



ADAPTATION AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES

Solutions pour améliorer la résilience des
milieux humides côtiers des Grands Lacs



Gouvernement
du Canada

Government
of Canada

Canada

N° de cat. : CW66-778/5-2022F-PDF
ISBN : 978-0-660-43801-6
EC22022

À moins d'avis contraire, il est interdit de reproduire le contenu de cette publication, en totalité ou en partie, à des fins de diffusion commerciale sans avoir obtenu au préalable la permission écrite de l'administrateur du droit d'auteur d'Environnement et Changement climatique Canada. Si vous souhaitez obtenir du gouvernement du Canada les droits de reproduction du contenu à des fins commerciales, veuillez demander l'affranchissement du droit d'auteur de la Couronne en communiquant avec :

Environnement et Changement climatique Canada
Centre de renseignements à la population
12^e étage, édifice Fontaine
200, boulevard Sacré-Cœur
Gatineau (Québec) K1A 0H3
Téléphone : 819-938-3860
Ligne sans frais : 1-800-668-6767 (au Canada seulement)
Courriel : enviroinfo@ec.gc.ca

Photo page couverture : © Gettyimages

© Sa Majesté le Roi du chef du Canada, représentée par le ministre de l'Environnement et du Changement climatique, 2022

Also available in English

Citation recommandée

Environnement et Changement climatique Canada. 2022. Adaptation aux changements climatiques : Solutions pour améliorer la résilience des terres humides côtières des Grands Lacs. Mayne, G., Hazen, S., Milner, G., Rivers, P., MacMillan, K., Mortsch, L., et Zuzek, P., 167 p.

Remerciements

La rédaction du document ***Adaptation aux changements climatiques : Solutions pour améliorer la résilience des terres humides côtières des Grands Lacs*** était une priorité de l'Initiative de protection des Grands Lacs 2017-2022 visant à s'attaquer aux problèmes les plus pressants qui touchent la qualité de l'eau et la santé des Grands Lacs. Nous tenons à remercier notre équipe de rédaction pour ses efforts :

- Greg Mayne (Environnement et Changement climatique Canada);
- Shelley Hazen (GEI Consultants, division de Savanta);
- Glenn Milner (Climate Risk Institute);
- Patrick Rivers (Environnement et Changement climatique Canada);
- Kirsten MacMillan (Climate Risk Institute);
- Linda Mortsch (Université de Waterloo);
- Pete Zuzek (Zuzek Inc.).

Nous tenons également à remercier le Comité consultatif sur la résilience des terres humides pour son temps et ses efforts. La rédaction du présent livre blanc n'aurait pas été possible sans les connaissances de ses membres :

- Anders Holder (Environnement et Changement climatique Canada);
- Angela Wallace (Office de protection de la nature de Toronto et de la région);
- Claire Sanders (Office de protection de la nature de la région d'Essex);
- Frances Delaney (Environnement et Changement climatique Canada);
- Jo-Anne Rzadki (Conservation Ontario);
- John Sommerville (Ressources naturelles Canada);
- Kristen Bernard (Conservation de la nature Canada);
- Kristina Dokoska (Ontario Climate Consortium);
- Linda Mortsch
- Pete Zuzek (Zuzek Inc.)
- Samantha Longo (Environnement et Changement climatique Canada);
- Scott Parker (Parcs Canada);
- Sharon Lam (Ontario Climate Consortium).

Table des Matières

Glossaire.....	8
Résumé	11
1. Introduction.....	20
1.1 Pourquoi miser sur la résilience aux changements climatiques?	21
1.2 Planifier l'adaptation et évaluer la vulnérabilité	22
2.0 Terres humides côtières des Grands Lacs : la résilience de quoi?	24
2.1 Fonctions et valeurs des terres humides	25
2.2 L'écosystème des terres humides côtières	27
2.2.1 Perte de terres humides côtières et situation actuelle en matière de protection ..	28
2.3 Facteurs de stress non climatiques et leurs impacts	30
2.3.1 Conversion en terres agricoles.....	32
2.3.2 Développement urbain et littoral.....	32
2.3.3 Pollution et dégradation des terres humides	34
2.3.4 Espèces végétales et animales envahissantes	34
3.0 Tendances et impacts climatiques : la résilience à quoi?	35
3.1 Température, précipitations et niveaux d'eau futurs dans les Grands Lacs.....	35
3.1.1 Température de l'air dans les terres	36
3.1.2 Précipitations sur les lacs.....	36
3.1.3 Couverture de glace	37
3.1.4 Niveaux d'eau.....	38
3.2 Impacts des changements climatiques sur les terres humides côtières	42
3.2.1 Changements du régime hydrologique	42
3.2.2 Dégradations de la qualité de l'eau	44
3.2.3 Altération des processus côtiers.....	44
3.2.4 Déclin de la biodiversité des terres humides.....	44
3.2.5 Impératifs en matière d'adaptation et de résilience	48
4.0 Adaptation et résilience : des concepts à la mise en œuvre.....	49
4.1 Notions sur la résilience des écosystèmes	49
4.1.1 Conditions préalables et principes en matière de résilience	50
4.1.2 Caractéristiques de la résilience des écosystèmes de terres humides côtières...	53
4.2 Pertinence des seuils écosystémiques pour la résilience des terres humides.....	55
4.3 Les voies vers la résilience	57
4.4 Exemples de cas de transformation	58
4.4.1 Solutions axées sur la nature	60
5.0 Options d'adaptation pour améliorer la résilience des terres humides côtières.....	61
5.1 Cadre d'adaptation des terres humides côtières	62
5.2 Stratégie 1 : Réduire les facteurs de stress non climatiques et renforcer la capacité d'adaptation.....	64
5.2.1 Mesure 1A : Maintenir et améliorer la qualité de l'eau des terres humides.....	64
5.2.2 Mesure 1B : Détecter et combattre les animaux envahissants et prévenir leur établissement.....	69
5.2.3 Mesure 1C : rétablir la connectivité hydrologique.....	73
5.2.4 Mesure 1D : restaurer et préserver la connectivité du paysage	75
5.3 Stratégie 2 : Protéger la géodiversité des cellules littorales et restaurer les formes de relief côtier agissant comme barrières	79

5.3.1	Mesure 2A : Mettre à jour les politiques et règlements relatifs à l'utilisation des terres nuisant aux processus côtiers	82
5.3.2	Mesure 2B : Appliquer les principes de gestion intégrée des zones côtières à l'élaboration de plans de gestion des cellules littorales	85
5.3.3	Mesure 2C : Rétablir l'apport en sédiments et le transport des sédiments le long du rivage des cellules littorales	87
5.3.4	Mesure 2D : Mettre en œuvre des projets locaux pour protéger et restaurer les barrières littorales.....	89
5.4	Stratégie 3 : Maintenir et restaurer la biodiversité et la redondance fonctionnelle	90
5.4.1	Mesure 3A : Améliorer la structure des communautés et les populations d'espèces indigènes	91
5.4.2	Mesure 3B : Combattre les espèces végétales envahissantes	93
5.4.3	Mesure 3C : Préserver et restaurer les espèces et communautés végétales indigènes	98
5.5	Stratégie 4 : Améliorer la capacité des terres humides à s'adapter aux modifications hydrologiques.....	100
5.5.1	Mesure 4A : Gérer les terres humides de façon à ce qu'elles s'adaptent aux périodes prolongées de niveau élevé des lacs	101
5.5.2	Mesure 4B : Gérer les terres humides de façon à ce qu'elles s'adaptent aux faibles niveaux des lacs.....	104
5.5.3	Mesure 4C : Retirer, réaménager ou relocaliser les infrastructures contraignant les terres humides et intégrer des rivages vivants.....	106
5.5.4	Mesure 4D : Gérer et améliorer la résilience des terres humides endiguées.....	108
5.6	Stratégie 5 : Recenser, gérer protéger et créer des refuges climatiques.....	110
5.6.1	Mesure 5A : Recenser et gérer les zones de refuge	112
5.6.2	Mesure 5B : Protéger les sources et processus d'eau souterraine et les refuges connexes	114
5.7	Stratégie 6 : Améliorer la conservation et la protection des terres humides côtières des Grands Lacs.....	116
6.0	Résumé des lacunes en matière de gestion et de politiques.....	121
6.1	Gouvernance.....	121
6.2	Politiques	122
6.3	Science et modélisation prédictive	123
6.4	Surveillance, inventaires, cartographie et évaluation.....	124
6.5	Établissement des priorités, conception et mise en œuvre des options d'adaptation	124
7.0	Résilience des terres humides côtières : un regard optimiste sur l'avenir	125
	Références.....	127

Liste des Figures

Figure 1. Fonctions et valeurs des terres humides côtières et intérieures (MRNFO, 2017).....	21
Figure 2. Cadre général de planification et de mise en œuvre de l'adaptation.	22
Figure 3. Cadre d'évaluation de la vulnérabilité illustrant la relation entre l'exposition et la sensibilité aux changements climatiques, et la capacité d'adaptation (Adapté de Glick et al., 2011).....	23
Figure 4. Les terres humides côtières connectent les Canadiens aux Grands Lacs.	24
Figure 5. Schéma conceptuel des fonctions des terres humides côtières et des services écologiques qu'elles fournissent (ECCC, 2021).....	26
Figure 6. Brève perspective historique de la situation et des tendances des terres humides côtières des Grands Lacs.....	31
Figure 7. Schéma conceptuel des menaces et des facteurs de stress affectant actuellement les terres humides côtières (ECCC, 2021).....	33
Figure 8. Peuplement dense de roseau commun envahissant (Janice Gilbert, MNRFO).....	34
Figure 9. Température de l'air annuelle moyenne historique et projetée dans les terres des Grands Lacs selon les scénarios RCP4.5 (orange) et RCP8.5 (rouge) (OCC, 2021).....	39
Figure 10. Précipitations annuelles totales, historiques et projetées, dans les Grands Lacs selon les scénarios RCP4.5 (bleu) et RCP8.5 (violet) (OCC, 2021).....	40
Figure 11. Niveaux annuels moyens des Grands Lacs (et du lac Sainte-Claire) : niveaux historiques (1961-2019) et projetés (2025-2095) selon les scénarios RCP4.5 (bleu) et RCP8.5 (vert) (OCC, 2021).....	41
Figure 12. Schéma conceptuel des impacts potentiels des changements climatiques sur les terres humides côtières des Grands Lacs (ECCC, 2021).....	43
Figure 13. Création d'une terre humide côtière au parc Tommy Thompson, à Toronto.	49
Figure 14. Végétation de marais côtier au parc provincial Rondeau.	53
Figure 15. Terre humide côtière de l'est de la baie Georgienne située sur le Bouclier Canadien.	54
Figure 16. Terre humide côtière du lac Ontario dominée par des quenouilles (USGS).	56
Figure 17. Inondation du marais Hillman en raison de la rupture de la barrière littorale qui l'abrite (Zuzek, 2020).....	57
Figure 18. Conceptualisations de la résilience (Joakim et coll., 2015).	58
Figure 19. Passer de la réaction au recadrage et à la transformation (GIEC, 2014; Lonsdale et coll., 2015).	59
Figure 20. Important rechargement de sable sur la côte de Delfland, au Pays-Bas.....	60
Figure 21. Barrières littorales au parc Presque Isle.....	61
Figure 22. Restauration de la barrière littorale de la baie Braddock.....	61
Figure 23. Cadre pour la résilience et l'adaptation des terres humides côtières, allant des voies générales de la résilience aux stratégies, mesures et options d'adaptation.	62
Figure 24. Échelles des mesures d'adaptation utilisées dans le présent livre blanc, allant de l'échelle locale (à gauche) à l'échelle du bassin lacustre (à droite).	63
Figure 25. Répartition de la couverture terrestre et du drainage par tuyaux dans le sud de l'Ontario (Eimers et coll., 2020).....	65

Figure 26. Répartition des scores de l'indice de qualité de l'eau et d'utilisation des terres humides dans le bassin des Grands Lacs. Les cercles jaunes indiquent les scores de qualité de l'eau les plus faibles, et les cercles bleu foncé représentent les scores les plus élevés (Harrison et coll., 2020).....	65
Figure 27. Connectivité du paysage dans les bassins hydrographiques côtiers des Grands Lacs inférieurs (ECCC, 2021).	76
Figure 28. Pourcentage du rivage qui a été artificialisé (ECCC, 2021).....	79
Figure 29. Représentation graphique de la perte de terres humides à cause du piégeage de sédiments du côté ouest de la jetée ouest protégeant le chenal de navigation de la baie Rondeau (Zuzek, 2021).....	81
Figure 30. Schéma conceptuel d'une cellule littorale (Zuzek, 2021a).....	82
Figure 31. Présence du roseau commun aux lacs Érié et Sainte-Claire (ECCC, 2021).	94
Figure 32. Exemple de migration potentielle des terres humides à l'est du lac Sainte Claire et dans le delta de la rivière Walpole (ECCC, 2021).	112

Liste des tableaux

Tableau 1. Classification hydrogéomorphologique des terres humides côtières des Grands Lacs (Albert et coll., 2005; Mortsch, 2006).....	27
Tableau 2. Superficie restante de terres humides côtières et superficie actuelle des terres protégées dans la bande côtière de deux kilomètres des Grands Lacs canadiens (ECCC, 2021 - inédit).....	29
Tableau 3. Résumé des principales variables climatiques en tant que facteurs de changement, de leurs impacts probables et des facteurs d'aggravation associés, d'après des ateliers, des discussions, des entretiens et des analyses documentaires.....	46
Tableau 4. Principes et composantes de la gestion fondée sur la résilience éclairant l'élaboration de stratégies, de mesures et d'options d'adaptation (adaptés de Glick et coll., 2011; Walker et Salt, 2012; Stein et coll., 2014; Biggs et coll., 2015; Beller et coll., 2015; Simonsen et coll., 2016; Beavers et coll., 2016; Sterk et coll., 2017; Chambers et coll., 2019). 50	50
Tableau 5. Options d'adaptation relatives à la mesure 1A.	66
Tableau 6. Options d'adaptation relatives à la mesure 1B.	71
Tableau 7. Options d'adaptation relatives à la mesure 1C.....	74
Tableau 8. Options d'adaptation relatives à la mesure 1D.....	77
Tableau 9. Options d'adaptation relatives à la mesure 2A.	83
Tableau 10. Options d'adaptation relatives à la mesure 2B.	86
Tableau 11. Options d'adaptation relatives à la mesure 2C.....	88
Tableau 12. Options d'adaptation relatives à la mesure 2D.....	89
Tableau 13. Options d'adaptation relatives à la mesure 3A.....	92
Tableau 14. Options d'adaptation relatives à la mesure 3B.....	94
Tableau 15. Options d'adaptation relatives à la mesure 3C.....	99
Tableau 16. Options d'adaptation relatives à la mesure 4A.....	102
Tableau 17. Options d'adaptation relatives à la mesure 4B.....	104
Tableau 18. Options d'adaptation relatives à la mesure 4C.....	107
Tableau 19. Options d'adaptation relatives à la mesure 4D.....	109
Tableau 20. Options d'adaptation relatives à la mesure 5A.....	113
Tableau 21. Options d'adaptation relatives à la mesure 5B.....	115
Tableau 22. Options d'adaptation relatives à la stratégie 6.....	118

Glossaire

Adaptation

Mesures prises pour s'adapter aux changements climatiques réels ou prévus et à leurs effets. De telles mesures visent à éviter ou à atténuer les dommages, à maintenir et à accroître la résilience et à réduire la vulnérabilité.

L'**adaptation progressive** représente les mesures visant principalement à maintenir l'essence et l'intégrité d'un système ou d'un processus à une échelle donnée.

L'**adaptation transformatrice** a plus d'ampleur et d'ambition que les approches progressives. Elle repose sur une importante collaboration, adopte des changements de paradigme et envisage des réponses innovantes lorsque les méthodes historiques sont insuffisantes. L'adaptation transformatrice comprend des stratégies qui anticipent, façonnent et facilitent les processus, fonctions, structures et transitions écologiques.

Anthropique

Relatif à une activité humaine ayant un impact sur l'environnement, notamment en altérant des milieux naturels, des écosystèmes, la biodiversité ou des ressources naturelles.

Atténuation (des changements climatiques)

Intervention humaine visant à réduire les sources de gaz à effet de serre ou à en accroître les puits.

Biodiversité

Ensemble des variations des organismes vivants au sein d'écosystèmes terrestres, marins et autres. La biodiversité comprend la diversité au niveau des gènes, des espèces et des écosystèmes.

Capacité d'adaptation

Capacité d'un écosystème (p. ex. terres humides côtières) à s'adapter à des conditions climatiques changeantes, à les supporter et à persister.

Changements climatiques

Variation de l'état typique du climat, que l'on peut déceler par des changements de la moyenne ou de la variabilité de ses propriétés, et qui persiste pendant une longue période.

Espèces envahissantes

Espèces non originaires d'un habitat et dont l'introduction ou la propagation menace l'environnement, l'économie ou la société, y compris la santé des êtres humains.

Exposition

La nature et le degré d'exposition d'un système à des variations climatiques importantes.

Facteurs de stress

Événements et tendances, souvent non liés au climat, ayant un effet important sur le système concerné et pouvant accroître la vulnérabilité aux risques climatiques.

Gaz à effet de serre

Constituants gazeux de l'atmosphère, tant naturels qu'anthropiques, qui absorbent et émettent un rayonnement à certaines longueurs d'onde du spectre du rayonnement terrestre émis par la surface de la Terre, l'atmosphère et les nuages.

Géodiversité

La diversité des roches, des sédiments, des formes de relief et des processus naturels qui constituent et forment la Terre.

Gestion adaptative

Processus de planification, de mise en œuvre et de modification itérative des stratégies de gestion des ressources dans des conditions incertaines et changeantes. Cela comprend l'ajustement des approches

en fonction de leurs effets observés et des changements du système.

Modèle climatique

Représentation numérique du système climatique qui se fonde sur basée sur les propriétés physiques, chimiques et biologiques de ses composantes, leurs interactions et leurs processus de rétroaction et qui explique certaines propriétés connues du système.

Phénologie

Étude de la relation entre les phénomènes biologiques se produisant périodiquement (p. ex., les stades de développement, la migration) et les changements climatiques et saisonniers.

Profils représentatifs d'évolution des concentrations

Scénarios comprenant les séries chronologiques des émissions et des concentrations de gaz à effet de serre, d'aérosols et de gaz chimiquement actifs, ainsi que de l'utilisation des terres et de la couverture terrestre.

Projection

Évolution potentielle future d'une quantité ou d'un ensemble de quantités, souvent calculée à l'aide d'un modèle. Contrairement aux prédictions, les projections dépendent d'hypothèses concernant par exemple des développements socioéconomiques et technologiques futurs pouvant se réaliser ou non.

Projection climatique

Réponse simulée du système climatique basée sur des scénarios des futures émissions ou concentrations de gaz à effet de serre et d'aérosols, obtenue à l'aide de modèles climatiques.

Redondance fonctionnelle

La présence d'éléments ou de fonctions multiples, similaires ou se chevauchant et pouvant remplir le même rôle et ainsi fournir une « assurance » en permettant à certains éléments de compenser la perte ou la défaillance d'autres.

Réduction d'échelle

Méthode permettant d'obtenir des données locales ou régionales à partir de modèles à plus grande échelle.

Résilience

Capacité d'un système à résister à une tendance, perturbation ou phénomène dangereux en réagissant ou en se réorganisant de manière à conserver ses fonctions essentielles, son identité et sa structure, ainsi que sa capacité à s'adapter et à se transformer.

Sensibilité

Degré auquel un système ou une espèce subit l'effet, négatif ou positif, de la variabilité ou du changement climatiques.

Services écologiques

Fonctions ou processus écologiques qui bénéficient aux personnes ou aux sociétés. Ils sont classés comme suit : 1) les services de soutien (p. ex., la préservation de la productivité ou de la biodiversité); 2) les services d'approvisionnement (p. ex., en aliments, en fibres ou en poissons); 3) les services de régulation (p. ex., la régulation du climat ou le stockage du carbone); 4) les services culturels (p. ex., le tourisme ou l'appréciation spirituelle et esthétique de la nature).

Seuil écologique

Point à partir duquel un changement ou une perturbation relativement faible des conditions extérieures entraîne la modification rapide d'un écosystème, qui, une fois ce point dépassé, ne serait plus en mesure de revenir à son état initial par sa résilience inhérente.

Solutions climatiques axées sur la nature

Solutions permettant de combattre les effets des changements climatiques en protégeant, conservant, restaurant et gérant durablement les terres humides, les forêts et d'autres habitats. Elles sont essentielles pour réduire les gaz à effet de serre dans notre environnement, nous protéger des effets des changements climatiques et inverser le déclin de la biodiversité.

Variabilité du climat

Variations de la moyenne et d'autres statistiques du climat à toutes les échelles temporelles et spatiales au-delà de la variabilité propre à des phénomènes météorologiques particuliers.

Vulnérabilité

Prédisposition à subir des effets néfastes et mesure dans laquelle les systèmes sont vulnérables et incapables de résister aux effets néfastes des changements climatiques. La vulnérabilité intègre l'exposition, la sensibilité et la capacité à résister et à s'adapter.

Résumé

Les terres humides côtières des Grands Lacs apportent des avantages indispensables à l'écosystème d'eau douce, aux personnes et à l'économie. Cependant, elles sont confrontées à des menaces systémiques issues des changements climatiques et des pressions multiples et répétées exercées par les activités terrestres. Les changements climatiques persisteront et, dans de nombreux cas, s'amplifieront au cours des prochaines décennies. Ils provoqueront des extrêmes de températures de l'air et de l'eau, de précipitations, de couverture de glace et de niveau des lacs, ce qui aggravera les impacts environnementaux actuels de la perte d'habitat, des polluants, des espèces envahissantes, de la modification du débit des affluents et du niveau extrême des lacs. Lorsque la communauté de conservation et les responsables des politiques planifient en vue des impacts des changements climatiques, il est crucial qu'ils s'assurent que les terres humides côtières s'adaptent, se reconstituent, maintiennent leur biodiversité et fonctionnent de manière à fournir des services écologiques permettant des résultats bénéfiques sur le plan économique, social, culturel et au niveau des écosystèmes d'eau douce.

Dans ce contexte, les gestionnaires des terres humides côtières ne peuvent plus simplement maintenir l'état actuel des terres humides ou les rétablir à un état historique plus favorable. En effet, le rythme et l'ampleur prévus des changements climatiques imposent de réexaminer les pratiques de gestion des terres humides, d'anticiper des conditions climatiques nouvelles et incertaines, d'adopter des objectifs à long terme, de revoir les politiques et de mettre en œuvre des mesures d'adaptation pour améliorer la résilience des terres humides côtières. La compréhension de la vulnérabilité, de l'adaptation et de la résilience aux changements climatiques offre la possibilité d'aller plus loin que les réponses progressives en matière de conservation, afin d'adopter des approches stratégiques, voire transformatrices.

Afin de répondre aux défis imposés par les changements climatiques, Environnement et Changement climatique Canada a lancé une étude visant à évaluer et à améliorer la résilience des terres humides côtières des Grands Lacs. Cette collaboration pluriannuelle a été financée par l'Initiative de protection des Grands Lacs (2017-2022), à l'appui des engagements du Canada en vertu de l'Accord relatif à la qualité de l'eau dans les Grands Lacs et de l'Accord Canada-Ontario concernant la qualité de l'eau et la santé de l'écosystème des Grands Lacs. Les résultats prévus sont les suivants :

1. Une meilleure compréhension de la vulnérabilité des terres humides côtières aux impacts des changements climatiques.
2. La création de stratégies, de mesures et d'options d'adaptation complémentaires réalisables pour améliorer la résilience des terres humides côtières.
3. Amélioration de la mobilisation, de la sensibilisation et du consensus sur les priorités d'adaptation.

Une équipe de scientifiques d'ECDC a produit une série de rapports techniques sur la modélisation du climat et du niveau des lacs, l'élaboration d'un modèle de réponse des terres humides côtières, les méthodes et les résultats d'une analyse de la sensibilité des terres

humides côtières et d'une évaluation de la capacité des terres humides, ainsi qu'un rapport de synthèse qui rend compte de la principales conclusions. Ces rapports peuvent être trouvés dans la section de référence.

Le présent livre blanc concerne le deuxième résultat du projet et fournit des idées et des conseils visant à faire progresser les efforts d'adaptation pour protéger les terres humides côtières contre les impacts inévitables des changements climatiques. Le document présente notamment des perspectives sur la résilience, des renseignements sur les projections et impacts climatiques et une série d'options d'adaptation pouvant être évaluées et mises en œuvre. Le présent document fait office de point d'entrée pour obtenir des informations et des ressources essentielles pour comprendre les stratégies d'adaptation aux changements climatiques et les mettre en œuvre.

