne doivent pas servir à des fins d'ingénierie ou de délimitation foncière. Aucune analyse foncière n'a été effectuée par un arpenteur-géomètre.







Ouverture de cours d'eau

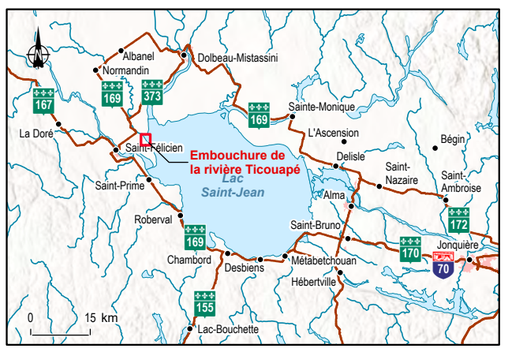
Végétation

Parcelle d'inventaire de la végétation

Complète

Strate de végétation dominante

- Arborée
- Arbustive
- Autre
- Eau libre
- Exondée
- Herbacée
- Herbier aquatique



RioTinto

Programme de gestion de l'érosion des plages et des berges du lac Saint-Jean 2028-2035

Étude d'impact sur l'environnement

Annexe A8-1
Évolution des strates de végétation entre l'état de référence et 2020 pour l'embouchure de la rivière Ticouapé et localisation des ouvertures de cours d'eau et des parcelles d'inventaire de la végétation visitées en 2024

Sources :
SDA, 1/20 0000, MRNF, 2024-08
BNDT, 1/250 000, RNCan, 2007
BDGA, 1/1 000 000, MERN, 2014
AQréseau+, réseau routier, MERN, 2024-03-01
Géobase du réseau hydrographique du Québec (GRHQ), MELCC et MERN, 2021

0 180 360 m

MTM, fuseau 7, NAD83

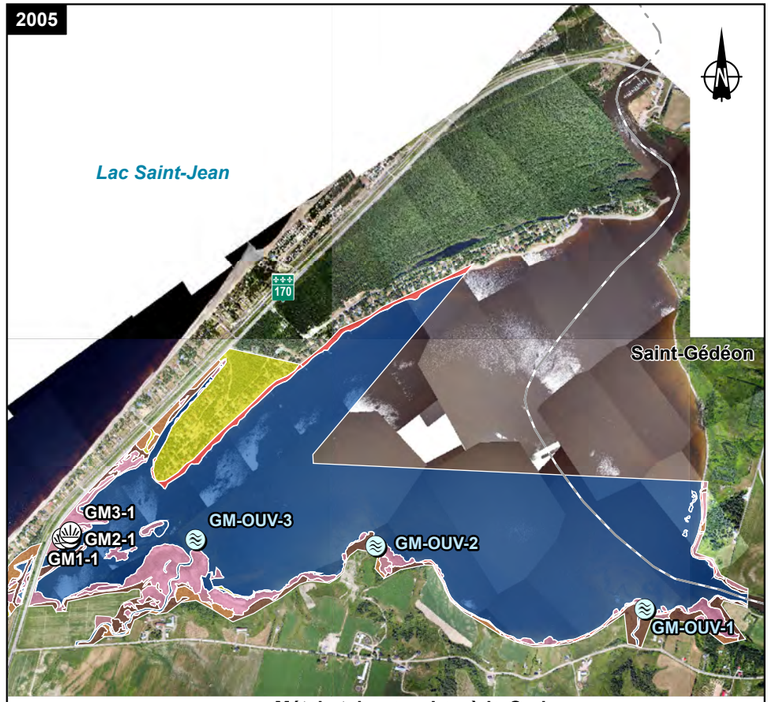
Nov 2025

Préparation : D. Gauthier
Dessin : M. Dupraz
Approbation : L. Bouchard
CA0023135_4873_EIE_RTA_Ann_veg_251203.aprx
CA0023135_4873_EIE_A8_1_110_veg_Ticou_251203

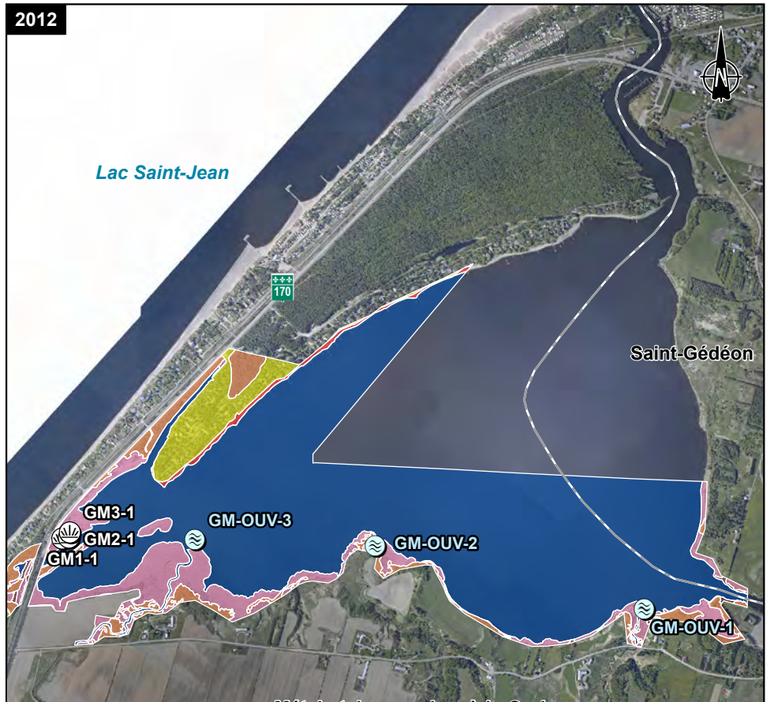
Groupe conseil Nutshimit-Nipour

wsp

La précision des limites et les mesures montrées sur ce document ne doivent pas servir à des fins d'ingénierie ou de délimitation foncière. Aucune analyse foncière n'a été effectuée par un arpenteur-géomètre.



Source : *Photographie aérienne, 2005*



Source : *Photos aériennes 2012*

Source : *Photos aériennes de l'inventaire écoforestier, 2020*

Municipalité

Ouverture de cours d'eau

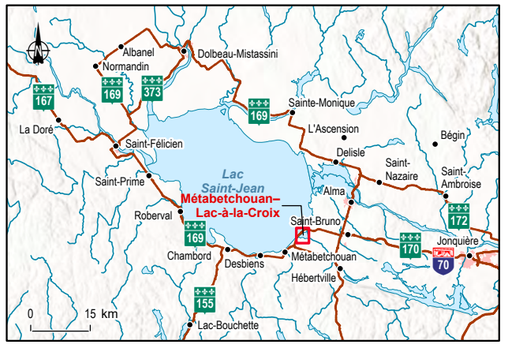
Végétation

Parcelle d'inventaire de la végétation

Complète

Strate de végétation dominante

- Arborée
- Arbustive
- Autre
- Eau libre
- Exondée
- Herbacée
- Herbier aquatique



RioTinto

Programme de gestion de l'érosion des plages et des berges du lac Saint-Jean 2028-2035

Étude d'impact sur l'environnement

Annexe A8-1
Évolution des strates de végétation entre l'état de référence et 2020 pour le grand marais de Métabetchouan–Lac-à-la-Croix et localisation des ouvertures de cours d'eau et des parcelles d'inventaire de la végétation visitées en 2024

Sources :
SDA, 1/20 0000, MRNF, 2024-08
BNDT, 1/250 000, RNCan, 2007
BDGA, 1/1 000 000, MERN, 2014
AQréseau+, réseau routier, MERN, 2024-03-01
Géobase du réseau hydrographique du Québec (GRHQ), MELCC et MERN, 2021

0 250 500 m

MTM, fuseau 7, NAD83

Nov 2025

Préparation : D. Gauthier
Dessin : M. Dupraz
Approbation : L. Bouchard
CA0023135_4873_EIE_RTA_Ann_veg_251203.aprx
CA0023135_4873_EIE_A8_1_111_veg_Meta_251203

Groupe conseil Nutshimit-Nipour

wsp

La précision des limites et les mesures montrées sur ce document ne doivent pas servir à des fins d'ingénierie ou de délimitation foncière. Aucune analyse foncière n'a été effectuée par un arpenteur-géomètre.

Ouverture de cours d'eau

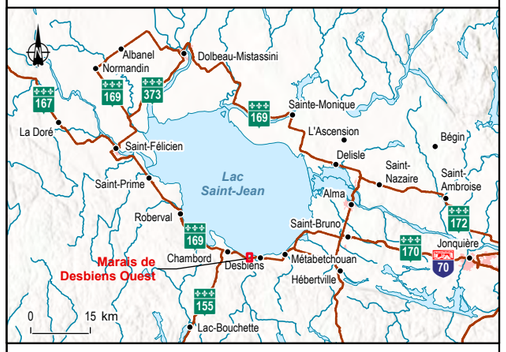
Végétation

Parcelle d'inventaire de la végétation

Complète

Strate de végétation dominante

- Arborée
- Arbustive
- Autre
- Eau libre
- Exondée
- Herbacée
- Herbier aquatique



RioTinto

Programme de gestion de l'érosion des plages et des berges du lac Saint-Jean 2028-2035

Étude d'impact sur l'environnement

Annexe A8-1
Évolution des strates de végétation entre l'état de référence et 2020 pour le marais de Desbiens Ouest et localisation des ouvertures de cours d'eau et des parcelles d'inventaire de la végétation visitées en 2024

Sources :
SDA, 1/20 0000, MRNF, 2024-08
BNDT, 1/250 000, RNCan, 2007
BDGA, 1/1 000 000, MERN, 2014
AQréseau+, réseau routier, MERN, 2024-03-01
Géobase du réseau hydrographique du Québec (GRHQ), MELCC et MERN, 2021

0 80 160 m

MTM, fuseau 7, NAD83

Nov 2025

Préparation : D. Gauthier
Dessin : M. Dupraz
Approbation : L. Bouchard
CA0023135_4873_EIE_RTA_Ann_veg_251203.aprx
CA0023135_4873_EIE_A8_1_112_veg_Desbiens_251203

GROUPE CONSEIL Nutshimit-Nippour

wsp

La précision des limites et les mesures montrées sur ce document ne doivent pas servir à des fins d'ingénierie ou de délimitation foncière. Aucune analyse foncière n'a été effectuée par un arpenteur-géomètre.

Ouverture de cours d'eau

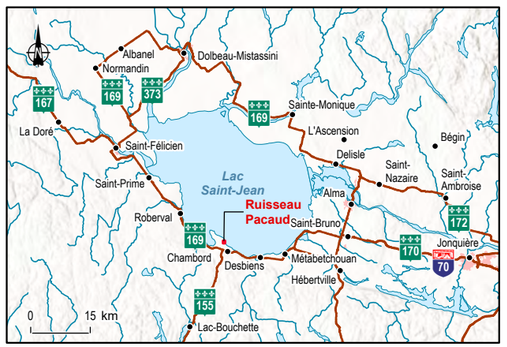
Végétation

Parcelle d'inventaire de la végétation

Complète

Strate de végétation dominante

- Arborée
- Arbustive
- Autre
- Eau libre
- Exondée
- Herbacée
- Herbier aquatique



RioTinto

Programme de gestion de l'érosion des plages et des berges du lac Saint-Jean 2028-2035

Étude d'impact sur l'environnement

Annexe A8-1
Évolution des strates de végétation entre l'état de référence et 2020 pour le ruisseau Pacaud et localisation des ouvertures de cours d'eau et des parcelles d'inventaire de la végétation visitées en 2024

Sources :
SDA, 1/20 0000, MRNF, 2024-08
BNDT, 1/250 000, RNCan, 2007
BDGA, 1/1 000 000, MERN, 2014
AQréseau+, réseau routier, MERN, 2024-03-01
Géobase du réseau hydrographique du Québec (GRHQ), MELCC et MERN, 2021

0 40 80 m
MTM, fuseau 7, NAD83

Nov 2025

Préparation : D. Gauthier
Dessin : M. Dupraz
Approbation : L. Bouchard
CA0023135_4873_EIE_RTA_Ann_veg_251203.aprx
CA0023135_4873_EIE_A8_1_113_veg_Pacaud_251203

Groupe conseil Nutshimit-Nippour

wsp

La précision des limites et les mesures montrées sur ce document ne doivent pas servir à des fins d'ingénierie ou de délimitation foncière. Aucune analyse foncière n'a été effectuée par un arpenteur-géomètre.

Ouverture de cours d'eau

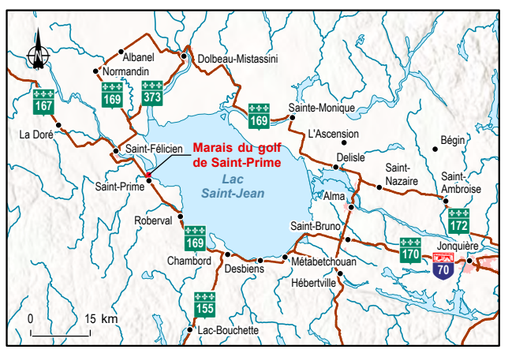
Végétation

Parcelle d'inventaire de la végétation

Complète

Strate de végétation dominante

- Arborée
- Arbustive
- Autre
- Eau libre
- Exondée
- Herbacée
- Herbier aquatique



RioTinto

Programme de gestion de l'érosion des plages et des berges du lac Saint-Jean 2028-2035

Étude d'impact sur l'environnement

Annexe A8-1
Évolution des strates de végétation entre l'état de référence et 2020 pour le marais du golf de Saint-Prime et localisation des ouvertures de cours d'eau et des parcelles d'inventaire de la végétation visitées en 2024

Sources :
SDA, 1/20 0000, MRNF, 2024-08
BNDT, 1/250 000, RNCan, 2007
BDGA, 1/1 000 000, MERN, 2014
AQréseau+, réseau routier, MERN, 2024-03-01
Géobase du réseau hydrographique du Québec (GRHQ), MELCC et MERN, 2021

0 45 90 m

MTM, fuseau 7, NAD83

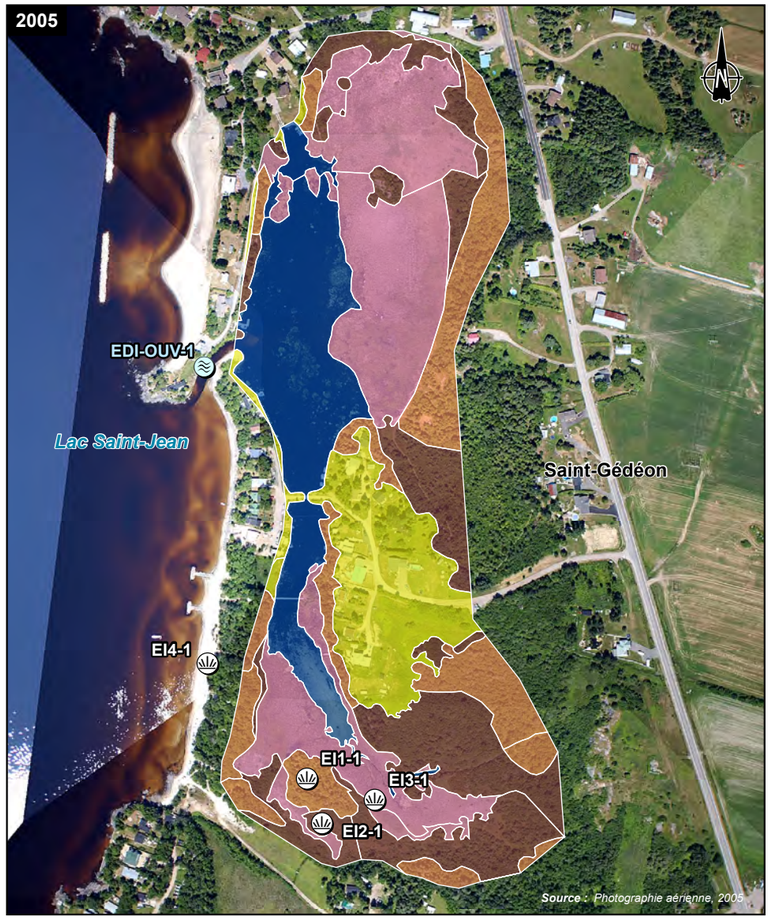
Nov 2025

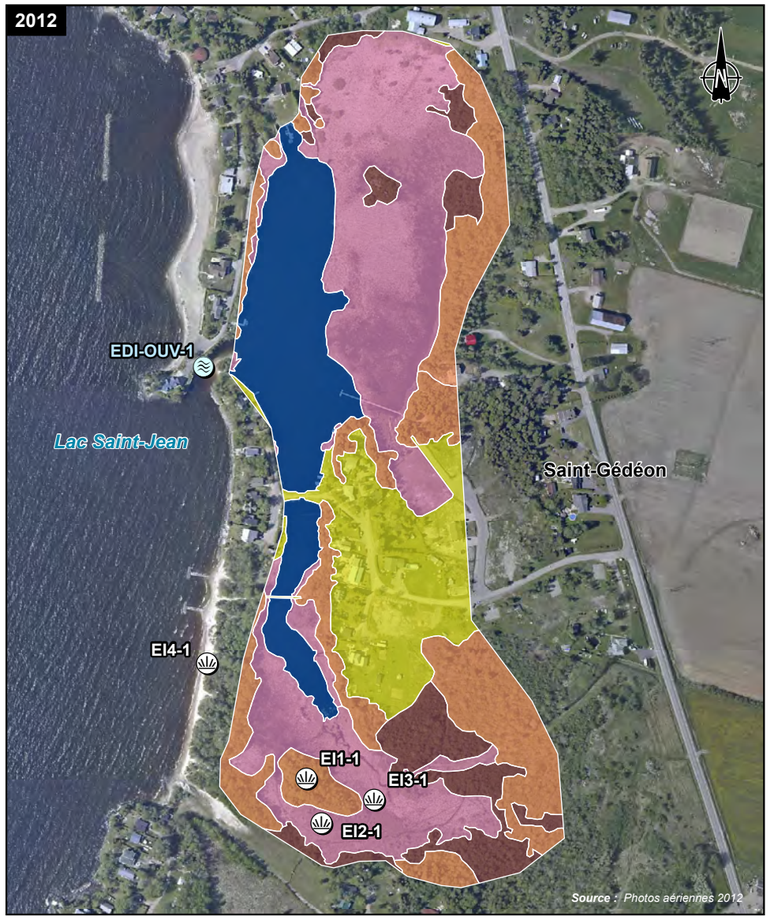
Préparation : D. Gauthier
Dessin : M. Dupraz
Approbation : L. Bouchard
CA0023135_4873_EIE_RTA_Ann_veg_251203.aprx
CA0023135_4873_EIE_A8_1_114_veg_Golf_251203

GROUPE CONSEIL Nutshimit-Nippour

wsp

La précision des limites et les mesures montrées sur ce document ne doivent pas servir à des fins d'ingénierie ou de délimitation foncière. Aucune analyse foncière n'a été effectuée par un arpenteur-géomètre.





Ouverture de cours d'eau

Végétation

Parcelle d'inventaire de la végétation

Complète

Strate de végétation dominante

- Arborée
- Arbustive
- Autre
- Eau libre
- Exondée
- Herbacée
- Herbier aquatique

RioTinto

Programme de gestion de l'érosion des plages et des berges du lac Saint-Jean 2028-2035

Étude d'impact sur l'environnement

Annexe A8-1
Évolution des strates de végétation entre l'état de référence et 2020 pour l'étang des Îles et localisation des ouvertures de cours d'eau et des parcelles d'inventaire de la végétation visitées en 2024

Sources :
SDA, 1/20 0000, MRNF, 2024-08
BNDT, 1/250 000, RNCan, 2007
BDGA, 1/1 000 000, MERN, 2014
AQréseau+, réseau routier, MERN, 2024-03-01
Géobase du réseau hydrographique du Québec (GRHQ), MELCC et MERN, 2021

0 60 120 m
MTM, fuseau 7, NAD83

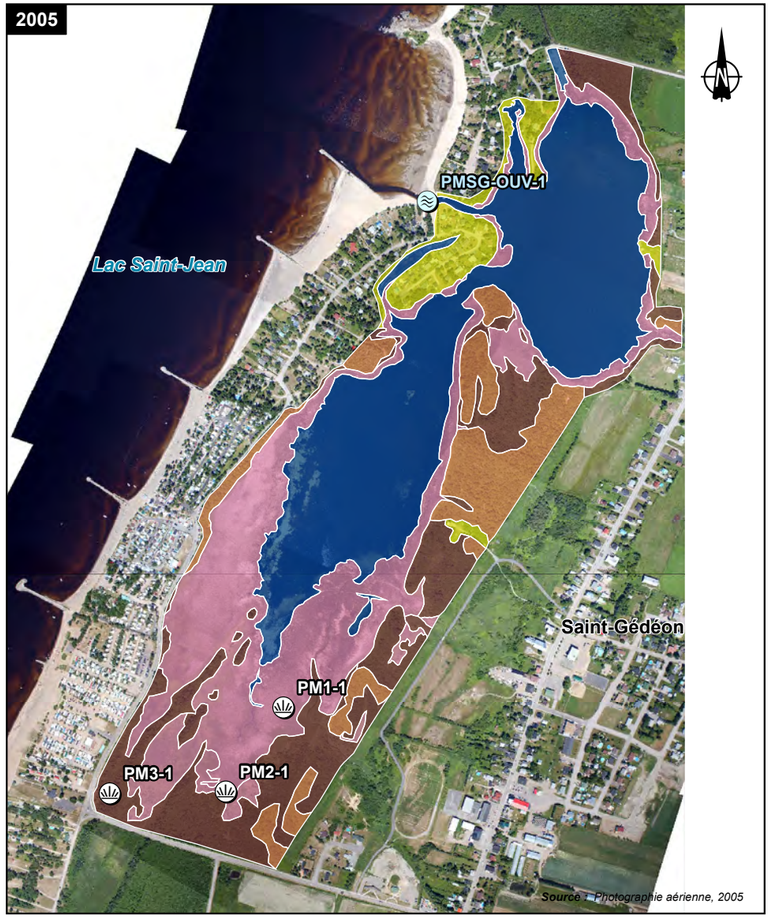
Nov 2025

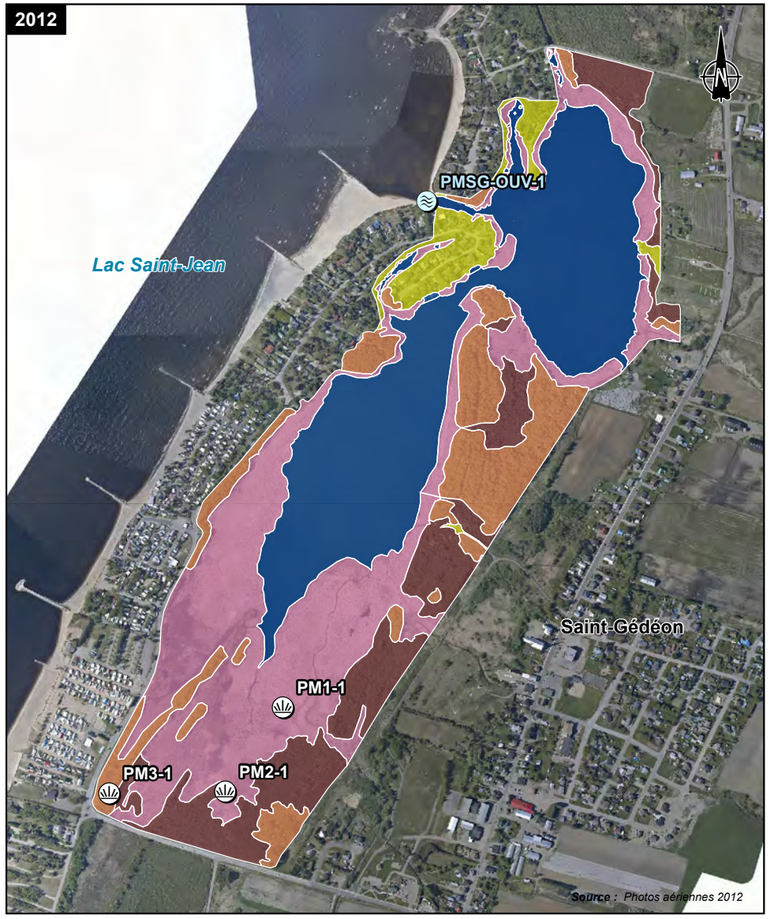
Préparation : D. Gauthier
Dessin : M. Dupraz
Approbation : L. Bouchard
CA0023135_4873_EIE_RTA_Ann_veg_251203.aprx
CA0023135_4873_EIE_A8_1_115_veg_Etlles_251203

GROUPE CONSEIL Nutshimit-Nippour

wsp

La précision des limites et les mesures montrées sur ce document ne doivent pas servir à des fins d'ingénierie ou de délimitation foncière. Aucune analyse foncière n'a été effectuée par un arpenteur-géomètre.