Dans le contexte du présent livre blanc, la résilience s'entend de la capacité des terres humides côtières à résister aux perturbations climatiques, à maintenir leurs fonctions essentielles et leur structure et à fournir des services écologiques. La résilience est une caractéristique, ou une propriété dynamique, des terres humides, et sa gestion requiert d'explorer les différentes manières de se préparer aux conséquences et perturbations climatiques, actuelles et imprévues. Les principes fondamentaux de la réflexion sur la résilience reposent sur les questions d'échelle, de collaboration, de partenariat et de gouvernance. Les questions fondamentales telles que « résilience de quoi? » (valeurs et problèmes) et « résilience à quoi? » (tendances et impacts climatiques) trouvent leur réponse dans une synthèse de la littérature scientifique et par une consultation avec la communauté de conservation des terres humides des Grands Lacs. Par opposition, l'adaptation représente l'ensemble des mesures prises pour s'adapter aux effets réels ou prévus des changements climatiques.

Terres humides côtières du bassin des Grands Lacs : la résilience de quoi?

Lorsque les terres humides côtières sont saines et biologiquement diversifiées, elles fournissent un ensemble de services écologiques permettant des résultats économiques, sociaux, culturels et environnementaux favorables. Les terres humides côtières retiennent et recyclent les polluants, captent et stockent le carbone afin de réduire les émissions de gaz à effet de serre dans l'atmosphère, offrent une résistance aux risques côtiers, tels que les ondes de tempête et l'érosion, en plus d'être essentielles à la protection de la biodiversité du Canada. L'habitat des terres humides abrite environ 30 espèces de sauvagine, 155 espèces d'oiseaux nicheurs et 30 espèces d'amphibiens, certaines d'entre elles étant susceptibles de disparaître à l'état sauvage. La majorité des poissons pêchés à des fins commerciales et récréatives chaque année dans les Grands Lacs ont besoin des terres humides côtières au moins durant une partie de leur cycle de vie.

Malgré leur importance, les terres humides côtières continuent de se dégrader, de se fragmenter et de disparaître en raison des multiples pressions exercées de manière permanente par un développement incompatible et l'altération du rivage, la pollution urbaine et agricole, la modification de l'hydrologie des affluents, les niveaux extrêmes des lacs et les

espèces envahissantes. Les changements climatiques représentent une menace supplémentaire, amplifiant les effets des facteurs de stress environnementaux qui mettent en grand danger les écosystèmes des terres humides côtières et les services qu'ils fournissent.

Tendances, projections et impacts des changements climatiques : la résilience à quoi?

Les changements climatiques, tels que les hausses des températures de l'air et de l'eau, la réduction de la couverture de glace, les changements du régime saisonnier des pluies, les tempêtes intenses et les niveaux extrêmes des lacs, affectent l'écosystème d'eau douce des Grands Lacs, les habitats, les espèces indigènes et les collectivités côtières. Ces changements climatiques persisteront et, dans de nombreux cas, s'amplifieront au cours des prochaines décennies. Ils entraînent des effets en cascade, qui interagissent et se manifestent à différentes échelles, allant d'effets locaux à des effets généralisés dans le bassin des Grands Lacs. Les terres humides côtières réagissent de diverses manières à ces changements, en fonction de leurs caractéristiques atmosphériques, hydrologiques, biologiques et géologiques locales.

Les **variations extrêmes et prolongées des niveaux des lacs** ont de nombreuses conséquences : elles peuvent accroître les inondations, l'érosion du rivage et la perte d'habitats humides et d'espèces indigènes lorsque les niveaux sont extrêmement élevés et provoquer l'assèchement d'une terre humide et couper son lien hydrologique avec le lac lorsque les niveaux sont faibles pour une période prolongée. La végétation des terres humides côtières a besoin d'espace pour migrer vers l'intérieur des terres ou vers le lac en réponse aux changements du niveau de l'eau. En fonction de la topographie locale, du niveau et de la nature du développement et des barrières physiques et naturelles, les terres humides se retrouvent « coincées » entre la montée des eaux des lacs et les aménagements humains.

La **qualité de l'eau** est menacée par les effets cumulatifs de la hausse des températures de l'eau, des précipitations intenses et du ruissellement des nutriments, des contaminants et des sédiments. Il en résulte une perte de clarté de l'eau, des quantités excessives de nutriments, des faibles niveaux d'oxygène et des proliférations d'algues. La baisse des niveaux et la hausse des températures de l'eau en été peuvent également accroître le risque de maladie chez les poissons et la faune piscivore.

L'habitat faunique et les poissons se déplacent au rythme des variations de température de l'air et de l'eau et des changements dans le régime saisonnier des précipitations. On prévoit que de nombreuses espèces se déplaceront vers le nord. Les changements climatiques peuvent causer des déclin de population, voire des extinctions locales si les espèces ne sont pas en mesure de s'adapter. Les oiseaux des terres humides ayant besoin de marais émergents ouverts sont vulnérables aux faibles niveaux d'eau des lacs, et les espèces qui nichent au ras de l'eau sont vulnérables aux tempêtes et aux inondations. Les oiseaux peuvent également souffrir du fait que les insectes dont ils se nourrissent éclosent plus tôt en raison de printemps plus chauds, ou parce que la végétation migre vers le nord. Les poissons se regroupent dans des groupes distincts de poissons d'eaux froides, fraîches et chaudes, les rendant sensibles aux variations des températures de l'eau. Les températures de l'eau plus

élevées, les variations météorologiques saisonnières ainsi que les tempêtes augmentant rapidement le débit d'eau auront des conséquences sur l'habitat thermique des poissons. Le ruissellement excessif de nutriments et de sédiments et des températures de l'eau élevées offrent des conditions optimales pour la croissance d'algues et la propagation de plantes envahissantes, telles que le roseau commun (*Phragmites australis*) et la quenouille glauque, qui peuvent supplanter les plantes indigènes.

Adaptation et résilience : de la conception à la mise en œuvre

Les pressions exercées sur l'écosystème d'eau douce des Grands Lacs, les effets cumulatifs des multiples facteurs de stress permanents et les effets simultanés des changements climatiques justifient l'adoption d'une nouvelle approche par la communauté de conservation des Grands Lacs. Alors que les collectivités et les gestionnaires et décideurs responsables des terres humides se préparent aux impacts des changements climatiques, il est crucial qu'ils développent des stratégies visant à maintenir la capacité d'adaptation des écosystèmes des terres humides côtières de sorte qu'ils restent résilients. La mise en œuvre de mesures d'adaptation urgentes, soutenue par une mobilisation forte de tous les ordres de gouvernement, de groupes environnementaux et de propriétaires et intendants de terres, peut contribuer à accroître la résilience des terres humides côtières aux changements climatiques. Voici quelques idées clés relatives à la résilience des terres humides côtières :

- Les terres humides côtières sont des systèmes qui s'organisent d'eux-mêmes et qui s'adaptent et se réorganisent en fonction des perturbations. Il existe cependant des limites et des seuils au-delà desquels la structure d'une terre humide change, fonctionne différemment et peut ne pas être en mesure de se rétablir.
- Les terres humides sont des systèmes sociaux, écologiques et économiques liés qui sont vulnérables aux effets synergiques des changements climatiques et des perturbations et facteurs de stress anthropiques.
- Les terres humides présentent des cycles adaptatifs liés qui fonctionnent à de multiples échelles biophysiques et territoriales. Les phénomènes se produisant à une échelle peuvent influencer sur les échelles supérieures et inférieures.
- La gestion axée sur la résilience nécessite d'adapter et de transformer les objectifs et approches de gestion, ce qui requiert des investissements et une prise de conscience des risques et des compromis.
- Le concept de résilience ne consiste pas à tout savoir ou à résister au changement, mais plutôt à vouloir comprendre les intérêts, utilisations et besoins contradictoires.
- La résilience est une question de partenariats, de collaboration et d'apprentissage par la pratique.

De nouveaux principes fondés sur la résilience visent à guider les praticiens de la conservation. Chaque principe contribue à la résilience de manière différente. Cependant, collectivement, ils fournissent des moyens de gestion permettant d'élaborer et de mettre en œuvre des stratégies et mesures d'adaptation. Parmi ces principes, on peut citer :

- tenir compte du paysage et du contexte dans leur ensemble, ainsi que des aspects géophysiques, biologiques et socioculturels qui déterminent les possibilités d'adaptation et les contraintes sur celle-ci;
- comprendre les principaux phénomènes naturels et les processus physiques, biologiques et chimiques qui créent et maintiennent les terres humides;
- comprendre le contexte du paysage, la connectivité des habitats et les liens entre les habitats, les processus et les populations qui permettent le mouvement des matières et des organismes;
- maintenir et améliorer la diversité, la complexité et la redondance fonctionnelle des terres humides côtières et des éléments des paysages environnants, afin d'offrir plusieurs options aux organismes de gestion pour améliorer la résilience;
- permettre les partenariats et la collaboration entre les gouvernements, institutions, organisations, collectivités et propriétaires fonciers concernés afin de conserver, protéger et restaurer les terres humides.

Stratégies et mesures possibles pour améliorer la résilience des terres humides côtières

En se basant sur les principes de résilience, l'évolution du système climatique et les éventuels impacts sur les terres humides côtières, le présent livre blanc décrit six stratégies d'adaptation générales, 17 mesures d'adaptation détaillées et plus de 150 options. Celles-ci comprennent des options qui anticipent, façonnent et facilitent les processus, fonctions, structures et transitions écologiques afin de refléter les conditions climatiques changeantes. Le présent document contient également un cadre d'adaptation aux changements climatiques permettant aux gestionnaires des terres humides d'adapter les options qui conviennent le mieux au maintien de la résilience de leurs terres humides locales et à l'atteinte de leurs buts et d'objectifs de gestion particuliers.

Stratégie 1. Réduire les facteurs de stress non climatiques et renforcer la capacité d'adaptation

La lutte contre les facteurs de stress non climatiques constitue un défi permanent. Cependant, les changements climatiques amplifient leurs effets négatifs. Un moyen efficace pour améliorer la résilience consiste à renforcer les capacités naturelles à résister aux dégradations de la qualité de l'eau et de la connectivité hydrologique et paysagère et aux espèces envahissantes. Voici les quatre mesures de la stratégie 1 :

- maintenir et améliorer la qualité de l'eau des terres humides;
- détecter, prévenir et contrôler les invasions d'espèces;
- rétablir la connectivité hydrologique;
- restaurer et préserver la connectivité du paysage.

Stratégie 2. Protéger la géodiversité des cellules littorales et restaurer les formes de relief côtier agissant comme barrières

Les processus côtiers naturels sont indispensables à la création, à l'entretien et à la protection à long terme des terres humides côtières. Des terres humides qui se sont formées et ont évolué à l'abri derrière des barrières littorales de sable et de gravier dans la partie sud-est du lac Huron et dans les Grands Lacs inférieurs persistent. Ces dépôts côtiers de géologie diverse sont grandement menacés par l'artificialisation du littoral qui réduit l'apport en sédiments, ainsi que par les niveaux élevés records des lacs, la diminution de la couverture de glace, l'érosion des barrières sableuses et la perte d'habitats humides. La stratégie 2 se concentre sur la protection de la géodiversité dans les cellules littorales et sur la restauration des flèches de sable protectrices, des cordons littoraux et des embouchures de rivière abritées du large qui sont essentiels à la formation et à la protection des terres humides. Quatre mesures et 29 options permettent de répondre aux besoins suivants en matière de gestion et de stratégie :

- mettre à jour les politiques et règlements relatifs à l'utilisation des terres nuisant aux processus physiques côtiers;
- appliquer les principes de gestion intégrée des zones côtières à l'élaboration de plans de gestion des cellules littorales;
- rétablir l'apport en sédiments et le transport des sédiments le long du rivage dans les cellules littorales;
- mettre en œuvre des projets locaux pour protéger et restaurer les barrières littorales.

Stratégie 3. Maintenir et restaurer la biodiversité et la redondance fonctionnelle

Les activités humaines et les effets aggravants des changements climatiques modifient la composition des communautés des terres humides, provoquant ainsi des répercussions en cascade sur les fonctions des terres humides et les services qu'elles rendent. Une grande diversité d'espèces permet d'améliorer la fonction globale d'un écosystème, ce qui comprend les activités biogéochimiques, les transferts d'énergie, les services écologiques et la production de biomasse. L'impact de la perte d'une espèce sur la structure et la fonction d'un écosystème dépend toutefois de la présence au sein de la communauté d'autres espèces apte à remplir des fonctions similaires. La biodiversité et la redondance fonctionnelle favorisent donc la résilience et la stabilité de l'écosystème. Les mesures d'adaptation de cette stratégie visent à améliorer la structure de la communauté végétale des terres humides et les habitats nécessaires à la faune qu'elles abritent. Trois mesures et 28 options sont proposées pour maintenir ou créer des terres humides côtières diversifiées et fonctionnelles. Les trois mesures sont les suivantes :

- améliorer la structure des communautés et les populations d'espèces indigènes;
- combattre les espèces végétales envahissantes;
- préserver les espèces et communautés végétales indigènes.

Stratégie 4. Améliorer la capacité des terres humides à s'adapter aux modifications hydrologiques

Pour bien s'adapter aux changements climatiques et renforcer la résilience des terres humides côtières, il est essentiel de reconnaître qu'il y aura alternance entre des périodes de faible niveau et de niveau élevé des lacs. Les mesures et options d'adaptation de la quatrième stratégie visent principalement l'adaptation aux éventuels changements hydrologiques, notamment les changements soutenus, rapides, alternés et extrêmes des niveaux d'eau des lacs. Les gestionnaires peuvent améliorer la résilience des terres humides en maintenant, en conservant et en améliorant les processus naturels ainsi que la structure et les fonctions désirées des terres humides. Il convient notamment de se préparer en vue de niveaux maximaux plus élevés et de niveaux minimaux plus faibles en prévoyant des inondations importantes et des sécheresses et en envisageant des options en lien avec les quatre mesures suivantes :

- gérer les terres humides de manière à ce qu'elles s'adaptent aux périodes prolongées de niveau élevé des lacs;
- gérer les terres humides de manière à ce qu'elles s'adaptent aux périodes prolongées de faible niveau des lacs;
- retirer, réaménager ou relocaliser les infrastructures contraignant les terres humides;
- gérer et améliorer la résilience des terres humides endiguées.

Stratégie 5. Recenser, gérer et protéger les refuges climatiques

Les refuges climatiques offrent un abri sûr en cas de conditions climatiques défavorables et servent de sources de colonisation à la suite de perturbations climatiques. L'établissement de ces refuges est une stratégie prometteuse qui nécessite le recensement et la conservation des terres où les terres humides peuvent se déplacer durant les changements des niveaux d'eau, la restauration et le maintien de la connectivité hydrologique, l'amélioration de l'habitat et des politiques d'utilisation des terres visant à soutenir la migration des terres humides côtières vers l'intérieur des terres ou vers le lac sous différents régimes de niveau et de température d'eau des lacs. Afin d'adopter une approche de conservation des refuges climatiques, les deux mesures clés suivantes sont proposées, accompagnées de 28 options :

- recenser et gérer les corridors de migration et les zones de refuge;
- protéger les sources et processus d'eau souterraine et les refuges connexes.

Stratégie 6. Améliorer la conservation et la protection des terres humides côtières des Grands Lacs

La résilience des terres humides côtières nécessite une conservation efficace, ce qui comprend la préservation, la protection et la gestion des terres. Les travaux actuels, en particulier dans la région des Grands Lacs inférieurs, pourraient être insuffisants pour que les terres humides et les organismes qui en dépendent s'adaptent, transitent ou soient résilients face à des conditions climatiques changeantes. Les travaux de conservation doivent donc plutôt viser à protéger les terres humides côtières restantes, à prévenir leur fragmentation supplémentaire et les impacts de l'utilisation des terres et à restaurer les terres humides dégradées et leurs fonctions. De meilleures connaissances, des politiques innovantes et l'amélioration de la collaboration et du

développement de partenariats sont nécessaires pour atteindre ces objectifs de conservation. Parmi les options de cette stratégie, on peut citer la promotion de la préservation des terres, la hausse du nombre d'aires protégées, le renforcement de la législation relative à la protection des terres humides, la désignation de refuges climatiques et l'amélioration de la gouvernance de la conservation des terres humides. Un concept innovant et transformateur consiste par exemple à établir un « corridor côtier protégé » permettant d'améliorer la connectivité hydrologique ainsi que l'intégrité des processus physiques côtiers naturels, dans le but de permettre l'évolution des terres humides côtières en cas de futures variations extrêmes des niveaux des lacs.

Innovation en matière de politiques et de gestion

L'adaptation visant à remédier à la vulnérabilité des zones humides et à renforcer leur résilience face au changement climatique nécessite des innovations en matière de politiques et de gestion. Des gestionnaires de terres humides côtières, des experts de l'habitat aquatique et des praticiens de la conservation ont participé à des entretiens, à des ateliers et à des groupes de discussion afin de recenser les défis, les lacunes et les besoins et d'élaborer une solide approche d'adaptation. Six points clés ont été mis en lumière : la gouvernance; les politiques; la science et la modélisation prédictive; l'inventaire, l'évaluation et le suivi des terres humides; l'harmonisation et la visualisation des données; la conception, la mise en œuvre et l'évaluation des mesures d'adaptation.

Un regard optimiste sur l'avenir

Les terres humides côtières offrent des avantages sociaux, culturels, écologiques, économiques, esthétiques et récréatifs indispensables ne pouvant être compromis. Les collectivités côtières doivent donc vivre en harmonie avec les terres humides côtières et les espèces indigènes qu'elles abritent. Dans le présent livre blanc, un cadre d'adaptation comprenant des stratégies générales, des mesures détaillées et une série d'options représente un important point de départ vers l'amélioration de la résilience des terres humides côtières des Grands Lacs. Pour parvenir à une résilience véritable, les pratiques de conservation doivent intégrer davantage la science des changements climatiques, les connaissances sur la vulnérabilité, ainsi que la conception, la mise en œuvre et l'évaluation des mesures d'adaptation. En outre, cette résilience nécessite une politique innovante, des liens avec les gouvernements nationaux et provinciaux et les administrations municipales, ainsi que la participation et la collaboration d'un large éventail de partenaires, d'intervenants et de détenteurs de droits. Le plus grand défi sera de mettre en œuvre de projets d'adaptation, dont certains pourraient être novateurs, contestés et transformateurs.

Heureusement, les services et les valeurs des terres humides côtières sont aujourd'hui largement reconnus. Dans tout le bassin des Grands Lacs, on note un fort soutien du public en faveur de la conservation des terres humides. De nouveaux résultats de la science et de la modélisation du climat comblent un manque de connaissances en matière d'adaptation aux changements climatiques. Du financement sans précédent contribue désormais à la conservation de la biodiversité et à l'adaptation aux changements climatiques par des solutions

axées sur la nature, pour lesquelles les terres humides côtières peuvent jouer un rôle essentiel. Il est également possible de tirer parti d'un grand nombre de stratégies, plans, évaluations et ressources humaines complémentaires en matière de conservation. Des organismes de gestion des ressources, des offices de protection de la nature, des collectivités autochtones, des organisations non gouvernementales de l'environnement, les fiducies foncières, les groupes d'intendance et des scientifiques sont mobilisés pour améliorer la résilience des terres humides côtières grâce à l'adaptation.

Les décisions et mesures que nous prendrons à court terme détermineront la capacité des terres humides côtières à prospérer dans des conditions climatiques changeantes. La collaboration, la mise en œuvre et le transfert de connaissances peuvent contribuer à un ensemble d'études de cas d'adaptation dont on pourra s'inspirer et qu'on pourra appliquer à plus grande échelle. De plus, le Canada a pris une série d'engagements liés au climat et aux écosystèmes en tant que signataire de la Convention sur la diversité biologique, de la Convention-cadre sur les changements climatiques, des Objectifs de développement durable, de l'Accord de Paris ainsi que de la Commission mondiale sur l'adaptation. La préservation des terres humides côtières des Grands Lacs et des services écologiques qu'elles fournissent face aux changements climatiques ainsi que la mise en œuvre d'options d'adaptation peuvent contribuer à atteindre ces objectifs.

1. Introduction

Les terres humides côtières des Grands Lacs apportent des avantages indispensables à l'écosystème d'eau douce, aux personnes et à l'économie. Or, ces terres sont en péril en raison des multiples pressions exercées de manière répétée par les changements d'affectation des terres, le développement côtier, l'intensification de l'agriculture et les effets aggravants des changements climatiques. Lorsque la communauté de conservation et les responsables des politiques

La **résilience** s'entend de la capacité d'un système à résister à une tendance, perturbation ou phénomène dangereux, en réagissant ou en se réorganisant de manière à conserver ses fonctions essentielles, son identité et sa structure, ainsi que sa capacité à s'adapter, à apprendre et à se transformer (GIEC, 2014).

planifient en vue des impacts des changements climatiques, il est crucial qu'ils s'assurent que les terres humides côtières s'adaptent, se reconstituent, maintiennent leur biodiversité et fonctionnent de manière à fournir des services écologiques. Il est donc nécessaire d'élaborer une approche de gestion dans laquelle l'adaptation et la résilience sont les pierres angulaires de la conservation. Comment maintenir des terres humides diversifiées, saines et résistantes aux changements climatiques dans le bassin des Grands Lacs et les améliorer? Comment gérer les terres humides et l'utilisation des terres de manière à bénéficier aux personnes et à la faune qui en dépend? Ce sont des questions difficiles qui exigent des réponses complexes face aux futurs changements climatiques futurs. Lorsque la communauté de conservation aborde la question des changements climatiques, elle doit comprendre la valeur socioécologique des terres humides (résilience de quoi?), la manière de faire face aux impacts climatiques ou non climatiques (résilience à quoi?) et les conseils pouvant contribuer à la planification et à la mise

L'**adaptation** représente les mesures prises pour s'adapter aux changements climatiques réels ou prévus et à leurs effets afin d'atténuer les dommages ou de tirer parti des possibilités (Settele et coll., 2014). Son objectif est de maintenir et d'améliorer la résilience (GIEC, 2014).

en œuvre des approches d'adaptation. En se basant sur une synthèse de la littérature scientifique et la consultation de la communauté de conservation des terres humides des Grands Lacs, le présent livre blanc aborde ces questions afin de fournir un ensemble d'options d'adaptation visant à lancer le dialogue et à faire progresser l'action collective dans le but d'améliorer la résilience des terres humides côtières face aux changements climatiques.

Le changement climatique : un défi croissant

Les terres humides côtières sont essentielles à l'écosystème des Grands Lacs, mais aussi particulièrement vulnérables aux changements climatiques parce qu'elles se trouvent à l'interface entre le milieu aquatique et le milieu terrestre. La structure et la fonction des terres humides dépendent des variations naturelles du niveau de l'eau. L'augmentation des températures, les changements dans les précipitations et la couverture de glace, l'intensification des tempêtes et la modification des processus côtiers accroîtront la vulnérabilité des terres humides. De plus, les milieux humides déjà dégradés sont particulièrement vulnérables et

moins résilients aux changements climatiques (Environnement Canada, 2002; Mortsch et coll., 2006; Acreman et coll., 2009).

Les impacts des changements climatiques sont variés, touchant les processus chimiques, physiques et biologiques des terres humides comme les cycles des nutriments et des sédiments, ainsi que la qualité de l'eau, la décomposition, les habitats thermiques, la diversité des espèces et leurs abondances. En raison de ces impacts, combinés avec les facteurs de stress existants, tels que le drainage, le remblayage, la pollution, l'altération du rivage, les changements hydrologiques et les espèces envahissantes (Pearsall et coll., 2012), les terres humides pourraient ne plus être en mesure de fournir certains services écologiques importants (**figure 1**; MRNFO, 2017).

Des groupes d'experts (Comité d'experts sur l'adaptation au changement climatique de l'Ontario, 2009; National Climate Assessment des États-Unis, 2014; Rapport sur les enjeux nationaux du Canada [Warren et Lulham, 2021]) préconisent une meilleure compréhension de la vulnérabilité des écosystèmes et une approche stratégique visant à parvenir à une résilience climatique grâce à l'adaptation. Cela se reflète également dans les politiques internationales relatives au climat (ONU, 2016), à la biodiversité (IPBES, 2019) et à l'adaptation (GCA, 2019), ainsi que dans les ententes nationales et binationales sur la qualité de l'eau et la santé de l'écosystème des Grands Lacs (AQEGL, 2012; ACO, 2020). Alors que le rythme et l'ampleur des changements climatiques augmentent, l'adaptation offre la possibilité d'aller au-delà des réponses progressives et d'adopter des approches stratégiques, voire transformatrices, visant à rendre les terres humides résilientes. Ne pas tirer parti des avantages de l'adaptation compromettrait les contributions vitales apportées par les terres humides à l'eau douce, à la biodiversité et au bien-être humain.

1.1 Pourquoi miser sur la résilience aux changements climatiques?

Par le passé, les pratiques de conservation se concentraient sur le maintien d'un état historique ou la restauration à un tel état, avec des hypothèses selon lesquelles les écosystèmes sont mieux préparés à s'adapter à de nouvelles conditions si leur environnement se situe dans la plage historique de variabilité (Stein et coll., 2014). Toutefois, le rythme et l'ampleur prévus du changement climatique imposent aux gestionnaires des terres humides de repenser les approches depuis longtemps adoptées, à anticiper les conditions climatiques nouvelles et incertaines, à adopter des objectifs à long terme et à mettre en œuvre des mesures d'adaptation qui améliorent la résilience des écosystèmes. Les praticiens de la conservation des terres humides côtières ont exprimé leur besoin de soutien pour comprendre ce qu'ils



Figure 1. Fonctions et valeurs des terres humides côtières et intérieures (MRNFO, 2017).

pourraient faire différemment pour se préparer et répondre aux impacts des changements climatiques (Mortsch, 2019).

Le présent livre blanc fournit des renseignements pratiques afin que les changements climatiques puissent être pris en compte dans la planification et la mise en œuvre des pratiques de conservation des terres humides côtières. Il comprend des renseignements sur les changements climatiques, des perspectives et des conseils en matière de résilience, ainsi qu'un ensemble d'options d'adaptation pouvant être évaluées et mises en œuvre pour améliorer la résilience des terres humides côtières. Bien que le présent document n'aborde pas toutes les mesures de gestion imaginables, six stratégies d'adaptation générales, assorties de mesures et d'options d'adaptation, sont présentées pour examen en vue de compléter les objectifs et plans actuels de conservation des Grands Lacs. Il se fonde sur une analyse documentaire exhaustive et la mobilisation et fait office de point d'entrée pour obtenir les renseignements et les ressources qui sont essentiels à la compréhension et à la mise en œuvre des approches d'adaptation aux changements climatiques. Le présent livre blanc est destiné aux organismes de gestion des ressources naturelles, aux responsables des politiques, aux planificateurs municipaux, aux organisations non gouvernementales de l'environnement, aux collectivités autochtones, à l'industrie et aux propriétaires fonciers qui ont un intérêt dans la conservation des terres humides côtières (collectivement appelés « gestionnaires des terres humides ») et qui reconnaissent la nécessité d'améliorer la résilience des terres humides côtières des Grands Lacs en raison des changements climatiques.

1.2 Planifier l'adaptation et évaluer la vulnérabilité

Dans le cadre de la conservation des terres humides des Grands Lacs, l'adaptation est essentielle pour réduire les risques de pertes et de dégradation supplémentaires des terres humides en raison des changements climatiques.

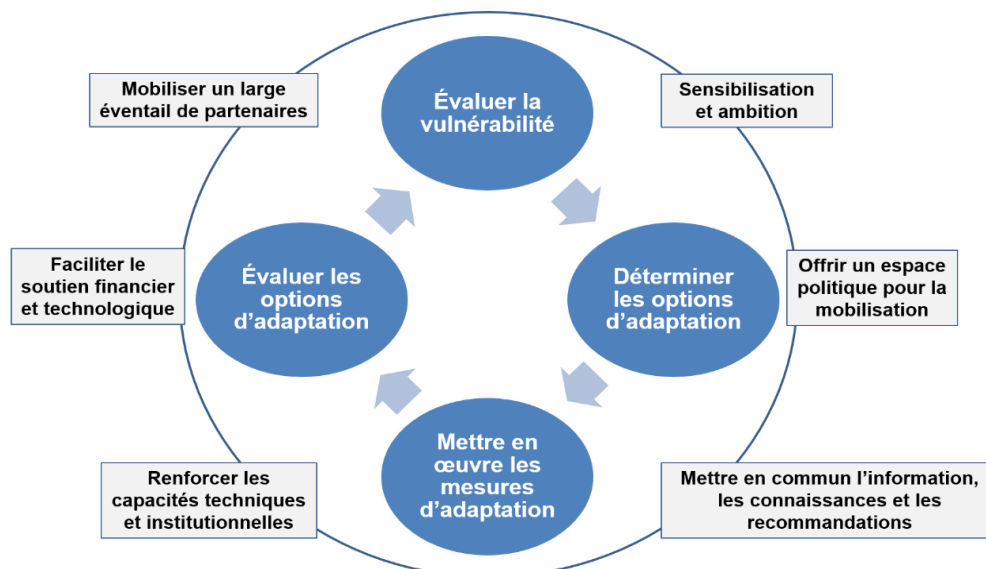


Figure 2. Cadre général de planification et de mise en œuvre de l'adaptation.

L'adaptation représente un défi pour tous et une réponse clé pour composer à long terme avec les impacts prévus de différents scénarios de changement climatique afin de protéger les écosystèmes des terres humides côtières. L'adaptation est un processus itératif comportant plusieurs éléments essentiels, détaillés par Stein et ses collaborateurs (2014) et par le régime des Nations unies sur les changements climatiques (**figure 2**). Une adaptation efficace doit être guidée par les meilleures données scientifiques disponibles et par les systèmes de connaissances locales en vue d'intégrer le concept d'adaptation dans les politiques et activités socioéconomiques et environnementales pertinentes.

Il est essentiel de caractériser le « pourquoi » et le « comment » de la vulnérabilité pour élaborer des options d'adaptation (p. ex. afin que les terres humides puissent faire face aux impacts climatiques, continuer de fonctionner et de fournir des services écologiques). C'est pourquoi Environnement et Changement climatique Canada (ECCC) a lancé une étude scientifique visant à évaluer la vulnérabilité des terres humides côtières des Grands Lacs. Cette étude a été soutenue par l'Initiative de protection des Grands Lacs (2017-2022), à l'appui des engagements du Canada en vertu de l'Accord relatif à la qualité de l'eau dans les Grands Lacs (AQEGL) et de l'Accord Canada-Ontario (ACO) pour des terres humides saines et productives et d'espèces indigènes résilientes.

Les évaluations de la vulnérabilité aux changements climatiques sont utilisées dans divers contextes (Füssel et Klein, 2006; Comer et coll., 2012; Gauthier et coll., 2014), notamment dans celui des écosystèmes des terres humides (Acreman et coll., 2009; Gitay et coll., 2011). Elles servent à déconstruire de manière systématique la complexité de la vulnérabilité et à en dégager des indicateurs mesurables de l'exposition, de la sensibilité et de la capacité d'adaptation (**figure 3**).

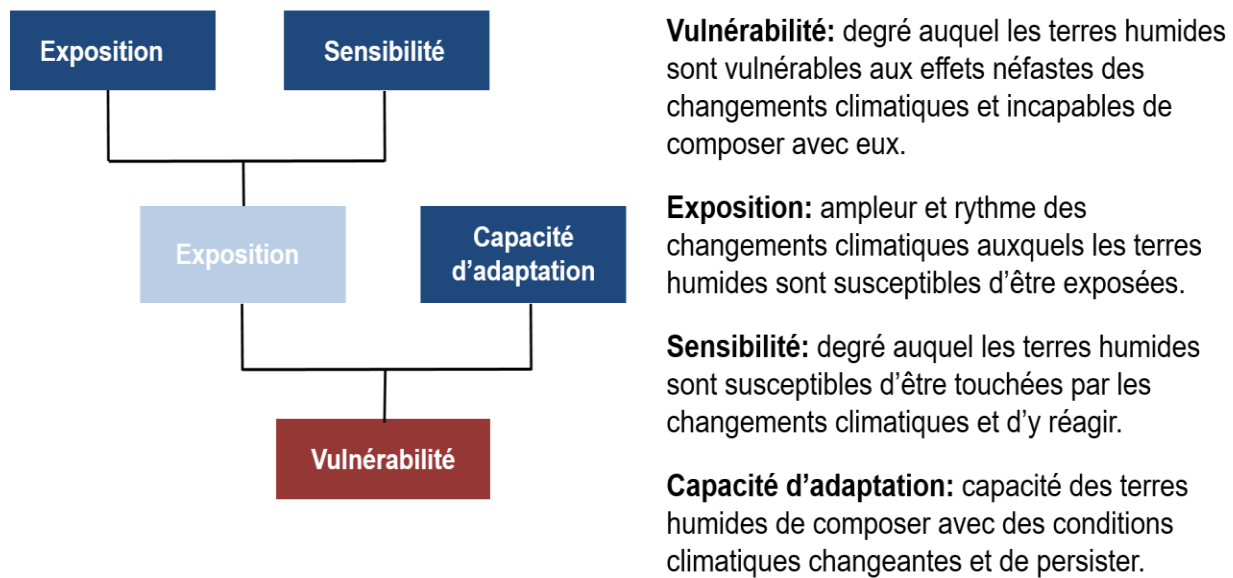


Figure 3. Cadre d'évaluation de la vulnérabilité illustrant la relation entre l'exposition et la sensibilité aux changements climatiques, et la capacité d'adaptation (Adapté de Glick et al., 2011).

Une évaluation de la vulnérabilité de 20 terres humides côtières canadiennes, axée sur leur réponse aux changements prévus des niveaux d'eau jusqu'à la fin du siècle, a été réalisée (ECCC, document inédit) et a donné les résultats suivants :

1. Une meilleure compréhension de la vulnérabilité des terres humides côtières aux impacts des changements climatiques.
2. Un ensemble de stratégies, de mesures et d'options d'adaptation complémentaires pour améliorer la résilience des terres humides côtières.
3. Une amélioration de la mobilisation, de la sensibilisation et du consensus sur les priorités d'adaptation.

Dans le contexte du présent livre blanc, la réflexion sur la résilience nécessite de comprendre la vulnérabilité et de se pencher sur la façon de gérer les interactions entre les humains et les terres humides côtières face aux impacts des changements climatiques, à l'incertitude future, ainsi qu'aux facteurs de stress existants et permanents. La mobilisation et la consultation des praticiens de la conservation des Grands Lacs ont été essentielles à la rédaction du présent document, car les mesures d'adaptation sont plus susceptibles d'être mises en œuvre si elles sont élaborées conjointement, classées par ordre de priorité et si elles complètent les priorités et objectifs régionaux.

2.0 Terres humides côtières des Grands Lacs : la résilience de quoi?

Les terres humides côtières des Grands Lacs sont des systèmes écologiques et sociaux, qui comprennent les composants biogéophysiques de l'écosystème des terres humides, ainsi que les personnes, les sociétés et les économies qui interagissent avec ces terres et les transforment. Les services écologiques que rendent les terres humides à l'environnement naturel et à la société sont au cœur de ces interactions (**figures 1 et 5**). Pour nourrir la réflexion sur la résilience et examiner les besoins d'adaptation, les fonctions et les valeurs des terres humides côtières (« résilience de quoi? ») sont résumées ci-après. Les paragraphes suivants présentent également les principaux types hydrogéomorphologiques de terres humides (**tableau 1**), ainsi que les enjeux de la perte de terres humides, de leur protection et des impacts non climatiques qu'elles subissent.



Figure 4. Les terres humides côtières connectent les Canadiens aux Grands Lacs.

2.1 Fonctions et valeurs des terres humides

Les terres humides côtières fournissent de nombreux services écologiques essentiels aux humains et à l'environnement, notamment l'absorption et le recyclage des nutriments, des sédiments et des polluants, ce qui améliore la qualité de l'eau et le piégeage de carbone et réduit l'érosion (Mitsch et Gosselink, 2000; Zedler et Kercher, 2005; Troy et Bagstad, 2009; Sierszen et coll., 2012; **figure 1**).

Les terres humides côtières des Grands Lacs jouent un rôle essentiel dans la protection de la biodiversité du Canada, car elles fournissent de l'habitat essentiel à environ 30 espèces de sauvagine, 155 espèces d'oiseaux chanteurs migrateurs (Prince et coll., 1992; Howe et coll., 2007), 30 espèces d'amphibiens (Hecnar, 2004), 80 espèces de poissons de pêche commerciale ou récréative (Jude et Pappas, 1992; Wei et coll., 2004), dont certaines sont en voie de disparition ou menacées (EC et MRNFO, 2003). Les terres humides sont également une source d'invertébrés, de poissons et d'animaux sauvages pour le réseau trophique des Grands Lacs (Brazner et coll., 2000; Sierszen et coll., 2019).

Des terres humides, saines et biologiquement diversifiées ont des retombées économiques positives dans le bassin des Grands Lacs (Austin et coll., 2007). Les poissons qui utilisent les terres humides représentent la moitié de la biomasse et 60 % de la valeur monétaire de la pêche commerciale, et 80 % de la pêche récréative annuelle (Trebitz et Hoffman, 2015). Les terres humides côtières assurent la subsistance et l'alimentation des collectivités autochtones en leur fournissant du riz sauvage, du poisson, d'autres animaux sauvages, de la fourrure et des fibres (UOI, 2018). L'ornithologie, la photographie, la pêche et la chasse représentent d'autres services écologiques soutenant les économies locales. Les terres humides côtières fournissent également des services en matière d'atténuation des changements climatiques (puits de carbone; Mitsch et Gosselink, 2007; Braun et coll., 2019) et des solutions climatiques axées sur la nature en faveur d'une vaste résilience côtière.

Importance des terres humides côtières des Grands Lacs

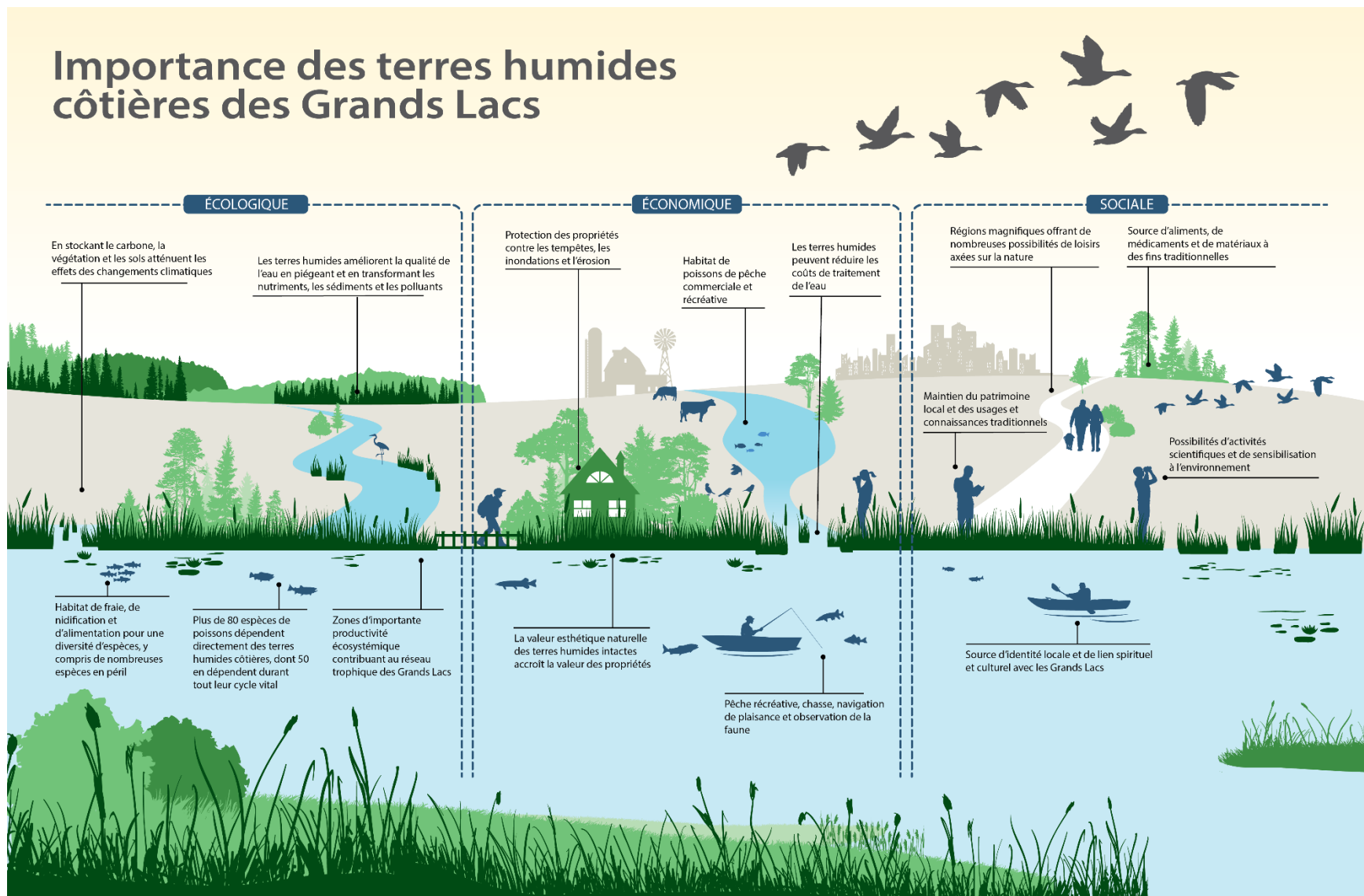


Figure 5. Schéma conceptuel des fonctions des terres humides côtières et des services écologiques qu'elles fournissent (ECCC, 2021).

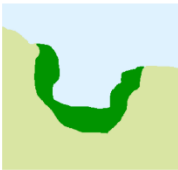
2.2 L'écosystème des terres humides côtières

Les terres humides côtières sont directement reliées aux eaux des Grands Lacs et influencées par celles-ci. C'est cette connexion qui différencie les terres humides côtières de leurs homologues intérieures. Les écosystèmes des terres humides côtières comptent parmi les plus diversifiés et les plus productifs d'un point de vue écologique (Environnement Canada, 2002; MRNFO, 2017). Ce sont des systèmes hautement complexes et dynamiques qui s'organisent d'eux-mêmes.

Les terres humides sont des terres recouvertes d'eau, de manière saisonnière ou permanente, et où la nappe phréatique est située proche de la surface. L'eau entraîne la formation de sols saturés et favorise la prédominance de plantes tolérantes à l'eau. Les trois principaux types de terres humides sont les marais, les marécages et les tourbières (MRNFO, 2017). *Le présent livre blanc porte principalement sur les marais côtiers des Grands Lacs.*

Les fluctuations locales du climat et des niveaux d'eau ont des conséquences sur la distribution, l'étendue, la composition de la végétation, ainsi que sur la biodiversité et les fonctions des terres humides (Environnement Canada, 2002; Mortsch et coll., 2006). Les facteurs de stress dans les bassins hydrographiques, tels que la pollution chimique, la pollution par les nutriments, le développement côtier, les modifications du rivage et les espèces envahissantes, ont des conséquences importantes sur l'état, la structure et les fonctions des terres humides (Pearsall et coll., 2012; Uzarski et coll., 2019; Zuzek, 2021a). Les terres humides côtières des Grands Lacs sont classées en trois types hydrogéomorphologiques (**tableau 1**; Albert et coll., 2005; Environnement Canada, 2002) en fonction des caractéristiques du régime hydrologique, des attributs physiques et des communautés végétales et animales associées. Chaque type hydrogéomorphologique est à son tour divisé en sous-types géomorphologiques, basés selon les processus et attributs physiques du rivage (Albert et coll., 2005).

Tableau 1. Classification hydrogéomorphologique des terres humides côtières des Grands Lacs (Albert et coll., 2005; Mortsch, 2006).

Type hydrogéomorphologique	Type géomorphologique
<p>Lacustre : directement lié à la variabilité des niveaux du lac, aux courants, aux seiches et à l'érosion par la glace.</p> 	<p>Lacustre ouvert : bathymétrie variable, aucune ou faible protection physique contre l'énergie des vagues modérée à élevée, faible accumulation de sédiments organiques limitant le développement et la diversité de la végétation.</p>
	<p>Lacustre abrité : au bord du lac et caractérisé par une protection accrue grâce à une flèche de sable, un cordon littoral ou une baie fermée par un till ou un substrat rocheux. Énergie des vagues faible à modérée, grande diversité animale et végétale.</p>

<p>Fluvial :</p>  <p>terres humides des rivières et des ruisseaux qui se jettent dans les Grands Lacs ou coulent entre eux, et dont la qualité de l'eau et l'apport en sédiments sont contrôlés en partie par le bassin hydrographique et les conditions en amont. Les niveaux d'eau et les processus fluviaux sont influencés par le reflux des eaux des lacs dans les parties inférieures de leurs systèmes de drainage.</p>	<p>Embouchure submergée de rivière : caractéristiques chimiques de l'eau influencées par l'eau du lac et de la rivière, en fonction de la saison, de la quantité de précipitations, du débit et des niveaux d'eau. La protection contre les processus côtiers (p. ex. faible énergie des vagues) donne lieu à des sols organiques profonds en raison du dépôt de limon provenant du bassin hydrographique. Diversité moyenne, espèces de poissons et d'invertébrés résistantes à de faibles taux d'oxygène et à des températures élevées.</p>
<p>Protégé par une barrière :</p>  <p>protégé par des cordons littoraux, des flèches de sable ou des crêtes de plage. Relié de manière périodique ou continue au lac par un chenal traversant la barrière. Lorsque ce type hydrogéomorphologique est isolé du lac, il dépend des eaux souterraines et des précipitations, l'influence du lac étant mineure en l'absence de brèche.</p>	<p>Voie interlacustre : type distinct en raison de forts courants et de l'absence générale de sols organiques profonds. On trouve ce type géomorphologique dans les rivières Sainte-Marie, Sainte-Claire, Detroit et Niagara et dans le fleuve Saint-Laurent.</p> <p>Delta : formé d'alluvions fines et grossières, le courant fluvial et l'action des vagues contribuant à la morphologie du delta. Communautés diversifiées de plantes, d'invertébrés, de poissons et d'oiseaux aquatiques.</p> <p>Lagune séparée du lac par un cordon littoral : formée derrière des cordons littoraux sableux et faible apport d'eau du lac. Zones submergées et émergentes et prés humides, présence d'invertébrés et de poissons tolérant de faibles taux d'oxygène et des températures élevées; grande diversité d'oiseaux aquatiques.</p> <p>Complexe de baissières : se trouvent entre les doigts recourbés des flèches de sable et entre les crêtes des plages reliques. Composé d'une série de crêtes de plage séparées par d'étroites baissières pouvant abriter beaucoup de sédiments et divers types de végétation. Présence d'invertébrés et de poissons tolérant de faibles taux d'oxygène et des températures élevées. Diversité moyenne d'oiseaux aquatiques.</p>

2.2.1 Perte de terres humides côtières et situation actuelle en matière de protection

En dépit de leur valeur écologique et sociétale, les terres humides côtières sont toujours menacées. Avant l'arrivée des colons européens (en 1800 environ), le sud de l'Ontario abritait plus de deux millions d'hectares de terres humides intérieures et côtières. En 2002, il n'en restait plus que 560 844 ha, soit une diminution de 72 %. Entre 1982 et 2002, 3,5 % (70 854 ha)

de la superficie des terres humides d'avant la colonisation ont également été perdus, ce qui représente en moyenne une perte de 3 543 ha par an (CIC, 2010).

Le relevé de référence des habitats côtiers du Canada présente des estimations de l'étendue actuelle des terres humides côtières (ECCC, 2021). Le lac Érié présente la plus grande superficie de terres humides côtières, soit près de 15 % de la bande côtière. Le lac Huron arrive en deuxième place de ce classement, suivi par le lac Ontario. Les terres humides côtières du lac Supérieur couvrent moins de 1 % du rivage, car l'énergie élevée produite par ce lac empêche la colonisation de plantes des terres humides (**tableau 2**).

En ce qui concerne les mesures de protection des terres, la bande côtière du lac Érié est celle qui présente la plus grande superficie de terres humides côtières protégées, principalement dans le parc national de la Pointe-Pelée et les parcs provinciaux Rondeau et Long-Point. Le lac Huron présente la deuxième plus grande superficie de terres humides côtières protégées, celles-ci étant principalement situées sur le rivage oriental de la baie Georgienne et la péninsule Bruce. Les terres humides côtières protégées du lac Ontario se trouvent principalement dans le comté de Prince Edward, le parc national des Mille-Îles et le refuge d'oiseaux du Haut-Canada. Les terres humides protégées du lac Supérieur sont situées dans les parcs provinciaux du Lac-Supérieur et Sleeping Giant, ainsi que dans le parc national Pukaskwa (ECCC, 2021). Le réseau actuel de terres humides côtières protégées est vraisemblablement insuffisant pour permettre aux terres humides d'être résilients face à l'évolution des conditions climatiques et environnementales. La dégradation de l'habitat des terres humides et la perte de la connectivité paysagère continuent de menacer les terres humides côtières (Pearsall et coll., 2012; ECO, 2018).

Tableau 2. Superficie restante de terres humides côtières et superficie actuelle des terres protégées dans la bande côtière de deux kilomètres des Grands Lacs canadiens (ECCC, 2021 - inédit).