Ouverture de cours d'eau

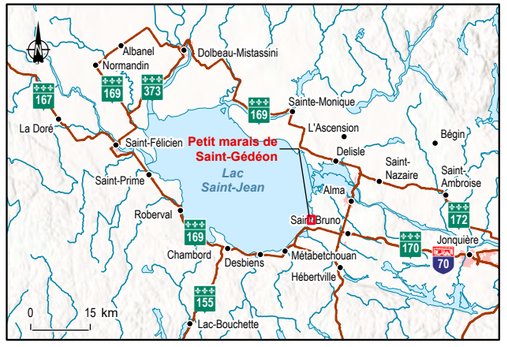
Végétation

Parcelle d'inventaire de la végétation

Complète

Strate de végétation dominante

- Arborée
- Arbustive
- Autre
- Eau libre
- Exondée
- Herbacée
- Herbier aquatique



RioTinto

Programme de gestion de l'érosion des plages et des berges du lac Saint-Jean 2028-2035

Étude d'impact sur l'environnement

Annexe A8-1
Évolution des strates de végétation entre l'état de référence et 2020 pour le petit marais de Saint-Gédéon et localisation des ouvertures de cours d'eau et des parcelles d'inventaire de la végétation visitées en 2024

Sources :
SDA, 1/20 0000, MRNF, 2024-08
BNDT, 1/250 000, RNCan, 2007
BDGA, 1/1 000 000, MERN, 2014
AQréseau+, réseau routier, MERN, 2024-03-01
Géobase du réseau hydrographique du Québec (GRHQ), MELCC et MERN, 2021

0 125 250 m
MTM, fuseau 7, NAD83

Nov 2025

Préparation : D. Gauthier
Dessin : M. Dupraz
Approbation : L. Bouchard
CA0023135_4873_EIE_RTA_Ann_veg_251203.aprx
CA0023135_4873_EIE_A8_1_116_veg_Gedeon_251203

GROUPE CONSEIL Nutshimit-Nippour

wsp

La précision des limites et les mesures montrées sur ce document ne doivent pas servir à des fins d'ingénierie ou de délimitation foncière. Aucune analyse foncière n'a été effectuée par un arpenteur-géomètre.

Ouverture de cours d'eau

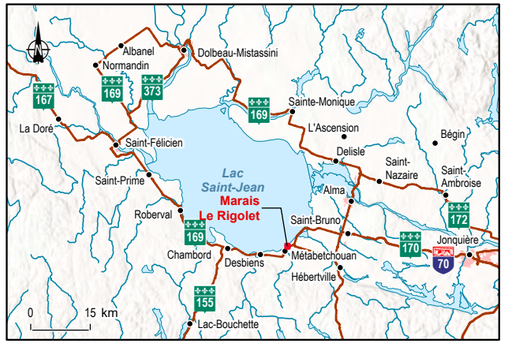
Végétation

Parcelle d'inventaire de la végétation

Complète

Strate de végétation dominante

- Arborée
- Arbustive
- Autre
- Eau libre
- Exondée
- Herbacée
- Herbier aquatique



RioTinto

Programme de gestion de l'érosion des plages et des berges du lac Saint-Jean 2028-2035

Étude d'impact sur l'environnement

Annexe A8-1
Évolution des strates de végétation entre l'état de référence et 2020 pour le marais Le Rigolet de Métabetchouan–Lac-à-la-Croix et localisation des ouvertures de cours d'eau et des parcelles d'inventaire de la végétation visitées en 2024

Sources :
SDA, 1/20 0000, MRNF, 2024-08
BNDT, 1/250 000, RNCan, 2007
BDGA, 1/1 000 000, MERN, 2014
AQréseau+, réseau routier, MERN, 2024-03-01
Géobase du réseau hydrographique du Québec (GRHQ), MELCC et MERN, 2021

0 75 150 m

MTM, fuseau 7, NAD83

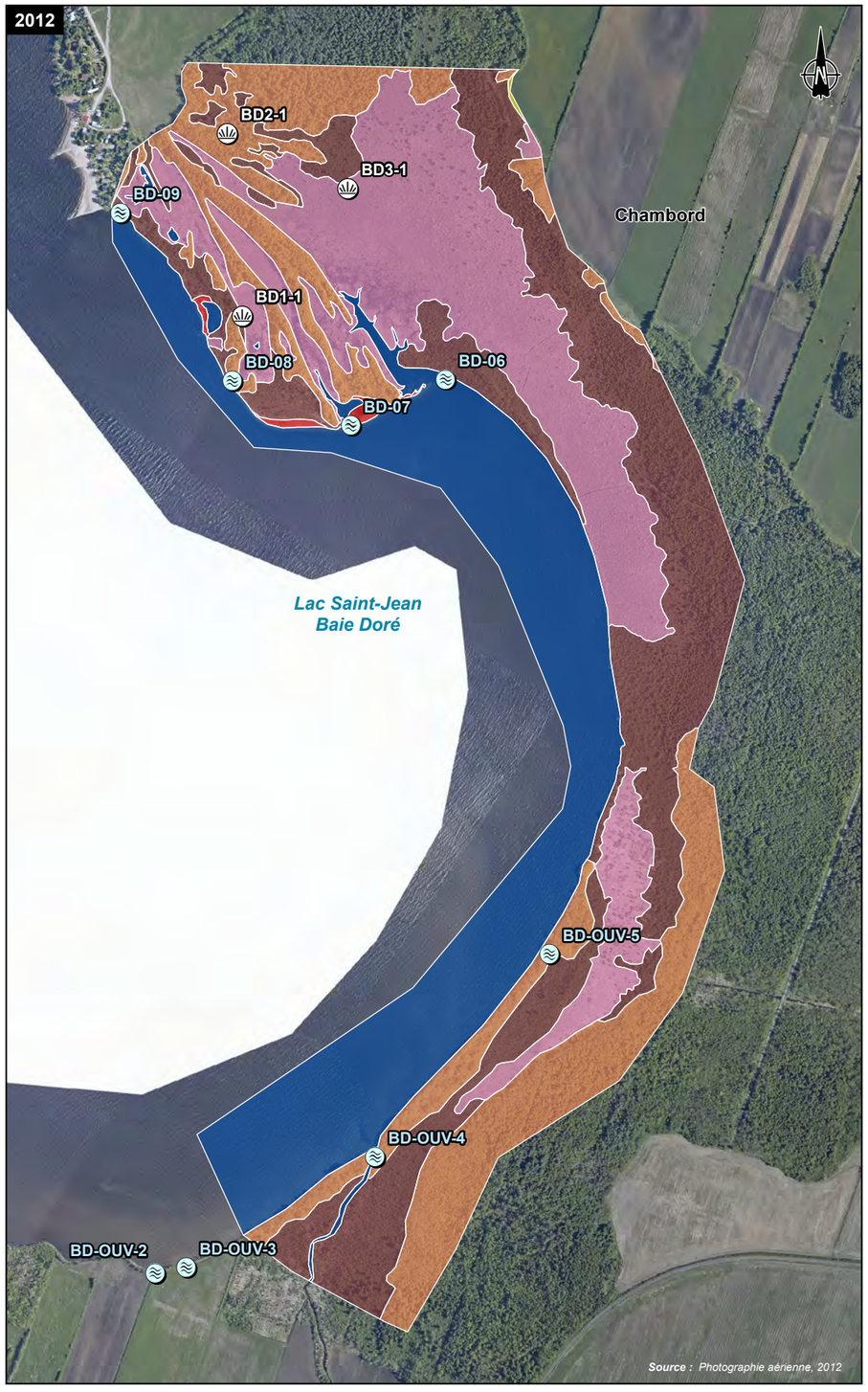
Nov 2025

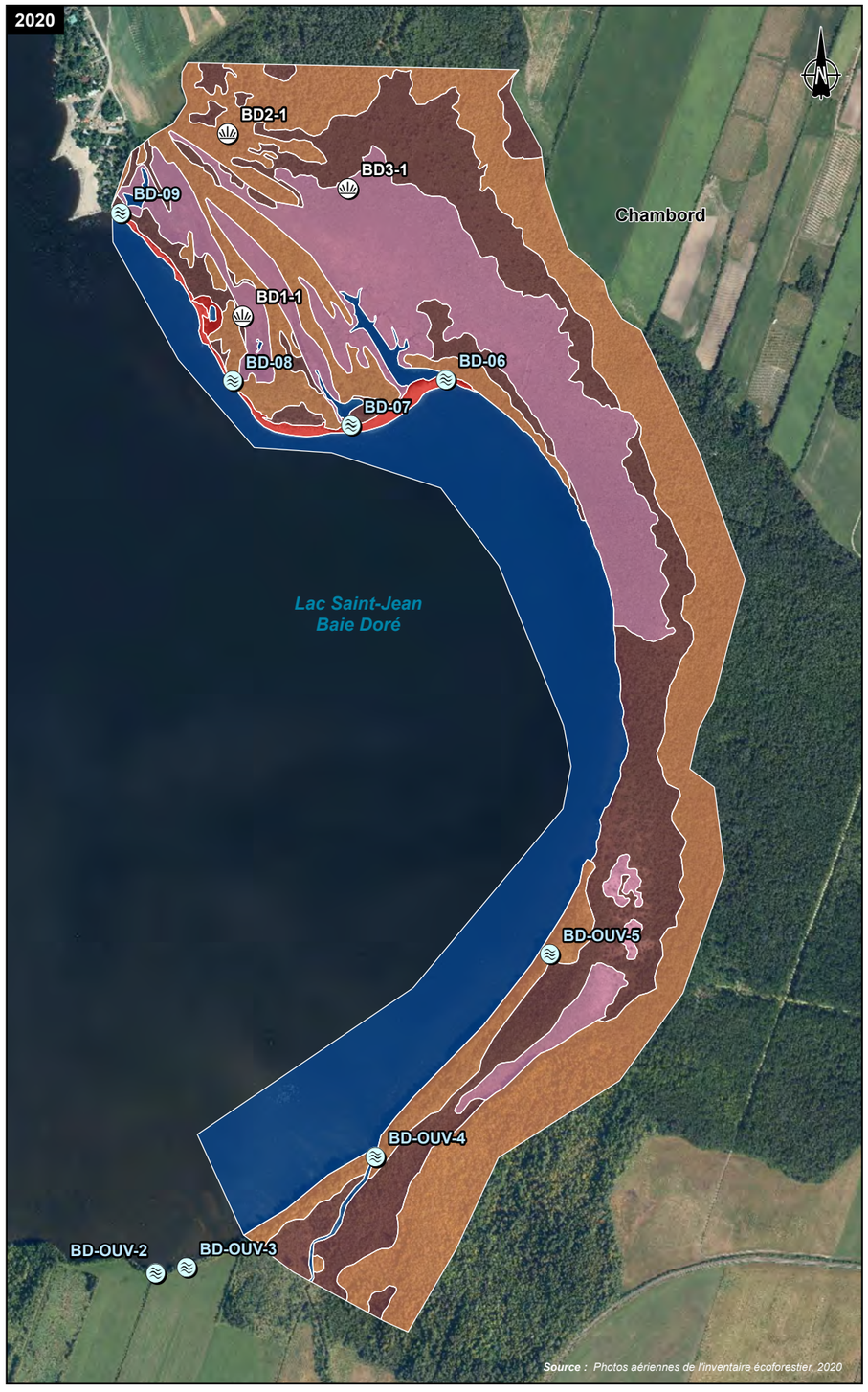
Préparation : D. Gauthier
Dessin : M. Dupraz
Approbation : L. Bouchard
CA0023135_4873_EIE_RTA_Ann_veg_251203.aprx
CA0023135_4873_EIE_A8_1_117_veg_Rigolet_251203

GROUPE CONSEIL Nutshimit-Nippour

wsp

La précision des limites et les mesures montrées sur ce document ne doivent pas servir à des fins d'ingénierie ou de délimitation foncière. Aucune analyse foncière n'a été effectuée par un arpenteur-géomètre.





Ouverture de cours d'eau

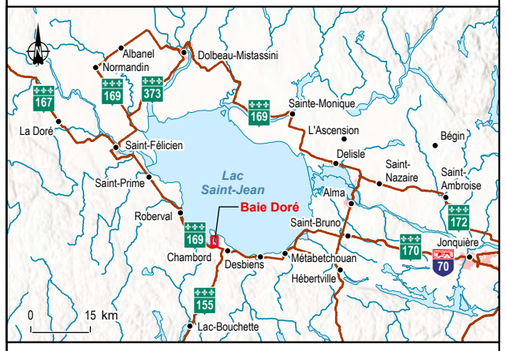
Végétation

Parcelle d'inventaire de la végétation

Complète

Strate de végétation dominante

- Arborée
- Arbustive
- Autre
- Eau libre
- Exondée
- Herbacée
- Herbier aquatique



RioTinto

Programme de gestion de l'érosion des plages et des berges du lac Saint-Jean 2028-2035

Étude d'impact sur l'environnement

Annexe A8-1
Évolution des strates de végétation entre l'état de référence et 2020 pour la baie Doré et localisation des ouvertures de cours d'eau et des parcelles d'inventaire de la végétation visitées en 2024

Sources :
SDA, 1/20 0000, MRNF, 2024-08
BNDT, 1/250 000, RNCan, 2007
BDGA, 1/1 000 000, MERN, 2014
AQréseau+, réseau routier, MERN, 2024-03-01
Géobase du réseau hydrographique du Québec (GRHQ), MELCC et MERN, 2021

0 100 200 m

MTM, fuseau 7, NAD83

Nov 2025

Préparation : D. Gauthier
Dessin : M. Dupraz
Approbation : L. Bouchard
CA0023135_4873_EIE_RTA_Ann_veg_251203.aprx
CA0023135_4873_EIE_A8_1_118_veg_Dore_251203

GROUPE CONSEIL Nutshimit-Nippour

wsp

La précision des limites et les mesures montrées sur ce document ne doivent pas servir à des fins d'ingénierie ou de délimitation foncière. Aucune analyse foncière n'a été effectuée par un arpenteur-géomètre.

Ouverture de cours d'eau

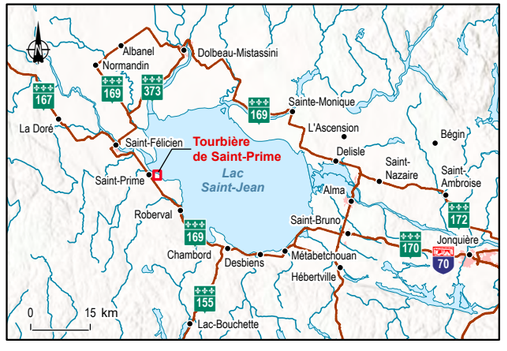
Végétation

Parcelle d'inventaire de la végétation

Complète

Strate de végétation dominante

- Arborée
- Arbustive
- Autre
- Eau libre
- Exondée
- Herbacée
- Herbier aquatique



RioTinto

Programme de gestion de l'érosion des plages et des berges du lac Saint-Jean 2028-2035

Étude d'impact sur l'environnement

Annexe A8-1
Évolution des strates de végétation entre l'état de référence et 2020 pour la tourbière de Saint-Prime et localisation des ouvertures de cours d'eau et des parcelles d'inventaire de la végétation visitées en 2024

Sources :
SDA, 1/20 0000, MRNF, 2024-08
BNDT, 1/250 000, RNCan, 2007
BDGA, 1/1 000 000, MERN, 2014
AQréseau+, réseau routier, MERN, 2024-03-01
Géobase du réseau hydrographique du Québec (GRHQ), MELCC et MERN, 2021

0 140 280 m

MTM, fuseau 7, NAD83

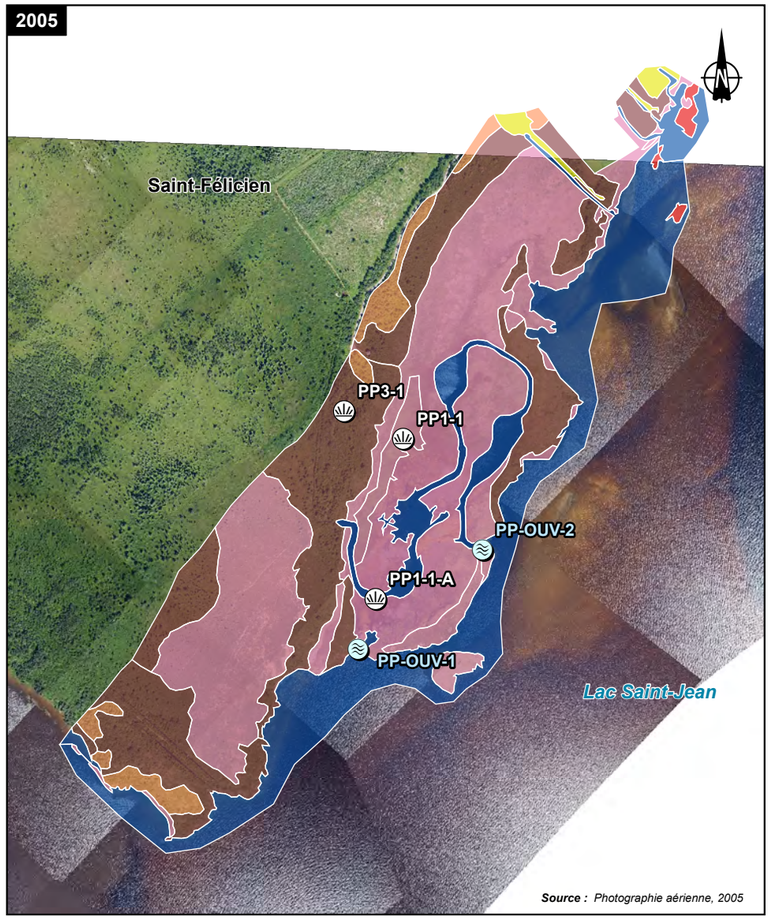
Nov 2025

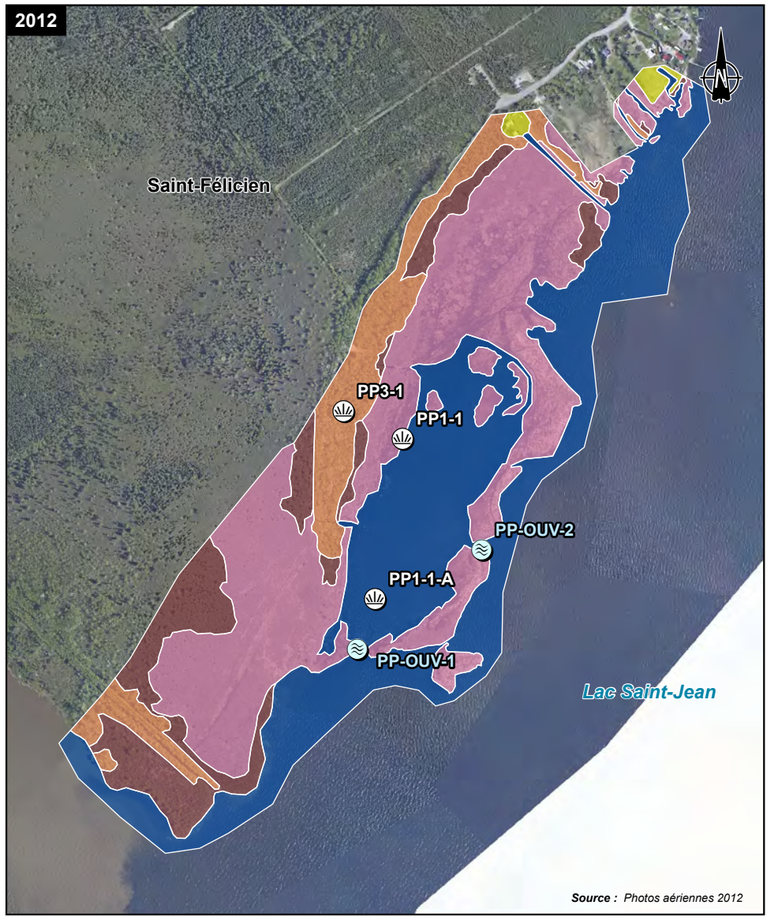
Préparation : D. Gauthier
Dessin : M. Dupraz
Approbation : L. Bouchard
CA0023135_4873_EIE_RTA_Ann_veg_251203.aprx
CA0023135_4873_EIE_A8_1_119_veg_StPrime_251203

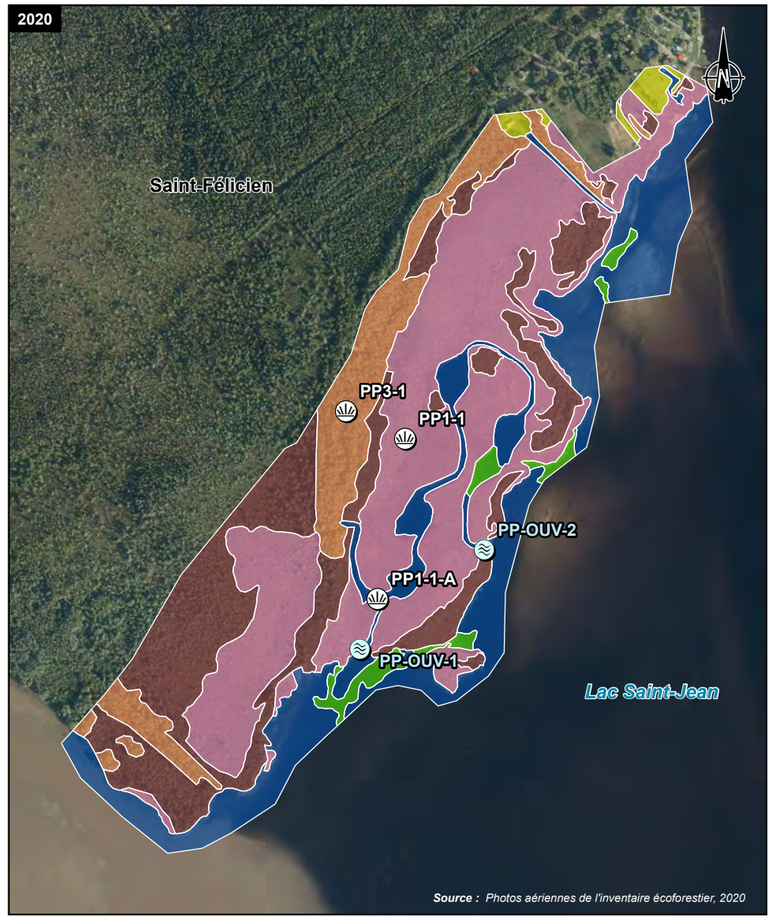
GROUPE CONSEIL Nutshimit-Nippour

wsp

La précision des limites et les mesures montrées sur ce document ne doivent pas servir à des fins d'ingénierie ou de délimitation foncière. Aucune analyse foncière n'a été effectuée par un arpenteur-géomètre.