Lac	Superficie totale de la bande côtière (ha) ^a	Superficie totale des terres humides côtières (ha) ^b	Superficie totale des terres protégées (ha) ^c	Nombre de zones protégées	Superficie totale des terres humides côtières protégées (ha) ^d
Érié	149 570	22 332 (14,9 %)	10 372 (6,9 %)	17	4472 (20,0 %)
Ontario	226 271	12 296 (5,4 %)	5918 (2,6 %)	10	608 (5,0 %)
Huron	326 679	12 262 (3,8 %)	75 517 (23,1 %)	41	3 734 (30,5 %)
Supérieur	238 549	2019 (0,8 %)	67 208 (28,2 %)	26	120 (6,0 %)

^a Superficie totale de la bande côtière de deux kilomètres. Données du Relevé de référence des habitats côtiers du Canada (ECCC, 2021).

^b Estimation de la superficie des terres humides côtières existantes et du pourcentage situé dans la bande côtière de deux kilomètres. Cette colonne se fonde sur les données du Projet sur l'écosystème du rivage des Grands Lacs (MRNF, 2021), du Consortium des terres humides des Grands Lacs (2004) et de l'inventaire des terres humides côtières de McMaster (McMaster, 2012).

^c Superficie des terres protégées dans la bande côtière d'après les données de la Base de données canadienne sur les aires protégées et de conservation (ECCC, 2021).

^d Estimation de la superficie actuelle des terres humides côtières situées dans une aire protégée.

Remarque : les estimations ne tiennent pas compte des terres protégées ou conservées par des organisations non gouvernementales, des offices de protection de la nature, des municipalités et des collectivités autochtones.

2.3 Facteurs de stress non climatiques et leurs impacts

En plus des impacts climatiques prévus, les facteurs de stress non climatiques existants sont au cœur de la question à savoir comment renforcer la résilience des terres humides côtières. La perte, la fragmentation et la dégradation des terres humides se poursuivent en raison de perturbations, multiples et répétées, dues à la conversion des terres, à la pollution, à l'altération du rivage et aux espèces envahissantes (**figure 6**) (Environnement Canada, 2002; CIC, 2010; OBC, 2011; OBC, 2015; MRNFO, 2017; ECO, 2018). Les paragraphes suivants portent sur les facteurs non climatiques influant sur la santé et la fonction des terres humides côtières, afin de répondre à la question « résilience à quoi? » et d'offrir des points de départ pour la planification et la mise en œuvre de l'adaptation. Bien que la plupart des renseignements ci-dessous concernent les terres humides intérieures, ils demeurent néanmoins pertinents pour comprendre les pressions exercées sur les fonctions des terres humides côtières.



Figure 6. Brève perspective historique de la situation et des tendances des terres humides côtières des Grands Lacs.



2.3.1 Conversion en terres agricoles

Les activités agricoles continuent d'être une cause importante de perte de terres humides dans le sud de l'Ontario. Entre 2000 et 2010, une diminution de 43 % de la superficie des terres humides leur est attribuée (ECO, 2018). Les comtés du sud de l'Ontario où la diminution de la superficie des terres humides est la plus importante sont caractérisés par une forte densité de drainage par tuyaux (Spaling, 1995, Eimers et coll., 2020). Le ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Affaires rurales de l'Ontario estime qu'au moins 1561 km² de terres ont été drainés entre 2006 et 2016 (ECO, 2018). Le drainage par tuyaux, les cours d'eau canalisés et les fossés transportent des polluants dans les terres humides. Les petites terres humides sont plus susceptibles d'être perdues par conversion en terres agricoles (ECO, 2018).

2.3.2 Développement urbain et littoral

On associe le développement urbain à environ 22 % des pertes estimées de terres humides entre 2000 et 2010 (ECO, 2018). Par rapport à la superficie totale de terres humides perdues au profit du développement, 20 % ont été convertis en surfaces durcies, qui réduisent l'infiltration de l'eau et l'alimentation de la nappe phréatique et augmentent le débit des eaux pluviales, provoquant ainsi la détérioration de la dynamique hydrologique et de la qualité de l'eau en aval (ECO, 2018). L'aménagement incompatible du rivage représente une menace critique pour les terres humides côtières (Pearsall et coll., 2012), car il perturbe les processus côtiers naturels et entraîne la perte de l'intégrité géomorphologique et de la géodiversité des Grands Lacs inférieurs, principalement par des changements dans la dynamique sédimentaire, par des réductions de la quantité de sable et de gravier dans la zone littorale et par des risques d'érosion des milieux sédimentaires autrefois sablonneux, tels que les cordons littoraux et les flèches de sable qui abritent des terres humides (Baird, 2008; Zuzek, 2021). Les centres urbains s'étendent et le développement résidentiel et commercial menace les zones humides côtières. Les rivages changent en permanence et les plans achevés dans les années 1990 doivent être mis à jour à l'aide d'analyses scientifiques et techniques appropriées, en tenant compte des implications régionales sur l'écosystème côtier et des effets cumulatifs des tempêtes liées au changement climatique et des niveaux extrêmes des lacs.

Menaces et facteurs de stress affectant actuellement les terres humides côtières des Grands Lacs

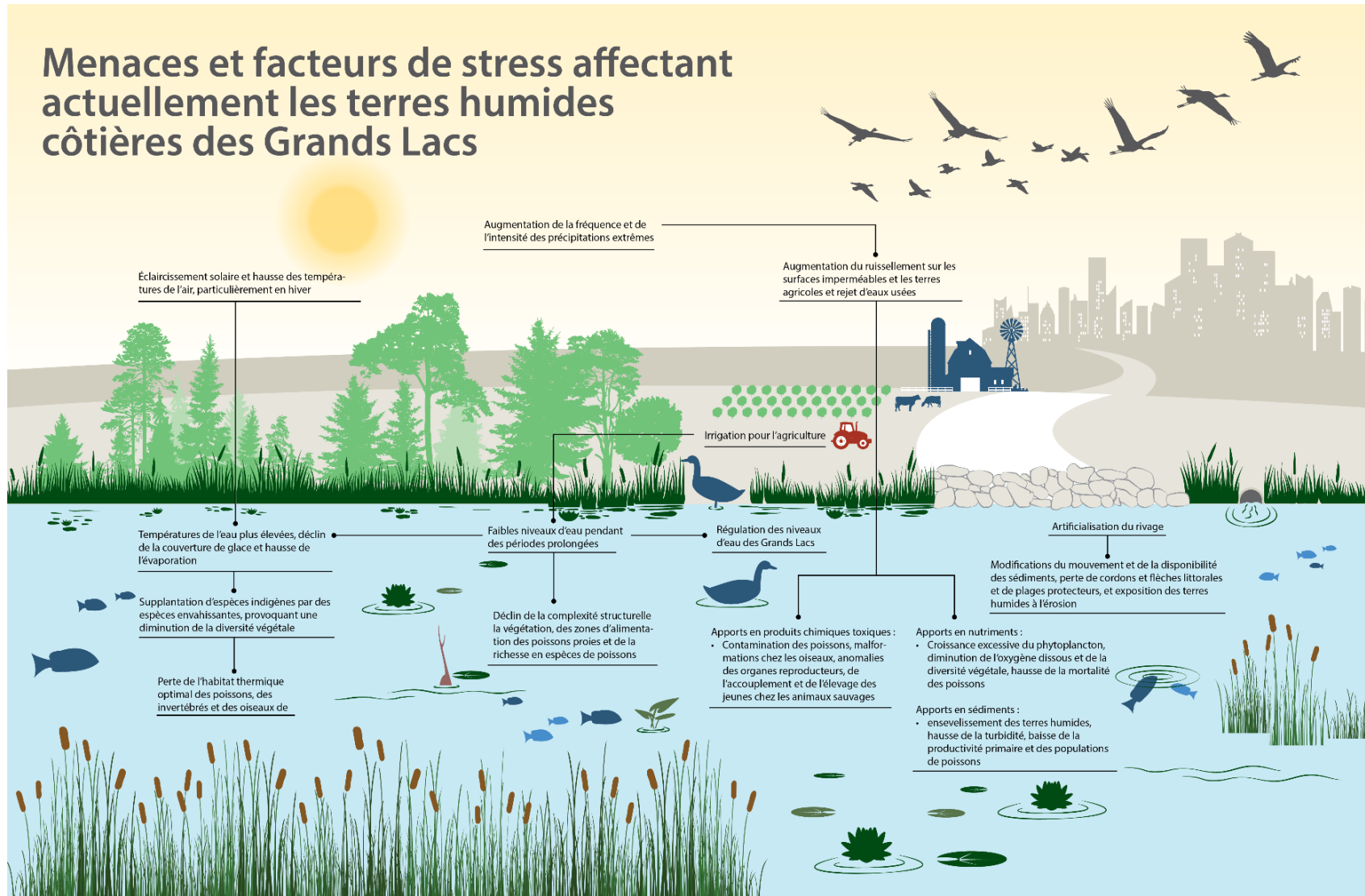


Figure 7. Schéma conceptuel des menaces et des facteurs de stress affectant actuellement les terres humides côtières (ECCC, 2021).

2.3.3 Pollution et dégradation des terres humides

L'état naturel des terres humides côtières peut être dégradé ou modifié par des produits chimiques, les sels de voirie, les eaux usées, les pesticides et les engrais (Houlahan et Findlay, 2003; Croft-White et coll., 2017; Harrison et coll., 2020). Les concentrations élevées de nutriments favorisent la croissance des plantes, notamment d'algues, de phytoplancton et d'espèces envahissantes, telles que les quenouilles et les *Phragmites* non indigènes (Tulbure et Johnston, 2007). Les produits chimiques toxiques sont un autre facteur de stress pour les systèmes biologiques des terres humides, car ils sont bioaccumulés et bioamplifiés, notamment par les espèces situées au sommet de la chaîne alimentaire (EC, 2002). Les terres humides situées près des fermes et des zones urbaines au nord-ouest des lacs Ontario et Érié et au sud-ouest du lac Huron sont particulièrement vulnérables à la dégradation causée par la pollution et l'absence de couverture végétale naturelle (Harrison et coll., 2020). La dégradation de la qualité de l'eau nuit à la diversité des espèces de poissons des terres humides (Seilheimer et Chow Fraser, 2006). Une turbidité élevée et un fort enrichissement en nutriments sont associés à une diminution de l'étendue et de la densité de la végétation aquatique submergée (Hudon et coll., 2000; Lougheed et coll., 2001). Pourtant, cette végétation est très importante pour l'habitat des oiseaux et des poissons des marais (Cooper et coll., 2018; Croft et Chow-Fraser, 2007; Grabas et coll., 2012; Randall et coll., 1996; Seilheimer et Chow-Fraser, 2006). De même, les communautés de macroinvertébrés exposées aux eaux usées et aux eaux de ruissellement urbaines favorisent principalement les espèces tolérantes à la turbidité et aux températures de l'eau élevées (Dance et Hynes, 2003; Cooper et coll., 2012; Kashian et Burton, 2000; Schock et coll., 2014).

2.3.4 Espèces végétales et animales envahissantes

Parmi les espèces envahissantes des Grands Lacs, on peut citer des poissons, des mollusques, des crustacés, des plantes et des organismes porteurs de maladies. Les trois espèces végétales envahissantes ayant les plus grands impacts écologiques et économiques sont le roseau commun (*Phragmites australis*), l'alpiste roseau (*Phalaris arundinacea* L.) et la quenouille envahissante (*Typha X glauca*) (Vaccaro et coll., 2009). En l'absence de mesures préventives, ces espèces continueront de proliférer et de supplanter des espèces indigènes végétales et animales (Carson et coll., 2018). Le myriophylle en épi (*Myriophyllum spicatum*) et l'hydrocharide grenouillette (*Hydrocharis morsus-ranae*), ainsi que d'autres plantes envahissantes, menacent également les terres humides côtières. Étant donné qu'elle est présente dans le réseau de



Figure 8. Peuplement dense de roseau commun envahissant (Janice Gilbert, MNRFO).

voies navigables de la région de Chicago, la carpe asiatique constitue une autre menace pour les terres humides. Aucune carpe noire n'a été capturée à ce jour; cependant, trois carpes à grosse tête ont été capturées dans le lac Érié (avant 2000) et en 2019, environ 650 carpes de roseau avaient été capturées dans tout le bassin des Grands Lacs, à l'exception du lac Supérieur (Chapman et al., 2021).

3.0 Tendances et impacts climatiques : la résilience à quoi?

Les paragraphes suivants présentent les tendances et projections en matière de climat (température, précipitations) et de niveau d'eau qui touchent les terres humides côtières (**figures 9 à 11**) et recensent les impacts écologiques associés (**tableau 3**) afin de répondre à la question « résilience à quoi? ». La présente section résume les nouveaux scénarios de changements climatiques et les données de modélisation hydrologique connexe, la littérature scientifique relative aux tendances historiques et aux changements prévus, ainsi que des renseignements provenant de praticiens de la conservation des terres humides côtières concernant les impacts des changements climatiques (Mortsch, 2020; OCC, 2019; 2020). Les projections de variables climatiques et les niveaux des lacs qui en résulteraient sont fondées sur les connaissances actuelles sur le système climatique et sur des hypothèses concernant le comportement futur de la société qui déterminera la quantité de carbone relâchée dans l'atmosphère. Beaucoup d'incertitudes et d'hypothèses demeurent dans ces projections, mais elles sont néanmoins nécessaires pour mettre en lumière les tendances générales des conditions climatiques futures, afin de comprendre les risques et les impacts éventuels et d'orienter la planification de l'adaptation (ECCC, 2022).

3.1 Température, précipitations et niveaux d'eau futurs dans les Grands Lacs

Dans le cadre de l'évaluation de la vulnérabilité des terres humides côtières d'Environnement et Changement climatique Canada, les conditions ou scénarios climatiques futurs de la région ont été élaborés à partir de simulations du modèle climatique régional (MCR), forcées par les données de modèles climatiques mondiaux (MCM), pour quatre profils représentatifs d'évolution des concentrations (RCP) de gaz à effet de serre (GES). Les projections sont présentées ici pour un profil d'émission modéré (RCP4.5) et un profil d'émission élevée (RCP8.5) sur deux périodes : le milieu du siècle (2035-2065) et la fin du siècle (2066-2095). Ces scénarios climatiques ont permis de modéliser l'impact hydrologique sur les futurs niveaux d'eau des lacs. Pour plus de renseignements, veuillez consulter le rapport technique du Service météorologique du Canada, une direction d'Environnement et Changement climatique Canada (ECCC, 2022a) ainsi que le rapport des faits saillants (avec graphiques) de l'Ontario Climate Consortium (Lam et Dokoska, 2022).

3.1.1 Température de l'air dans les terres

Par température de l'air dans les terres, on entend la température de l'air mesurée au-dessus de la partie terrestre du bassin des Grands Lacs. Si l'on procède à une analyse historique de la température moyenne annuelle de l'air dans les terres, on constate, entre 1950 et 2010, une tendance haussière de 0,11 °C par décennie dans la région du Midwest des États-Unis, qui abrite une grande partie du bassin des Grands Lacs (Byun et Hamlet, 2018). D'un point de vue climatologique (1961-2000), la température moyenne annuelle de l'air varie entre 2,4 °C dans le bassin du lac Supérieur, le plus au nord, et 9 °C dans celui du lac Érié, le plus au sud (Lam et Dokoska, 2022; Dehghan, 2021). On prévoit une hausse importante des températures de l'air dans les terres dans le bassin des Grands Lacs par rapport aux conditions historiques (1961 - 2000). Dans le scénario d'émission modéré (RCP4.5), la température annuelle moyenne de l'air dans les terres augmenterait d'environ 3 °C dans le bassin du lac Érié et de 3,5 °C dans celui du lac Supérieur d'ici la fin du siècle. En revanche, dans le scénario RCP8.5, on s'attend à ce que la température moyenne annuelle de l'air dans les terres augmente de 4,8 °C dans le bassin du lac Érié et de 5,6 °C dans celui du lac Supérieur d'ici la fin du siècle (Dehghan, 2019; ECCC, 2022a; **figure 9**).

Les hausses de températures les plus élevées sont prévues en automne et en hiver, ainsi que dans la partie nord-ouest du bassin des Grands Lacs. Ces changements des moyennes de températures de l'air dans les terres peuvent provoquer des hivers plus chauds, un réchauffement plus précoce au printemps, une augmentation des vagues de chaleur extrême, des saisons de croissance plus longues, des précipitations plus abondantes ainsi qu'une réduction de la couverture de glace (Dehghan, 2019; Lam et Dokoska, 2022). Étant donné que les températures de l'air dans les terres continuent de croître, on s'attend à une hausse de la fréquence et de l'intensité des vagues de chaleur extrême (Wuebbles et coll. 2019; Byun et Hamlet, 2018).

3.1.2 Précipitations sur les lacs

Les précipitations totales sur les lacs désignent l'ensemble des précipitations tombant à la surface d'un lac durant une année. La quantité enregistrée est généralement similaire à celles des précipitations tombant sur les terres entourant les Grands Lacs, mais des différences peuvent être observées en fonction du régime des vents et de la topographie locale (ECCC, 2022a). La moyenne (1961-2000) des précipitations annuelles totales dans les lacs était de 755 mm pour le lac Supérieur et de 909 mm pour le lac Érié.

Selon les deux RCP, on prévoit que le lac Supérieur connaîtra la plus forte hausse des précipitations totales, suivi du lac Ontario. Selon le RCP4.5, d'ici la fin du siècle, les précipitations annuelles totales augmenteraient de 9 % pour le lac Érié et de 20 % pour le lac Supérieur. Selon le RCP8.5, les précipitations annuelles totales augmenteraient de 18 % pour le lac Érié et de 24 % pour le lac Supérieur d'ici la fin du siècle (Dehghan, 2019; Lam et Dokoska, 2022). Ces projections indiquent une hausse importante des précipitations annuelles

totales dans tout le bassin et se traduisent également par des hausses en toutes saisons. Les projections relatives aux précipitations dans les lacs sont très variables, mais globalement, selon le scénario du RCP8.5, on estime que les précipitations annuelles totales augmenteront dans la région des Grands Lacs, notamment au cours des 30 dernières années du 21^e siècle (**figure 10**).

On s'attend également à ce que la saisonnalité des précipitations soit modifiée, avec davantage de précipitations en hiver, au printemps et en automne et des conditions potentiellement plus sèches persistantes en été. Les projections RCP8.5 indiquent que les hausses des précipitations hivernales pourraient aller jusqu'à 16 % au milieu du siècle et jusqu'à 33 % à la fin de celui-ci (Dehghan, 2019), tandis que les précipitations estivales pourraient diminuer de 12 % au milieu du siècle et de 20 % à la fin de celui-ci (Dehghan, 2019). Ces données sont cohérentes avec celles d'autres études présentant des projections de précipitations à la hausse en hiver et au printemps et à la baisse en été (par exemple, Mailhot et coll., 2019).

3.1.3 Couverture de glace

L'évaluation de la couverture de glace annuelle moyenne de 1973 à 2010 indique que même si la variabilité interannuelle de la couverture de glace est importante, la tendance à long terme, elle, est à la baisse (Wang et coll., 2017). En moyenne, la couverture de glace maximale a diminué de 5 % par décennie, certains lacs perdant leur couverture de glace plus rapidement que d'autres, notamment les lacs Supérieur, Huron, Sainte-Claire et Érié (NOAA, 2018).

En analysant le niveau historique annuel moyen de la couverture de glace, on constate les diminutions les plus importantes dans le lac Ontario (2,3 % par an), suivi des lacs Supérieur et Michigan (2 % par an). Les lacs Érié et Sainte-Claire ont enregistré les diminutions les plus faibles (1,3 % et 1 %, respectivement). On prévoit un déclin considérable de la couverture de glace annuelle moyenne dans les Grands Lacs pour le milieu et la fin du siècle. Les lacs pourraient être exempts de glace d'ici la fin du 21^e siècle, rendant les terres humides côtières ainsi plus exposées aux vagues, aux tempêtes et à l'érosion (Dehghan, 2019). La plus grande perte de couverture de glace est prévue dans le lac Supérieur. Selon le RCP4.5, la perte de glace prévue pour le lac Supérieur en hiver est de 36 % à 86 % pour le milieu du siècle, et de 57 % à 93 % pour la fin du siècle. Selon le RCP8.5, le lac Supérieur pourrait, en hiver, perdre entre 27 % et 92 % de sa couverture de glace pour le milieu du siècle, et entre 68 % et 100 % pour la fin du siècle.

En raison des changements climatiques, la hausse des températures de l'air et la réduction de la couverture de glace en hiver pourraient faire accroître l'évaporation à la surface du lac. Cela créerait des conditions pouvant conduire à un échange rapide de chaleur et d'humidité au niveau des Grands Lacs, qui peut à son tour augmenter les chutes de neige causées par l'effet de lac en fonction de la température de l'air et de la direction du vent (Sharma et coll., 2018). La couverture de glace contribue à réduire l'énergie des vagues et l'érosion le long des côtes. Elle permet également d'isoler et de protéger certains habitats de fraie dans des zones peu profondes, pour les espèces qui fraient en automne et en hiver (Bartolai et coll., 2015).

L'augmentation de la fréquence et de l'intensité des tempêtes sur les Grands Lacs peut créer de grandes vagues et des ondes de tempête extrêmes, comparables aux ondes de marée observées sur les côtes marines (Gronewold et coll., 2013). Le lac Érié est particulièrement sensible à cet effet, notamment en raison de son orientation est-ouest.

3.1.4 Niveaux d'eau

Des organismes fédéraux américains et canadiens surveillent en permanence les niveaux d'eau des Grands Lacs grâce à un réseau de stations de surveillance installées dans la région. Sur la période de 100 ans comprise entre 1918 et 2020, les niveaux des lacs ont connu une variation de 2 mètres entre les moyennes mensuelles maximale et minimale enregistrées. Toutefois, au cours des trois dernières décennies, on a enregistré un plus grand degré de variation par rapport à cette différence de 2 mètres. Entre 1999 et 2014, les niveaux annuels moyens de tous les Grands Lacs étaient à des niveaux faibles, presque records. Cependant, depuis cette période, les lacs atteignent des niveaux élevés quasiment jamais atteints (**figure 11**).

On enregistre également des variations saisonnières au cours d'une seule année, avec des niveaux élevés à la fin du printemps et au début de l'été et des niveaux faibles en hiver. Ces variations sont en moyenne d'environ 40 cm pour les lacs Supérieur, Michigan et Huron, et d'environ 50 et 60 cm pour les lacs Érié et Ontario, respectivement. Les ondes de tempête et la montée des vagues peuvent provoquer des variations horaires de courte durée, allant jusqu'à 50 cm (ou plus) et ayant un impact sur les fonctions des terres humides.

Les niveaux d'eau des Grands Lacs sont influencés par plusieurs facteurs, notamment les précipitations sur les lacs, le ruissellement provenant du bassin hydrographique, l'évaporation à la surface des lacs, les débits entrants des lacs en amont et ceux sortants vers les lacs en aval, les dériviations de l'eau des lacs, l'utilisation de l'eau et les plans de régulation des débits sortants des lacs Supérieur et Ontario (Lam and Dokoska, 2022; ECCC, 2022a). Les futurs niveaux d'eau mensuels des Grands Lacs ont été modélisés en intégrant des projections mises à l'échelle des précipitations sur les lacs, de l'évaporation des lacs (influencée par la couverture de glace) et du ruissellement terrestre, afin d'estimer l'apport net au bassin en tant que déterminant clé des variations des niveaux d'eau (ECCC, 2022a). En se basant sur les moyennes d'ensembles climatiques multimodèles, ECCC (2022a) ont obtenu des résultats démontrant que, le long du rivage des Grands Lacs, les niveaux d'eau projetés seront les plus hauts et les plus faibles jamais enregistrés (par rapport aux observations historiques). Les zones ombragées de la **figure 11** représentent toutes les possibles conditions futures du niveau des lacs selon les scénarios RCP4.5 et RCP8.5. Il convient toutefois de noter que les niveaux projetés des lacs pourraient augmenter sensiblement vers la fin du siècle selon le scénario RCP8.5, compte tenu de la hausse prévue des précipitations (**figure 10**).

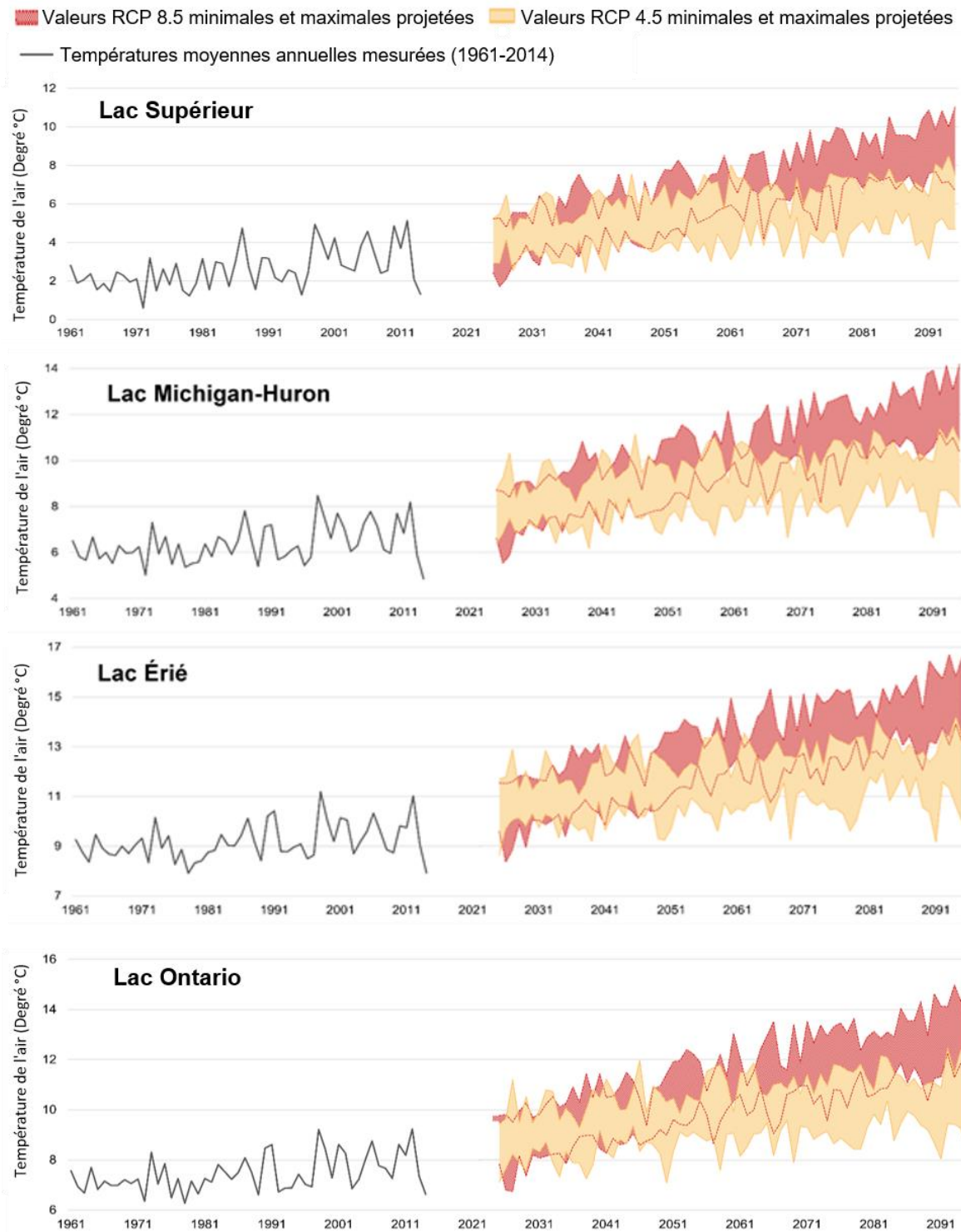


Figure 9. Température de l'air annuelle moyenne historique et projetée dans les terres des Grands Lacs selon les scénarios RCP4.5 (orange) et RCP8.5 (rouge) (OCC, 2021).

Valeurs RCP 8.5 minimales et maximales projetées
 Valeurs RCP 4.5 minimales et maximales projetées
 — Précipitations totales annuelles mesurées sur le lac (1961-2019)

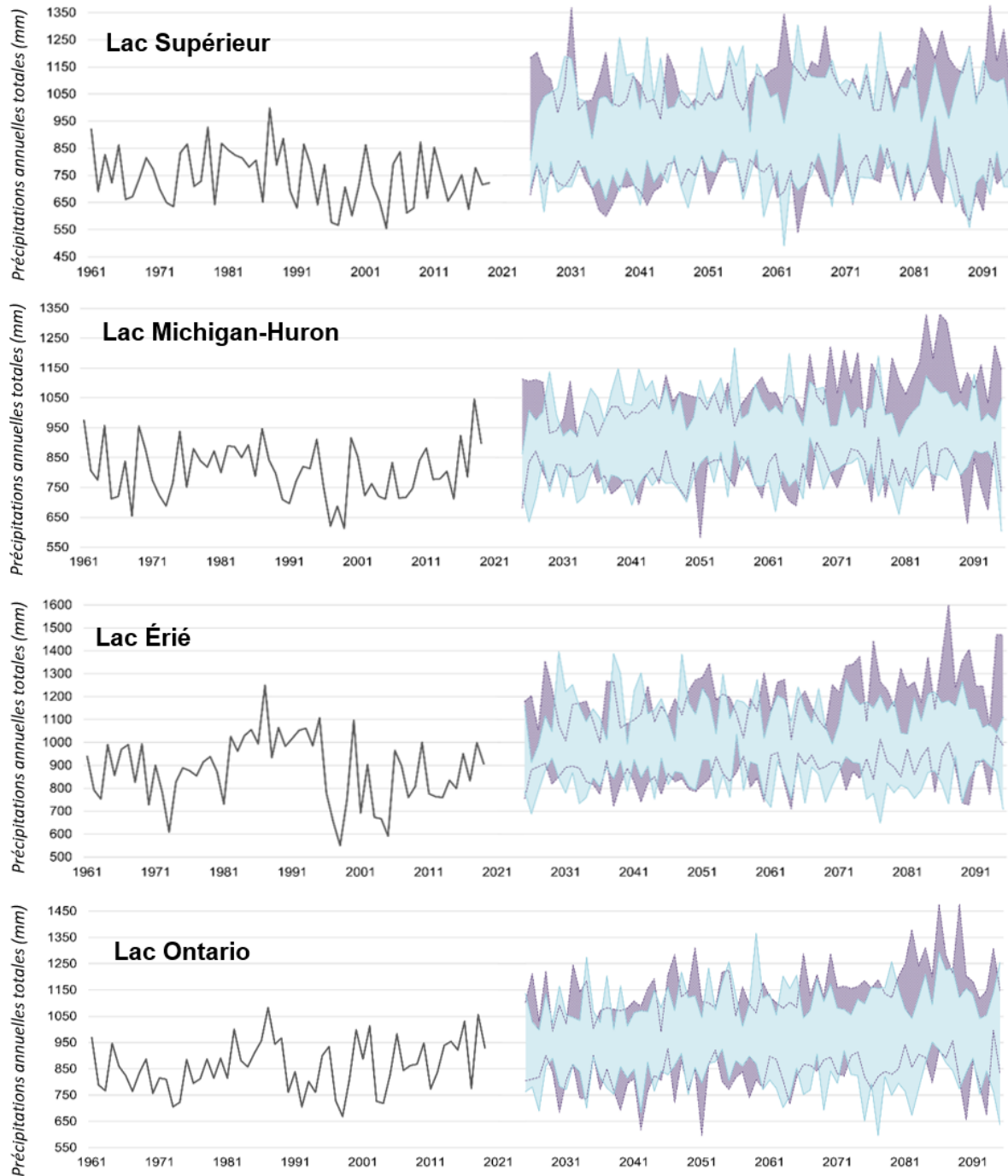


Figure 10. Précipitations annuelles totales, historiques et projetées, dans les Grands Lacs selon les scénarios RCP4.5 (bleu) et RCP8.5 (violet) (OCC, 2021).

■ Valeurs RCP 8.5 minimales et maximales projetées
 ■ Valeurs RCP 4.5 minimales et maximales projetées
— Moyenne à long terme (1918-2019 : 183,41 m)
 — Niveaux moyens annuels mesurés (1961-2019)

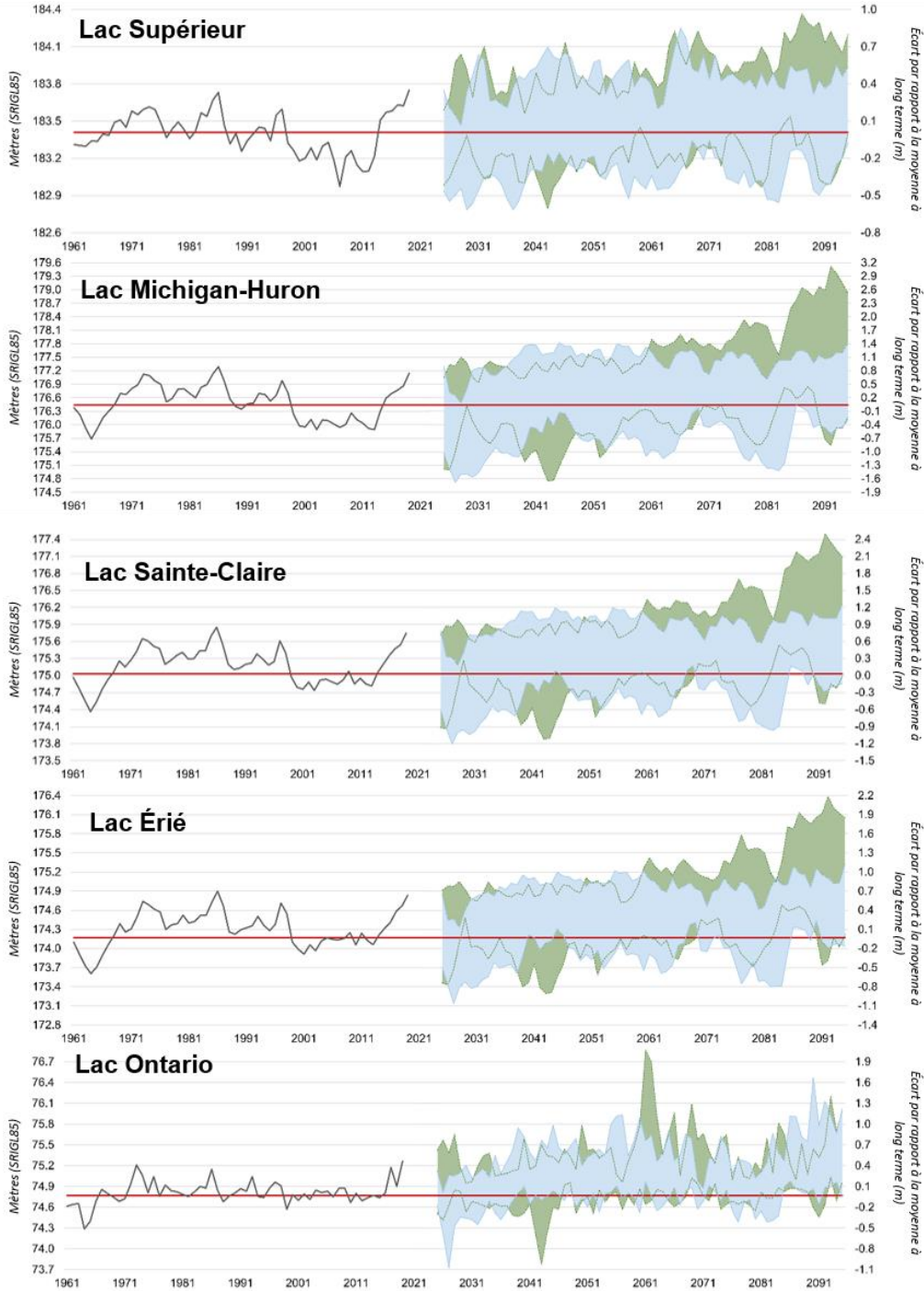


Figure 11. Niveaux annuels moyens des Grands Lacs (et du lac Sainte-Claire) : niveaux historiques (1961-2019) et projetés (2025-2095) selon les scénarios RCP4.5 (bleu) et RCP8.5 (vert) (OCC, 2021).

3.2 Impacts des changements climatiques sur les terres humides côtières

Les changements prévus du climat des Grands Lacs décrits plus haut peuvent avoir de nombreuses répercussions en cascade sur les terres humides côtières (**figure 12 et tableau 3**). Les impacts des changements climatiques peuvent se manifester à différents niveaux : locaux, régionaux ou à l'échelle du bassin des Grands Lacs. Les terres humides côtières ne pourront pas toutes réagir de la même manière, ou au même rythme, car leurs facteurs physiques, l'hydrologie, la couverture terrestre environnante et les activités humaines qui y sont pratiquées diffèrent. Les paragraphes suivants fournissent des exemples d'impacts des changements climatiques sur les terres humides côtières.

3.2.1 Changements du régime hydrologique

Les changements dans les périodes, les durées et l'ampleur des niveaux d'eau saisonniers et à long terme ont une influence importante sur les terres humides côtières. Les régimes de niveaux d'eau déterminent les processus des terres humides côtières, les conditions d'humidité pour le développement des sols de ces terres et la végétation prédominante, en plus de maintenir les marais littoraux à un stade précoce de succession (Wilcox et Meeker, 1995; Mortsch, 1998; Environnement Canada, 2002). Les changements variables et progressifs des niveaux d'eau peuvent accroître la diversité végétale et influencer sur la structure, la fonction et l'étendue des terres humides. En revanche, les changements fréquents ou extrêmes et prolongés des niveaux des lacs ont un impact négatif sur les communautés végétales et sur la fonction des terres humides (Mortsch, 1998; Gathman et coll., 2011; Midwood et Chow-Fraser, 2012; Smith et coll., 2020). Lorsque les niveaux d'eau dépassent des records historiques, de l'habitat de terre humide peut être perdu s'il ne peut se déplacer vers l'intérieur des terres. Les rivages du Bouclier canadien et les rivages durcis ou aménagés ne permettent par exemple souvent pas aux terres humides de migrer dynamiquement (voir la stratégie 5). De faibles niveaux des lacs, associés à des températures de l'air plus élevées et à une évaporation accrue, modifient les espèces animales ou végétales présentes dans les terres humides ou le type de terre humide et peuvent ainsi entraîner une perte de biodiversité et de services écosystémiques (Midwood et Chow-Fraser, 2012). Lorsque le niveau d'un lac est bas, la végétation des terres humides incapable de germer lorsque le niveau est élevé peut se développer rapidement dans les vasières exposées et les zones d'eau peu profonde. Cependant, une période prolongée de faible niveau d'un lac peut provoquer l'assèchement d'une terre humide côtière et couper son lien hydrologique avec le lac. En 2013, lorsque les niveaux d'eau étaient au plus bas dans la baie Georgienne, des peuplements de conifères se sont étendus en direction du lac. Des peuplements de conifères morts et mourants continuent d'occuper les zones d'eau peu profonde autrefois biologiquement productives de certaines terres humides de la baie Georgienne, malgré la hausse importante des niveaux du lac au cours des dernières années (P. Chow-Fraser, communication personnelle, février 2020).

Impacts des changements climatiques sur les terres humides

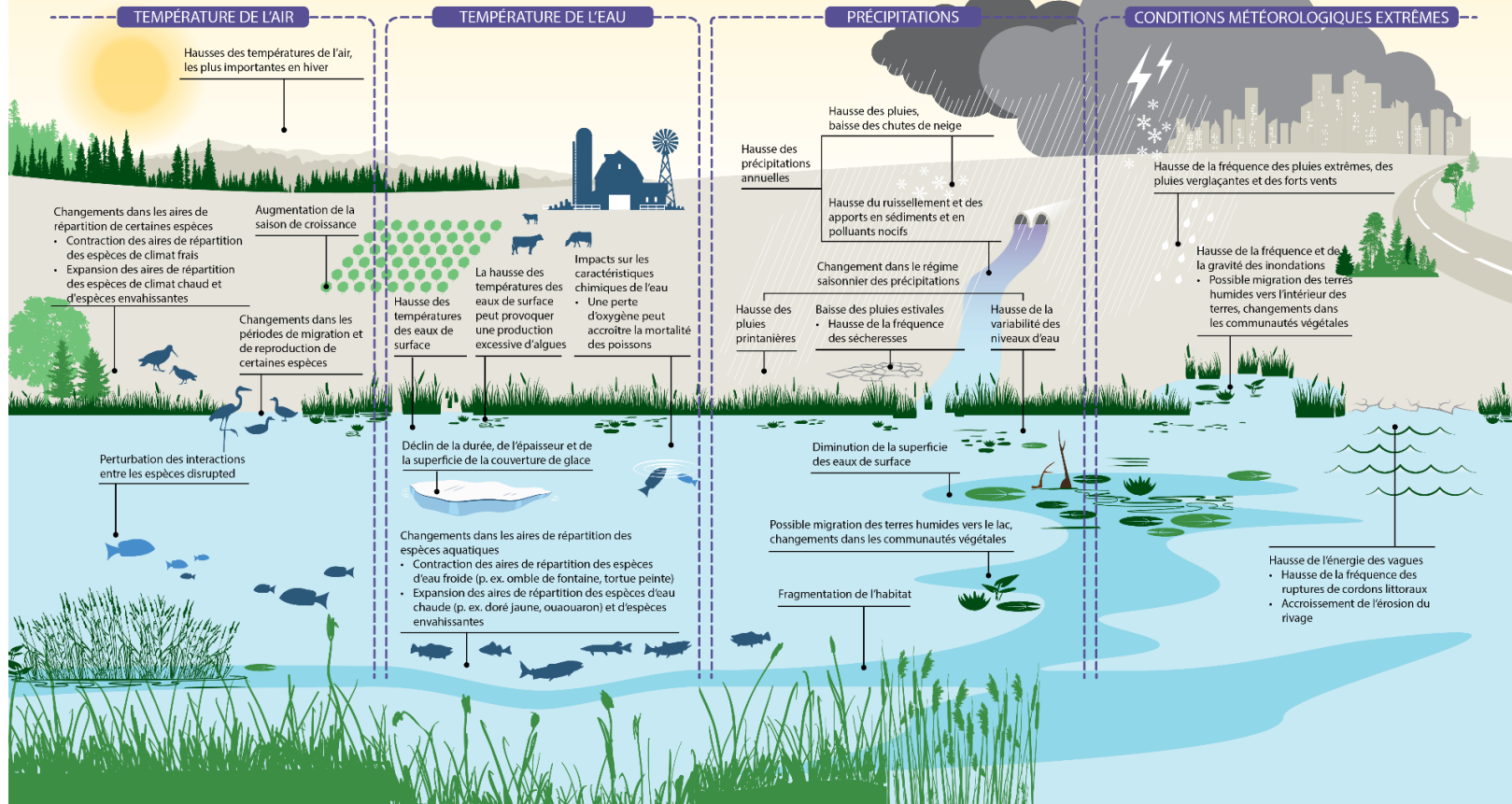


Figure 12. Schéma conceptuel des impacts potentiels des changements climatiques sur les terres humides côtières des Grands Lacs (ECCC, 2021).

3.2.2 Dégradations de la qualité de l'eau

Les effets de l'utilisation urbaine et agricole des terres sur la qualité de l'eau sont grandement liés à l'hydrologie et au climat, notamment à l'évolution du régime des précipitations (c'est-à-dire des précipitations plus intenses). On s'attend généralement à ce que l'apport en nutriments dans les eaux des Grands Lacs soit augmenté par les changements climatiques (ELPC, 2019). Les effets cumulés de la hausse des températures de l'eau, des précipitations et du ruissellement de nutriments, de contaminants et de sédiments causés par les tempêtes provoquent des dégradations de la qualité de l'eau, telles que turbidité, eutrophisation, hypoxie et prolifération d'algues nuisibles, notamment de cyanobactéries qui produisent des toxines (Michalak et coll., 2013; ELPC, 2019). Un apport excessif en sédiments peut provoquer l'enfouissement des communautés végétales des terres humides, empêcher la pénétration de la lumière dans l'eau et la photosynthèse, et provoquer la mort de poissons par manque d'oxygène (Environnement Canada, 2002). Les producteurs primaires (algues, macrophytes et autres plantes) sont particulièrement sensibles aux changements chimiques, et on s'attend à ce que le réchauffement des températures de l'eau entraîne une hausse de la production primaire (Magnuson et coll., 1997). Dans les zones côtières peu profondes, la hausse de la production primaire et des températures de l'eau peut se traduire par une décomposition plus rapide et une hypoxie estivale.

3.2.3 Altération des processus côtiers

Le réchauffement des températures de l'air et de l'eau a causé le déclin de la couverture de glace des Grands Lacs (Notaro et coll., 2015; Wuebbles et coll., 2019). Les rivages sableux des Grands Lacs inférieurs sont les plus vulnérables aux périodes hivernales prolongées sans couverture de glace en raison de tempêtes intenses générant des ondes de tempête extrêmes, en particulier lorsque les niveaux des lacs sont élevés. La solution anthropique classique consiste à protéger les aménagements riverains en enrochant les rivages, ce qui perturbe l'érosion naturelle ainsi que l'apport, le transport et le dépôt de sédiments. Les barrières de sable abritant les terres humides de la pointe Pelée, du marais Hillman, de la baie Rondeau, de Long Point et du ruisseau Lynde ont déjà été rompues et endommagées par des niveaux d'eau élevés, comme ceux observés en 2019 et 2020. Ces rivages et d'autres continueront d'être vulnérables au manque de sable causé par l'artificialisation du rivage et les jetées bloquant les sédiments (Zuzek, 2021). Cela se traduira par de mauvais résultats en matière de résilience et de biodiversité des terres humides.

3.2.4 Déclin de la biodiversité des terres humides

L'impact global des changements climatiques sur les espèces indigènes des terres humides dépend du type hydrogéomorphologique de ces dernières, de l'utilisation des terres environnantes, de la capacité d'adaptation, ainsi que du rythme et de l'ampleur des changements de températures, de précipitations et de niveaux d'eau. Une évaluation de la vulnérabilité des espèces des Grands Lacs indique que parmi les 280 espèces évaluées,


175 sont vulnérables aux changements climatiques (Brinker et coll., 2018). Sur les 10 groupes taxonomiques évalués, les groupes dépendants de l'eau (mollusques, poissons, amphibiens, lichens) étaient les plus vulnérables. Les espèces qui dépendent de l'habitat des terres humides sont plus vulnérables aux modifications du cycle saisonnier des précipitations et aux niveaux d'eau changeants. Les espèces les plus vulnérables sont principalement concentrées dans les terres humides côtières et les complexes dunaires des lacs Érié et Huron, ainsi que dans les grandes rivières qui se déversent dans le lac Érié (Brinker et coll., 2018).

Le dépassement des seuils de températures de l'air et de l'eau peut entraîner une perte ou une modification de la productivité des espèces, du recrutement, de l'abondance et de la composition globale de la communauté (Michalak et coll., 2013). Le rapport sur le climat d'Audubon de 2019, intitulé « Survival by Degrees: 389 Species on the Brink » (en anglais uniquement), conclut par exemple que si la température moyenne mondiale augmente de 3 °C, le pourcentage d'espèces d'oiseaux vulnérables par État américain variera de 27 % à 55 %. L'arrivée des oiseaux migrateurs sur leurs lieux de reproduction est un événement phénologique essentiel, déterminant le déroulement de la saison de reproduction et ayant des conséquences sur la survie de la progéniture. Un manque de synchronisation entre la disponibilité de la nourriture et la période migratoire a déjà conduit à des déclin de populations d'oiseaux chanteurs (Mayor et coll. 2017).



On s'attend également à ce que les changements des conditions thermiques et chimiques dégradent l'habitat des poissons, les populations de poissons et la pêche dans les Grands Lacs (Collingsworth et coll., 2017). Sur les 30 dernières années, des expansions de l'aire de répartition vers le nord ont été observées pour les poissons d'eau chaude à un rythme de 13 km par décennie (Alofs et coll., 2014). De même, près de la moitié des 80 espèces de mammifères des Grands Lacs se trouvent à la limite méridionale ou septentrionale de leur aire de répartition et devraient migrer vers le nord avec la hausse des températures (Myers et coll., 2009).

La diversité des communautés d'oiseaux des terres humides est liée à celle de la végétation des terres humides et à son entremêlement avec l'eau libre. Les baisses et les hausses prolongées des niveaux d'eau et les processus écologiques qui homogénéisent l'habitat des terres humides ou modifient l'équilibre entre la végétation et l'eau libre nuisent à la réussite de la reproduction (Steen et coll., 2006; Timmermans et coll., 2008; Chin et coll., 2014). Les sternes de Forster, les guifettes noires, les grèbes à bec bigarré, les râles et les butors qui nichent au ras de l'eau sont vulnérables aux niveaux d'eau très élevés (Meyer et coll., 2006). La baisse des niveaux et la hausse des températures de l'eau en été peuvent également avoir un impact sur les poissons et la faune piscivore en favorisant la propagation de maladies telles que le botulisme (Lafrancois et coll., 2011; Michigan Sea Grant, 2018). Un apport excessif en nutriments et en sédiments, combiné à des températures d'eau élevées, offre de bonnes conditions pour la croissance d'algues et la propagation de plantes envahissantes, telles que le *Phragmites* et les quenouilles.

Tableau 3. Résumé des principales variables climatiques en tant que facteurs de changement, de leurs impacts probables et des facteurs d'aggravation associés, d'après des ateliers, des discussions, des entretiens et des analyses documentaires.