Ouverture de cours d'eau

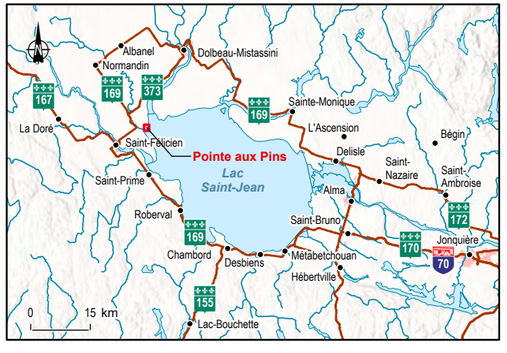
Végétation

Parcelle d'inventaire de la végétation

Complète

Strate de végétation dominante

- Arborée
- Arbustive
- Autre
- Eau libre
- Exondée
- Herbacée
- Herbier aquatique



RioTinto

Programme de gestion de l'érosion des plages et des berges du lac Saint-Jean 2028-2035

Étude d'impact sur l'environnement

Annexe A8-1
Évolution des strates de végétation entre l'état de référence et 2020 pour la pointe aux Pins et localisation des ouvertures de cours d'eau et des parcelles d'inventaire de la végétation visitées en 2024

Sources :
SDA, 1/20 0000, MRNF, 2024-08
BNDT, 1/250 000, RNCan, 2007
BDGA, 1/1 000 000, MERN, 2014
AQréseau+, réseau routier, MERN, 2024-03-01
Géobase du réseau hydrographique du Québec (GRHQ), MELCC et MERN, 2021

0 100 200 m

MTM, fuseau 7, NAD83

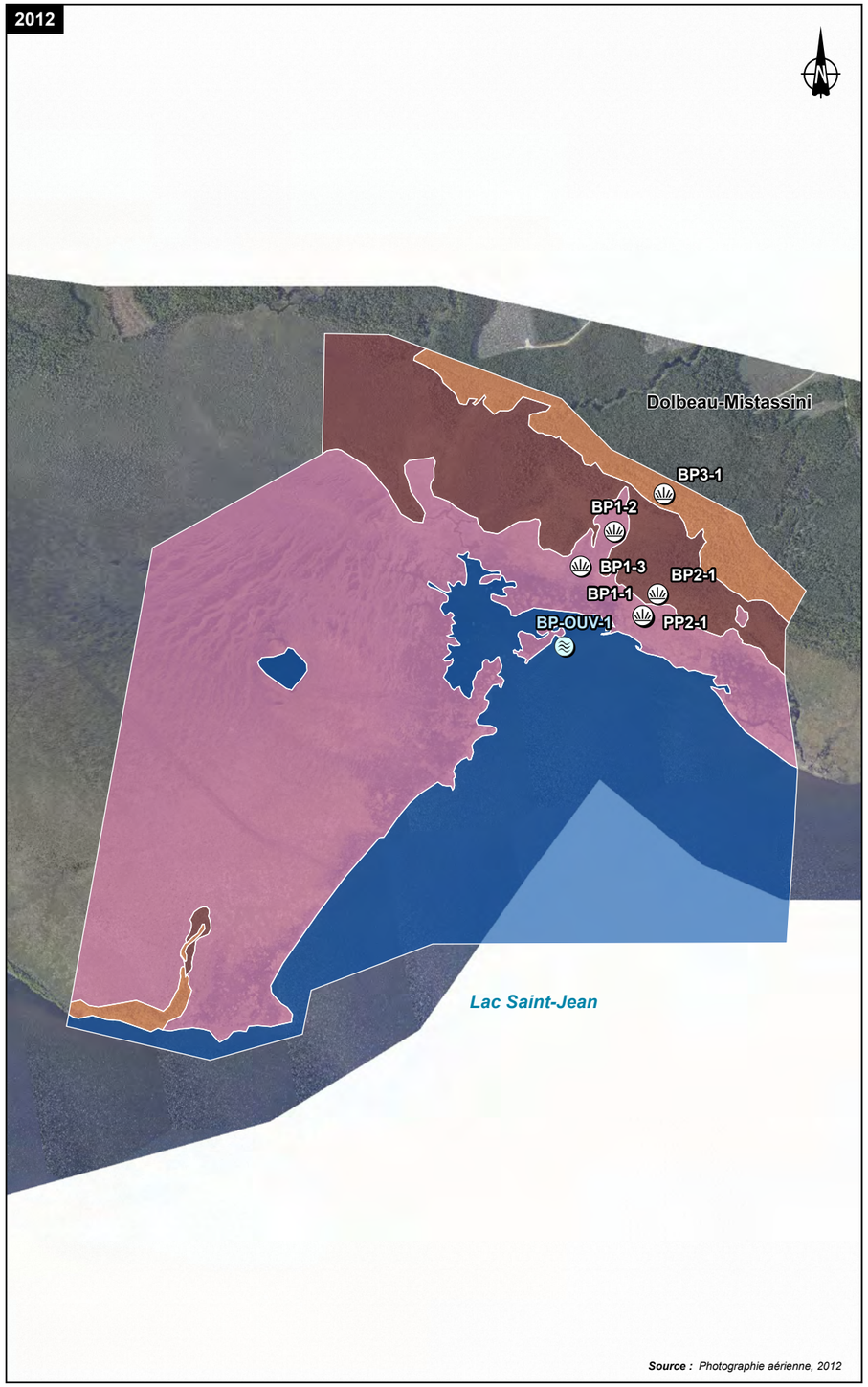
Nov 2025

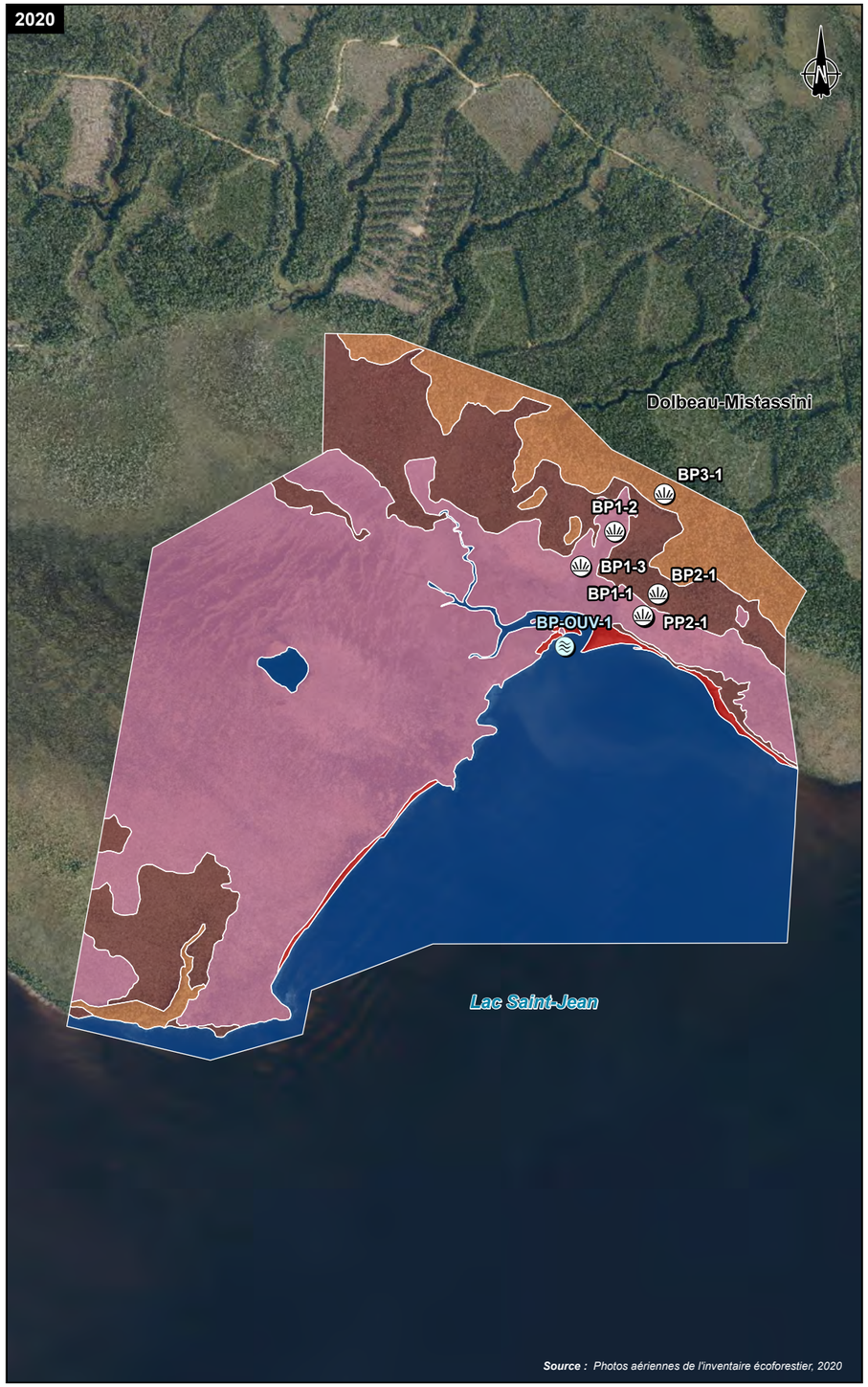
Préparation : D. Gauthier
Dessin : M. Dupraz
Approbation : L. Bouchard
CA0023135_4873_EIE_RTA_Ann_veg_251203.aprx
CA0023135_4873_EIE_A8_1_120_veg_PtePins_251203

Groupe conseil Nutshimit-Nippour

wsp

La précision des limites et les mesures montrées sur ce document ne doivent pas servir à des fins d'ingénierie ou de délimitation foncière. Aucune analyse foncière n'a été effectuée par un arpenteur-géomètre.





Ouverture de cours d'eau

Végétation

Parcelle d'inventaire de la végétation

Complète

Strate de végétation dominante

- Arborée
- Arbustive
- Autre
- Eau libre
- Exondée
- Herbacée
- Herbier aquatique

RioTinto

Programme de gestion de l'érosion des plages et des berges du lac Saint-Jean 2028-2035

Étude d'impact sur l'environnement

Annexe A8-1
Évolution des strates de végétation entre l'état de référence et 2020 pour la baie de Ptarmigan et localisation des ouvertures de cours d'eau et des parcelles d'inventaire de la végétation visitées en 2024

Sources :
SDA, 1/20 0000, MRNF, 2024-08
BNDT, 1/250 000, RNCan, 2007
BDGA, 1/1 000 000, MERN, 2014
AQréseau+, réseau routier, MERN, 2024-03-01
Géobase du réseau hydrographique du Québec (GRHQ), MELCC et MERN, 2021

0 170 340 m
MTM, fuseau 7, NAD83

Nov 2025

Préparation : D. Gauthier
Dessin : M. Dupraz
Approbation : L. Bouchard
CA0023135_4873_EIE_RTA_Ann_veg_251203.aprx
CA0023135_4873_EIE_A8_1_121_veg_Ptarmigan_251203

Groupe conseil Nutshimit-Nippour

wsp

La précision des limites et les mesures montrées sur ce document ne doivent pas servir à des fins d'ingénierie ou de délimitation foncière. Aucune analyse foncière n'a été effectuée par un arpenteur-géomètre.

Métabetchouan–
Lac-à-la-Croix

Source : *Photographie aérienne, 2005*

Métabetchouan–
Lac-à-la-Croix

Source : *Photos aériennes 2012*

Métabetchouan–
Lac-à-la-Croix

Source : *Photos aériennes de l'inventaire écoforestier, 2020*

Ouverture de cours d'eau

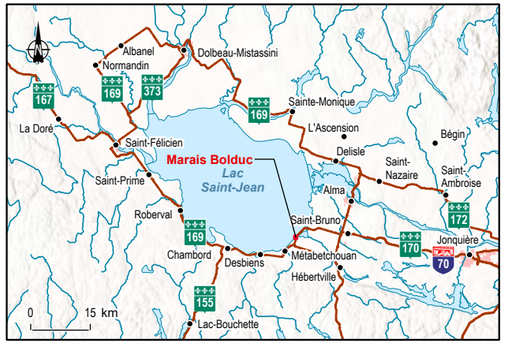
Végétation

Parcelle d'inventaire de la végétation

Complète

Strate de végétation dominante

- Arborée
- Arbustive
- Autre
- Eau libre
- Exondée
- Herbacée
- Herbier aquatique



RioTinto

Programme de gestion de l'érosion des plages et des berges du lac Saint-Jean 2028-2035

Étude d'impact sur l'environnement

Annexe A8-1
Évolution des strates de végétation entre l'état de référence et 2020 pour le marais Bolduc et localisation des ouvertures de cours d'eau et des parcelles d'inventaire de la végétation visitées en 2024

Sources :
SDA, 1/20 0000, MRNF, 2024-08
BNDT, 1/250 000, RNCan, 2007
BDGA, 1/1 000 000, MERN, 2014
AQréseau+, réseau routier, MERN, 2024-03-01
Géobase du réseau hydrographique du Québec (GRHQ), MELCC et MERN, 2021

0 50 100 m

MTM, fuseau 7, NAD83

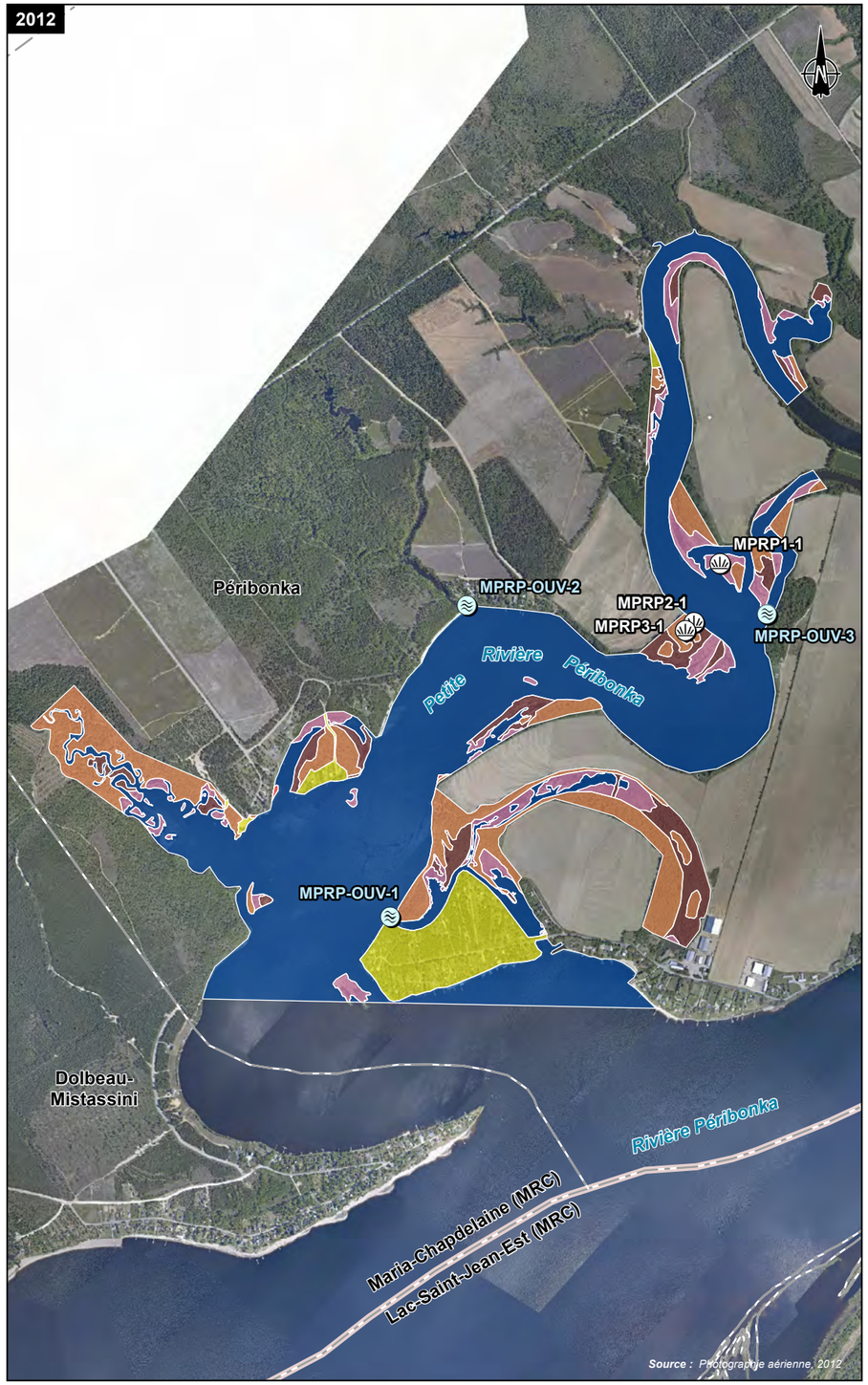
Nov 2025

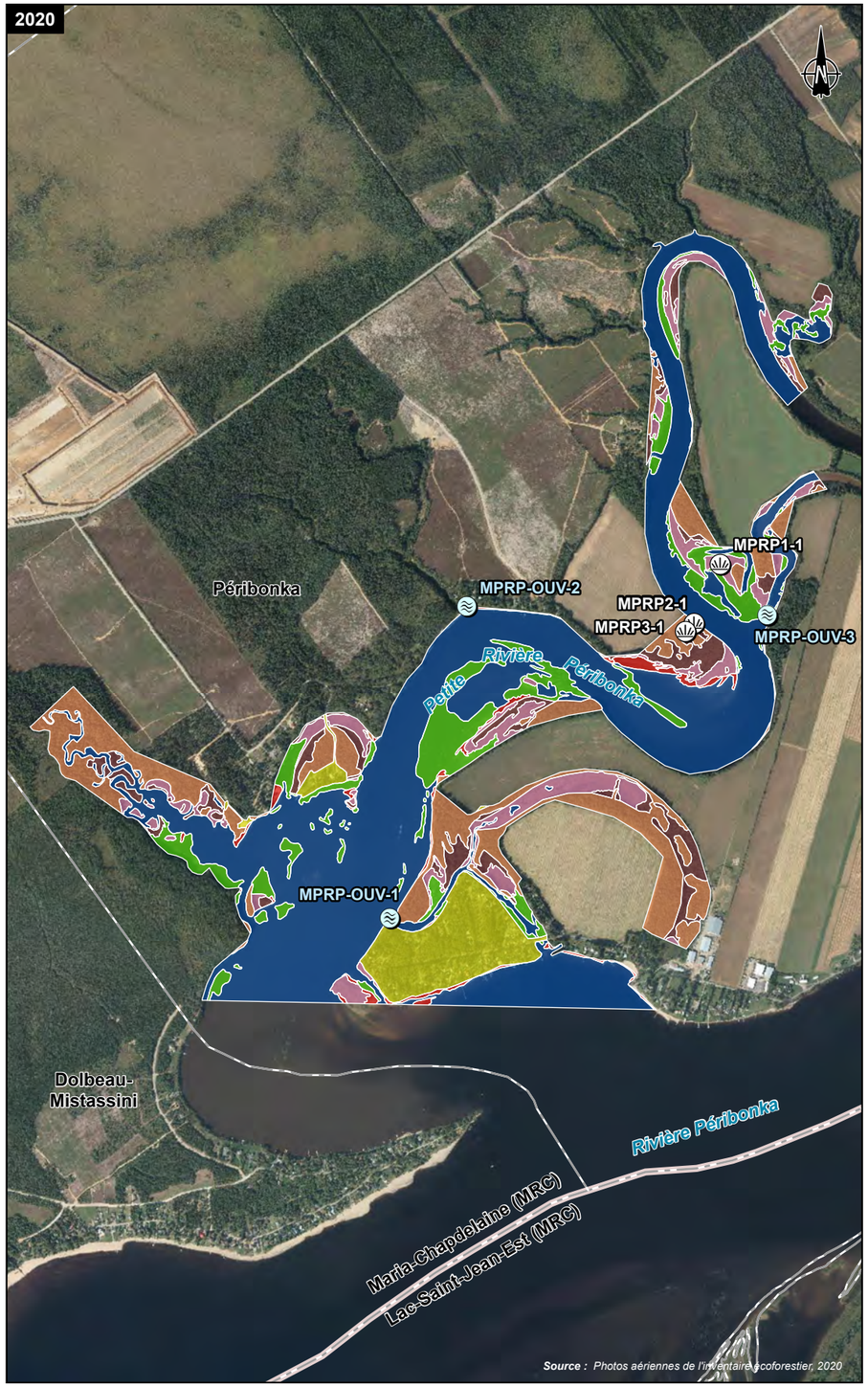
Préparation : D. Gauthier
Dessin : M. Dupraz
Approbation : L. Bouchard
CA0023135_4873_EIE_RTA_Ann_veg_251203.aprx
CA0023135_4873_EIE_A8_1_122_veg_Bolduc_251203

GROUPE CONSEIL Nutshimit-Nippour

wsp

La précision des limites et les mesures montrées sur ce document ne doivent pas servir à des fins d'ingénierie ou de délimitation foncière. Aucune analyse foncière n'a été effectuée par un arpenteur-géomètre.





Municipalité régionale de comté (MRC)

Municipalité

Ouverture de cours d'eau

Végétation

Parcelle d'inventaire de la végétation

Complète

Strate de végétation dominante

- Arborée
- Arbustive
- Autre
- Eau libre
- Exondée
- Herbacée
- Herbier aquatique

RioTinto

Programme de gestion de l'érosion des plages et des berges du lac Saint-Jean 2028-2035

Étude d'impact sur l'environnement

Annexe A8-1
Évolution des strates de végétation entre l'état de référence et 2020 pour le marais de la petite rivière Péribonka et localisation des ouvertures de cours d'eau et des parcelles d'inventaire de la végétation visitées en 2024

Sources :
SDA, 1/20 0000, MRNF, 2024-08
BNDT, 1/250 000, RNCan, 2007
BDGA, 1/1 000 000, MERN, 2014
AQréseau+, réseau routier, MERN, 2024-03-01
Géobase du réseau hydrographique du Québec (GRHQ), MELCC et MERN, 2021

0 225 450 m

MTM, fuseau 7, NAD83

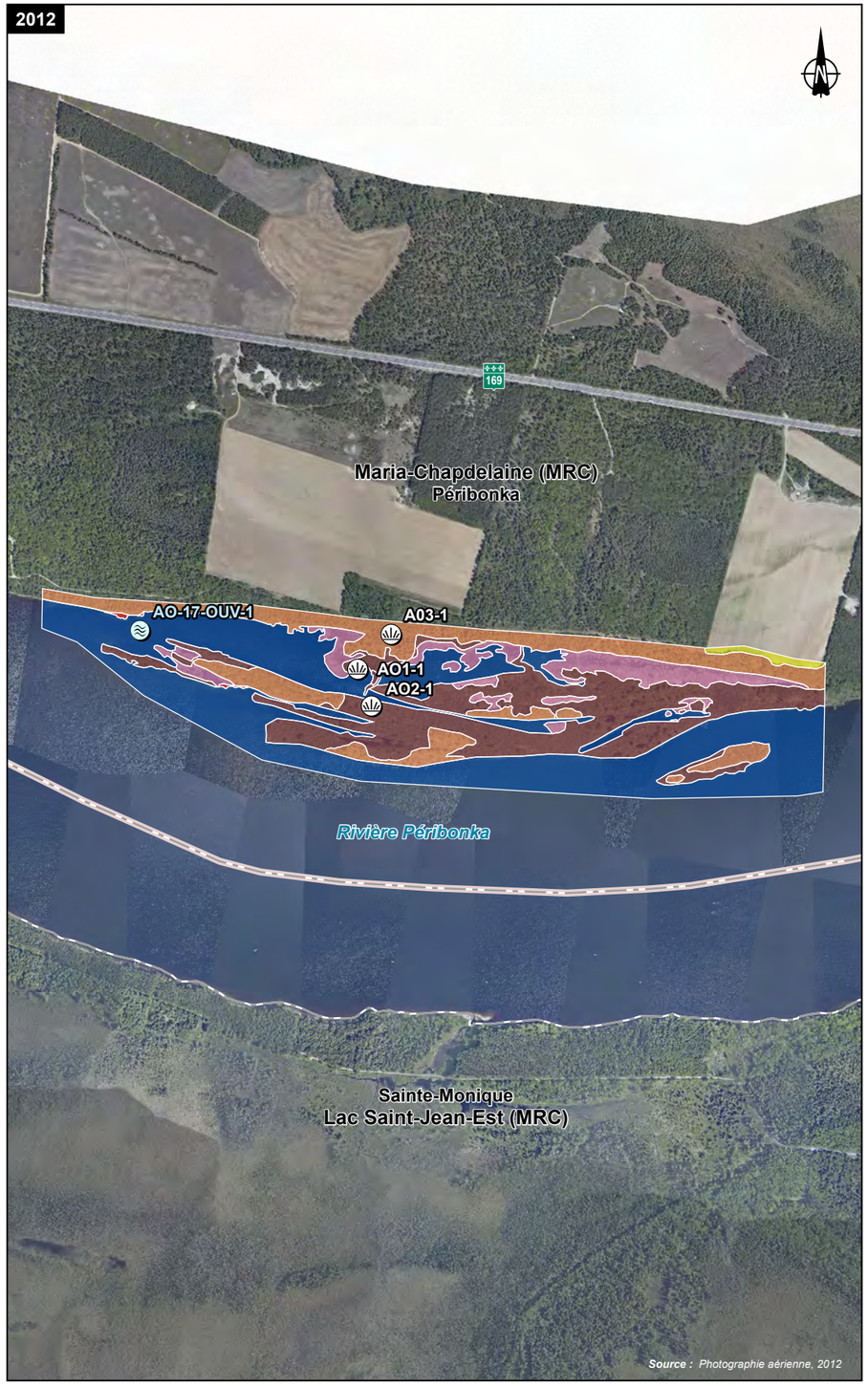
Nov 2025

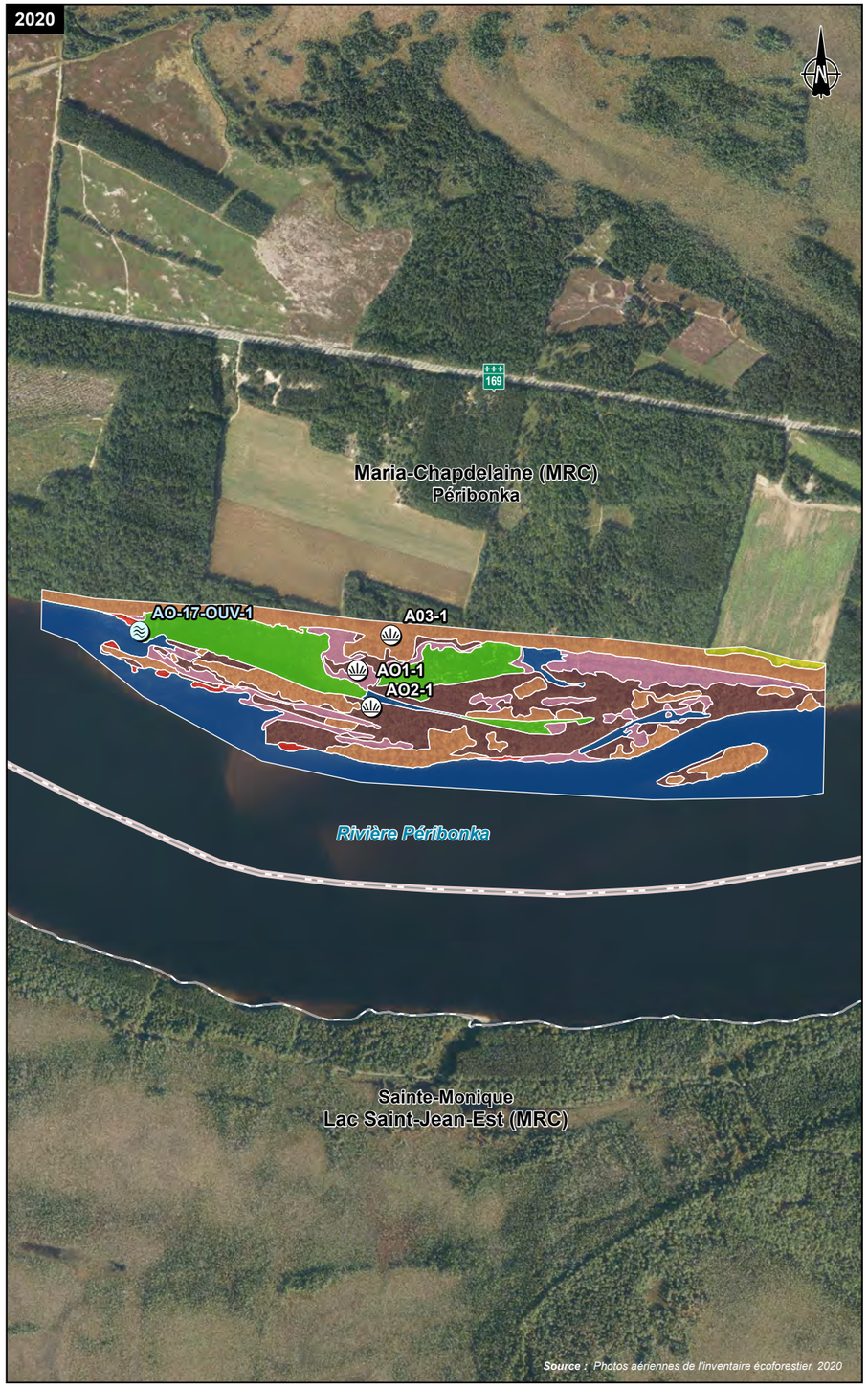
Préparation : D. Gauthier
Dessin : M. Dupraz
Approbation : L. Bouchard
CA0023135_4873_EIE_RTA_Ann_veg_251203.aprx
CA0023135_4873_EIE_A8_1_123_veg_Perib_251203

GROUPE CONSEIL Nutshimit-Nippour

wsp

La précision des limites et les mesures montrées sur ce document ne doivent pas servir à des fins d'ingénierie ou de délimitation foncière. Aucune analyse foncière n'a été effectuée par un arpenteur-géomètre.





Municipalité régionale de comté (MRC)

Municipalité

Ouverture de cours d'eau

Végétation

Parcelle d'inventaire de la végétation

Complète

Strate de végétation dominante

Arborée

Arbustive

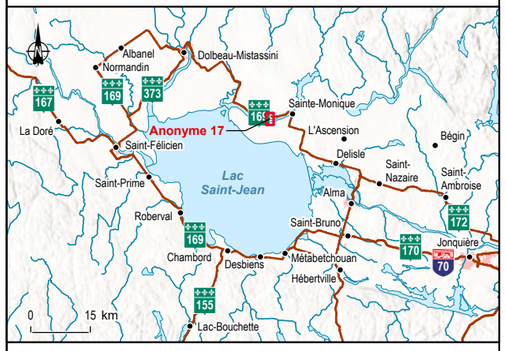
Autre

Eau libre

Exondée

Herbacée

Herbier aquatique



RioTinto

Programme de gestion de l'érosion des plages et des berges du lac Saint-Jean 2028-2035

Étude d'impact sur l'environnement

Annexe A8-1
Évolution des strates de végétation entre l'état de référence et 2020 pour le délaissé Anonyme 17 et localisation des ouvertures de cours d'eau et des parcelles d'inventaire de la végétation visitées en 2024

Sources :
SDA, 1/20 0000, MRNF, 2024-08
BNDT, 1/250 000, RNCan, 2007
BDGA, 1/1 000 000, MERN, 2014
AQréseau+, réseau routier, MERN, 2024-03-01
Géobase du réseau hydrographique du Québec (GRHQ), MELCC et MERN, 2021

0 125 250 m

MTM, fuseau 7, NAD83

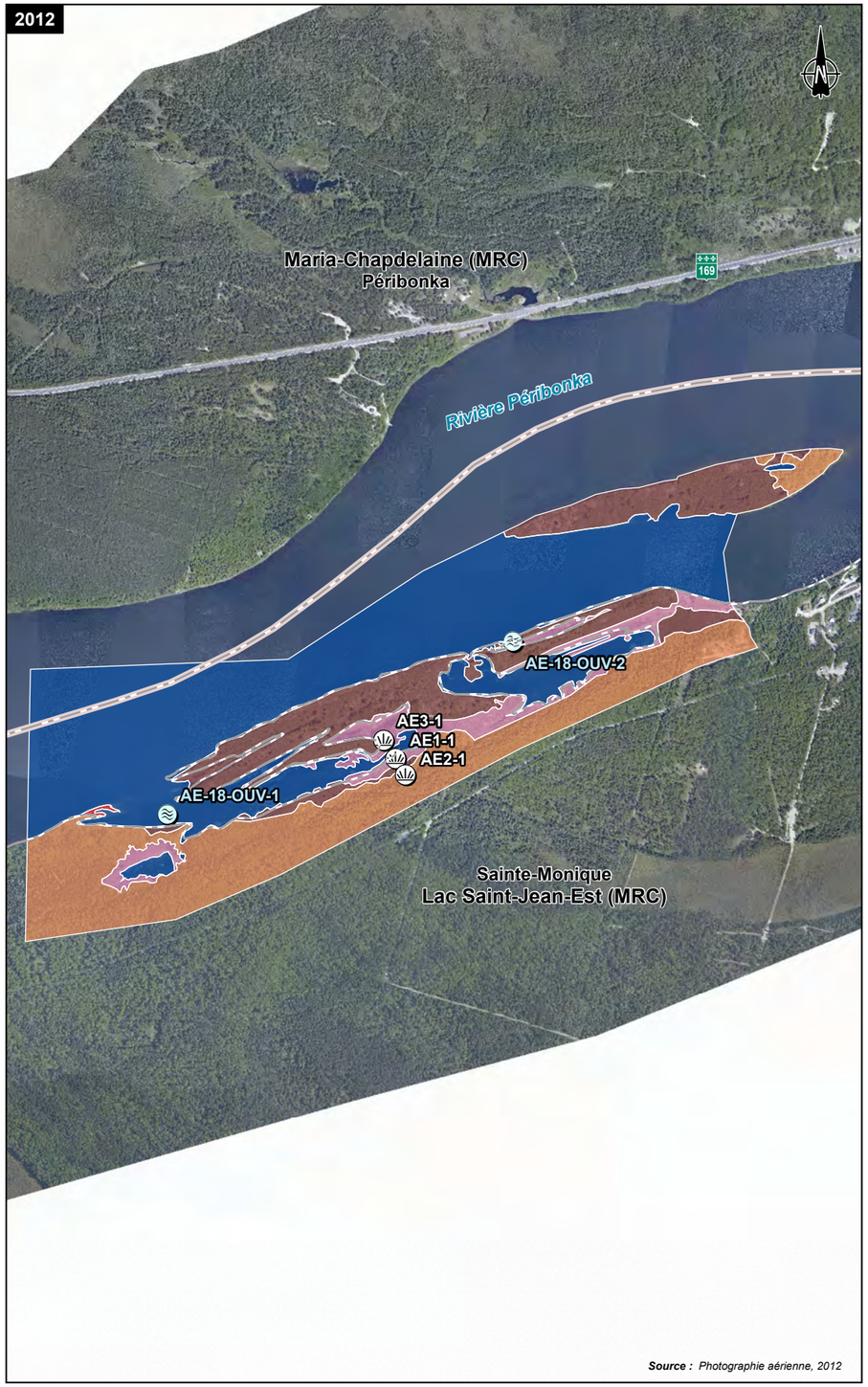
Nov 2025

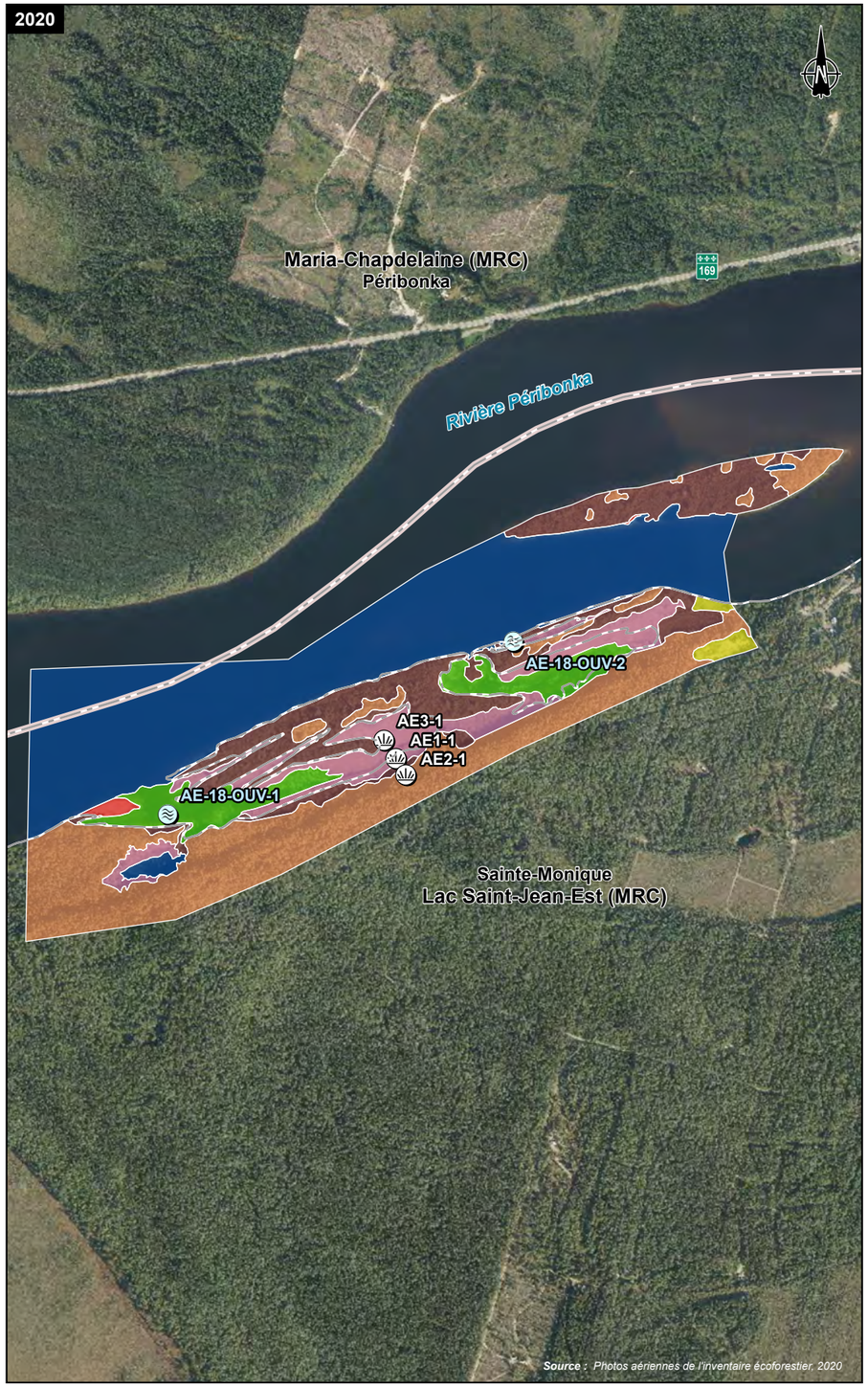
Préparation : D. Gauthier
Dessin : M. Dupraz
Approbation : L. Bouchard
CA0023135_4873_EIE_RTA_Ann_veg_251203.aprx
CA0023135_4873_EIE_A8_1_124_veg_Ano17_251203

GROUPE CONSEIL Nutshimit-Nippour

wsp

La précision des limites et les mesures montrées sur ce document ne doivent pas servir à des fins d'ingénierie ou de délimitation foncière. Aucune analyse foncière n'a été effectuée par un arpenteur-géomètre.





Municipalité régionale de comté (MRC)

Municipalité

Ouverture de cours d'eau

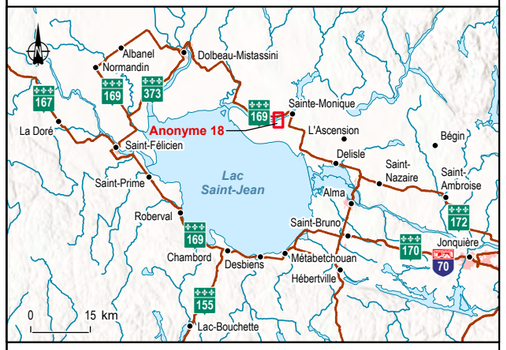
Végétation

Parcelle d'inventaire de la végétation

Complète

Strate de végétation dominante

- Arborée
- Arbustive
- Autre
- Eau libre
- Exondée
- Herbacée
- Herbier aquatique



RioTinto

Programme de gestion de l'érosion des plages et des berges du lac Saint-Jean 2028-2035

Étude d'impact sur l'environnement

Annexe A8-1
Évolution des strates de végétation entre l'état de référence et 2020 pour le délaissé Anonyme 18 et localisation des ouvertures de cours d'eau et des parcelles d'inventaire de la végétation visitées en 2024

Sources :
SDA, 1/20 0000, MRNF, 2024-08
BNDT, 1/250 000, RNCan, 2007
BDGA, 1/1 000 000, MERN, 2014
AQréseau+, réseau routier, MERN, 2024-03-01
Géobase du réseau hydrographique du Québec (GRHQ), MELCC et MERN, 2021

0 150 300 m

MTM, fuseau 7, NAD83

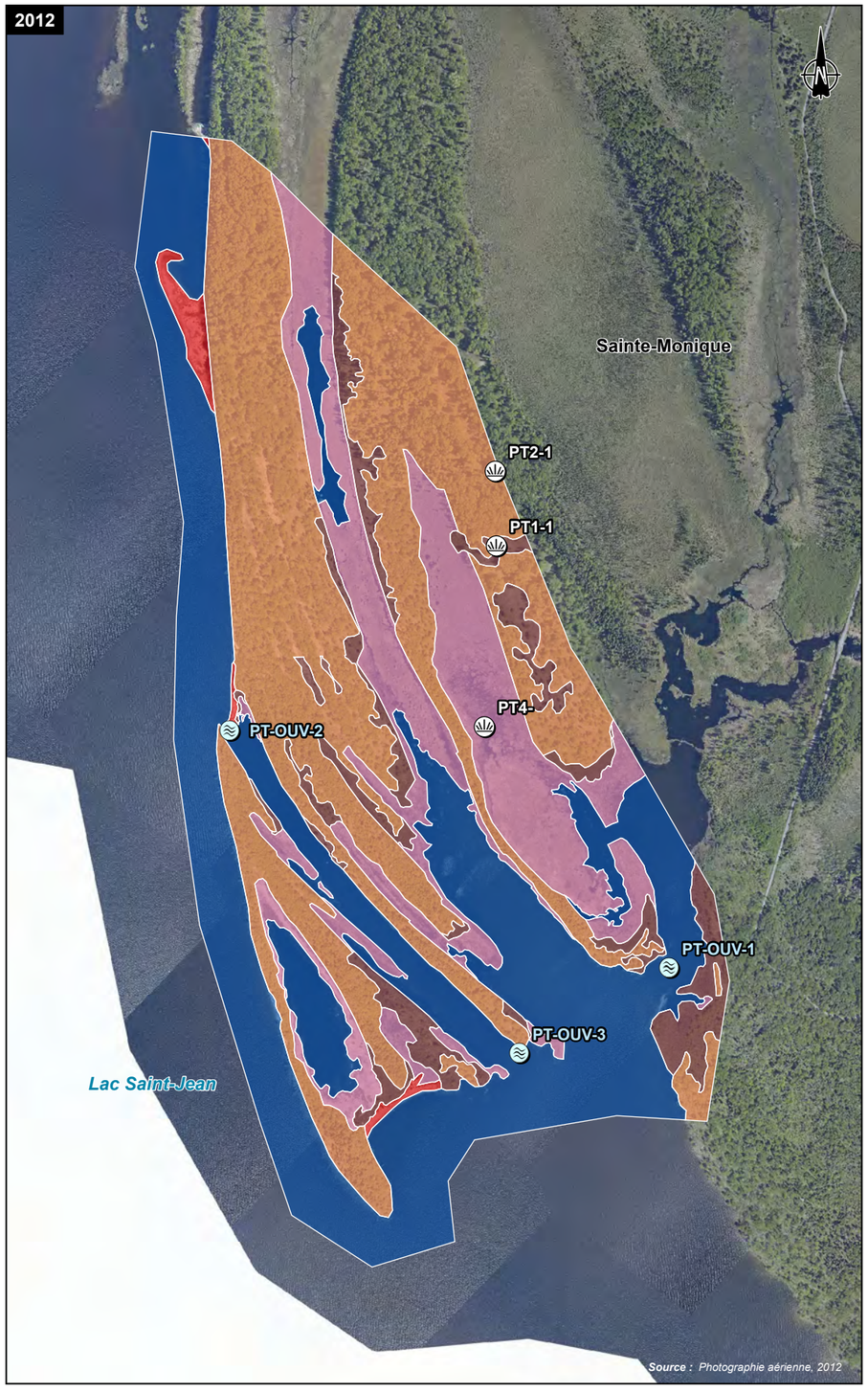
Nov 2025

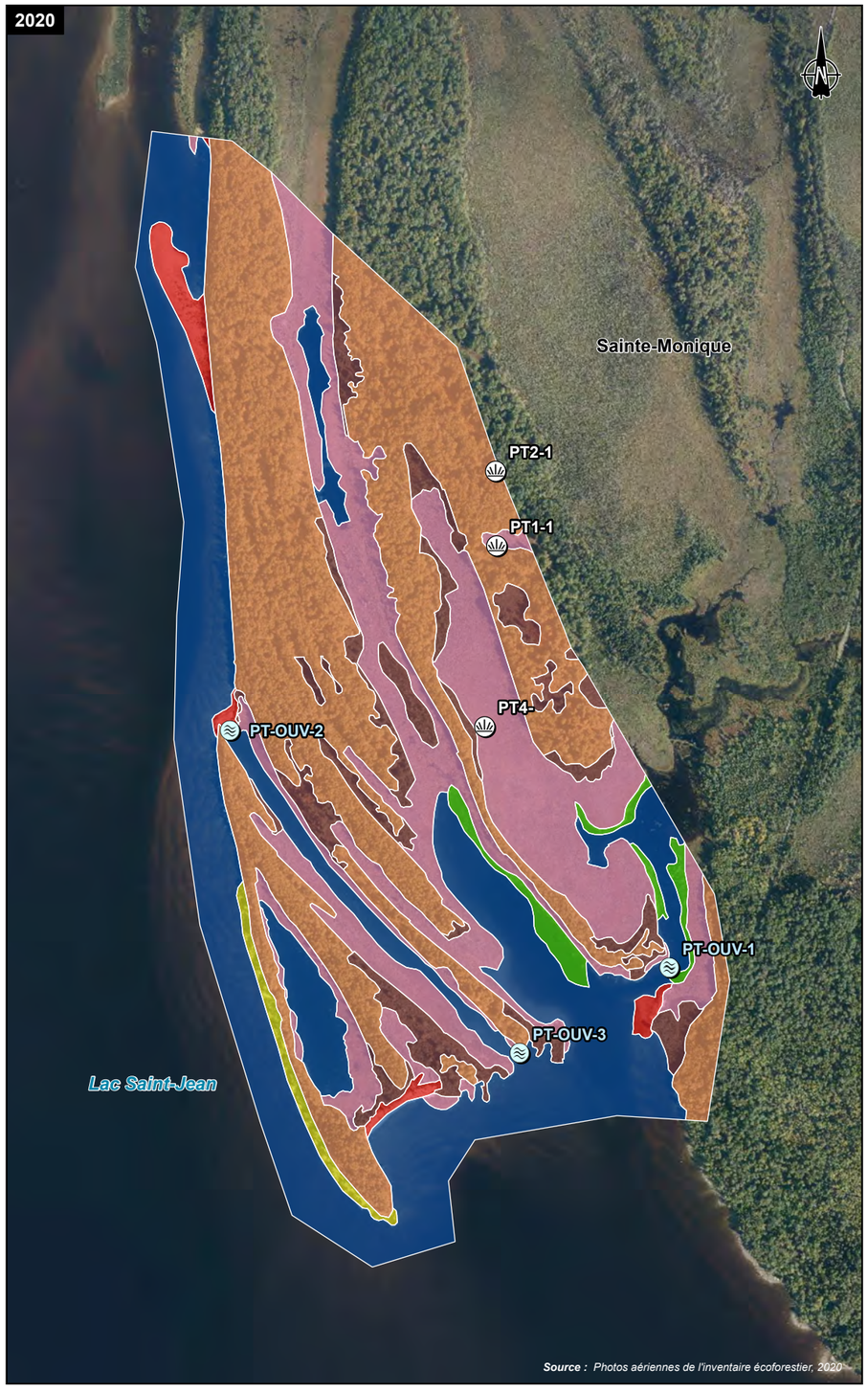
Préparation : D. Gauthier
Dessin : M. Dupraz
Approbation : L. Bouchard
CA0023135_4873_EIE_RTA_Ann_veg_251203.aprx
CA0023135_4873_EIE_A8_1_125_veg_Ano18_251203

GROUPE CONSEIL Nutshimit-Nippour

wsp

La précision des limites et les mesures montrées sur ce document ne doivent pas servir à des fins d'ingénierie ou de délimitation foncière. Aucune analyse foncière n'a été effectuée par un arpenteur-géomètre.