Facteur climatique et changement	Impacts probables	Variables aggravantes ou confusionnelles
 <p>Hausse des niveaux d'eau des lacs</p>	<p>La végétation des terres humides est dominée par des plantes résistantes aux inondations. Les plantes flottantes et submergées ont moins de chances de survivre, ce qui réduit l'habitat des poissons et de la faune. Les tempêtes violentes et les niveaux élevés des lacs se traduisent par la perte d'habitat d'oiseaux des terres humides, et ceux-ci abandonnent leurs nids. Érosion du rivage et endommagement de toutes les formes géomorphologiques des terres humides, y compris celles qui sont endiguées et aménagées.</p>	<p>L'enrochement et la protection du rivage modifient l'énergie des vagues et la dynamique des sédiments et entravent la formation de flèches de sables, de barres de sable et de plages qui protègent des terres humides et empêchent la migration des terres humides vers l'intérieur des terres.</p>
 <p>Baisse des niveaux d'eau des lacs</p>	<p>Assèchement des terres humides et rupture de leur lien hydrologique avec le lac, en fonction de la bathymétrie. Réduction de la connectivité hydrologique avec les zones riveraines et de l'alimentation de la nappe phréatique. La végétation se densifie et devient moins diversifiée. Établissement et dominance d'espèces envahissantes (<i>Phragmites</i>, quenouille glauque). Perte de l'habitat sous-marin d'hiver. Perte d'accès à la aux frayères et à la végétation aquatique submergée pour les poissons. Les communautés de poissons deviennent plus homogènes. Baisse de l'intégrité des communautés d'oiseaux, déclin des populations d'oiseaux devant nicher dans les marais.</p>	<p>L'empiètement de l'agriculture et du développement aggrave la fragmentation de l'habitat. Entretien du rivage et augmentation du dragage pour l'accès des bateaux. Parmi les effets indirects de la baisse des niveaux des lacs, on peut citer la hausse de l'oxydation des sols des terres humides et de la germination des graines. La végétation de milieu sec colonise les anciens marais.</p>
	<p>Dépassement des seuils de température optimale pour les organismes des terres humides. Les éventuels décalages</p>	<p>La conversion de la couverture terrestre naturelle à l'agriculture et le</p>

Facteur climatique et changement	Impacts probables	Variables aggravantes ou confusionnelles
<p>Températures croissantes et extrêmes de l'air et de l'eau</p>	<p>phénologiques (p. ex. période de floraison, la formation des graines et disponibilité de nourriture) peuvent affecter la migration ainsi que d'autres fonctions écologiques. Perte d'espèces indigènes, en particulier à la limite sud de leur aire de répartition, et hausse du nombre d'espèces à la limite nord. Introduction et prédominance d'espèces résistantes aux températures élevées, notamment d'espèces invasives non indigènes. Émergence et prolifération possibles d'organismes nuisibles et de maladies (botulisme).</p>	<p>développement urbain influent sur les températures de l'air régionales. La hausse de l'évaporation et de l'évapotranspiration pendant la saison de croissance réduit la quantité d'eau stockée dans le paysage environnant. Un climat plus chaud augmente le risque de sécheresse, le taux de décomposition et la libération du carbone stocké. La hausse de la température de l'eau provoque la réduction de la quantité d'oxygène dissous.</p>
 <p>Plus de précipitations, moins de chutes de neige, plus de pluies hivernales et tempêtes fréquentes</p>	<p>Augmentation de la fréquence, de la durée et de l'ampleur du ruissellement de sédiments, de nutriments et de contaminants dégradant la qualité de l'eau. Inondation et érosion des terres humides. Réduction de la capacité des terres humides à recycler les nutriments et à piéger les matières organiques en suspension. Les changements dans les périodes et les volumes des débits saisonniers des cours d'eau ont des conséquences négatives pour la diversité et l'abondance des invertébrés aquatiques, des poissons et des oiseaux nichant dans les terres humides.</p>	<p>Les hausses de la population humaine, de la conversion des terres et du nombre de surfaces imperméables, ainsi que la perte de la couverture naturelle des terres et le manque de cultures de couverture, aggravent le ruissellement de surface. L'augmentation des concentrations de nutriments favorise la prédominance de <i>Phragmites</i> et des quenouilles sur les espèces indigènes des zones émergées.</p>
	<p>Perte d'humidité en saison de croissance et assèchement potentiel des terres humides. Diminution du débit des affluents et du transport des matières organiques, des sédiments en suspension et des matériaux qui alimentent les terres humides. La perte de refuges en eaux profondes lors de sécheresses sévères ou prolongées menace les populations</p>	<p>Les barrages fluviaux et d'autres formes de perturbation hydrologique peuvent aggraver les modifications des périodes et des quantités d'écoulement d'eau dans les terres humides.</p>

Facteur climatique et changement	Impacts probables	Variables aggravantes ou confusionnelles
<p>Baisse des précipitations estivales et hausse de l'évaporation</p>	<p>d'amphibiens et les espèces moins mobiles. Sécheresse extrême avec perturbation persistante de la structure, de la fonction, de la décomposition et de la productivité des terres humides.</p>	
 <p>Déclin de la couverture de glace</p>	<p>L'érosion accrue des terres humides en bordure des lacs par les tempêtes est accentuée par l'absence de couverture de glace sur les lacs. Débordement et rupture des cordons littoraux protégeant ces terres humides. Hausse possible du recul du littoral. Baisse de l'atténuation des vagues; changement dans la quantité et de la direction de la dérive de sédiments. Allongement de la saison d'érosion et de la période d'effets des vagues sur la côte, donc plus d'exposition et plus d'érosion de la végétation des terres humides déstabilisant l'habitat de fraie des poissons.</p>	<p>La solution anthropique classique consiste à enrocher les rivages, ce qui perturbe l'apport naturel en sédiments aux barrières (flèches de sable et cordons littoraux) qui protègent les terres humides. Cela provoque également la rupture de barrières et de digues et détruit ou endommage la communauté végétale des terres humides et l'habitat des organismes qui en dépendent.</p>
 <p>Augmentation de la fréquence, de l'intensité et de la durée des tempêtes</p>	<p>Les terres humides sont exposées à des vagues plus fortes, à des taux d'érosion et de recul plus élevés, à des brèches dans leurs barrières de protection et à des dommages causés à leur végétation pendant les périodes cruciales de croissance ou de reproduction.</p>	

3.2.5 Impératifs en matière d'adaptation et de résilience

Les changements climatiques ont des conséquences pour l'ensemble du bassin des Grands Lacs (McDermid et coll., 2015; GLISA, 2016; ELPC, 2019). Les praticiens de la conservation ne peuvent plus simplement maintenir l'état actuel des terres humides ou les rétablir à leur état historique. Les changements climatiques nécessitent de revoir les pratiques de gestion des

ressources et de refaçonner les politiques. Il est primordial d'adopter des stratégies transformatrices pour améliorer la résilience des terres humides côtières et soutenir leur capacité à s'adapter, à se reconstituer, à maintenir leur biodiversité et à fonctionner. En d'autres termes, il est nécessaire de planifier en vue des changements climatiques, d'élaborer des solutions d'adaptation et de mettre en œuvre des mesures qui s'attaquent aux impacts actuels des changements climatiques, ainsi que de se préparer aux éventuels impacts futurs. Ainsi, les terres humides côtières continueront de fournir les services écologiques contribuant à des résultats positifs sur les plans économique, social, culturel et des écosystèmes d'eau douce.

4.0 Adaptation et résilience : des concepts à la mise en œuvre

La résilience s'entend de la capacité d'un système à s'adapter aux perturbations et à y réagir de manière à maintenir ses fonctions et ses structures, tandis que l'adaptation définit la manière dont la société compose avec les impacts climatiques (GIEC, 2014; Agard et coll., 2014). Bien que le terme « résilience » est utilisé pour décrire les résultats souhaités en matière d'écosystèmes, la description de ce que ce terme implique est souvent vague. En effet, le concept a été élaboré dans de nombreuses disciplines et s'applique à des systèmes naturels, artificiels et sociaux (Gallopín, 2006; Joakim et coll., 2015; Masselink et Lazarus, 2019). Les paragraphes suivants résument les principes essentiels de la résilience, dans le contexte des terres humides côtières des Grands Lacs, lesquels ont éclairé l'élaboration des stratégies d'adaptation visant à renforcer la résilience qui sont présentées dans la section 5.

4.1 Notions sur la résilience des écosystèmes

L'amélioration de la résilience des écosystèmes est perçue comme un résultat de gestion souhaitable, car un système résilient est plus apte à composer avec les perturbations qu'un système dont la capacité de réaction est limitée (Walker et Salt, 2012; Biggs et coll., 2015; Beller et coll., 2019; Chambers et coll., 2019; Masselink et Lazarus, 2019). La résilience est souvent une composante obligatoire de la gestion des écosystèmes et des politiques connexes. Par exemple, les efforts déployés dans le cadre de l'Accord relatif à la qualité de l'eau dans les Grands Lacs (2012) visent à



Figure 13. Création d'une terre humide côtière au parc Tommy Thompson, à Toronto.

« ...contribuer à la réalisation des objectifs généraux et spécifiques du présent Accord par la conservation, la protection, le maintien, la restauration et l'amélioration de la résilience des espèces indigènes et de leur habitat, ainsi que par le soutien des services écologiques essentiels ».

Cependant, les impacts interactifs et cumulatifs des changements climatiques et des facteurs de stress non climatiques créent un scénario complexe, entravant l'atteinte d'un état de résilience (Aslan et coll., 2018). Il est difficile de mettre en œuvre la résilience, et les efforts déployés jusqu'à aujourd'hui se concentraient principalement sur des définitions et des conceptualisations générales (Gunderson, 2000; Walker et coll., 2004, Walker et Salt, 2006; Folke, 2006; Gunderson et coll., 2010). En passant de la théorie à la pratique, les praticiens de la conservation des terres humides peuvent tenir compte de plusieurs points à la base des réflexions sur la résilience déterminées par Walker et Salt (2012) et modifiées ici pour s'adapter au contexte des terres humides côtières :

1. Les terres humides côtières s'organisent d'elles-mêmes et peuvent s'adapter et se réorganiser en fonction des perturbations et des changements.
2. Il existe des limites (p. ex. des points de bascule ou des seuils) à la capacité d'auto-organisation et de rétablissement. Au-delà de ces limites, les terres humides changent d'état et de fonctions.
3. Les terres humides côtières font partie d'un système socioécologique complexe, dont les sphères d'influence sociale, économique et biophysique sont liées.
4. Les terres humides évoluent au fil du temps et passent par des cycles d'adaptation (p. ex. en réponse aux niveaux d'eau, aux apports en nutriments, aux espèces envahissantes, etc.)
5. Les cycles d'adaptation liés fonctionnent à des échelles multiples. Ce qui se produit à une échelle peut influencer sur les échelles supérieures et inférieures (p. ex. les pressions exercées par l'utilisation des terres adjacentes et l'assimilation et le cycle des nutriments, les zones littorales côtières, le bassin hydrographique en amont).
6. Les travaux en matière de résilience des terres humides consistent à maintenir, adapter et transformer, ce qui implique des investissements, des coûts monétaires, des risques et des compromis.
7. La résilience ne consiste pas à tout savoir ou à résister au changement, mais plutôt à être prêt à reconnaître l'incertitude, à apprendre par la pratique, à négocier des utilisations et besoins conflictuels et à collaborer dans le cadre d'un processus de gestion adaptative.

4.1.1 Conditions préalables et principes en matière de résilience

Les principes en matière de résilience présentés au **tableau 4** ont été rédigés pour aider les praticiens de la conservation à passer de la théorie à la pratique. Chaque principe contribue de manière unique à la résilience. Collectivement, ils orientent le développement d'importantes solutions de gestion pour faire face aux impacts des changements climatiques. Ces principes ont été appliqués aux stratégies, mesures et options d'adaptation visant à renforcer la résilience des terres humides côtières présentées à la section 5.

Tableau 4. Principes et composantes de la gestion fondée sur la résilience éclairant l'élaboration de stratégies, de mesures et d'options d'adaptation (adaptés de Glick et coll., 2011; Walker et Salt, 2012; Stein et coll., 2014; Biggs et coll., 2015; Beller et coll., 2015; Simonsen et coll., 2016; Beavers et coll., 2016; Sterk et coll., 2017; Chambers et coll., 2019).

Principe	Questions et éléments permettant d'orienter l'adaptation
<p>Tenir compte du paysage et de l'environnement général</p> <p><i>Les aspects géophysiques, biologiques et socioculturels d'un paysage déterminent les possibilités de résilience et les contraintes à celle-ci.</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> • Quels éléments géophysiques (géologie, sols et topographie) soutiennent les habitats, la fonction écologique et la diversité des terres humides? • Quels sont les héritages biotiques (p. ex. banques de semences du sol) présents? • Quelles sont les communautés végétales dominantes, rares et uniques présentes? • Comment l'historique de l'utilisation des terres et de ses changements ont-ils influé sur les terres humides et le paysage environnant? Où se trouvent les zones de résilience qui abritent les processus, structures, habitats ou biotes persistants (p. ex., nappes phréatiques élevées, parcelles d'habitat restantes et populations sauvages localement adaptées)? • Existe-t-il des éléments (p. ex. terres humides aménagées, infrastructures vertes, espaces de migration des terres humides) capables de soutenir la résilience dans des conditions modifiées?
<p>Comprendre les processus et régimes clés</p> <p><i>Mouvement d'énergie et de matériaux qui créent et maintiennent les paysages et les terres humides par des facteurs physiques, biologiques et chimiques.</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> • Quels processus abiotiques (p. ex. niveau des lacs, débit des affluents, nappes phréatiques et processus côtiers) et biotiques (p. ex. flux génétique, adaptation, évolution, dynamique des réseaux trophiques) influent sur la taille, l'hétérogénéité, la structure et la fonction des terres humides et peuvent accélérer leur rétablissement après une perturbation et créer des possibilités d'adaptation? • Quelles sont les principales boucles de rétroaction biotique-abiotique permettant le rétablissement et la persistance des terres humides (p. ex. les interactions entre eau, sédiments et végétation)? • Quels changements dans les régimes, les processus et dans les taux de rétablissement permettent de comprendre la résilience écologique et spatiale? Quels processus caractéristiques des écosystèmes et quels taux de rétablissement élevés de ces processus indiquent la présence d'une capacité d'adaptation et d'une résilience élevées? • Quelle plage historique de variabilité des processus et régimes peut servir de référence pour évaluer les changements dans les perturbations? • Quels seront les impacts des changements climatiques sur ces variables?
<p>Comprendre le contexte du paysage et gérer la connectivité</p> <p><i>Liens entre les habitats, les processus et les</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> • Où se situent les possibilités de préserver ou de créer des liens structurels et fonctionnels entre les terres humides et les paysages environnants dans le but de soutenir les processus physiques, de permettre à la faune d'éviter les conditions défavorables, d'utiliser de nouvelles ressources, de se rétablir après une perturbation et d'échanger du matériel génétique?

Principe	Questions et éléments permettant d'orienter l'adaptation
<p><i>populations qui permettent le mouvement des organismes et des matières.</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> • De quelle manière la configuration spatiale des terres humides peut-elle diminuer la sensibilité des populations aux perturbations, faciliter les déplacements ou accélérer le rétablissement (p. ex. connectivité suivant les gradients physiques de température ou d'humidité)? • Où serait-il judicieux d'avoir recours à un isolement ou à une déconnexion pour réduire au minimum la propagation de perturbations, d'invasions ou de maladies indésirables? • De quelle manière les relations entre les terres humides, les processus et les populations peuvent-elles être maintenues ou établies afin de permettre le mouvement des organismes et des matières?
<p>Maintenir la diversité, la complexité et la redondance des fonctions</p> <p><i>Multiples fonctions ou éléments similaires ou chevauchants qui fournissent une assurance contre la perte de fonctions ou de caractéristiques essentielles.</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> • Quelle est la diversité locale appropriée des caractéristiques du paysage environnant, comprenant une diversité représentative de types de terres humides, une hétérogénéité abiotique (p. ex. topographie, eau souterraine et sols) et une hétérogénéité au sein de l'habitat (p. ex. refuges)? • Où se situent les possibilités d'accroître la redondance structurelle des éléments essentiels (multiples parcelles ou structures discrètes d'habitats humides)? • Quelles sont les caractéristiques de la redondance fonctionnelle, c'est-à-dire la présence de plusieurs éléments pouvant remplir la même fonction et ainsi fournir une « assurance » en permettant à certains éléments de compenser la perte ou la défaillance d'autres? • De quelle manière les espèces dont la conservation est préoccupante pourraient-elles être soutenues afin d'assurer la redondance de leurs populations? • Quelles données spatiales sur la résilience écologique et spatiale, les perturbations et les emplacements peuvent être utilisées pour s'assurer que les zones choisies pour des mesures de gestion soutiennent les populations d'espèces et sont bénéfiques?
<p>Établir des partenariats</p> <p><i>Les individus, collectivités et institutions qui façonnent et gèrent les paysages.</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> • Favoriser la participation en mobilisant activement les intervenants, les détenteurs de droits et les partenaires dans des projets afin de permettre aux individus d'établir les liens et de prendre les décisions nécessaires pour s'organiser d'eux-mêmes et améliorer la résilience globale. • Les partenariats permettent d'accroître l'efficacité des décisions et de réduire les incertitudes. • Une participation vaste et efficace de toutes les autorités compétentes peut instaurer la confiance, créer une compréhension commune et révéler des perspectives qui n'auraient pas pu être acquises par des processus scientifiques traditionnels.

Principe	Questions et éléments permettant d'orienter l'adaptation
<p>Améliorer la gouvernance</p> <p><i>Des individus, institutions et structures de gouvernance bien connectées peuvent faire face aux changements et aux perturbations de manière plus efficace.</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> • Élaborer une structure de gouvernance qui favorise la mise en œuvre des principes de travail, notamment l'apprentissage et l'expérimentation, la participation, la connectivité, la diversité et la redondance dans un cadre social. • La collaboration entre les institutions et à différentes échelles améliore la connectivité et l'apprentissage à différentes échelles et entre diverses cultures. • Inclure plusieurs organismes et groupes ayant des objectifs complémentaires dans l'élaboration et la mise en œuvre des mesures d'adaptation.
<p>Promouvoir la gestion adaptative</p> <p><i>Apprendre par la pratique : conception, mise en œuvre et évaluation des mesures, et leur modification au besoin.</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> • Les stratégies d'adaptation sont plus efficaces lorsqu'elles sont élaborées dans un cadre de gestion adaptative : évaluer > concevoir > mettre en œuvre > surveiller > évaluer > adapter. • La mise en œuvre de mesures de gestion à titre expérimental permet d'obtenir des renseignements sur les stratégies susceptibles d'accroître la capacité d'adaptation. • L'apprentissage et l'expérimentation par une gestion adaptative et collaborative constituent un mécanisme important pour renforcer la résilience en s'assurant que différents types et sources de connaissances sont pris en compte.

4.1.2 Caractéristiques de la résilience des écosystèmes de terres humides côtières

La résilience des écosystèmes n'est pas facile à appréhender, car elle comprend un éventail de réponses à des chocs et stress probables ou imprévus. La résilience dépend de la capacité des terres humides à se rétablir après une perturbation. La description d'une terre humide côtière comme étant résiliente se complique davantage en raison de la diversité de types hydrogéomorphologiques dans le bassin des Grands Lacs (**tableau 1**), des processus biogéochimiques sous-jacents (Rezanezhad et coll., 2020) et de l'état des terres humides souhaité par leurs gestionnaires. Les facteurs de stress et mesures de gestion



Figure 14. Végétation de marais côtier au parc provincial Rondeau.

historiques influent également sur la résilience actuelle ou future aux chocs et perturbations climatiques (Chambers et coll., 2019).

En dépit de la complexité des terres humides côtières, les caractéristiques générales de leur résilience sont les suivantes :

- **Conditions écologiques favorables, structure, composition et processus biotiques et abiotiques naturels intacts :**

- écosystème autosuffisant capable de s'adapter au stress et aux changements;
- les processus clés, tels que le cycle des nutriments, la succession des communautés végétales, les niveaux d'eau, les régimes d'écoulement et la dynamique intacte des sédiments, fonctionnent tous pour s'adapter à une grande variabilité;
- sur le plan biologique, les communautés végétales et animales des terres humides sont représentatives des communautés indigènes et de la diversité observées dans les Grands Lacs;
- sur le plan structurel, les caractéristiques physiques sont stables.



Figure 15. Terre humide côtière de l'est de la baie Georgienne située sur le Bouclier Canadien.

- **Faible exposition aux conditions climatiques extrêmes :**

- présence de refuges où les températures de l'air et de l'eau sont favorables au biote aquatique indigène;
- niveaux d'eau des terres humides fluctuant naturellement (de manière temporaire, saisonnière et pluriannuelle);
- abondance de microrefuges où les conditions et processus abiotiques et biotiques persistent.

- **Faible sensibilité des terres humides :**

- vastes terres humides et complexes de terres humides présentant un ensemble diversifié de communautés végétales indigènes et de topographies;
- entremêlement de végétation et d'eau libre (à un ratio de 1:1) pour favoriser les espèces indigènes;
- redondance, c'est-à-dire un nombre élevé d'espèces (plantes, animaux, micro-organismes) remplissant des fonctions similaires qui contribuent à la fonction et aux services écologiques des terres humides. La perte d'une espèce est compensée par d'autres espèces qui contribuent de façon semblable à la diversité des fonctions.

- **Capacité d'adaptation élevée :**

- eau de bonne qualité, sans polluants chimiques ou nutritifs ou n'en contenant qu'en faibles concentrations;
- espace disponible pour la migration des terres humides (vers l'intérieur des terres ou vers le lac);
- connectivité étendue à différentes échelles pour faciliter le déplacement des matières et des espèces :
 - connectivité hydrologique avec les eaux libres des lacs;
 - connectivité longitudinale des affluents et connexions latérales avec les plaines inondables;
 - connectivité du paysage, avec d'autres terres humides, et parcelles d'habitat diversifiées;
 - érosion naturelle et transport et dépôt intacts de sédiments sur le littoral.
- capital social, politique et financier élevé en faveur de la restauration, de la protection, de la gouvernance et de la science des terres humides.

4.2 Pertinence des seuils écosystémiques pour la résilience des terres humides

Le principe de résilience repose sur le fait qu'il existe des limites aux perturbations pouvant être subies par un écosystème auto-organisé sans qu'il passe à un état qualitativement différent régi par un ensemble de processus différent. On appelle ces limites des « seuils », ou des « points de bascule » (Holling, 1973). Lorsque la résilience d'un écosystème est trop dégradée, il est susceptible de passer d'un état souhaitable à un état ou régime autre ou indésirable (Walker et Salt, 2012, en anglais uniquement). Les pratiques en matière de résilience nécessitent la compréhension de ces seuils, mais la science à cet égard présente des lacunes pour la gestion (Gunderson, 2010; Walker et Salt, 2012; Standish et coll., 2014). Or, des changements dans l'état, la structure et la fonction des terres humides côtières, liés à des facteurs internes (profondeur et qualité de l'eau, changement et abondance de la végétation) et externes (climat, niveau des lacs et espèces envahissantes), ont été observés au fil du temps. Ces changements peuvent permettre de détecter les seuils par une analyse rétrospective des perturbations associées aux changements d'état des terres humides. Compte tenu de l'accent mis actuellement sur la résilience comme propriété bénéfique des écosystèmes, il est important de souligner que, lorsque les terres humides côtières franchissent un seuil et passent à un autre état, ce nouvel état stable peut être très résilient, mais d'une manière inutile ou indésirable. Les paragraphes suivants présentent des exemples de transitions des terres humides côtières vers d'autres états ou régimes.

La qualité et la fonction des terres humides côtières du lac Ontario se sont détériorées en raison de la modification de la variation naturelle du niveau du lac par les plans de régularisation 1958D et 1958DD. Le système n'était plus dynamique, et les terres humides ont évolué vers un nouveau régime stable, dans lequel de grands peuplements monotypiques de quenouilles (*Typha X glauca* et *Typha angustifolia*) constituent la communauté végétale dominante (**figure 16**). Cet état, pourtant résilient, a provoqué une perte globale de diversité végétale des terres humides (Wilcox et Bateman, 2018). Aujourd'hui, le nouveau de régularisation (Plan 2014) gère les niveaux d'eau de manière à créer un régime plus variable afin d'assurer des conditions de perturbation dynamiques permettant aux milieux humides du lac Ontario de se réorganiser et de développer une diversité et une résilience végétale et animale plus importantes (CMI, 2014). Le Comité de gestion adaptative des Grands Lacs et du fleuve Saint-Laurent (2020) effectue actuellement des activités de surveillance, de modélisation et d'évaluation pour appuyer les évaluations de la régularisation des niveaux et débits d'eau¹.



Figure 16. Terre humide côtière du lac Ontario dominée par des quenouilles (USGS).