Ouverture de cours d'eau

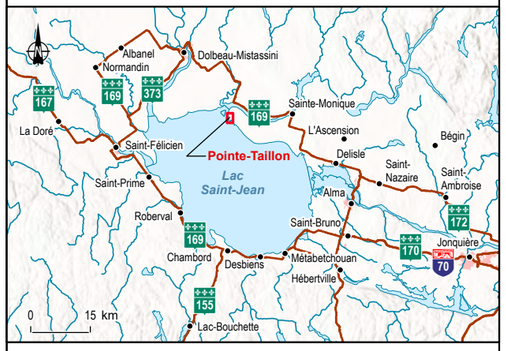
Végétation

Parcelle d'inventaire de la végétation

Complète

Strate de végétation dominante

- Arborée
- Arbustive
- Autre
- Eau libre
- Exondée
- Herbacée
- Herbier aquatique



RioTinto

Programme de gestion de l'érosion des plages et des berges du lac Saint-Jean 2028-2035

Étude d'impact sur l'environnement

Annexe A8-1
Évolution des strates de végétation entre l'état de référence et 2020 pour le marais de la Pointe-Taillon et localisation des ouvertures de cours d'eau et des parcelles d'inventaire de la végétation visitées en 2024

Sources :
SDA, 1/20 0000, MRNF, 2024-08
BNDT, 1/250 000, RNCan, 2007
BDGA, 1/1 000 000, MERN, 2014
AQréseau+, réseau routier, MERN, 2024-03-01
Géobase du réseau hydrographique du Québec (GRHQ), MELCC et MERN, 2021

0 100 200 m

MTM, fuseau 7, NAD83

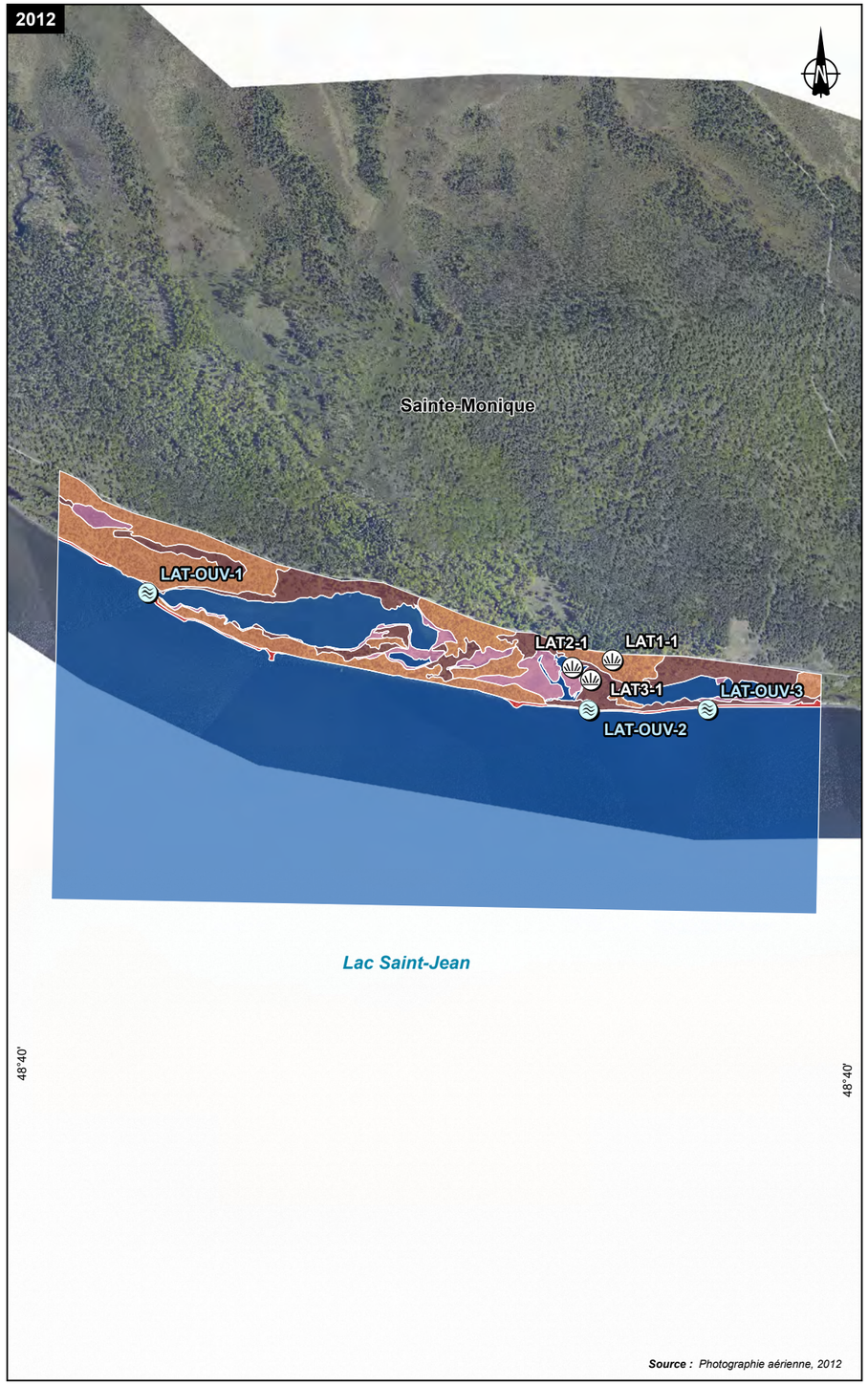
Nov 2025

Préparation : D. Gauthier
Dessin : M. Dupraz
Approbation : L. Bouchard
CA0023135_4873_EIE_RTA_Ann_veg_251203.aprx
CA0023135_4873_EIE_A8_1_126_veg_Taillon_251203

GROUPE CONSEIL Nutshimit-Nippour

wsp

La précision des limites et les mesures montrées sur ce document ne doivent pas servir à des fins d'ingénierie ou de délimitation foncière. Aucune analyse foncière n'a été effectuée par un arpenteur-géomètre.



Ouverture de cours d'eau

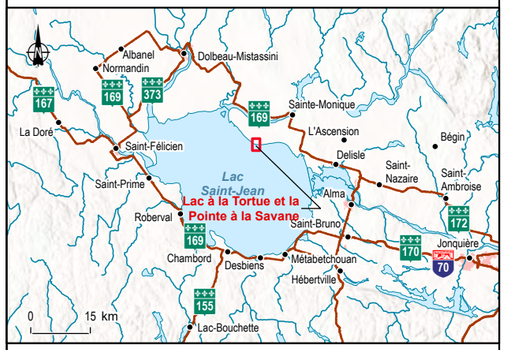
Végétation

Parcelle d'inventaire de la végétation

Complète

Strate de végétation dominante

- Arborée
- Arbustive
- Autre
- Eau libre
- Exondée
- Herbacée
- Herbier aquatique



RioTinto

Programme de gestion de l'érosion des plages et des berges du lac Saint-Jean 2028-2035

Étude d'impact sur l'environnement

Annexe A8-1
Évolution des strates de végétation entre l'état de référence et 2020 pour le lac à la Tortue et la Pointe à la Savane et localisation des ouvertures de cours d'eau et des parcelles d'inventaire de la végétation visitées en 2024

Sources :
SDA, 1/20 0000, MRNF, 2024-08
BNDT, 1/250 000, RNCan, 2007
BDGA, 1/1 000 000, MERN, 2014
AQréseau+, réseau routier, MERN, 2024-03-01
Géobase du réseau hydrographique du Québec (GRHQ), MELCC et MERN, 2021

0 125 250 m
MTM, fuseau 7, NAD83

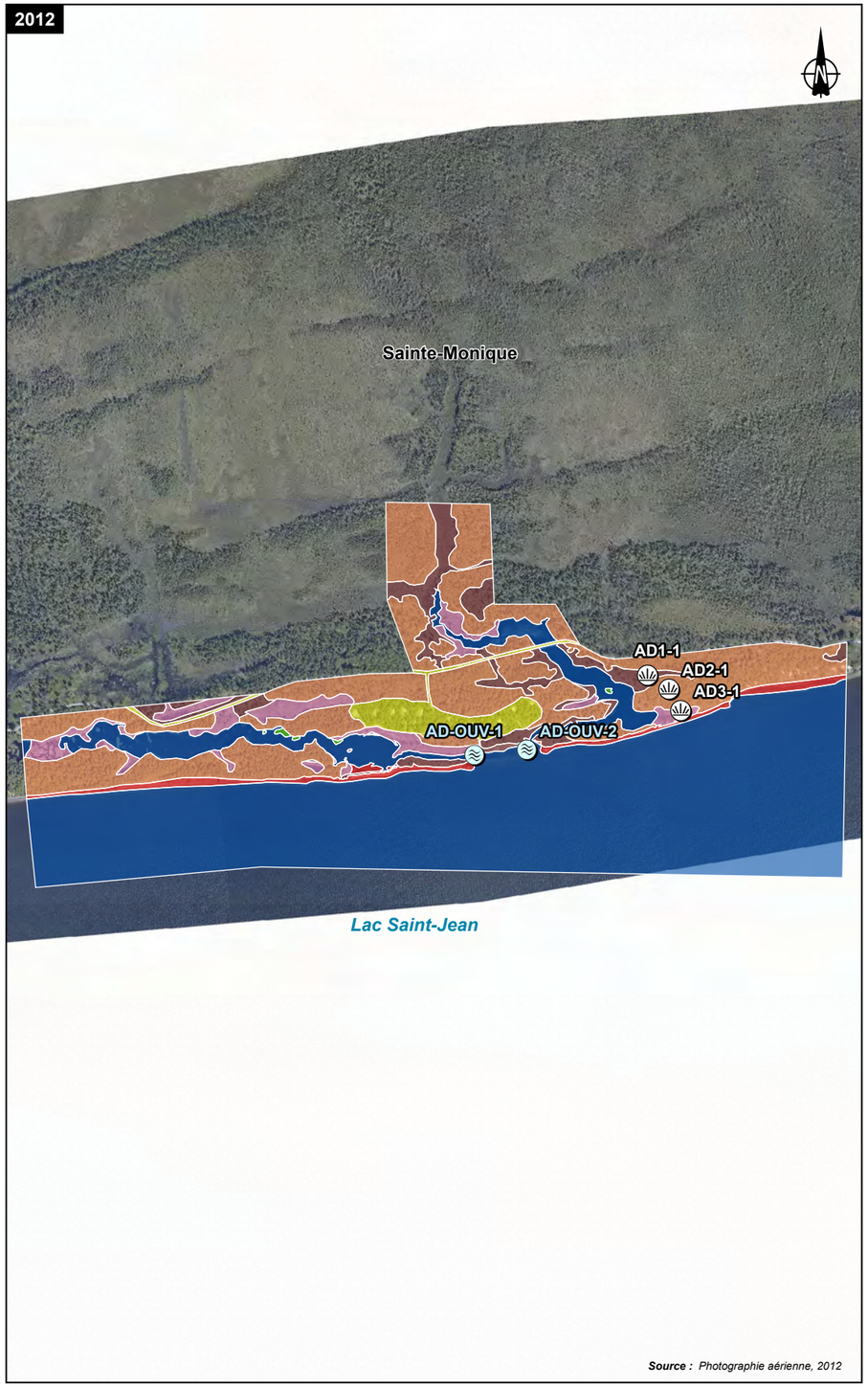
Nov 2025

Préparation : D. Gauthier
Dessin : M. Dupraz
Approbation : L. Bouchard
CA0023135_4873_EIE_RTA_Ann_veg_251203.aprx
CA0023135_4873_EIE_A8_1_127_veg_Tortue_251203

Groupe conseil Nutshimit-Nipour

wsp

La précision des limites et les mesures montrées sur ce document ne doivent pas servir à des fins d'ingénierie ou de délimitation foncière. Aucune analyse foncière n'a été effectuée par un arpenteur-géomètre.



Source : *Photographie aérienne, 2012*

Source : *Photos aériennes de l'inventaire écoforestier, 2020*

Ouverture de cours d'eau

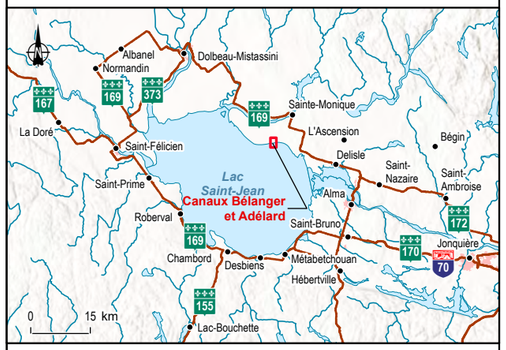
Végétation

Parcelle d'inventaire de la végétation

Complète

Strate de végétation dominante

- Arborée
- Arbustive
- Autre
- Eau libre
- Exondée
- Herbacée
- Herbier aquatique



RioTinto

Programme de gestion de l'érosion des plages et des berges du lac Saint-Jean 2028-2035

Étude d'impact sur l'environnement

Annexe A8-1
Évolution des strates de végétation entre l'état de référence et 2020 pour le canal Bélanger et le canal Adélard et localisation des ouvertures de cours d'eau et des parcelles d'inventaire de la végétation visitées en 2024

Sources :
SDA, 1/20 0000, MRNF, 2024-08
BNDT, 1/250 000, RNCan, 2007
BDGA, 1/1 000 000, MERN, 2014
AQréseau+, réseau routier, MERN, 2024-03-01
Géobase du réseau hydrographique du Québec (GRHQ), MELCC et MERN, 2021

0 100 200 m

MTM, fuseau 7, NAD83

Nov 2025

Préparation : D. Gauthier
Dessin : M. Dupraz
Approbation : L. Bouchard
CA0023135_4873_EIE_RTA_Ann_veg_251203.aprx
CA0023135_4873_EIE_A8_1_128_veg_Belan_251203

GROUPE CONSEIL Nutshimit-Nippour

wsp

La précision des limites et les mesures montrées sur ce document ne doivent pas servir à des fins d'ingénierie ou de délimitation foncière. Aucune analyse foncière n'a été effectuée par un arpenteur-géomètre.

ANNEXE

A8-2 *Faune aviaire : compilation de diverses sources de données et de la revue de littérature*

Tableau A8-2-1 Liste d'espèces aviaires présentes dans la zone d'étude restreinte

Famille	Espèce[1]	Nom scientifique	WSP, 2015a[2]	AONQ, 2024[3]	eBird, 2024[4]	GBIF, 2024[5]	WSP, 2015-2023[6]
Accipitridés	**Aigle royal**	***Aquila chrysaetos***	X		X		
	Autour d'Amérique	*Accipiter atricapillus*	POSS		X		
	Busard des marais	*Circus hudsonius*	CONF	CONF	X		X
	Buse à épaulettes	*Buteo lineatus*	CONF		X		
	Buse à queue rousse	*Buteo jamaicensis*	POSS	POSS	X		
	Buse pattue	*Buteo lagopus*	X		X		
	Épervier brun	*Accipiter striatus*	PROB	CONF	X		X
	Épervier de Cooper	*Accipiter cooperii*			X		
	Petite buse	*Buteo platypterus*	PROB	CONF	X	X	X
	Pygargue à tête blanche	***Haliaeetus leucocephalus***	PROB	POSS	X	X	X
Alaudidés	Alouette hausse-col alpestris	*Eremophila alpestris alpestris*	POSS		X		
Alcedinidés	Martin-pêcheur d'Amérique	*Megaceryle alcyon*	CONF	CONF	X		X
Alcidés	Guillemot à miroir	*Cepphus grylle*			X		
Anatidés	**Arlequin plongeur, pop. de l'Est**	***Histrionicus histrionicus***	X		X		
	Bernache cravant	*Branta bernicla*	X		X	X	
	Bernache de Hutchins	*Branta hutchinsii*	X		X		
	Bernache du Canada	*Branta canadensis*	CONF	CONF	X	X	X
	Bernache nonnette	*Branta leucopsis*	X		X		
	Canard branchu	*Aix sponsa*	CONF	CONF	X	X	X
	Canard chipeau	*Mareca strepera*	CONF	CONF	X	X	

Tableau A8-2-1 Liste d'espèces aviaires présentes dans la zone d'étude restreinte (suite)

Famille	Espèce[1]	Nom scientifique	WSP, 2015a[2]	AONQ, 2024[3]	eBird, 2024[4]	GBIF, 2024[5]	WSP, 2015-2023[6]
Anatidés	Canard colvert	*Anas platyrhynchos*	CONF	CONF	X	X	X
	Canard colvert X noir	*Anas platyrhynchos X Anas rubripes*	X				
	Canard d'Amérique	*Mareca americana*	CONF	CONF	X		
	Canard noir	*Anas rubripes*	CONF	CONF	X		X
	Canard pilet	*Anas acuta*	CONF	CONF	X		X
	Canard siffleur	*Mareca penelope*	X		X		
	Canard souchet	*Spatula clypeata*	CONF	CONF	X	X	X
	Cygne siffleur	*Cygnus columbianus*	X		X		
	Cygne trompette	*Cygnus buccinator*	X		X		
	Cygne tuberculé	*Cygnus olor*	X		X	X	
	Dendrocygne à ventre noir	*Dendrocygna autumnalis*	X		X		
	Eider à duvet	*Somateria mollissima*			X		
	Érismature rousse	*Oxyura jamaicensis*	POSS		X		
	Fuligule à collier	*Aythya collaris*	CONF	CONF	X	X	X
	Fuligule à dos blanc	*Aythya valisineria*	X		X	X	
	Fuligule à tête rouge	*Aythya americana*	POSS	POSS	X		X
	Fuligule milouin	*Aythya ferina*			X		
	Fuligule milouinan	*Aythya marila*	X		X		
	Fuligule morillon	*Aythya fuligula*			X		
	Garrot à oeil d'or	*Bucephala clangula*	CONF	CONF	X	X	X
	Garrot d'Islande, pop. de l'Est	***Bucephala islandica***	X		X		
	Grand harle	*Mergus merganser*	CONF	CONF	X	X	X

Tableau A8-2-1 Liste d'espèces aviaires présentes dans la zone d'étude restreinte (suite)

Famille	Espèce[1]	Nom scientifique	WSP, 2015a[2]	AONQ, 2024[3]	eBird, 2024[4]	GBIF, 2024[5]	WSP, 2015-2023[6]
Anatidés	Harelde kakawi	*Clangula hyemalis*	X		X		
	Harle couronné	*Lophodytes cucullatus*	CONF	CONF	X		X
	Harle huppé	*Mergus serrator*	PROB	POSS	X		X
	Macreuse à ailes blanches	*Melanitta deglandi*			X		
	Macreuse à bec jaune	*Melanitta americana*			X		
	Macreuse à front blanc	*Melanitta perspicillata*	X		X		
	Macreuse brune	*Melanitta fusca*	X				
	Macreuse noire	*Melanitta nigra*	POSS				
	Oie à bec court	*Anser brachyrhynchus*	X		X		
	Oie de Ross	*Anser rossii*	X		X		
	Oie des neiges	*Anser caerulescens*	X		X	X	X
	Oie rieuse	*Anser albifrons*	X		X		
	Petit fuligule	*Aythya affinis*	CONF	PROB	X	X	
	Petit garrot	*Bucephala albeola*	X		X		
	Sarcelle à ailes bleues	*Spatula discors*	CONF	PROB	X	X	X
	Sarcelle cannelle	*Spatula cyanoptera*	X		X		
	Sarcelle d'hiver (Eurasie)	*Anas crecca*	X				
	Sarcelle d'été	*Spatula querquedula*			X	X	
	Sarcelle d'hiver	*Anas crecca*	CONF	CONF	X	X	X
Apodidés	**Martinet ramoneur**	***Chaetura pelagica***	POSS	POSS	X		
Ardeidés	Aigrette neigeuse	*Egretta thula*			X		
	Aigrette tricolore	*Egretta tricolor*			X		

Tableau A8-2-1 Liste d'espèces aviaires présentes dans la zone d'étude restreinte (suite)

Famille	Espèce[1]	Nom scientifique	WSP, 2015a[2]	AONQ, 2024[3]	eBird, 2024[4]	GBIF, 2024[5]	WSP, 2015-2023[6]
Ardeidés	Bihoreau gris	*Nycticorax nycticorax*	CONF	CONF	X		
	Butor d'Amérique	*Botaurus lentiginosus*	CONF	PROB	X		X
	Grand héron	*Ardea herodias*	POSS	POSS	X		X
	Grande aigrette	*Ardea alba*	X		X		
	Héron garde-boeufs	*Bubulcus ibis*	X		X		
	Héron vert	*Butorides virescens*	X		X		
Bombycillidés	Jaseur boréal	*Bombycilla garrulus*	X		X	X	X
	Jaseur d'Amérique	*Bombycilla cedrorum*	CONF	CONF	X		X
Calcariidés	Plectrophane des neiges	*Plectrophenax nivalis*	X		X	X	
	Plectrophane lapon	*Calcarius lapponicus*	X		X		
Caprimulgidés	**Engoulevent bois-pourri**	***Antrostomus vociferus***	CONF				
	Engoulevent d'Amérique	***Chordeiles minor***	PROB	PROB	X		
Cardinalidés	Cardinal à poitrine rose	*Pheucticus ludovicianus*	PROB	PROB	X		X
	Cardinal rouge	*Cardinalis cardinalis*	CONF	CONF	X		
	Dickcissel d'Amérique	*Spiza americana*			X		
	Passerin indigo	*Passerina cyanea*	PROB	PROB	X		
	Piranga à tête rouge	*Piranga ludoviciana*			X		
	Piranga écarlate	*Piranga olivacea*	POSS		X		X
	Piranga vermillon	*Piranga rubra*	X		X	X	
Cathartidés	Urubu à tête rouge	*Cathartes aura*	POSS	POSS	X		X
Certhiidés	Grimpereau brun	*Certhia americana*	POSS	POSS	X		X
Charadriidés	Pluvier argenté	*Pluvialis squatarola*	X		X		

Tableau A8-2-1 Liste d'espèces aviaires présentes dans la zone d'étude restreinte (suite)

Famille	Espèce[1]	Nom scientifique	WSP, 2015a[2]	AONQ, 2024[3]	eBird, 2024[4]	GBIF, 2024[5]	WSP, 2015-2023[6]
Charadriidés	Pluvier bronzé	*Pluvialis dominica*	X		X		
	Pluvier kildir	*Charadrius vociferus*	CONF	CONF	X	X	X
	Pluvier semipalmé	*Charadrius semipalmatus*	X		X		
Columbidés	Pigeon biset	*Columba livia*	CONF	CONF	X	X	X
	Tourterelle triste	*Zenaida macroura*	CONF	CONF	X	X	X
Corvidés	Corneille d'Amérique	*Corvus brachyrhynchos*	CONF	CONF	X	X	X
	Geai bleu	*Cyanocitta cristata*	CONF	CONF	X	X	
	Grand corbeau	*Corvus corax*	CONF	CONF	X	X	X
	Mésangeai du Canada	*Perisoreus canadensis*	CONF	CONF	X		
Cuculidés	Coulicou à bec jaune	*Coccyzus americanus*			X		
	Coulicou à bec noir	*Coccyzus erythropthalmus*	POSS	POSS	X		X
Falconidés	Crécerelle d'Amérique	*Falco sparverius*	CONF	CONF	X		X
	Faucon émerillon	*Falco columbarius*	CONF	CONF	X	X	
	Faucon gerfaut	*Falco rusticolus*	X		X		
	Faucon pèlerin *anatum*	***Falco peregrinus***	X		X		
Fringillidés	Bec-croisé bifascié	*Loxia leucoptera*	PROB	PROB	X	X	X
	Bec-croisé des sapins	*Loxia curvirostra*	X	POSS	X	X	X
	Chardonneret jaune	*Spinus tristis*	CONF	CONF	X	X	X
	Durbec des sapins	*Pinicola enucleator*	POSS		X	X	
	Gros-bec errant	***Coccothraustes vespertinus***	CONF	CONF	X	X	X
	Roselin familier	*Haemorhous mexicanus*	X		X		
	Roselin pourpré	*Haemorhous purpureus*	CONF	CONF	X		X

Tableau A8-2-1 Liste d'espèces aviaires présentes dans la zone d'étude restreinte (suite)

Famille	Espèce[1]	Nom scientifique	WSP, 2015a[2]	AONQ, 2024[3]	eBird, 2024[4]	GBIF, 2024[5]	WSP, 2015-2023[6]
Fringillidés	Sizerin blanchâtre	*Acanthis hornemanni*	X		X	X	
	Sizerin flammé	*Acanthis flammea*	X		X	X	
	Tarin des pins	*Spinus pinus*	PROB	PROB	X		
Gaviidés	Plongeon catmarin	*Gavia stellata*	X		X		
	Plongeon du Pacifique	*Gavia pacifica*			X		
	Plongeon huard	*Gavia immer*	CONF	CONF	X	X	X
	Grue du Canada	*Antigone canadensis*	CONF	CONF	X	X	X
Hirundinidés	Hirondelle à front blanc	*Petrochelidon pyrrhonota*	CONF	CONF	X		
	Hirondelle bicolore	*Tachycineta bicolor*	CONF	CONF	X	X	X
	Hirondelle de rivage	***Riparia riparia***	CONF	CONF	X		X
	Hirondelle noire	*Progne subis*			X		
	Hirondelle rustique	***Hirundo rustica***	CONF	CONF	X		X
Icteridés	Carouge à épaulettes	*Agelaius phoeniceus*	CONF	CONF	X	X	X
	Carouge à tête jaune	*Xanthocephalus xanthocephalus*	X		X		
	Goglu des prés	***Dolichonyx oryzivorus***	PROB	CONF	X		
	Oriole de Baltimore	*Icterus galbula*	X		X		
	Oriole de Bullock	*Icterus bullockii*			X		
	Quiscale bronzé	*Quiscalus quiscula*	CONF	CONF	X		X
	Quiscale rouilleux	***Euphagus carolinus***	POSS	POSS	X		X
	Sturnelle des prés	***Sturnella magna***	PROB		X		
	Vacher à tête brune	*Molothrus ater*	CONF	CONF	X		
Laniidés	Pie-grièche boréale	*Lanius borealis*	X		X		

Tableau A8-2-1 Liste d'espèces aviaires présentes dans la zone d'étude restreinte (suite)

Famille	Espèce[1]	Nom scientifique	WSP, 2015a[2]	AONQ, 2024[3]	eBird, 2024[4]	GBIF, 2024[5]	WSP, 2015-2023[6]
Laniidés	Pie-grièche grise	*Lanius excubitor*				X	
Laridés	Goéland à bec cerclé	*Larus delawarensis*	CONF	CONF	X	X	X
	Goéland arctique	*Larus glaucoides*	X		X		
	Goéland argenté	*Larus argentatus*	CONF	CONF	X		X
	Goéland bourgmestre	*Larus hyperboreus*	X		X		
	Goéland brun	*Larus fuscus*	X		X		
	Goéland marin	*Larus marinus*	CONF	CONF	X		X
	Guifette leucoptère	*Chlidonias leucopterus*	CONF		X		
	Guifette noire	*Chlidonias niger*	CONF		X		
	Mouette atricille	*Leucophaeus atricilla*	X		X		
	Mouette blanche	*Pagophila eburnea*			X		
	Mouette de Bonaparte	*Chroicocephalus philadelphia*	CONF	CONF	X	X	X
	Mouette de Franklin	*Leucophaeus pipixcan*	X		X		
	Mouette de Sabine	*Xema sabini*	X		X		
	Mouette pygmée	*Hydrocoloeus minutus*	X		X		
	Mouette rosée	*Rhodostethia rosea*	X		X		
	Mouette tridactyle	*Rissa tridactyla*	X		X		
	Sterne arctique	*Sterna paradisaea*	X		X		
	Sterne caspienne	***Hydroprogne caspia***	X		X		
	Sterne de Forster	*Sterna forsteri*	X		X		
	Sterne pierregarin	*Sterna hirundo*	CONF	CONF	X		X
Mimidés	Moqueur chat	*Dumetella carolinensis*	CONF	CONF	X		X