Le marais de Cootes Paradise est un vaste marais d'embouchure fluviale submergée de 250 ha situé dans le port de Hamilton. Au début du 20^e siècle, plus de 90 % de cette terre humide était couverte d'une végétation diversifiée. Cependant, cette couverture a été réduite à moins de 15 % dans les années 1990 par le développement agricole urbain, le rejet d'eaux usées entraînant des conditions hypereutrophes et l'invasion de la carpe commune. Les comportements de fraie et d'alimentation de la carpe commune ont provoqué la perte de plantes aquatiques et des conditions d'eau extrêmement turbides dans lesquelles seules des espèces résistantes aux polluants peuvent vivre (Chow-Fraser et coll., 1998). L'installation de la passe migratoire de Cootes Paradise en 1996 a permis de réduire la densité des carpes et d'améliorer la qualité de l'eau et de la végétation de terre humide dans les chenaux abrités (Thomasen et Chow-Fraser, 2012; Leisti et coll., 2016). Cependant, le débit principal traversant le marais demeure hypereutrophe, avec des concentrations élevées d'algues, et incapable de soutenir la croissance de la végétation aquatique submergée (Thomasen et Chow-Fraser, 2012; Yang et coll., 2020). La transition du marais Cootes Paradise à un état moins dégradé dépendra de l'amélioration de la qualité de l'eau et de l'augmentation de la diversité et de l'abondance de la végétation indigène submergée, émergente et de pré marécageux grâce à des travaux continus de restauration et de gestion (Yang et coll., 2020).

¹ <https://www.ijc.org/fr/gagl>

Le marais Hillman est une terre humide côtière de 340 ha située près du parc national de la Pointe-Pelée. Un cordon littoral d'un kilomètre abritait autrefois le marais du lac Érié. En 1973, le cordon était dans un état naturel, et la terre humide présentait des peuplements denses de végétation émergente, même pendant les périodes de niveau élevé du lac (Zuzek, 2021a). En 1988, des chalets et des maisons ont été construits sur le cordon littoral, et l'artificialisation du rivage a coupé l'apport naturel en sédiments qui nourrissait et maintenait le cordon. En 2018, une tempête a créé une brèche dans le cordon, le réduisant à un étroit ruban de sable dépourvu de végétation. Les niveaux élevés records du lac et les tempêtes de 2019 ont provoqué l'élargissement de la brèche à plus de 500 m. Au printemps 2020, la terre humide a atteint un point de bascule, et un nouveau régime est apparu. L'écosystème de la lagune et de la terre humide n'est plus protégé du lac Érié et s'est transformé en une baie vaseuse ouverte (**figure 17**; Zuzek, 2021a).



Figure 17. Inondation du marais Hillman en raison de la rupture de la barrière littorale qui l'abrite (Zuzek, 2020).

Dans les exemples présentés ci-dessus, des perturbations ont entraîné un changement de régime, donnant lieu à un nouvel état stable ayant sa propre forme de résilience, et à une terre humide dont la structure, la fonction et la biodiversité sont différentes. Ainsi, la transition d'un état à un autre peut être inacceptable dans certains contextes socioéconomiques et de conservation, et nécessiter la prise de mesures pour améliorer les conditions écologiques et la résilience. Pour de plus amples renseignements sur les multiples états stables et les changements d'état des marais côtiers, veuillez consulter Moffett et coll. (2015) ou Mushet et coll. (2019) qui étudient ce concept dans la région des cuvettes des Prairies.

4.3 Les voies vers la résilience

La recherche de moyens d'atteindre la résilience aux changements climatiques nécessite de recenser les vulnérabilités aux impacts de ces changements, d'évaluer les possibilités de réduction des risques et de mettre en œuvre des mesures d'adaptation (Denton, et coll., 2014). Il est difficile de communiquer les options d'adaptation en raison de la nature complexe de la gestion des écosystèmes, de la multitude d'options pour faire face aux changements climatiques à différentes échelles et géographies, et des utilisations et interprétations variées des termes employés (Joakim et coll., 2015; Peterson St-Laurant et coll., 2021). Les paragraphes suivants portent sur trois voies vers la résilience encadrant le niveau le plus large d'un ensemble d'options (**figure 17**; Glick et coll., 2011a; Millar et coll., 2007, cité dans Lawler 2009). Cette classification permet de comparer les voies vers la résilience et les résultats

obtenus, et d'obtenir des renseignements en mesurant les changements au fil du temps (Peterson St-Laurant, 2021).

La **résistance** représente la capacité d'un système à supporter une perturbation ou un changement sans perte significative de sa fonction écologique. Les stratégies de résistance peuvent être appropriées pour résister à la trajectoire de changement ou maintenir ou rétablir les processus, la fonction, la structure, la composition de l'écosystème ou les espèces de grande valeur (p. ex. lutte contre les nouvelles espèces envahissantes).

Le **rétablissement** est la capacité d'un système à se rétablir de perturbations ou de changements. Le système peut changer en réponse à des forces extérieures, mais retourne à un état similaire. On part de l'hypothèse selon laquelle les écosystèmes les plus résilients sont ceux qui sont les plus à même de s'adapter aux changements climatiques et qui continueront à fonctionner, bien que potentiellement différemment.

La **transformation** apparaît comme une nouvelle voie de résilience aux changements climatiques parce que le rythme et l'ampleur des changements climatiques pourraient dépasser la capacité d'un système socioécologique à y faire face (City of Toronto, 2019; Mortsch, 2020). La transformation peut modifier les attributs fondamentaux des systèmes socioécologiques en réponse aux changements climatiques actuels ou futurs, afin de les rendre résilients (Noble et coll., 2014; City of Toronto, 2019). Cette approche se fonde principalement sur l'acceptation de l'incertitude, le dialogue, la coproduction de connaissances, la gestion adaptative et participative et l'apprentissage par la pratique (City of Toronto, 2019).

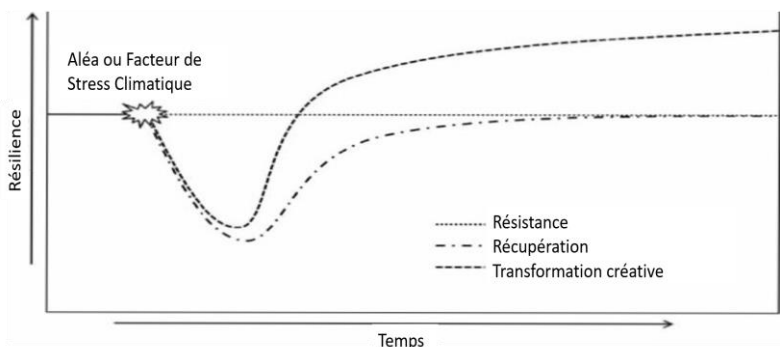


Figure 18. Conceptualisations de la résilience (Joakim et coll., 2015).

4.4 Exemples de cas de transformation

Les mesures d'adaptation traditionnelles consistent en des ajustements progressifs face aux changements climatiques. Du point de vue de la conservation, les approches progressives sont généralement propres à un site et relèvent d'une administration, ou de deux lorsqu'il s'agit de planification, de surveillance, de protection et d'élaboration de politiques (p. ex. en raison de ressources limitées, de contraintes politiques, etc.). Par contre, les mesures transformatrices ont plus d'ampleur et d'ambition que les approches progressives, car elles reposent sur une importante collaboration, représentent des changements de paradigme (Noble et coll., 2014; Lonsdale et coll., 2015) et proposent des réponses innovantes lorsque les méthodes historiques sont insuffisantes (Prairie Climate Centre, 2019). Les approches transformatrices comprennent

des stratégies qui anticipent, orientent et facilitent les processus, fonctions, structures et transitions écologiques afin qu'ils s'adaptent aux conditions climatiques changeantes (p. ex. la réintroduction d'espèces ou de matériel génétique adaptés aux conditions futures plutôt qu'aux conditions historiques). La transformation peut faire progresser les changements en matière de paradigmes sociétaux, de visions, d'objectifs, de règles et de connaissances pour répondre aux changements réels et prévus, qui ne sont éclairés par aucune expérience de gestion (Díaz et coll., 2019). Les approches transformatrices sont conçues pour permettre à un écosystème d'évoluer vers un meilleur état de résilience (Lawler, 2009, 81; Glick et coll., 2011; Schuurman et coll., 2020). Cependant, elles peuvent également être controversées, car elles s'écartent beaucoup des pratiques existantes (Mortsch, 2020). Le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC, 2014) souligne l'importance de l'apprentissage par recadrage d'un problème, ou par redéfinition du contexte pour faciliter la transformation. La **figure 19** montre le processus de conception de la protection contre les inondations et les différents résultats de la réaction, du recadrage et de la transformation.

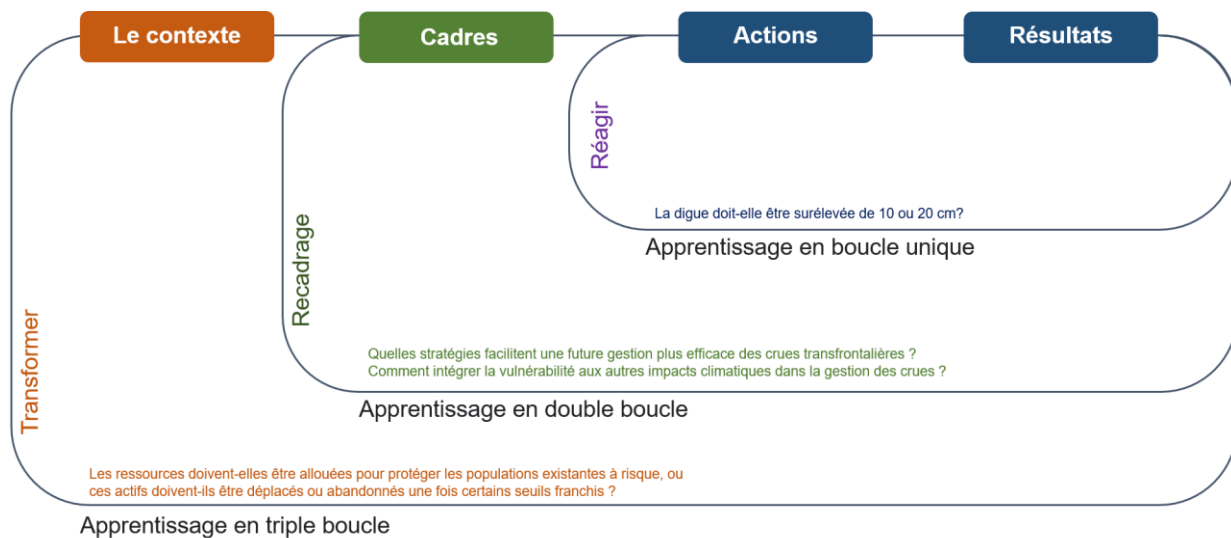


Figure 19. Passer de la réaction au recadrage et à la transformation (GIEC, 2014; Lonsdale et coll., 2015).

La réaction (apprentissage en simple boucle) implique le maintien ou l'ajustement d'une conception en vue d'atteindre un objectif dans un contexte politique donné, mais ne recadre pas ou n'envisage pas de réévaluer les politiques ou les conditions de gouvernance. Le recadrage (apprentissage en double boucle) implique la réévaluation des hypothèses et des relations qui contextualisent une action donnée, et encourage la modification des politiques (Chapin et coll., 2009). La transformation (apprentissage en triple boucle) implique la même réévaluation des hypothèses que l'apprentissage en double boucle, mais envisage également de modifier les normes, les institutions et les paradigmes d'une manière nécessitant un changement radical des principes de gouvernances (Chapin et coll., 2009).

Bien que la transformation est nécessaire pour améliorer la résilience des terres humides côtières, la compréhension de sa manifestation pratique dans les systèmes socioécologiques et

du moment où elle peut être mise en œuvre est limitée (Fedele et coll., 2019), notamment dans le contexte des Grands Lacs. Parmi les mesures de transformation, on peut citer l'exemple d'un retrait géré du rivage, qui permet la réorganisation et le rétablissement des terres à leur état naturel d'origine, ou la migration assistée des espèces pour anticiper et faciliter les transitions écologiques reflétant les conditions climatiques changeantes et émergentes (Sáenz-Romero et coll., 2021). De même, les politiques relatives à l'aménagement du territoire pourraient soutenir un réseau connecté de zones protégées, un concept de corridor côtier, une zone tampon d'utilisation et de développement des terres, ou d'autres mesures allant au-delà des autorités réglementaires traditionnelles ou des responsabilités des praticiens de la conservation.

4.4.1 Solutions axées sur la nature

Les changements climatiques et la perte de biodiversité sont liés, et le principe de transformation par des solutions axées sur la nature aborde les deux problèmes simultanément. Les solutions axées sur la nature sont des mesures qui protègent, gèrent durablement et restaurent les écosystèmes naturels ou dégradés dans le but de maintenir ou d'améliorer leurs services écologiques, tout en présentant des avantages sur les plans du bien-être humain et de la biodiversité (Cohen-Shachan et coll., 2016, 2019; Seddon et coll., 2020). Le gouvernement du Canada s'est engagé pour les solutions axées sur la nature en finançant des projets de solutions climatiques axées sur la nature qui stockent le carbone pour restaurer et protéger les terres humides, les tourbières et les prairies.

Parmi les solutions axées sur la nature, on peut citer l'exemple d'un « moteur à sable » innovant, mis en œuvre aux Pays-Bas, qui permet d'améliorer l'apport en sable dans les zones côtières pauvres en sédiments et de protéger les côtes contre les inondations. Cette innovation apporte également des espaces récréatifs et des améliorations de l'écosystème (Stive et coll., 2013, **figure 20**).

Dans le cadre d'un projet de transformation entrepris à Truro, en Nouvelle-Écosse, les intervenants ont opté pour un retrait géré, la rupture des digues, la réorganisation et le rétablissement des terres à leur état marécageux d'origine. Ce projet protège désormais des collectivités, des entreprises, un site du patrimoine mondial et environ 20 000 hectares de terres agricoles contre les inondations (Sherren et coll., 2019).



Figure 20. Important rechargement de sable sur la côte de Delfland, au Pays-Bas.

Dans les Grands Lacs, le U.S. Army Corps of Engineers a installé 55 récifs au large et des brise-lames naturels sous-marins pour protéger le périmètre de la flèche de sable et réduire l'érosion au parc d'État de Presque Isle (**figure 21**). Dans la baie Braddock (comté de Monroe, NY), la restauration du cordon littoral érodé a été réalisée par la construction d'une digue de roches continue de 1700 pieds, comprenant deux épis terminaux de 180 pieds de long et deux longues digues face au large, ainsi qu'une plage. Le projet comprenait également l'excavation de canaux et de cuvettes,



Figure 21. Barrières littorales au parc Presque Isle.

l'ensemencement de graines indigènes et la lutte contre les espèces envahissantes dans le but de rétablir la diversité du marais émergé, existant ou nouveau (**figure 22**).

D'autres solutions axées sur la nature et options d'adaptation pour les Grands Lacs canadiens sont présentées dans les publications *Conservation of Barrier-protected Long-term Coastal Wetlands* (Zuzek, 2021a) et *Options to Increase Coastal Resilience with NbS* (Zuzek Inc. 2021b). Les options comprennent la dérivation du sable piégé derrière les jetées, le renforcement des règlements concernant le rivage, la recherche scientifique, les partenariats et la restauration des terres humides protégées par des cordons littoraux (Zuzek Inc., 2021a; voir également la Stratégie 2).



Figure 22. Restauration de la barrière littorale de la baie Braddock.

5.0 Options d'adaptation pour améliorer la résilience des terres humides côtières

Dans le présent livre blanc, l'adaptation fait référence aux modifications apportées aux écosystèmes de terres humides et aux systèmes sociaux ou politiques en réponse aux risques et aux impacts des changements climatiques. Il s'agit notamment de modifier les processus et les pratiques afin d'atténuer les éventuels dommages liés aux changements climatiques. Les paragraphes suivants présentent un cadre d'adaptation des terres humides côtières permettant d'organiser un continuum d'approches, allant des voies globales vers la résilience (section 4.3) aux stratégies d'adaptation générales, puis aux mesures d'adaptation et aux options devant être envisagées par les gestionnaires des terres humides (**figure 23**). Ce continuum est adapté des travaux de Staffen et coll. (2019), eux-mêmes inspirés de publications similaires (Millar et coll., 2007; Shannon et coll., 2019; Swanston et coll., 2015).

5.1 Cadre d'adaptation des terres humides côtières

Le cadre d'adaptation, élaboré dans le présent livre blanc en vue d'améliorer l'adaptation et la résilience des terres humides côtières, se base sur une hiérarchie de méthodes d'adaptation, allant de diverses voies vers la résilience (**figure 19**) aux stratégies d'adaptation générales, puis à des mesures d'adaptation plus spécifiques et aux options connexes. Chacun de ces éléments dispose d'une définition, d'un rôle, d'une échelle d'influence et de résultats qui lui sont propres, comme l'illustre la **figure 23**. Ce cadre apporte les avantages suivants aux gestionnaires des terres humides côtières :

- un cadre à partir duquel les gestionnaires des terres humides peuvent sélectionner les voies de résilience potentielles, ainsi que les stratégies, mesures et options d'adaptation les mieux adaptées à leurs terres humides et à leurs objectifs de gestion;
- une vaste gamme d'options d'adaptation possibles pouvant aider les gestionnaires à maintenir les terres humides en santé et à atteindre leurs objectifs de gestion face aux changements climatiques;
- une plateforme pour comparer les stratégies d'adaptation aux changements climatiques et discuter de celles-ci, ainsi que pour détecter les lacunes et les besoins en termes politiques et scientifiques.

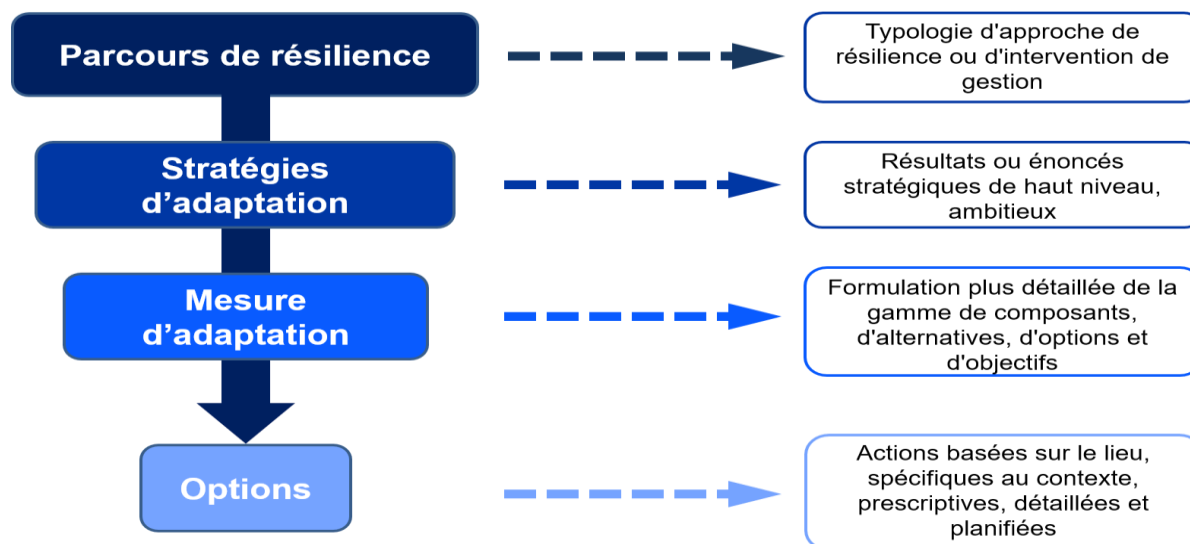


Figure 23. Cadre pour la résilience et l'adaptation des terres humides côtières, allant des voies générales de la résilience aux stratégies, mesures et options d'adaptation.

La résilience des terres humides côtières peut être atteinte par l'établissement de priorités, la planification, la conception et la mise en œuvre de mesures d'adaptation dites « sans regret » et transformatrices. Avoir recours à un cadre de gestion adaptative (**Tableau 4**) peut faciliter le processus de mise à l'essai de nouvelles initiatives, susciter l'intérêt et favoriser l'apprentissage et la dynamique en vue d'une application dans des situations réelles. La conception et la mise en œuvre des stratégies, mesures et options d'adaptation doivent tenir compte des processus

géophysiques et écologiques au sein de l'écosystème des terres humides, ainsi que du contexte socioéconomique et culturel (notamment des valeurs et connaissances autochtones). De plus, les examens locaux, provinciaux et fédéraux, ainsi que les exigences en matière de législation, de règlements, de politiques et de permis doivent être pris en compte avant la mise en œuvre de tout élément. Le présent livre blanc recense plusieurs échelles afin de refléter l'importance de prendre en compte les processus naturels qui se produisent au sein d'une terre humide, d'un bassin versant, d'un rivage ou d'un bassin lacustre (**figure 24**) et qui déterminent le choix des options d'adaptation appropriées à mettre en œuvre.



Figure 24. Échelles des mesures d'adaptation utilisées dans le présent livre blanc, allant de l'échelle locale (à gauche) à l'échelle du bassin lacustre (à droite).

Six stratégies d'adaptation, assorties de mesures et d'options d'adaptation, ont été élaborées sur la base des principes de la résilience, de la planification relative au patrimoine naturel et de la gestion intégrée des bassins versants et des écosystèmes. Ces stratégies ont été conçues pour remédier aux impacts directs des changements climatiques sur les terres humides côtières, ainsi qu'aux éventuels effets aggravants des facteurs de stress non climatiques. Les renseignements importants ont été compilés à partir d'articles de journaux, de rapports, de sites Web et des contributions de représentants d'organismes de gestion des ressources, de gestionnaires de terres humides, de conseillers régionaux en politiques, d'offices de protection de la nature, de peuples autochtones, d'écologues et d'organisations non gouvernementales de l'environnement ayant participé à des ateliers, à des discussions de groupe et à des entretiens (OCC, 2019, 2020; Mortsch, 2019, 2020). Afin de garantir que l'ensemble des options d'adaptation était pertinent, pratique et qu'il ne faisait pas l'objet de contestations, un comité consultatif est intervenu pour fournir des conseils, et une ébauche du présent livre blanc a été publiée pour examen du public.

5.2 Stratégie 1 : Réduire les facteurs de stress non climatiques et renforcer la capacité d'adaptation

Les mesures et options comprises dans cette stratégie visent à réduire les conséquences des facteurs de stress anthropiques qui restreignent la capacité des terres humides côtières à s'adapter aux changements climatiques (p. ex. capacité d'adaptation des terres humides; Glick et coll., 2009; Krishnapillai, 2018; United States Agency for International Development [USAID], 2009). Les projections climatiques pour les Grands Lacs indiquent un réchauffement continu, des précipitations variables, des hivers plus humides (moins de couverture neigeuse et plus de pluie), des étés plus secs et des tempêtes plus intenses. Ces conséquences des changements climatiques ont un effet multiplicateur sur les facteurs de stress pesant déjà sur les terres humides, tels que la perturbation de l'hydrologie de surface et de subsurface, les charges en nutriments et en sédiments, la propagation d'espèces envahissantes et la fragmentation de l'habitat (Gregg et coll., 2012; Smith et coll., 2015). La réduction ou la suppression des facteurs de stress existants est considérée comme une stratégie efficace pour améliorer la résilience et la capacité d'adaptation des terres humides côtières (Brooks et Adger, 2005). Chaque facteur de stress peut survenir à l'intérieur ou à l'extérieur d'une terre humide (invasion de la carpe commune ou pollution de source diffuse) et avoir des conséquences directes ou indirectes. De ce fait, les mesures et options d'adaptation énumérées ci-après s'étendent sur de multiples échelles et territoires de compétence (d'une échelle locale à l'ensemble du bassin), démontrant qu'il est nécessaire d'avoir une gouvernance et une collaboration améliorées, ainsi que d'adopter une approche globale pour la conservation à long terme des terres humides côtières.

5.2.1 Mesure 1A : Maintenir et améliorer la qualité de l'eau des terres humides

Cette mesure souligne le besoin d'améliorer la qualité de l'eau des affluents et des nappes phréatiques ayant un impact sur l'état des terres humides. Le ruissellement provenant des terres agricoles dégrade la qualité de l'eau des terres humides en augmentant les concentrations de nutriments, de sédiments et de produits agrochimiques (Treibitz et coll., 2007). En 2018, 53 % des terres du sud de l'Ontario étaient réservées à un usage agricole; la majorité d'entre elles font l'objet d'un drainage par tuyaux. Le drainage par tuyaux contourne la biorétention et accélère la perte de phosphore et d'azote des sols (Boesch, 2019; McCrackin et coll., 2017). Le développement urbain entraîne également des conséquences négatives très répandues (Croft-White et coll., 2017). Les zones construites et imperméables couvrent 4 % de la superficie terrestre du sud de l'Ontario (Eimers et coll., 2020; **figure 25**).