Tableau A8-2-1 Liste d'espèces aviaires présentes dans la zone d'étude restreinte (suite)

Famille	Espèce[1]	Nom scientifique	WSP, 2015a[2]	AONQ, 2024[3]	eBird, 2024[4]	GBIF, 2024[5]	WSP, 2015-2023[6]
Mimidés	Moqueur polyglotte	*Mimus polyglottos*	PROB	CONF	X		
	Moqueur roux	*Toxostoma rufum*	POSS	POSS	X		
Motacillidés	Bergeronnette grise	*Motacilla alba*	X		X		
	Pipit d'Amérique	*Anthus rubescens*	X		X	X	
Muscicapidés	Traquet motteux	*Oenanthe oenanthe*	X		X		
Pandionidés	Balbuzard pêcheur	*Pandion haliaetus*	PROB	CONF	X		X
Paridés	Mésange à tête brune	*Poecile hudsonicus*	PROB	CONF	X		
	Mésange à tête noire	*Poecile atricapillus*	CONF	CONF	X	X	X
Parulidés	Paruline à calotte noire	*Cardellina pusilla*	PROB	PROB	X		X
	Paruline à collier	*Setophaga americana*	CONF	CONF	X		X
	Paruline à couronne rousse	*Setophaga palmarum*	CONF	CONF	X		X
	Paruline à croupion jaune	*Setophaga coronata*	CONF	CONF	X		X
	Paruline à flancs marron	*Setophaga pensylvanica*	CONF	CONF	X		X
	Paruline à gorge grise	*Oporornis agilis*	X	PROB	X		
	Paruline à gorge jaune	*Setophaga dominica*			X		
	Paruline à gorge noire	*Setophaga virens*	CONF	CONF	X		X
	Paruline à gorge orangée	*Setophaga fusca*	CONF	CONF	X		X
	Paruline à joues grises	*Leiothlypis ruficapilla*	CONF	CONF	X		X
	Paruline à poitrine baie	*Setophaga castanea*	CONF	CONF	X		
	Paruline à tête cendrée	*Setophaga magnolia*	CONF	CONF	X	X	X
	Paruline bleue	*Setophaga caerulescens*	CONF	CONF	X		
	Paruline couronnée	*Seiurus aurocapilla*	CONF	CONF	X		X

Tableau A8-2-1 Liste d'espèces aviaires présentes dans la zone d'étude restreinte (suite)

Famille	Espèce[1]	Nom scientifique	WSP, 2015a[2]	AONQ, 2024[3]	eBird, 2024[4]	GBIF, 2024[5]	WSP, 2015-2023[6]
Parulidés	Paruline des ruisseaux	*Parkesia noveboracensis*	CONF	PROB	X		X
	Paruline du Canada	***Cardellina canadensis***	CONF	CONF	X		
	Paruline flamboyante	*Setophaga ruticilla*	CONF	CONF	X	X	X
	Paruline jaune	*Setophaga petechia*	CONF	CONF	X	X	X
	Paruline masquée	*Geothlypis trichas*	CONF	CONF	X	X	X
	Paruline noir et blanc	*Mniotilta varia*	CONF	CONF	X		X
	Paruline obscure	*Leiothlypis peregrina*	CONF	CONF	X		X
	Paruline rayée	*Setophaga striata*	PROB	POSS	X		
	Paruline tigrée	*Setophaga tigrina*	CONF	CONF	X		X
	Paruline triste	*Geothlypis philadelphia*	CONF	CONF	X		
	Paruline verdâtre	*Leiothlypis celata*	X		X		X
Passerellidés	Bruant à couronne blanche	*Zonotrichia leucophrys*	X		X		
	Bruant à face noire	*Zonotrichia querula*			X		
	Bruant à gorge blanche	*Zonotrichia albicollis*	CONF	CONF	X		X
	Bruant chanteur	*Melospiza melodia*	CONF	CONF	X	X	X
	Bruant de LeConte	*Ammospiza leconteii*	PROB		X		
	Bruant de Lincoln	*Melospiza lincolnii*	CONF	CONF	X		X
	Bruant des champs	*Spizella pusilla*			X		
	Bruant des marais	*Melospiza georgiana*	CONF	CONF	X	X	X
	Bruant des plaines	*Spizella pallida*	POSS	PROB	X		
	Bruant des prés	*Passerculus sandwichensis*	CONF	CONF	X		X
	Bruant familier	*Spizella passerina*	CONF	CONF	X		X

Tableau A8-2-1 Liste d'espèces aviaires présentes dans la zone d'étude restreinte (suite)

Famille	Espèce[1]	Nom scientifique	WSP, 2015a[2]	AONQ, 2024[3]	eBird, 2024[4]	GBIF, 2024[5]	WSP, 2015-2023[6]
Passerellidés	Bruant fauve	*Passerella iliaca*	X		X		X
	Bruant hudsonien	*Spizelloides arborea*	X		X		
	Bruant vespéral	*Pooecetes gramineus*	CONF	CONF	X		X
	Junco ardoisé	*Junco hyemalis*	CONF	CONF	X		X
	Tohi à flancs roux	*Pipilo erythrophthalmus*	X		X		
	Tohi tacheté	*Pipilo maculatus*	X		X		
Passeridés	Moineau domestique	*Passer domesticus*	CONF	CONF	X	X	
Pelecanidés	Pélican blanc	*Pelecanus onocrotalus*	X				
	Pélican d'Amérique	*Pelecanus erythrorhynchos*	X		X		
Phalacrocoracidés	Cormoran à aigrettes	*Phalacrocorax auritus*	POSS	POSS	X		X
Phasianidés	Dindon sauvage	*Meleagris gallopavo*			X		
	Gélinotte huppée	*Bonasa umbellus*	CONF	CONF	X		X
	Lagopède des saules	*Lagopus lagopus*			X		
	Perdrix choukar	*Alectoris chukar*	X				
	Tétras du Canada	*Canachites canadensis*	CONF	CONF	X	X	
Picidés	Grand pic	*Dryocopus pileatus*	PROB	PROB	X		X
	Pic à dos noir	*Picoides arcticus*	CONF	CONF	X		
	Pic à dos rayé	*Picoides dorsalis*	X		X		
	Pic à ventre roux	*Melanerpes carolinus*			X		
	Pic chevelu	*Dryobates villosus*	CONF	CONF	X	X	X
	Pic flamboyant	*Colaptes auratus*	CONF	CONF	X		X
	Pic maculé	*Sphyrapicus varius*	CONF	CONF	X	X	X

Tableau A8-2-1 Liste d'espèces aviaires présentes dans la zone d'étude restreinte (suite)

Famille	Espèce[1]	Nom scientifique	WSP, 2015a[2]	AONQ, 2024[3]	eBird, 2024[4]	GBIF, 2024[5]	WSP, 2015-2023[6]
Picidés	Pic mineur	*Dryobates pubescens*	CONF	CONF	X	X	X
Podicipedidés	Grèbe à bec bigarré	*Podilymbus podiceps*	CONF	CONF	X	X	X
	Grèbe esclavon	***Podiceps auritus***	X		X		
	Grèbe jougris	*Podiceps grisegena*	X		X		
Procellariidés	Fulmar boréal	*Fulmarus glacialis*	X				
Rallidés	Foulque d'Amérique	*Fulica americana*	CONF	POSS	X	X	
	Gallinule d'Amérique	*Gallinula galeata*	POSS		X		
	Marouette de Caroline	*Porzana carolina*	CONF	CONF	X		X
	Râle de Virginie	*Rallus limicola*	CONF	CONF	X		X
	Râle jaune	***Coturnicops noveboracensis***	PROB		X		
	Talève violacée	*Porphyrio martinicus*	X		X		
Recurvirostridés	Avocette d'Amérique	*Recurvirostra americana*	X		X		
Regulidés	Roitelet à couronne dorée	*Regulus satrapa*	CONF	CONF	X		X
	Roitelet à couronne rubis	*Regulus calendula*	CONF	CONF	X	X	X
Scolopacidés	Barge hudsonienne	*Limosa haemastica*	X		X	X	
	Barge marbrée	*Limosa fedoa*	X		X		
	Bécasse d'Amérique	*Scolopax minor*	CONF	CONF	X		
	Bécasseau minute	*Calidris minuta*			X		
	Bécasseau à croupion blanc	*Calidris fuscicollis*	X		X		
	Bécasseau à échasses	*Calidris himantopus*	X		X		
	Bécasseau à poitrine cendrée	*Calidris melanotos*	X		X	X	
	Bécasseau à queue pointue	*Calidris acuminata*			X		

Tableau A8-2-1 Liste d'espèces aviaires présentes dans la zone d'étude restreinte (suite)

Famille	Espèce[1]	Nom scientifique	WSP, 2015a[2]	AONQ, 2024[3]	eBird, 2024[4]	GBIF, 2024[5]	WSP, 2015-2023[6]
Scolopacidés	Bécasseau de Baird	*Calidris bairdii*	X		X		
	Bécasseau maubèche *rufa*	***Calidris canutus rufa***	X		X		
	Bécasseau minuscule	*Calidris minutilla*	X		X		
	Bécasseau roussâtre	***Calidris subruficollis***	X		X		
	Bécasseau sanderling	*Calidris alba*	X		X		
	Bécasseau semipalmé	*Calidris pusilla*	X		X	X	
	Bécasseau variable	*Calidris alpina*	X		X		
	Bécasseau varié	*Calidris alpina*	X				
	Bécasseau violet	*Calidris maritima*	X		X		
	Bécassin à long bec	*Limnodromus scolopaceus*	X		X		
	Bécassin roux	*Limnodromus griseus*	X		X		
	Bécassine de Wilson	*Gallinago delicata*	CONF	PROB	X		X
	Chevalier aboyeur	*Tringa nebularia*			X		
	Chevalier grivelé	*Actitis macularius*	CONF	PROB	X	X	X
	Chevalier semipalmé	*Tringa semipalmata*	X		X		
	Chevalier solitaire	*Tringa solitaria*	POSS		X		X
	Combattant varié	*Calidris pugnax*	X		X		
	Courlis corlieu	*Numenius phaeopus*	X		X	X	
	Grand chevalier	*Tringa melanoleuca*	PROB	PROB	X		X
	Maubèche des champs	*Bartramia longicauda*	PROB	PROB	X		
	Petit chevalier	*Tringa flavipes*	X		X		
	Phalarope à bec étroit	***Phalaropus lobatus***	X		X		

Tableau A8-2-1 Liste d'espèces aviaires présentes dans la zone d'étude restreinte (suite)

Famille	Espèce[1]	Nom scientifique	WSP, 2015a[2]	AONQ, 2024[3]	eBird, 2024[4]	GBIF, 2024[5]	WSP, 2015-2023[6]
Scolopacidés	Phalarope à bec large	*Phalaropus fulicarius*	X		X		
	Phalarope de Wilson	*Phalaropus tricolor*	POSS		X		
	Tournepierre à collier	*Arenaria interpres*	X		X	X	
Sittidés	Sittelle à poitrine blanche	*Sitta carolinensis*	X		X	X	
	Sittelle à poitrine rousse	*Sitta canadensis*	CONF	CONF	X	X	X
Stercorariidés	Labbe à longue queue	*Stercorarius longicaudus*			X		
	Labbe parasite	*Stercorarius parasiticus*	X		X		
	Labbe pomarin	*Stercorarius pomarinus*			X		
Strigidés	Chouette épervière	*Surnia ulula*	X		X	X	
	Chouette lapone	*Strix nebulosa*	X		X	X	
	Chouette rayée	*Strix varia*	CONF	POSS	X		
	Grand-duc d'Amérique	*Bubo virginianus*	CONF	CONF	X		
	Harfang des neiges	*Bubo scandiacus*	X		X	X	
	Hibou des marais	***Asio flammeus***	CONF	CONF	X		X
	Hibou moyen-duc	*Asio otus*	CONF	CONF	X		
	Nyctale de Tengmalm	*Aegolius funereus*	X		X		
	Petite nyctale	*Aegolius acadicus*	PROB	PROB	X		
Sturnidés	Étourneau sansonnet	*Sturnus vulgaris*	CONF	CONF	X	X	X
Threskiornithidés	Ibis falcinelle	*Plegadis falcinellus*	X		X		
Trochilidés	Colibri à gorge rubis	*Archilochus colubris*	CONF	CONF	X		
	Colibri roux	*Selasphorus rufus*	X				

Tableau A8-2-1 Liste d'espèces aviaires présentes dans la zone d'étude restreinte (suite)

Famille	Espèce[1]	Nom scientifique	WSP, 2015a[2]	AONQ, 2024[3]	eBird, 2024[4]	GBIF, 2024[5]	WSP, 2015-2023[6]
Troglodytidés	Troglodyte de Caroline	*Thryothorus ludovicianus*			X		
	Troglodyte des forêts	*Troglodytes hiemalis*	CONF	CONF	X		X
	Troglodyte des marais	*Cistothorus palustris*	POSS		X		
	Troglodyte familier	*Troglodytes aedon*			X		
Turdidés	Grive à dos olive	*Catharus ustulatus*	CONF	CONF	X	X	X
	Grive à joues grises	*Catharus minimus*	X		X		
	Grive de Bicknell	***Catharus bicknelli***	X				
	Grive des bois	***Hylocichla mustelina***	POSS				X
	Grive fauve	*Catharus fuscescens*	CONF	CONF	X	X	X
	Grive solitaire	*Catharus guttatus*	CONF	CONF	X		X
	Merle d'Amérique	*Turdus migratorius*	CONF	CONF	X	X	X
	Merlebleu de l'Est	*Sialia sialis*	CONF	CONF	X		
	Solitaire de Townsend	*Myadestes townsendi*	X		X		
Tyrannidés	**Moucherolle à côtés olive**	***Contopus cooperi***	POSS	POSS	X		
	Moucherolle à ventre jaune	*Empidonax flaviventris*	CONF	PROB	X		
	Moucherolle à ventre roux	*Sayornis saya*			X		
	Moucherolle des aulnes	*Empidonax alnorum*	CONF	CONF	X	X	X
	Moucherolle phébi	*Sayornis phoebe*	POSS		X		X
	Moucherolle tchébec	*Empidonax minimus*	CONF	CONF	X		X
	Pioui de l'Est	***Contopus virens***	PROB	PROB	X		
	Tyran tritri	*Tyrannus tyrannus*	CONF	CONF	X		X

Tableau A8-2-1 Liste d'espèces aviaires présentes dans la zone d'étude restreinte (suite)

Famille	Espèce[1]	Nom scientifique	WSP, 2015a[2]	AONQ, 2024[3]	eBird, 2024[4]	GBIF, 2024[5]	WSP, 2015-2023[6]
Vireonidés	Viréo à tête bleue	*Vireo solitarius*	CONF	CONF	X		X
	Viréo aux yeux blancs	*Vireo griseus*	X		X		
	Viréo aux yeux rouges	*Vireo olivaceus*	CONF	CONF	X	X	X
	Viréo de Philadelphie	*Vireo philadelphicus*	CONF	CONF	X		X
	Viréo mélodieux	*Vireo gilvus*	X		X		

Note : 1 Les espèces en caractères **gras** sont des espèces à statut.

Sources :

ATLAS DES OISEAUX NICHEURS DU QUÉBEC (AONQ). 2024. *Résultats de l'atlas pour les années récentes (2015-).* En ligne : https://www.atlas-oiseaux.qc.ca/donneesqc/datasummaries.jsp. Consulté le 13 août 2024.

EBIRD. 2024. *Banques de données d'eBird - Extraction pour la zone d'étude restreinte du Programme de stabilisation des berges du lac Saint-Jean.* Regroupement QuébecOiseaux, Montréal, Québec. Reçu le 6 août 2024.

GBIF. 2024. *Téléchargement d'occurences GBIF – iNaturalist et Great Backyard Bird Count (GBBC).* En ligne : https://doi.org/10.15468/dl.wrpcrh. Consulté le 17 July 2024.

WSP. 2015a. *Programme de stabilisation des berges du lac Saint-Jean 2017-2026, Étude d'impact sur l'environnement*. Rapport produit pour Rio Tinto Alcan. Pagination multiple et annexes.

WSP. 2015b. *Suivi environnemental et faunique 2015 – Suivi de la dynamique des ouvertures de sept habitats humides riverains du lac Saint-Jean*. Rapport produit pour Rio Tinto. 79 p.

WSP. 2017. *Suivi environnemental et faunique 2016, Visite de reconnaissance des milieux humides riverains*. Rapport produit pour Rio Tinto, Énergie électrique. 179 p. et annexes.

WSP. 2019. *Suivi environnemental et faunique 2018 – Suivi de la dynamique des ouvertures de sept habitats humides riverains du lac Saint-Jean*. Rapport produit pour Rio Tinto. 79 p.

WSP. 2020. *Suivi environnemental et faunique 2019. Visites de reconnaissance des milieux humides riverains 2019*. Rapport produit pour Rio Tinto. 183 p. et annexes.

WSP. 2021. *Programme de stabilisation des berges du lac Saint-Jean – Suivi environnemental et faunique 2021. Aménagement faunique au Marais du Golf de Saint-Prime/Suivi du plan compensatoire (an 1)*. Rapport produit pour Rio Tinto Alcan inc. 13 p. et annexes.

WSP. 2022. *Suivi environnemental et faunique 2021 – Suivi de la dynamique des ouvertures de sept habitats humides riverains du lac Saint-Jean en 2021*. Rapport produit pour Rio Tinto. 79 p.

WSP. 2023. *Suivi environnemental et faunique 2022. Visites de reconnaissance des milieux humides riverains 2022*. Rapport produit pour Rio Tinto.

Tableau A8-2-2 Tendances de populations d'oiseaux

Espèce	Saison	Depuis	Date d'observation hâtive	Date d'observation tardive	Nombre de mentions	Constance	Abondance	Variation annuelle (%) [limites de confiance 95 %]			Différence de variation Zone d'étude – Québec[1]
								Québec	Saguenay – Lac-Saint-Jean	Zone d'étude restreinte	
Cardinal à poitrine rose	Été	1977	25-04-2014	28-11-2021	176	0,62	0,01	-1,6 [-2,09; -1,14]	37 [9,88; 70,61]	ND	38,60
Goéland arctique	Été	1971	01-01-2001	19-12-2012	137	0,51	0,01	-3,3 [-4,35; -2,15]	25 [4,29; 49,06]	24 [3,77; 49,13]	27,30
Harfang des neiges	Hiver	1978	24-10-2021	18-06-2018	498	1,67	0,03	0,7 [-0,32; 1,72]	31 [23,53; 38,07]	27 [18,77; 35,95]	26,30
Viréo de Philadelphie	Été	1968	12-05-2001	18-09-2022	483	1,81	0,03	0,84 [0,14; 1,55]	19 [14,75; 24,08]	24 [17,81; 30,86]	23,16
Plectrophane lapon	Hiver	1986	21-09-1994	23-05-2019	210	0,80	0,08	0,41 [-1,03; 1,86]	20 [-5,86; 53,57]	23 [-11,13; 71,58]	22,59
Troglodyte des forêts	Été	1978	21-04-1987	23-10-2022	277	1,06	0,02	0,68 [-0,12; 1,48]	-1,9 [-12,22; 9,54]	-21 [-43,44; 9,01]	-21,68
Pluvier bronzé	Été	1978	05-05-1990	31-10-2015	728	2,77	1,49	-5,2 [-6,81; -3,54]	10 [-2,5; 24,85]	15 [0,63; 32,49]	20,20
Tringa sp.	Été	1982	23-04-2005	07-10-1989	50	0,19	0,02	-9,2 [-12,48; -5,73]	4,2 [1,49; 7,08]	10 [2,95; 18,42]	19,20
Pygargue à tête blanche	Été	1988	15-03-2024	26-12-2015	2697	9,64	0,21	10 [9,66; 10,83]	-6,1 [-9,41; -2,62]	-9,1 [-9,15; -8,98]	-19,10
Urubu à tête rouge	Été	1983	31-03-2023	04-12-2021	1337	4,73	0,18	6 [5,92; 6]	-14 [-15,1; -13,61]	-13 [-19,49; -7,02]	-19,00
Sizerin flammé	Hiver	1976	30-08-1997	30-05-2008	2988	11,14	3,20	0,036 [-1,2; 1,28]	13 [6,34; 21,09]	18 [6,33; 31,75]	17,96
Phalarope de Wilson	Été	1983	05-05-2002	13-09-1997	176	0,66	0,01	-5,6 [-6,94; -4,18]	11 [1,77; 21,1]	11 [1,69; 20,8]	16,60
Cardinal rouge	Hiver	2001	02-07-2023	28-06-2011	545	1,85	0,02	12 [11,5; 13,42]	-2,5 [-4,18; -0,77]	-4,4 [-6,62; -2,16]	-16,40
Labbe parasite	Été	1999	17-08-2003	09-10-2023	26	0,10	0,00	-1,4 [-3,01; 0,3]	6,9 [1,71; 12,3]	15 [8,38; 21,17]	16,40
Buse pattue	Été	1975	01-01-2012	30-12-2005	1494	5,29	0,11	-1,3 [-2,23; -0,35]	16 [10,84; 21,29]	15 [9,97; 20,32]	16,30
Harle couronné	Été	1979	25-03-2010	01-12-2006	1534	5,82	0,22	5 [4,11; 5,83]	-12 [-16,96; -5,71]	-11 [-15,95; -5,1]	-16,00
Jaseur boréal	Hiver	1980	30-08-2003	14-05-2004	1005	3,61	2,53	5,9 [4,08; 7,67]	-9 [-13,26; -4,48]	-9,9 [-15,18; -4,25]	-15,80
Roitelet à couronne dorée	Été	1967	06-03-2020	24-12-2019	1211	4,59	0,14	0,8 [-0,32; 1,94]	16 [13,27; 18,29]	16 [13,61; 18,9]	15,20
Passereau sp.	Été	1981	19-03-2020	24-12-2019	131	0,46	0,06	16 [12,39; 20,01]	2,2 [-2,55; 7,15]	2,9 [-2,04; 8,19]	-13,10
Viréo à tête bleue	Été	1967	03-05-2024	21-10-2023	280	1,06	0,02	3,9 [3,34; 4,48]	-10 [-11,13; -8,88]	-8,8 [-9,87; -7,76]	-12,70

Tableau A8-2-2 Tendances de populations d'oiseaux (suite)

Espèce	Saison	Depuis	Date d'observation hâtive	Date d'observation tardive	Nombre de mentions	Constance	Abondance	Variation annuelle (%) [limites de confiance 95 %]			Différence de variation Zone d'étude – Québec[1]
								Québec	Saguenay – Lac-Saint-Jean	Zone d'étude restreinte	
Tournepierre à collier	Été	1983	08-05-2007	19-11-2000	537	2,05	0,08	-4,3 [-5,39; -3,2]	10 [0,86; 19,94]	8,4 [-0,37; 17,95]	12,70
Oie des neiges	Été	1977	14-01-2023	25-12-2010	5630	20,46	480,21	0,35 [-0,43; 1,14]	13 [1,58; 24,77]	13 [0,75; 26,06]	12,65
Goéland à bec cerclé	Été	1978	22-03-2012	08-12-2001	11 907	44,65	26,20	-0,46 [-1,03; 0,11]	13 [6,59; 20,42]	12 [5,3; 19,58]	12,46
Paruline sp.	Été	1981	29-04-1990	15-10-1991	293	1,08	0,39	12 [8,91; 15,62]	2,5 [0,92; 4,19]	-0,27 [-2,14; 1,62]	-12,27
Grand Harle	Été	1971	04-01-2020	29-12-2021	5709	21,41	3,07	0,76 [0,28; 1,24]	15 [6,55; 23,72]	13 [3,92; 23,06]	12,24
Sittelle à poitrine rousse	Été	1967	01-01-2021	31-12-2020	3157	11,89	0,20	2,3 [1,52; 3,02]	-9,6 [-11,68; -7,4]	-9,9 [-11,9; -7,84]	-12,20
Jaseur d'Amérique	Été	1967	02-01-2022	27-12-1982	3927	14,79	0,95	1 [0,42; 1,59]	ND	-11 [-11,08; -10,82]	-12,00
Foulque d'Amérique	Été	1977	13-04-2024	16-11-2006	982	3,73	0,11	3,3 [1,94; 4,76]	-8,5 [-12,22; -4,53]	-7,8 [-11,45; -4,03]	-11,10
Faucon pèlerin	Été	1975	31-03-2018	04-12-2010	804	2,93	0,03	4 [3,23; 4,7]	-5,6 [-9,07; -1,95]	-6,3 [-9,64; -2,79]	-10,30
Petit Fuligule	Été	1974	15-01-2000	19-12-1998	5324	20,11	6,54	-1,5 [-2,65; -0,38]	15 [6,36; 23,54]	8,6 [0,61; 17,17]	10,10
Mésange à tête noire	Annuel	1967	01-01-2024	31-12-2016	12 291	46,09	1,81	3 [2,61; 3,34]	20 [10,25; 30,74]	13 [2,89; 24,96]	10,00
Paruline à couronne rousse	Été	1985	17-04-2017	12-10-2005	430	1,64	0,03	3,8 [2,92; 4,69]	-2,5 [-4,04; -0,98]	-5,9 [-7,79; -4,01]	-9,70
Fuligule à dos blanc	Été	1987	15-04-2000	15-11-2007	112	0,41	0,01	-10 [-12,2; -8,07]	-0,62 [-2,63; 1,44]	-0,38 [-2,26; 1,53]	9,62
Sterne sp.	Été	1989	08-05-1989	02-11-2009	61	0,21	0,02	-4,9 [-8,25; -1,47]	12 [-0,76; 26,3]	4,7 [-4,12; 14,37]	9,60
Bécasseau semipalmé	Été	1968	06-05-2014	23-10-2022	2005	7,63	1,80	-7,6 [-8,83; -6,32]	2,7 [0,22; 5,16]	2 [-0,89; 4,89]	9,60
Grive à dos olive	Été	1967	15-05-2022	10-10-2022	698	2,59	0,08	-0,086 [-0,87; 0,7]	7,4 [5,81; 9,09]	9,5 [6,03; 13,05]	9,59
Moucherolle à ventre jaune	Été	1984	19-05-2018	15-09-2021	51	0,19	0,00	1,5 [0,42; 2,62]	7,6 [2,1; 13,37]	11 [3,66; 18,18]	9,50
Engoulevent d'Amérique	Été	1968	25-05-2022	17-09-2020	248	0,67	0,05	-0,93 [-1,66; -0,19]	0,96 [-1,03; 2,99]	8,3 [5,02; 11,7]	9,23
Petite Buse	Été	1974	17-04-2022	28-09-2004	625	2,33	0,05	-5,8 [-7,55; -3,93]	2,5 [0,4; 4,69]	2,9 [0,72; 5,1]	8,70
Paruline flamboyante	Été	1967	08-05-2018	29-09-2010	2290	8,55	0,24	0,97 [0,59; 1,36]	6,6 [3,95; 9,22]	9,6 [7,11; 12,19]	8,63

Tableau A8-2-2 Tendances de populations d'oiseaux (suite)

Espèce	Saison	Depuis	Date d'observation hâtive	Date d'observation tardive	Nombre de mentions	Constance	Abondance	Variation annuelle (%) [limites de confiance 95 %]			Différence de variation Zone d'étude – Québec[1]
								Québec	Saguenay – Lac-Saint-Jean	Zone d'étude restreinte	
Viréo aux yeux rouges	Été	1967	16-05-2022	30-09-2006	3295	12,28	0,33	2,7 [2,37; 3,04]	-3,9 [-5,15; -2,57]	-5,9 [-7,18; -4,65]	-8,60
Goéland argenté	Été	1967	28-02-1999	26-12-2015	7444	28,17	2,74	-4,6 [-5,16; -4,13]	2,6 [0,9; 4,43]	4 [1,99; 6,06]	8,60
Bec-croisé des sapins	Annuel	2002	04-01-2016	29-12-2012	66	0,25	0,01	0,11 [-1,42; 1,67]	20 [11,67; 29,51]	8,7 [7,03; 10,4]	8,59
Goéland sp. (Larus sp.)	Été	1988	28-03-2020	26-12-2015	348	1,27	0,51	6,9 [3,68; 10,15]	4,3 [1,12; 7,66]	-1,6 [-4,16; 1,12]	-8,50
Goéland brun	Été	2001	18-04-2023	22-10-2023	89	0,33	0,00	8 [6,26; 9,81]	-0,76 [-0,78; -0,74]	-0,23 [-0,25; -0,21]	-8,23
Mouette de Bonaparte	Été	1971	25-04-2023	17-11-2006	2730	10,20	0,74	3,8 [2,35; 5,25]	9,5 [3,09; 16,39]	12 [2,11; 22,14]	8,20
Paruline bleue	Été	1981	08-05-2018	26-09-2015	209	0,79	0,01	1,6 [0,94; 2,16]	7 [1,2; 13,06]	9,5 [2,96; 16,4]	7,90
Plongeon huard	Été	1967	20-01-2024	26-12-2015	2990	11,06	0,25	0,82 [0,22; 1,43]	-4,8 [-7,52; -2,08]	-7 [-9,69; -4,25]	-7,82
Gavia sp.	Été	1989	19-04-2021	19-11-2006	33	0,13	0,01	0,96 [-1,77; 3,76]	ND	-6,8 [-9,69; -3,77]	-7,76
Passerellidé sp. (Bruant sp.)	Été	1980	13-04-2017	26-11-2022	88	0,30	0,02	8,5 [5,67; 11,32]	1 [-1,22; 3,33]	1 [-1,67; 3,84]	-7,50
Junco ardoisé	Été	1967	01-01-2024	31-12-2022	5701	21,56	2,57	0,87 [0,05; 1,69]	-6,3 [-8,69; -3,91]	-6,5 [-8,77; -4,22]	-7,37
Grèbe à bec bigarré	Été	1968	01-04-2006	11-11-2022	895	3,46	0,06	4,1 [3,17; 5,03]	1,1 [-0,79; 2,94]	-3,1 [-5,23; -0,96]	-7,20
Merlebleu de l'Est	Été	1986	13-04-2012	15-10-2023	166	0,52	0,01	4,2 [3,07; 5,36]	-2,8 [-3,8; -1,87]	-2,8 [-3,9; -1,68]	-7,00
Moucherolle à côtés olive	Été	1987	24-05-2021	19-08-2007	36	0,13	0,00	-2,9 [-3,66; -2,12]	2,1 [0,16; 4,07]	4,1 [1,59; 6,6]	7,00
Gros-bec errant	Hiver	1967	01-07-1990	30-06-1984	3940	14,90	1,45	-3,1 [-4,02; -2,09]	2,5 [-0,27; 5,4]	3,9 [0,38; 7,44]	7,00
Vacher à tête brune	Été	1968	05-01-2008	27-12-2007	1756	6,72	0,25	-6,3 [-6,64; -5,87]	4,8 [2,65; 7,04]	0,7 [-1,98; 3,45]	7,00
Bécasseau à échasses	Été	1990	27-04-2003	11-10-2003	127	0,49	0,01	0,3 [-1,19; 1,81]	-3,8 [-8,35; 0,98]	-6,6 [-11,64; -1,19]	-6,90
Merle d'Amérique	Été	1967	01-01-2012	31-12-2005	11 629	43,59	2,49	0,052 [-0,26; 0,37]	-6,5 [-8,79; -4,24]	-6,8 [-8,99; -4,59]	-6,85
Marouette de Caroline	Été	1979	26-04-2015	09-09-2001	620	2,28	0,04	-0,14 [-0,89; 0,61]	5,7 [1,14; 10,46]	6,7 [2,39; 11,28]	6,84
Fuligule à collier	Été	1976	01-04-2013	06-12-2014	4537	17,22	2,37	3,9 [3,02; 4,78]	-2,6 [-5,53; 0,42]	-2,9 [-5,85; 0,05]	-6,80

Tableau A8-2-2 Tendances de populations d'oiseaux (suite)

Espèce	Saison	Depuis	Date d'observation hâtive	Date d'observation tardive	Nombre de mentions	Constance	Abondance	Variation annuelle (%) [limites de confiance 95 %]			Différence de variation Zone d'étude – Québec[1]
								Québec	Saguenay – Lac-Saint-Jean	Zone d'étude restreinte	
Bruant vespéral	Été	1982	12-04-2008	16-10-2022	161	0,59	0,01	-2,8 [-3,26; -2,35]	-8,1 [-14,62; -1,05]	3,9 [-5,05; 13,75]	6,70
Bruant à couronne blanche	Été	1960	02-01-2018	30-12-2008	2409	9,09	0,61	-0,4 [-1,17; 0,39]	-7,7 [-11,68; -3,64]	-7 [-10,7; -3,11]	-6,60
Râle de Virginie	Été	1978	29-04-2023	20-09-1998	336	1,17	0,02	0,64 [-0,19; 1,48]	-4,9 [-6,8; -2,92]	-5,9 [-7,93; -3,87]	-6,54
Pluvier argenté	Été	1980	06-05-1995	13-11-1998	1723	6,54	0,82	-3,6 [-4,37; -2,79]	6,2 [1,99; 10,62]	2,9 [-1,7; 7,63]	6,50
Paruline à calotte noire	Été	1967	12-05-2024	15-09-1999	442	1,66	0,03	-1,5 [-2,38; -0,63]	2,8 [0,57; 5,15]	4,9 [1,68; 8,16]	6,40
Moqueur roux	Été	2002	04-01-2004	08-12-2011	33	0,11	0,00	-0,11 [-0,81; 0,6]	-0,031 [-2,41; 2,4]	-6,4 [-9,22; -3,41]	-6,29
Limicole sp.	Été	1982	21-04-2001	14-11-2017	448	1,68	0,39	7 [4,46; 9,62]	0,39 [-0,9; 1,7]	0,91 [-0,3; 2,14]	-6,09
Pic mineur	Annuel	1978	01-01-2015	31-12-2015	5966	22,78	0,35	3,1 [2,79; 3,47]	-3 [-5,99; 0]	-2,9 [-5,32; -0,33]	-6,00
Mouette de Franklin	Été	1996	07-05-2006	17-10-2008	40	0,14	0,00	-2,3 [-4; -0,62]	6,4 [2,93; 10,09]	3,7 [-1,03; 8,6]	6,00
Tourterelle triste	Annuel	1978	01-01-2015	31-12-2016	6178	23,43	1,42	7,4 [6,19; 8,59]	0,69 [-1,05; 2,46]	1,6 [-0,25; 3,54]	-5,80
Bécasseau sanderling	Été	1978	14-05-2022	22-11-2003	1521	5,80	0,55	-2,6 [-3,59; -1,64]	2,2 [0,76; 3,68]	3,2 [1,3; 5,2]	5,80
Moucherolle tchébec	Été	1967	09-05-1999	16-09-2021	650	2,47	0,05	-0,35 [-0,68; -0,01]	-5,2 [-6,23; -4,26]	-5,9 [-7,03; -4,67]	-5,55
Mouette tridactyle	Été	1995	29-04-1995	06-11-2009	19	0,07	0,00	-3,7 [-5,27; -2,14]	5,1 [1,7; 8,52]	1,8 [-2,98; 6,89]	5,50
Tétras du Canada	Été	2002	18-04-2021	04-11-2003	34	0,09	0,00	2,3 [0,94; 3,68]	5,5 [3,69; 7,43]	7,7 [5,72; 9,81]	5,40
Pluvier kildir	Été	1968	12-03-2021	01-11-2015	5762	21,84	1,01	-4,2 [-4,71; -3,78]	0,87 [-0,15; 1,89]	1,1 [0,04; 2,26]	5,30
Bec-croisé bifascié	Annuel	1967	02-01-1989	31-12-1980	599	2,26	0,21	3,7 [1,48; 5,87]	4,4 [1,31; 7,57]	-1,5 [-5,05; 2,2]	-5,20
Empidonax sp.	Été	1980	13-05-1992	17-09-2011	77	0,30	0,00	-0,27 [-1,67; 1,15]	-5,5 [-8,96; -1,89]	-5,4 [-9,03; -1,6]	-5,13
Grand Héron	Été	1968	24-03-2012	29-11-2009	3507	13,21	0,43	-1 [-1,43; -0,65]	-1,1 [-2,75; 0,62]	-6,1 [-8,26; -3,81]	-5,10
Hybride Canard colvert x C. noir	Été	1979	08-04-2021	07-11-2015	244	0,94	0,01	1,4 [0,41; 2,47]	-3 [-5,6; -0,3]	-3,7 [-6,52; -0,81]	-5,10
Anatidé sp. (canard sp.)	Été	1980	03-04-2010	27-12-1988	303	1,14	1,21	1,1 [-1,54; 3,81]	-3,7 [-7,95; 0,75]	-3,9 [-8,81; 1,31]	-5,00

Tableau A8-2-2 Tendances de populations d'oiseaux (suite)

Espèce	Saison	Depuis	Date d'observation hâtive	Date d'observation tardive	Nombre de mentions	Constance	Abondance	Variation annuelle (%) [limites de confiance 95 %]			Différence de variation Zone d'étude – Québec[1]
								Québec	Saguenay – Lac-Saint-Jean	Zone d'étude restreinte	
Sizerin blanchâtre	Hiver	1987	24-10-2020	12-05-2004	547	2,05	0,04	3,5 [1,46; 5,65]	-0,48 [-3,64; 2,77]	-1,5 [-4,38; 1,46]	-5,00
Coulicou à bec noir	Été	1984	21-05-2024	02-09-2018	52	0,16	0,00	0,8 [-0,19; 1,81]	4 [0,05; 8,07]	5,8 [-0,79; 12,82]	5,00
Bernache cravant	Été	1982	05-05-2012	20-10-2023	130	0,45	0,06	-4,5 [-5,37; -3,54]	0,76 [-1,17; 2,72]	0,33 [-2,8; 3,56]	4,83
Épervier brun	Été	1968	17-01-2010	30-12-2017	1257	4,67	0,08	-0,52 [-2,14; 1,13]	6 [3,81; 8,25]	4,3 [1,15; 7,49]	4,82
Canard chipeau	Été	1978	03-04-2010	18-12-2015	2528	9,65	0,32	3,2 [2,32; 4,09]	-1,7 [-3,65; 0,27]	-1,6 [-3,19; -0,01]	-4,80
Goglu des prés	Été	1976	13-05-2016	15-09-2015	172	0,65	0,01	-3,6 [-4,06; -3,14]	-0,053 [-5,35; 5,53]	1,2 [-4,15; 6,94]	4,80
Quiscale rouilleux	Été	1975	13-04-2024	06-11-2022	1108	4,26	0,82	-2,3 [-3,15; -1,47]	2,4 [-0,31; 5,16]	ND	4,70
Paruline des ruisseaux	Été	1968	08-05-1982	29-09-2018	606	2,33	0,04	-0,26 [-0,78; 0,27]	3,9 [-4,74; 13,29]	4,4 [-3,9; 13,36]	4,66
Falco sp.	Été	1985	12-04-1988	15-10-2002	45	0,18	0,00	-4,5 [-6,29; -2,69]	0,2 [-1,16; 1,57]	0,16 [-1,23; 1,58]	4,66
Fuligule à tête rouge	Été	1977	11-04-2021	15-11-2020	2138	8,11	0,52	3,5 [2,4; 4,64]	-2,1 [-3,3; -0,86]	-1,1 [-10,23; 9,04]	-4,60
Pic chevelu	Annuel	1968	01-01-2024	31-12-2008	3851	14,57	0,19	3,4 [3,01; 3,75]	5 [0,99; 9,23]	-0,98 [-6,1; 4,42]	-4,38
Paruline à croupion jaune	Été	1967	14-01-2002	14-12-2001	5695	21,61	2,30	0,22 [-0,34; 0,79]	-2,8 [-4,58; -0,9]	-4,1 [-6,34; -1,76]	-4,32
Courlis corlieu	Été	1987	03-05-1991	26-09-2015	137	0,46	0,01	0,22 [-1,15; 1,6]	2,6 [-0,7; 5,94]	4,5 [1,09; 8,12]	4,28
Busard des marais	Été	1968	21-03-2010	28-11-2021	4246	15,68	0,24	-0,31 [-0,98; 0,35]	-2,7 [-7,17; 2,07]	3,9 [-0,95; 8,89]	4,21
Grand Corbeau	Annuel	1967	01-01-2017	31-12-2020	5636	21,04	0,44	2,5 [1,91; 3,18]	-3,7 [-6,69; -0,58]	-1,7 [-5,22; 1,93]	-4,20
Faucon émerillon	Été	1976	05-01-2013	31-12-2023	2876	10,61	0,12	2,8 [2,09; 3,57]	-0,96 [-2,41; 0,51]	-1,4 [-2,85; -0,02]	-4,20
Cormoran à aigrettes	Été	1981	14-04-2024	12-11-2022	2287	8,48	0,23	-0,38 [-1,11; 0,37]	2,1 [-0,09; 4,26]	3,8 [1,74; 5,85]	4,18
Pie-grièche boréale	Hiver	1978	13-09-2009	10-05-2001	435	1,51	0,02	-0,48 [-1,02; 0,06]	7,9 [4,14; 11,75]	3,7 [-0,96; 8,63]	4,18
Bécasseau maubèche	Été	1978	17-05-1995	03-11-1991	198	0,77	0,04	1,1 [-0,54; 2,8]	-0,33 [-2,57; 1,96]	-3 [-5,62; -0,27]	-4,10
Grand Pic	Annuel	1983	02-01-2020	28-12-2022	701	2,29	0,03	5,7 [5,27; 6,16]	2,9 [0,82; 4,95]	1,6 [-3,31; 6,74]	-4,10

Tableau A8-2-2 Tendances de populations d'oiseaux (suite)

Espèce	Saison	Depuis	Date d'observation hâtive	Date d'observation tardive	Nombre de mentions	Constance	Abondance	Variation annuelle (%) [limites de confiance 95 %]			Différence de variation Zone d'étude – Québec[1]
								Québec	Saguenay – Lac-Saint-Jean	Zone d'étude restreinte	
Sterne pierregarin	Été	1976	08-05-2021	28-10-2002	2396	8,78	0,47	-2,4 [-3,41; -1,47]	2,3 [0,58; 4,09]	1,6 [-0,11; 3,28]	4,00
Bécasseau roussâtre	Été	1984	26-05-2003	24-09-1991	56	0,20	0,00	-0,34 [-2,05; 1,39]	-2,9 [-5,64; -0,13]	3,6 [1,34; 5,87]	3,94
Guifette noire	Été	1980	10-05-1984	17-09-2003	97	0,33	0,01	-1,5 [-2,45; -0,58]	1 [-0,38; 2,39]	2,4 [1,07; 3,68]	3,90
Harelde kakawi	Été	1971	06-04-1991	18-12-2015	630	2,38	0,22	-2,9 [-3,66; -2,07]	0,98 [-0,62; 2,61]	0,95 [-1,38; 3,33]	3,85
Tarin des pins	Été	1967	04-01-2023	27-12-2022	3246	12,41	0,93	0,76 [-0,39; 1,92]	2,7 [0,64; 4,81]	4,5 [2,1; 7,05]	3,74
Harle huppé	Été	1981	11-04-2021	27-12-2020	853	3,21	0,14	0,11 [-0,86; 1,09]	-3,7 [-7,2; -0,1]	-3,6 [-7,12; -0,04]	-3,71
Moucherolle phébi	Été	2002	17-04-2007	07-09-2002	38	0,14	0,00	3,2 [2,49; 3,84]	6 [3,06; 9]	-0,45 [-4,73; 4,02]	-3,65
Chouette rayée	Été	1991	22-02-2024	13-12-2020	21	0,02	0,00	0,5 [-0,09; 1,08]	1,8 [-1,17; 4,9]	4,1 [-6,85; 16,37]	3,60
Hirondelle de rivage	Été	1968	04-05-2013	15-09-2001	1473	5,59	1,47	-4,3 [-4,8; -3,74]	-1,8 [-4,36; 0,85]	-0,78 [-3,21; 1,71]	3,52
Bernache de Hutchins	Été	2002	20-04-2024	23-11-2023	280	1,01	0,02	5 [4,73; 5,35]	0,43 [-4,68; 5,81]	1,5 [-3,56; 6,8]	-3,50
Combattant varié	Été	1985	14-04-1987	04-10-1993	70	0,24	0,00	-1,1 [-3,27; 1,13]	-7,1 [-8,88; -5,29]	-4,5 [-10,81; 2,3]	-3,40
Paruline à collier	Été	1967	04-05-2013	11-10-2020	456	1,71	0,03	2,7 [2,07; 3,32]	-0,49 [-2,02; 1,07]	-0,62 [-2,98; 1,79]	-3,32
Bruant fauve	Été	1980	11-04-2021	26-12-2018	396	1,46	0,02	1,7 [0,86; 2,49]	-1,1 [-5,77; 3,76]	-1,6 [-6,42; 3,39]	-3,30
Garrot à oeil d'or	Été	1968	06-03-2024	30-12-2010	5088	19,09	1,75	-3,1 [-3,45; -2,73]	0,56 [-1,67; 2,85]	0,17 [-2,07; 2,46]	3,27
Sarcelle à ailes bleues	Été	1974	16-04-1987	31-10-1999	2596	9,91	0,84	-3,9 [-4,61; -3,1]	2,3 [1; 3,52]	-0,67 [-1,96; 0,64]	3,23
Moqueur polyglotte	Été	2002	04-01-2004	20-12-2014	88	0,27	0,00	-1,6 [-2,6; -0,57]	4,8 [2,77; 6,81]	1,6 [-1,46; 4,67]	3,20
Roselin pourpré	Été	1967	06-01-2019	27-12-2003	4296	16,24	0,53	-0,056 [-0,52; 0,41]	-2,8 [-4,9; -0,65]	-3,2 [-5,6; -0,78]	-3,14
Paruline rayée	Été	1978	15-05-2004	03-10-2018	496	1,86	0,06	-0,81 [-1,56; -0,05]	3,2 [0,85; 5,53]	2,3 [-0,89; 5,64]	3,11
Grive fauve	Été	1968	06-05-2019	29-09-2010	2076	7,84	0,18	0,014 [-0,34; 0,37]	1,3 [-0,39; 3,02]	3,1 [1,26; 4,88]	3,09
Canard noir	Été	1968	22-03-2012	11-12-2012	8181	31,05	7,95	-3,3 [-3,88; -2,68]	-0,61 [-2,55; 1,37]	-0,22 [-2; 1,59]	3,08

Tableau A8-2-2 Tendances de populations d'oiseaux (suite)

Espèce	Saison	Depuis	Date d'observation hâtive	Date d'observation tardive	Nombre de mentions	Constance	Abondance	Variation annuelle (%) [limites de confiance 95 %]			Différence de variation Zone d'étude – Québec[1]
								Québec	Saguenay – Lac-Saint-Jean	Zone d'étude restreinte	
Érismature rousse	Été	1982	02-05-1991	13-11-1998	293	1,11	0,02	-0,42 [-0,52; -0,31]	3,3 [2,12; 4,47]	2,6 [1,51; 3,77]	3,02
Paruline couronnée	Été	1974	08-05-2005	04-11-2019	547	2,07	0,05	0,99 [0,66; 1,32]	31 [26,07; 36,34]	3,9 [3,94; 3,96]	2,91
Bécassin roux	Été	1982	10-05-2015	26-09-2007	367	1,38	0,09	-6,2 [-7,52; -4,89]	-4,3 [-7,56; -0,84]	-3,3 [-7,43; 0,94]	2,90
Petit Garrot	Été	1980	03-04-2010	27-11-2009	1986	7,51	0,26	1,5 [0,81; 2,1]	-1,4 [-6,78; 4,39]	ND	-2,90
Goéland marin	Été	1978	20-03-2024	14-12-1996	1981	7,59	0,13	-1,9 [-2,62; -1,23]	3,1 [-0,52; 6,8]	1 [-2,76; 5,01]	2,90
Plectrophane des neiges	Hiver	1977	05-10-1996	28-05-1987	1899	7,07	18,00	-1,9 [-2,95; -0,83]	3,7 [1,71; 5,66]	1 [-0,85; 2,92]	2,90
Autour d'Amérique	Annuel	1968	02-01-2008	29-12-2014	97	0,36	0,00	-0,46 [-1,62; 0,71]	-1,3 [-2,86; 0,32]	-3,3 [-5,91; -0,53]	-2,84
Bruant chanteur	Été	1967	12-01-2015	31-12-2020	11 839	44,88	1,38	0,88 [0,52; 1,25]	3,2 [-0,33; 6,94]	3,7 [0,2; 7,31]	2,82
Bruant à gorge blanche	Été	1967	01-01-2024	30-12-2020	8639	32,50	1,39	-0,18 [-0,55; 0,2]	-2,9 [-3,9; -1,96]	-3 [-4,07; -1,96]	-2,82
Mésange à tête brune	Annuel	1967	02-01-1986	27-12-1992	534	2,06	0,05	0,52 [-0,68; 1,73]	0,69 [-0,65; 2,05]	-2,3 [-3,64; -0,97]	-2,82
Fuligule milouinan ou Petit Fuligule	Été	1979	11-04-2021	01-12-2015	1530	5,87	3,26	-4 [-5,48; -2,44]	0,085 [-1,93; 2,15]	-1,2 [-3,13; 0,76]	2,80
Paruline du Canada	Été	1977	20-05-2018	02-10-2020	135	0,52	0,01	-2,2 [-2,88; -1,52]	0,91 [-1,1; 2,97]	0,59 [-1,65; 2,89]	2,79
Accipiter sp.	Été	1979	23-01-2023	08-12-2023	30	0,11	0,00	-0,54 [-2,15; 1,11]	-1,9 [-6,83; 3,21]	-3,3 [-8,01; 1,58]	-2,76
Fuligule milouinan	Été	1979	13-04-2021	03-12-2016	578	2,14	0,06	-2,8 [-3,92; -1,76]	0,94 [-0,52; 2,42]	-0,043 [-1,59; 1,53]	2,76
Tyran tritri	Été	1968	04-05-2015	30-09-2020	1093	4,12	0,10	-0,15 [-0,54; 0,23]	1 [-2,25; 4,43]	2,6 [-0,82; 6,17]	2,75
Bécasseau violet	Été	1993	21-05-2024	27-11-2009	68	0,23	0,01	5,4 [3,6; 7,28]	2,2 [-0,55; 5,11]	2,7 [-1,01; 6,55]	-2,70
Sittelle à poitrine blanche	Hiver	2003	21-09-2016	10-05-2017	113	0,43	0,01	4 [3,33; 4,74]	1,8 [0,58; 3,1]	1,3 [-0,1; 2,64]	-2,70
Quiscale bronzé	Été	1967	05-01-2016	31-12-2022	8375	31,15	3,44	-0,58 [-1,03; -0,13]	-3,6 [-4,8; -2,46]	-3,2 [-4,3; -2,11]	-2,62
Hirondelle rustique	Été	1960	23-04-1987	05-10-2000	2898	10,94	0,65	-3,3 [-3,61; -2,94]	-7 [-9,81; -4,06]	-5,9 [-9,07; -2,56]	-2,60
Moqueur chat	Été	1968	05-05-2020	19-12-2015	697	2,63	0,04	1,2 [0,47; 1,85]	-2 [-2,76; -1,21]	-1,4 [-2,29; -0,54]	-2,60

Tableau A8-2-2 Tendances de populations d'oiseaux (suite)

Espèce	Saison	Depuis	Date d'observation hâtive	Date d'observation tardive	Nombre de mentions	Constance	Abondance	Variation annuelle (%) [limites de confiance 95 %]			Différence de variation Zone d'étude – Québec[1]
								Québec	Saguenay – Lac-Saint-Jean	Zone d'étude restreinte	
Pic flamboyant	Été	1968	02-01-2015	18-12-2021	6529	24,62	0,43	0,12 [-0,15; 0,38]	2,8 [-0,94; 6,67]	2,7 [-1,04; 6,65]	2,58
Canard siffleur	Été	1983	01-05-2013	11-07-1993	262	0,99	0,01	-0,58 [-1,66; 0,52]	-4,8 [-5,69; -4]	-3,1 [-7,17; 1,11]	-2,52
Pic maculé	Été	1974	07-04-2023	09-10-2021	327	1,18	0,02	2,8 [2,44; 3,26]	0,42 [-3,78; 4,8]	0,28 [-3,79; 4,52]	-2,52
Moucherolle des aulnes	Été	1967	20-05-2024	10-09-2001	1450	5,54	0,15	1 [0,37; 1,71]	3,1 [2,08; 4,09]	3,5 [2,56; 4,39]	2,50
Moineau domestique	Hiver	1968	01-07-2011	30-06-2000	3633	13,58	0,89	-2,9 [-3,25; -2,49]	-0,92 [-6,78; 5,31]	-0,45 [-6,24; 5,7]	2,45
Mésangeai du Canada	Annuel	1976	04-01-2016	29-12-2012	184	0,64	0,01	1,7 [0,63; 2,73]	0,45 [-0,94; 1,87]	-0,74 [-2,69; 1,24]	-2,44
Bécasseau de Baird	Été	1987	10-08-2001	17-10-2007	351	1,35	0,02	0,11 [-0,9; 1,13]	1,5 [0,23; 2,8]	2,5 [1,08; 3,88]	2,39
Bruant hudsonien	Été	1960	01-01-2017	31-12-2016	2418	9,23	0,52	-0,84 [-1,58; -0,09]	-4,2 [-7,34; -0,97]	-3,2 [-6,14; -0,22]	-2,36
Goéland bourgmestre	Été	1980	02-01-2023	26-12-2015	271	1,03	0,02	0,26 [-0,92; 1,46]	1,8 [0,06; 3,61]	2,6 [0,1; 5,23]	2,34
Oie rieuse	Été	1994	18-04-2008	24-11-2016	82	0,28	0,00	3,4 [1,99; 4,92]	-1,1 [-11,66; 10,74]	1,1 [-10,03; 13,56]	-2,30
Bécasseau variable	Été	1978	27-04-2001	18-11-2007	1381	5,24	0,59	0,39 [-0,92; 1,73]	-1,9 [-3,89; 0,21]	-1,9 [-4; 0,16]	-2,29
Pigeon biset	Hiver	1978	01-07-2017	30-06-2020	4369	16,13	1,42	-0,28 [-0,87; 0,31]	0,95 [-0,15; 2,06]	2 [1,14; 2,79]	2,28
Grand-duc d'Amérique	Été	1983	29-01-2023	20-12-2009	62	0,13	0,00	-0,34 [-0,96; 0,29]	-2,8 [-5,2; -0,33]	-2,6 [-4,78; -0,38]	-2,26
Hirondelle bicolore	Été	1960	14-04-2006	19-09-2002	6084	22,78	4,04	-0,32 [-0,8; 0,16]	2,1 [0,13; 4,1]	1,9 [-0,03; 3,86]	2,22
Geai bleu	Hiver	1967	01-07-2021	30-06-2022	5085	19,00	0,48	2,7 [2,38; 3,05]	-1,2 [-2,74; 0,42]	0,5 [-1,14; 2,16]	-2,20
Goéland ou Mouette sp.	Été	1979	24-01-2002	12-12-2015	401	1,44	0,62	-1,9 [-4,08; 0,4]	0,98 [-0,7; 2,68]	0,27 [-1,16; 1,72]	2,17
Bernache du Canada	Été	1977	16-01-2010	29-12-2011	8663	31,83	120,08	1,5 [0,87; 2,13]	ND	3,6 [-1,22; 8,69]	2,10
Paruline obscure	Été	1967	05-05-2012	12-10-2015	1084	4,08	0,11	-1,1 [-2,07; -0,08]	1,7 [-0,03; 3,45]	1 [-1,66; 3,73]	2,10
Roitelet à couronne rubis	Été	1967	14-04-2021	16-11-2018	3674	13,93	0,45	0,34 [-0,29; 0,98]	1,4 [0,36; 2,45]	2,4 [1,24; 3,6]	2,06
Paruline jaune	Été	1974	09-05-2022	17-09-2018	2174	8,25	0,17	2,4 [2; 2,87]	4,4 [1,48; 7,46]	4,4 [1,96; 6,99]	2,00

Tableau A8-2-2 Tendances de populations d'oiseaux (suite)

Espèce	Saison	Depuis	Date d'observation hâtive	Date d'observation tardive	Nombre de mentions	Constance	Abondance	Variation annuelle (%) [limites de confiance 95 %]			Différence de variation Zone d'étude – Québec[1]
								Québec	Saguenay – Lac-Saint-Jean	Zone d'étude restreinte	
Bécassine de Wilson	Été	1975	09-04-2021	08-11-2015	1278	4,75	0,12	-3,2 [-3,51; -2,89]	-0,9 [-2,4; 0,61]	-1,2 [-2,95; 0,58]	2,00
Pipit d'Amérique	Été	1978	01-05-2012	26-11-2022	1479	5,66	1,07	-1,3 [-2,1; -0,41]	0,96 [-2,18; 4,2]	0,56 [-3,74; 5,05]	1,86
Butor d'Amérique	Été	1974	22-04-2019	09-10-1994	434	1,60	0,02	-0,85 [-1,35; -0,34]	0,66 [-1,15; 2,5]	0,97 [-0,75; 2,72]	1,82
Bruant de Lincoln	Été	1968	04-05-2024	17-10-2018	427	1,61	0,03	-0,99 [-1,93; -0,03]	-4 [-8,34; 0,53]	-2,8 [-7,05; 1,75]	-1,81
Tohi à flancs roux	Hiver	1981	27-10-2023	05-05-1985	57	0,18	0,00	-0,23 [-1,55; 1,11]	-2,6 [-4,19; -0,89]	-2 [-3,74; -0,22]	-1,77
Hirondelle sp.	Été	1985	29-04-1990	21-10-2021	146	0,53	0,76	3,8 [0,31; 7,35]	8,4 [4,4; 12,63]	5,5 [0,31; 10,96]	1,70
Pic à dos noir	Été	1978	03-01-2014	27-12-1986	101	0,32	0,00	1,7 [0,51; 2,99]	4,4 [3,42; 5,42]	3,4 [2,4; 4,49]	1,70
Petit Chevalier	Été	1968	26-04-2007	03-11-1991	2635	9,97	0,69	-2,9 [-3,76; -2,05]	-0,48 [-2,59; 1,67]	-1,2 [-3,66; 1,3]	1,70
Grand Chevalier	Été	1975	12-04-1987	10-11-1991	3828	14,45	1,04	-2,9 [-3,51; -2,19]	-0,72 [-2,82; 1,43]	-1,2 [-3,09; 0,75]	1,70
Petit ou Grand Chevalier	Été	1988	15-04-2020	22-10-2018	76	0,28	0,06	1,5 [-3,16; 6,31]	-0,72 [-3,01; 1,63]	-0,14 [-2,36; 2,12]	-1,64
Bruant des prés	Été	1968	17-04-2017	07-11-2010	2631	10,01	0,30	-3 [-3,39; -2,66]	-1,4 [-6,61; 4,15]	ND	1,60
Bécasseau à poitrine cendrée	Été	1978	23-04-2023	07-11-2015	1155	4,40	1,29	-3,3 [-4,79; -1,75]	0,94 [-1,51; 3,45]	-1,7 [-4,8; 1,45]	1,60
Phalarope à bec étroit	Été	1980	13-05-2006	25-09-1995	217	0,79	0,01	0,19 [-1,9; 2,31]	-0,94 [-2,49; 0,62]	-1,4 [-3,5; 0,8]	-1,59
Macreuse à ailes blanches	Été	1983	02-05-2002	04-12-2016	612	2,31	0,24	0,8 [-0,11; 1,72]	0,26 [-1,19; 1,72]	-0,77 [-2,56; 1,05]	-1,57
Paruline à tête cendrée	Été	1967	10-05-2015	27-09-2010	1031	3,89	0,10	1,5 [0,86; 2,11]	-0,45 [-2,64; 1,8]	-0,029 [-2,57; 2,57]	-1,53
Bécasseau minuscule	Été	1968	01-05-1993	14-10-2007	2351	8,88	1,03	-2,2 [-2,95; -1,51]	-0,72 [-2,14; 0,73]	-0,68 [-1,95; 0,61]	1,52
Aigle royal	Été	1994	13-03-2005	30-11-2021	51	0,20	0,00	2,7 [1,39; 4,02]	6,3 [2,77; 9,86]	4,2 [-1,66; 10,37]	1,50
Canard pilet	Été	1976	25-03-2007	28-11-2003	5416	20,53	7,88	-1,7 [-2,53; -0,94]	-1 [-3,32; 1,33]	-0,22 [-2,31; 1,92]	1,48
Macreuse à front blanc	Été	1984	04-05-2022	27-11-2016	229	0,84	0,04	0,92 [-0,22; 2,08]	-0,89 [-4,68; 3,05]	-0,54 [-4,31; 3,37]	-1,46
Alouette hausse-col	Été	1979	02-01-2022	31-12-2017	862	3,27	0,79	-2,4 [-3,13; -1,59]	0,13 [-2,18; 2,5]	-0,94 [-3,65; 1,85]	1,46

Tableau A8-2-2 Tendances de populations d'oiseaux (suite)

Espèce	Saison	Depuis	Date d'observation hâtive	Date d'observation tardive	Nombre de mentions	Constance	Abondance	Variation annuelle (%) [limites de confiance 95 %]			Différence de variation Zone d'étude – Québec[1]
								Québec	Saguenay – Lac-Saint-Jean	Zone d'étude restreinte	
Grèbe jougris	Été	1982	24-04-1996	23-11-1995	238	0,84	0,02	-0,89 [-1,72; -0,05]	2,4 [0,33; 4,62]	0,53 [-1,9; 3,02]	1,42
Bécasseau à croupion blanc	Été	1985	14-05-2003	12-11-2022	685	2,60	0,30	1 [-0,54; 2,65]	0,3 [-0,48; 1,1]	-0,25 [-1,12; 0,63]	-1,25
Bihoreau gris	Été	1968	09-04-1989	12-10-1991	366	1,27	0,02	-4,2 [-4,74; -3,67]	-5,4 [-8,76; -1,95]	ND	-1,20
Pluvier semipalmé	Été	1968	08-05-1999	09-11-2023	2544	9,66	0,83	-0,022 [-0,66; 0,62]	-2,4 [-5,02; 0,33]	-1,1 [-3,76; 1,56]	-1,08
Garrot d'Islande	Été	1983	11-04-2021	01-12-2020	101	0,37	0,00	-0,46 [-1,21; 0,29]	1 [-2,36; 4,57]	0,59 [-2,78; 4,07]	1,05
Chevalier solitaire	Été	1968	17-04-2022	08-10-2011	952	3,53	0,08	-0,46 [-1,12; 0,2]	0,42 [-1,47; 2,34]	0,59 [-1,54; 2,76]	1,05
Canard d'Amérique	Été	1977	28-03-1993	18-11-2023	6160	23,39	2,02	-2 [-2,92; -1,07]	-1,6 [-3,74; 0,5]	-0,96 [-2,75; 0,87]	1,04
Hirondelle à front blanc	Été	1985	10-05-2015	23-08-2022	87	0,27	0,01	0,26 [-0,62; 1,14]	-1 [-2,35; 0,31]	-0,77 [-2,12; 0,58]	-1,03
Paruline noir et blanc	Été	1977	02-05-2011	16-09-2023	566	2,12	0,04	0,87 [0,47; 1,27]	0,73 [-0,99; 2,48]	1,9 [-0,22; 4,02]	1,03
Grive solitaire	Été	1967	29-01-2007	12-11-2018	876	3,25	0,07	1,2 [0,6; 1,81]	1,1 [-1,04; 3,24]	2,2 [0,03; 4,35]	1,00
Buteo sp.	Été	1980	11-04-2006	02-11-2007	140	0,52	0,01	-6,1 [-8,02; -4,09]	-7,1 [-8,79; -5,42]	-7,1 [-8,89; -5,24]	-1,00
Crécerelle d'Amérique	Été	1967	15-03-2010	07-12-2000	2875	10,40	0,19	-2 [-2,64; -1,35]	-0,85 [-1,89; 0,2]	-1 [-2,21; 0,18]	1,00
Pic sp.	Été	1980	21-01-1987	27-12-1989	117	0,44	0,01	0,92 [-0,86; 2,73]	2 [-1,41; 5,61]	0,016 [-3,39; 3,55]	-0,90
Grèbe esclavon	Été	1985	27-04-2023	08-11-2014	153	0,56	0,01	-0,21 [-1,17; 0,76]	-0,98 [-3,42; 1,52]	-1,1 [-3,61; 1,49]	-0,89
Paruline tigrée	Été	1978	05-05-2022	15-10-2022	680	2,57	0,05	0,085 [-1,08; 1,27]	0,93 [-0,98; 2,89]	-0,79 [-3,26; 1,74]	-0,88
Paruline à poitrine baie	Été	1967	08-05-2010	26-09-2003	328	1,24	0,02	-1,4 [-2,4; -0,47]	1,1 [-0,6; 2,89]	-0,56 [-2,61; 1,53]	0,84
Paruline à joues grises	Été	1967	04-05-2010	05-10-1992	1176	4,45	0,11	0,9 [0,18; 1,63]	0,12 [-1,57; 1,84]	0,11 [-2,2; 2,47]	-0,79
Plongeon catmarin	Été	2000	11-05-2018	03-12-2016	92	0,35	0,05	2,3 [0,74; 3,98]	1,5 [-0,76; 3,76]	3 [0,66; 5,46]	0,70
Petite Nyctale	Été	1985	09-03-2015	02-10-2022	35	0,09	0,00	2,4 [1,32; 3,54]	2,2 [0,41; 4,01]	1,7 [-0,16; 3,55]	-0,70
Étourneau sansonnet	Annuel	1968	01-01-2022	31-12-2020	11 628	43,35	10,11	-2 [-2,93; -1,15]	3,4 [1,33; 5,46]	-1,3 [-3,36; 0,74]	0,70

Tableau A8-2-2 Tendances de populations d'oiseaux (suite)

Espèce	Saison	Depuis	Date d'observation hâtive	Date d'observation tardive	Nombre de mentions	Constance	Abondance	Variation annuelle (%) [limites de confiance 95 %]			Différence de variation Zone d'étude – Québec[1]
								Québec	Saguenay – Lac-Saint-Jean	Zone d'étude restreinte	
Chevalier grivelé	Été	1967	03-05-1991	02-11-2009	2821	10,53	0,21	-2,6 [-3,2; -2,03]	-2,7 [-3,73; -1,65]	-3,3 [-4,4; -2,23]	-0,70
Canard colvert	Été	1977	03-01-2016	18-12-2015	12 799	47,91	6,51	4,9 [4,18; 5,64]	5,4 [3,45; 7,43]	5,6 [3,96; 7,17]	0,70
Pioui de l'Est	Été	1982	23-05-2022	19-08-2022	28	0,10	0,00	-0,27 [-0,75; 0,21]	-2,3 [-5,84; 1,31]	0,39 [-4,18; 5,18]	0,66
Paruline à gorge orangée	Été	1967	11-05-2018	13-09-2008	230	0,87	0,01	0,39 [-0,25; 1,04]	0,27 [-0,65; 1,2]	-0,25 [-1,24; 0,74]	-0,64
Bécasse d'Amérique	Été	1980	04-04-2021	23-10-2004	209	0,69	0,01	-0,8 [-1,35; -0,24]	1,1 [0,15; 1,97]	-0,19 [-1,02; 0,64]	0,61
Paruline triste	Été	1967	19-05-2014	17-09-2023	353	1,34	0,03	-1,1 [-1,84; -0,31]	2,5 [0,94; 4,06]	-0,57 [-2,35; 1,26]	0,53
Bruant des marais	Été	1967	15-01-2019	28-12-2018	3540	13,54	0,32	1,4 [0,84; 1,95]	0,33 [-2,32; 3,05]	0,88 [-1,59; 3,42]	-0,52
Paruline à flancs marron	Été	1967	13-05-2022	18-09-1999	813	3,04	0,06	2 [1,53; 2,44]	0,24 [-0,94; 1,44]	1,5 [0,04; 2,95]	-0,50
Catharus sp.	Été	1988	25-04-2004	17-10-1991	20	0,07	0,00	2,7 [0,55; 4,95]	7,5 [1,55; 13,77]	3,2 [-3,4; 10,25]	0,50
Colibri à gorge rubis	Été	1967	07-05-2009	04-10-2010	1273	4,68	0,07	2,5 [2; 3,09]	4,3 [2,96; 5,63]	3 [1,39; 4,63]	0,50
Hibou des marais	Annuel	1981	21-01-2007	10-12-2011	144	0,44	0,01	-3,1 [-4,12; -2,01]	-1,1 [-3,14; 1,05]	-2,6 [-4,8; -0,41]	0,50
Carouge à épaulettes	Été	1968	02-01-2022	22-12-1998	10 099	37,99	8,50	-1,7 [-2,31; -1,18]	-1,3 [-2,73; 0,21]	-1,2 [-2,52; 0,08]	0,50
Balbuzard pêcheur	Été	1968	14-04-2024	24-10-2017	2586	9,58	0,19	-1 [-1,78; -0,23]	-1,3 [-2,92; 0,28]	-0,51 [-2,09; 1,09]	0,49
Macreuse à bec jaune	Été	1981	02-04-2010	11-12-2006	431	1,56	0,12	1,3 [0; 2,61]	0,69 [-7,11; 9,15]	0,82 [-6,96; 9,25]	-0,48
Canard souchet	Été	1977	11-04-2021	22-10-2022	4749	18,04	0,98	-0,64 [-1,17; -0,1]	0,14 [-1,86; 2,18]	-0,18 [-1,99; 1,66]	0,46
Barge hudsonienne	Été	1987	12-05-1990	03-11-2009	269	0,99	0,02	-2,1 [-3,72; -0,48]		-1,7 [-6,01; 2,85]	0,40
Grimpereau brun	Été	1981	02-01-2018	27-12-1988	421	1,60	0,02	0,7 [0,18; 1,22]	3,3 [1,98; 4,68]	1,1 [-0,28; 2,44]	0,40
Sarcelle d'hiver	Été	1968	02-04-2010	28-11-2003	7646	28,89	22,93	-1,1 [-2,17; 0,03]	1,4 [-0,62; 3,48]	-1,5 [-3,79; 0,81]	-0,40
Durbec des sapins	Hiver	1976	02-10-1983	13-05-1981	1284	4,74	0,29	0,22 [-0,91; 1,36]	-0,12 [-1,47; 1,24]	-0,15 [-2,36; 2,1]	-0,37
Martin-pêcheur d'Amérique	Été	1967	18-04-2023	15-11-2007	1771	6,47	0,08	-0,34 [-0,62; -0,05]	-0,27 [-3,59; 3,16]	0,02 [-3,42; 3,58]	0,36

Tableau A8-2-2 Tendances de populations d'oiseaux (suite)

Espèce	Saison	Depuis	Date d'observation hâtive	Date d'observation tardive	Nombre de mentions	Constance	Abondance	Variation annuelle (%) [limites de confiance 95 %]			Différence de variation Zone d'étude – Québec[1]
								Québec	Saguenay – Lac-Saint-Jean	Zone d'étude restreinte	
Paruline masquée	Été	1967	10-05-2015	07-10-2017	3190	12,15	0,30	1,1 [0,76; 1,46]	0,33 [-1,05; 1,72]	0,77 [-0,72; 2,28]	-0,33
Oie de Ross	Été	1999	30-04-2002	18-11-2016	143	0,48	0,01	1,6 [0,33; 2,98]	1,4 [-0,91; 3,83]	1,3 [-0,84; 3,4]	-0,30
Buse à queue rousse	Été	1983	24-02-2016	25-11-2019	1204	4,45	0,13	0,78 [-0,88; 2,47]	0,57 [-1,61; 2,8]	0,53 [-1,77; 2,89]	-0,25
Paruline à gorge noire	Été	1967	08-05-1982	28-09-1991	350	1,32	0,02	1,1 [0,75; 1,5]	0,84 [-0,3; 2]	1,3 [-0,04; 2,6]	0,20
Corneille d'Amérique	Été	1967	01-01-2022	31-12-2020	20 470	75,60	8,21	0,5 [0,12; 0,89]	-4,2 [-5,92; -2,4]	0,65 [-0,41; 1,73]	0,15
Gélinotte huppée	Annuel	1967	01-01-2023	30-12-2023	1024	3,76	0,06	0,51 [0,05; 0,97]	3,3 [1,41; 5,26]	0,4 [-1,63; 2,47]	-0,11
Pic à dos rayé	Annuel	1980	14-01-2012	27-12-1990	62	0,23	0,00	-0,53 [-1,65; 0,6]	0,043 [-0,86; 0,95]	-0,57 [-1,43; 0,29]	-0,04
Canard branchu	Été	1980	02-04-2010	03-12-2017	1600	5,95	0,24	6,1 [5,56; 6,7]	5,9 [3,87; 8,06]	6,1 [3,88; 8,44]	0,00
Chardonneret jaune	Été	1967	01-01-2024	31-12-2008	9813	36,99	1,52	2,5 [1,98; 2,92]	2,2 [1,27; 3,13]	2,5 [1,53; 3,47]	0,00
Bruant familier	Été	1968	10-04-2021	23-11-2020	4502	17,09	0,44	1,9 [1,59; 2,26]	3 [-0,05; 6,18]	1,9 [-1,1; 4,98]	0,00
Anatidé sp. (Canard barboteur sp.)	Été	1981	03-04-2010	10-12-2015	151	0,55	1,47		7,7 [-0,42; 16,47]	8,3 [-0,13; 17,5]	ND
Grue du Canada	Été	1992	09-04-2022	04-11-2019	935	3,23	1,91		2,3 [-0,89; 5,59]	3,1 [-0,08; 6,48]	ND
Melanitta sp.	Été	1983	04-05-2022	21-11-2017	138	0,53	0,20		2,5 [-1,06; 6,12]	0,93 [-2,74; 4,75]	ND

Note : 1 Lorsque la variation pour la zone d'étude n'est pas disponible; la différence est calculée à partir de la variation pour la région du Saguenay–Lac-Saint-Jean.

Source : REGROUPEMENT QUÉBECOISEAUX (RQO). 2024. *Classeur Excel de synthèse de données eBird*. Montréal, Québec. Reçu le 6 août 2024.

wsp.com