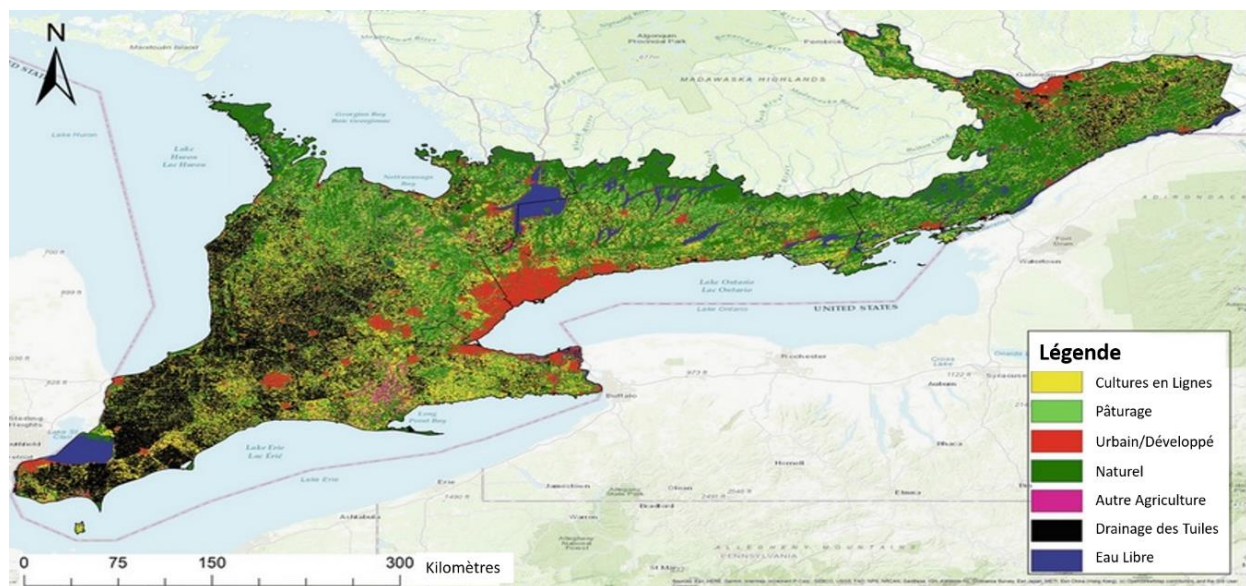


Figure 25. Répartition de la couverture terrestre et du drainage par tuyaux dans le sud de l'Ontario (Eimers et coll., 2020).

Elles empêchent l'infiltration des précipitations et augmentent le ruissellement de surface des nutriments, des solides en suspension et des ions dissous (p. ex. les sels de déglacage routier). Cela a pour effet d'accroître la turbidité, la température, la salinité, la demande en oxygène et le nombre d'agents pathogènes (Howell et coll., 2012; Paul et Meyer, 2001; Seilheimer et coll., 2007). Les travaux d'Harrison et coll. (2020) indiquent que la qualité de l'eau de 511 terres humides américaines et canadiennes est corrélée à l'utilisation et à la couverture des terres. La qualité de l'eau des terres humides canadiennes était la plus mauvaise au nord-ouest des lacs Ontario et Érié, ainsi qu'au sud-est du lac Huron. À l'inverse, de nombreuses terres humides de la baie Georgienne, du chenal du Nord, de l'île Manitoulin et du lac Supérieur présentaient les scores les plus élevés, tant en matière de qualité de l'eau que de couverture terrestre (**figure 26**).

L'apport en sédiments, l'enrichissement en nutriments et les produits chimiques provenant du ruissellement agricole et urbain dégradent l'habitat aquatique en plus d'avoir un effet négatif sur le biote des terres humides (Gleason et coll., 2003; Relyea, 2005; Sharpley et Withers, 1994, 2013).

Une turbidité élevée et un fort enrichissement en nutriments sont associés à une diminution de

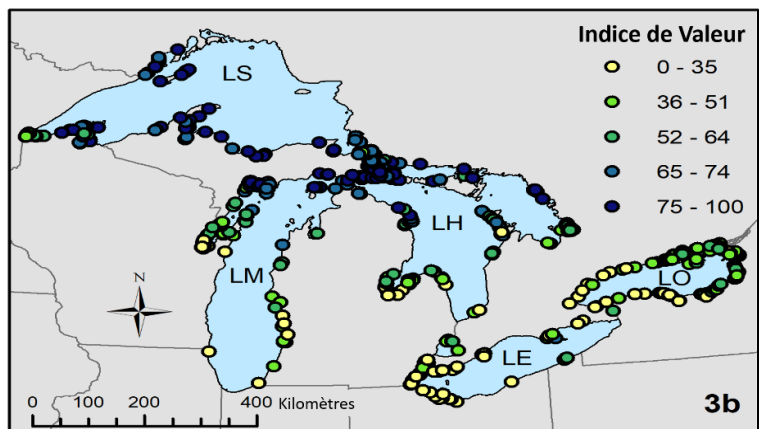


Figure 26. Répartition des scores de l'indice de qualité de l'eau et d'utilisation des terres humides dans le bassin des Grands Lacs. Les cercles jaunes indiquent les scores de qualité de l'eau les plus faibles, et les cercles bleu foncé représentent les scores les plus élevés (Harrison et coll., 2020).

l'étendue et de la densité de la végétation aquatique submergée, qui constitue un élément important de l'habitat des oiseaux et des poissons des marais (Hudon et coll., 2000; Loughheed et coll., 2001; Croft et Chow-Fraser, 2007; Grabas et coll., 2012; Cooper et coll., 2018). Les communautés de macroinvertébrés exposées aux eaux usées et aux eaux de ruissellement urbain sont moins abondantes et moins diversifiées, et sont dominées par des espèces résistantes aux eaux turbides et chaudes (Dance et Hynes, 2003; Kashian et Burton, 2000; Schock et coll., 2014). L'utilisation de sels de déglçage peut réduire la structure et la richesse de la végétation indigène, et perturber les dynamiques alimentaires (Dananay et coll., 2015; Hintz et coll., 2017; Hintz et Relyea, 2019). Les options relatives aux terres urbaines et agricoles sont axées sur la prévention et la réduction à la source de l'apport en nutriments et en sédiments, grâce à l'aménagement durable du territoire, à des pratiques agricoles alternatives et à des infrastructures vertes. Une mise en œuvre efficace requiert la collaboration des municipalités où se trouvent les eaux d'amont, ainsi qu'une gestion par des organismes locaux soucieux de la conservation, afin d'obtenir le soutien des propriétaires fonciers publics et privés.

Tableau 5. Options d'adaptation relatives à la mesure 1A.

Options relatives aux milieux ruraux et agricoles	
1	Créer des zones tampons riveraines végétalisées pour stabiliser les berges érodées de cours d'eau et réduire le ruissellement des sédiments et des nutriments vers les terres humides côtières. Exemple : installation de zones tampons dans les comtés de Perth et Middlesex, Ontario (UTRCA, 2016).
2	Concevoir les drains municipaux adjacents aux terres humides côtières de manière à respecter l'environnement (p. ex. moins de drainage à proximité des terres humides côtières, moins d'entretien des drains, mise en place de larges bandes tampons avec des espèces indigènes, orienter le drainage des champs vers de larges bandes tampons végétalisées pour favoriser l'élimination de l'azote et du phosphore). Exemple : bassin versant du ruisseau Bear, comté de Hamilton, centre-nord de l'Iowa (Janes et Isenhardt, 2014). Récolter annuellement les zones tampons végétalisées pour réduire davantage le lessivage des nutriments (Hille et coll., 2018).
3	Utiliser dans les zones basses des systèmes de drainage en deux étapes imitant les plaines d'inondation naturelles, afin de réduire les concentrations de phosphore soluble et la turbidité et d'accroître la dénitrification (Mahl et coll., 2015; Powell et coll., 2007).
4	Recenser les zones de plaines inondables où des terres humides peuvent être créées, restaurées ou améliorées pour capter et limiter la pollution de source non ponctuelle.

	Exemple : partie inférieure de la rivière Sheboygan, Wisconsin, lac Michigan (Flessner, 2014; Hansen et coll., 2018).
5	Utiliser des matériaux sorbants pour nutriments (p. ex des filtres à sable calcaire) entre les terres humides et les champs agricoles pour capter les particules de sol riches en phosphore (Hoffman et coll., 2009; Kirkkala et coll., 2012; Stutter et coll., 2012). Éliminer le phosphore soluble et biodisponible au moyen de matériaux sorbants pour phosphore, tels que des scories de hauts fourneaux d'aciéries ou des matériaux nanotechnologiques (Buda et coll., 2012; Hauda et coll., 2020). Éliminer les nitrates en utilisant des matériaux réactifs mixtes tels que des copeaux de bois ou des coquillages (Bruun et coll., 2016; Vymazal et coll., 2020). Exemples : élimination du phosphore dans un fossé avec des scories d'acier traitées à l'aluminium, Fort Recovery, Ohio (Shedekar et coll., 2020).
6	Aménager des terres humides dans les champs agricoles de faible altitude pour faciliter l'élimination des nutriments en amont et la rétention des eaux pluviales et des sédiments, tout en augmentant la connectivité des habitats (Canards Illimités Canada [CIC], 2013; Rozema et coll., 2016). Exemples : restauration de terres humides en lisière de champ dans le bassin hydrographique du lac Érié (Page et coll., 2020); aménagement de petites terres humides près de fossés ou de petits affluents dans des fermes proches de terres humides côtières (The Wetlands Initiative, 2016).
7	Utiliser l'agriculture en courbes de niveau (dans les terrains escarpés) pour ralentir le ruissellement, réduire l'érosion et augmenter l'infiltration. Dans la mesure du possible, avoir recours à des pratiques de culture sans labour pour réduire au minimum la perturbation mécanique des sols (Janowiak et coll., 2018; Lucke et coll., 2014). Exemple : ferme Huronview près de Clinton, Ontario (comté de Huron, Huron County, Huron Soil & Crop Improvement Association et office de protection de la nature d'Ausable-Bayfield, 2020).
8	Planter des cultures de couverture et laisser les résidus de celles-ci dans les champs, afin de préserver la terre végétale, réduire l'érosion hydrique et éolienne, réduire la perte de nutriments, améliorer la biodiversité des organismes et favoriser le stockage d'eau et de carbone (Kaspar et coll., 2012).
9	Élargir les Services de diversification des modes d'occupation des sols (ALUS) à d'autres bassins hydrographiques agricoles afin d'indemniser les agriculteurs qui transforment certaines portions de leurs terres agricoles en terres humides côtières, en zones tampons riveraines et en prairies dans le but d'améliorer l'habitat, la biodiversité et la qualité de l'eau.

Options relatives aux milieux urbains	
1	Installer et entretenir des infrastructures vertes ou des aménagements à faible impact en vue de favoriser la rétention et l'infiltration des eaux pluviales dans les zones urbaines adjacentes aux terres humides côtières et aux plans d'eau qui se déversent dans les Grands Lacs (Ahiablame et coll. 2012; Keller et Ketcheson, 2015). Exemples : toitures vertes, rigoles de drainage biologique, revêtements de sol perméables et systèmes de tuyaux perforés (TRCA et CVC, 2010).
2	Améliorer l'infrastructure existante pour les eaux pluviales et les pratiques exemplaires de gestion, telles que l'utilisation de barrières anti-érosion ou anti-sédimentation au lieu de barrières en ballots de paille pendant la construction (ministère des Pêches et des Océans du Canada [MPO], 2017).
3	Réduire les impacts des nouveaux aménagements urbains sur les terres humides par 1) une approche de défrichage progressif qui limite la surface de sols exposés, 2) une variabilité topographique accrue pour allonger le chemin d'écoulement des eaux pluviales et 3) l'équilibrage du bilan des eaux de surface et souterraines des terres humides côtières d'après le développement avec celui d'avant (CVC et TRCA, 2012, Stormwater Management Criteria Document - Appendix C - Water Balance Guidelines for the Protection of Natural Features, https://cvc.ca/wp-content/uploads/2014/09/cvc-swm-criteria-appendices-Aug12-D-july14.pdf).
4	Utiliser l'« application liquide directe » comme prétraitement de déglçage des routes, afin de diviser par dix les concentrations de chlorure requises (Ontario Good Roads Association et Conservation Ontario, 2018). Le sable, le gravier ou la pierre ponce peuvent être utilisés comme solutions de recharge au déglçage pour les allées et les parcs de stationnement résidentiels et commerciaux (Scarfone, 2019).
5	Continuer à moderniser les usines de traitement des eaux usées et à optimiser leurs processus afin de réduire les apports en phosphore (p. ex. passer d'un traitement primaire ou secondaire à un traitement secondaire ou tertiaire; ECCC et MEACCO, 2018).
6	Le cas échéant, retirer les fosses septiques et les champs d'épuration et établir un raccordement à un réseau d'égouts réticulé pour atténuer le lessivage des déchets ménagers (Polyakov et coll., 2017).

7	Réduire l'utilisation d'engrais et de pesticides sur les espaces verts institutionnels adjacents aux terres humides côtières, tels que les terrains de golf, les cimetières, les bases militaires, les hôpitaux et les cités universitaires (Nakayama et coll., 2007; Udeigwe et coll., 2015; Yang et coll., 2013).
8	Employer les pratiques exemplaires de gestion des barrages, dans le but de prévenir les décharges excessives de sédiments et de nutriments vers les terres humides côtières fluviales sans compromettre la gestion des espèces aquatiques envahissantes ou la production d'électricité (Kondolf et coll., 2014; ECCC et MEACCO, 2018).

5.2.2 Mesure 1B : Détecter et combattre les animaux envahissants et prévenir leur établissement

Les changements climatiques peuvent favoriser la propagation et l'établissement d'espèces envahissantes en créant pour celles-ci des conditions climatiques favorables hors de leur aire d'origine (Collingsworth, et coll., 2017; Rahel et Olden, 2008; Whitney, et coll., 2016). Des événements climatiques plus fréquents et plus extrêmes (par exemple, des étés plus secs, des niveaux de lac plus élevés) peuvent avoir pour conséquence de diminuer la résistance ou la capacité de rétablissement des habitats et des espèces face aux invasions. Les écosystèmes envahis peuvent également être plus vulnérables aux impacts des changements climatiques (Union internationale pour la conservation de la nature [UICN], 2017).

La carpe commune (*Cyprinus carpio*) a des effets néfastes sur la sauvagine et l'habitat des poissons indigènes (Cahn, 1929; Chamberlain, 1948; Robel, 1961). Lorsqu'elles se nourrissent, les carpes remettent les sédiments en suspension, un comportement qui déracine les plantes, accroît les sédiments en suspension, réduit presque totalement la pénétration de la lumière et réduit la qualité de l'eau. Cela se traduit par une perte des plantes émergentes et une faible germination des graines (Lougheed et coll., 1998; Wanner et coll., 2009). Des carpes asiatiques, en particulier la carpe à grosse tête (*Hypophthalmichthys nobilis*), la carpe de roseau (*Ctenopharyngodon idella*) et la carpe argentée (*Hypophthalmichthys molitrix*), consomment respectivement de grandes quantités de zooplancton et de phytoplancton, ces derniers étant des éléments importants du réseau trophique inférieur et des sources de nourriture vitales pour les espèces indigènes. Les carpes asiatiques peuvent avoir des effets néfastes sur les réseaux trophiques des terres humides (Irons et coll., 2007), notamment en réduisant la biomasse de la végétation aquatique et les poissons indigènes tels que l'achigan à grande bouche (*Micropterus salmoides*) et le crapet arlequin (*Lepomis macrochirus*; Wittmann et coll., 2014). Compte tenu de leur présence dans le réseau de voies navigables de la région de Chicago et des conditions des Grands Lacs lui étant favorable, les carpes asiatiques constituent une menace imminente pour les terres humides. On a observé la reproduction

naturelle de carpes de roseaux dans deux affluents américains du lac Érié (Chapman, et coll., 2013).

Parmi les envahisseurs terrestres qui menacent actuellement la biodiversité et la résilience aux changements climatiques des terres humides côtières, on peut citer le cygne tuberculé (*Cygnus olor*) et l'agrile du frêne (*Agrius planipennis*). Le cygne tuberculé consomme principalement de la végétation aquatique submergée (Bailey et coll., 2008), ce qui est susceptible de réduire considérablement la quantité d'habitats et de refuges disponibles pour les poissons et les invertébrés (Allin et Husband, 2003; O'Hare et coll., 2007) et de la sauvagine qui s'en nourrit (Gehring et coll., 2020). Les cygnes tuberculés sont également agressifs envers les oiseaux aquatiques indigènes et se battent avec pour les sources de nourriture (Conover et Kania, 1994).

L'agrile du frêne est un coléoptère xylophage responsable du déclin des populations de frênes indigènes, notamment des frênes rouge (*Fraxinus pennsylvanica*) et noir (*Fraxinus nigra*), qui sont endémiques aux terres humides côtières des Grands Lacs. La perte de frênes noirs, considérés comme une espèce menacée et culturellement importante (Costanza, et coll., 2017; Gouvernement du Canada, 2011), peut provoquer une élévation de la nappe phréatique et augmenter la période durant laquelle celle-ci se trouve à la surface du sol ou tout juste en dessous dans les terres humides riveraines et autres basses terres (Poland et McCullough, 2006; Slezak et coll., 2014). Ces changements menacent les organismes et processus associés aux écosystèmes de frênes noirs (Youngquist et coll., 2017) et posent des problèmes pour les gestionnaires de ces terres (D'Amato et coll., 2018; Kolka, et coll., 2018).

Un certain degré de résistance aux espèces envahissantes est possible selon l'état d'une terre humide (qualité de l'eau et biodiversité). Par exemple, les terres humides abritant une végétation aquatique submergée et émergente dense peuvent limiter la propagation de moules zébrées vers l'aval tout en servant de refuge aux moules d'eau douce indigènes menacées (Bodamer et Bossenbroek, 2008). De même, le substrat meuble des terres humides à forte productivité biologique semble être plus résistant à l'invasion des gobies à taches noires que les habitats lacustres adjacents (Cooper et coll., 2007).

La prévention de l'introduction, la détection précoce et l'éradication sont des composantes essentielles de la gestion des espèces envahissantes (N'Guyen et coll., 2016). En Ontario, la gestion des espèces envahissantes est réglementée en vertu de lois fédérales et provinciales. En vertu de la *Loi sur les espèces envahissantes*, le gouvernement de l'Ontario est autorisé à élaborer des règlements en matière de prévention, de détection précoce et d'intervention rapide, de contrôle, d'éradication, de surveillance et de production de rapports, d'éducation et de recherche, d'évaluation des risques et de plans de prévention et d'intervention en ce qui concerne les espèces envahissantes.

Afin d'élaborer des réponses opportunes à la propagation des espèces envahissantes, la collaboration est nécessaire entre les organismes fédéraux, provinciaux et municipaux, les

collectivités autochtones, les organisations non gouvernementales de l'environnement (ONGE), les universitaires et les entreprises privées. Les options ci-dessous peuvent être utilisées pour détecter et contrôler les espèces animales envahissantes et prévenir leur introduction. Bien que toutes les options décrites sont destinées à bénéficier aux terres humides côtières, sans une planification minutieuse, certaines d'entre elles pourraient avoir des conséquences négatives pour la faune et la flore indigènes (p. ex. les chutes des niveaux d'eau, l'utilisation de piscicides). La mise en œuvre de ces options nécessiter une autorisation ou un permis d'autorités locales, provinciales ou fédérales. Pour de plus amples renseignements sur les options d'adaptation relatives aux plantes envahissantes, veuillez consulter la stratégie 3B.

Tableau 6. Options d'adaptation relatives à la mesure 1B.

1	Élaborer une liste de surveillance des animaux aquatiques envahissants prioritaires dans les Grands Lacs de l'Ontario et une carte de priorisation des sites pour recenser les sites les plus vulnérables aux espèces envahissantes selon les scénarios de changement climatique futurs, afin de permettre aux organismes et organisations de se coordonner pour déterminer où mener leurs activités d'échantillonnage et de prévention (carte de priorisation des sites de Blue Accounting). Signaler toute observation d'une espèce envahissante à la ligne d'urgence concernant les espèces envahissantes, au 1-800-563-7711, ou sur le site https://www.eddmaps.org/ontario/ , et encourager ces signalements.
2	Développer des partenariats et stratégies régionales en matière de sensibilisation du public, de prévention et de contrôle des espèces envahissantes dans les terres humides (p. ex. la surveillance, les pratiques exemplaires de gestion et les mesures de prévention, d'élimination et de contrôle), notamment la libération d'animaux d'aquarium.
3	Construire des clôtures d'exclusion synthétiques (grillage ou pare-neige) ou biologiques (arbres de Noël) autour de la végétation aquatique submergée et des plantations des terres humides. Exemples : marais Rattray, Credit Valley Conservation, Mississauga, Ontario; vallée Hendrie/ruisseau Grindstone, Jardins botaniques royaux, Hamilton, Ontario.
4	Construire une barrière physique contre les carpes adultes (digue, porte et grille) tout en donnant accès aux espèces indigènes là où les conditions hydrologiques et géomorphologiques le permettent (baies abritées ou partiellement fermées). Exemples : passe migratoire du marais Cootes Paradise, Hamilton, Ontario (Lougheed et coll., 2004; Thomassen et Chow-Fraser, 2012; Wilcox et Whillans, 1999); cellule 2 du parc Tommy Thompson, Toronto, Ontario.

5	Mettre en œuvre des programmes d'élimination des carpes par pêche électrique et au filet maillant), ou pêche à la senne en hiver et au printemps, lorsque les regroupements de carpes sont les plus importants (Bajer et coll., 2011; Pinto, et coll., 2005). On peut également conditionner les carpes à se regrouper dans des zones précises au moyen d'appâts, comme du maïs.
6	Dans les terres humides endiguées, procéder à des baisses saisonnières des niveaux d'eau, afin de dessécher les œufs de carpe et perturber la fraie des adultes, ou employer des piscicides légaux, tels que la roténone (Meronek, et coll., 1996). Ces procédures nécessitent une planification minutieuse et des autorisations afin de réduire au minimum les risques pour la faune sensible des terres humides. Exemple : marais Ventura, Iowa (Schrage et Downing, 2004).
7	Effectuer de la recherche et développement de technologies génétiques (p. ex., masculinisation des carpes, létalité des femelles) et d'utilisation d'agents pathogènes ciblés (virus herpétique 3 des cyprinidés, herpès-virose de la carpe koï) afin de réduire la taille des populations (Escobar et coll., 2017; McColl et coll., 2014; Thresher, et coll., 2014).
8	Évaluer les éventuelles conséquences d'une invasion de carpes de roseau pour les terres humides côtières dans les bassins hydrographiques tertiaires en déterminant la probabilité d'une invasion (probabilité d'introduction ou de migration) et en modélisant la quantité d'habitat aquatique submergé disponible et favorable à la survie et à l'établissement des carpes de roseau selon plusieurs scénarios de niveaux d'eau (Cudmore et coll., 2017). Exemple : consommation simulée de la végétation aquatique submergée par les carpes de roseau dans les marais côtiers de la baie Georgienne, lac Huron, Ontario (Marcaccio et Chow-Fraser, 2019).
9	Naturaliser, restaurer et reconstruire les terres humides riveraines de sorte qu'elles protègent contre la propagation de moules dreissenidés (Bodamer et Bossenbroek, 2008). Planter des plantes vivaces indigènes pour la revégétalisation des terres humides et des zones riveraines (Houlahan et Findlay, 2004).
10	Utiliser des pièges appâtés avec des composés végétaux volatils (Z-3-hexénol) ou des phéromones pour détecter la présence d'agriles du frêne près des terres humides côtières. On peut également le détecter en collectant et en inspectant des échantillons de branches (Bowman et Smith, 2012).

11	<p>Prévenir l'établissement et le recrutement de populations de cygnes tuberculés en préservant et en restaurant l'hétérogénéité et la biodiversité des habitats des terres humides (Gehring et coll., 2020). Mettre en œuvre des programmes et des mesures de contrôle des populations de cygnes tuberculés à proximité des zones et propriétés urbaines pouvant contribuer au recrutement (Gehring et coll., 2020; Jager et coll., 2016; Petrie et Francis, 2003). Pour obtenir des permis, veuillez contacter le Service canadien de la faune – Région de l'Ontario (ec.faune.ontario-wildlife.ontario.ec@canada.ca). Exemple : parc Colonel Sam Smith, Toronto, Ontario; Plan de contrôle des oies, Office de protection de la nature de Toronto et de la région.</p>
----	---

5.2.3 Mesure 1C : rétablir la connectivité hydrologique

Les effets combinés des changements climatiques (températures croissantes de l'air et de l'eau, sécheresses et inondations périodiques des terres humides, et variabilité accrue du niveau des lacs) et des activités anthropiques peuvent provoquer des changements continus dans le régime de connectivité hydrologique des systèmes aquatiques. Cette mesure propose des options visant à restaurer et accroître la connectivité hydrologique afin d'améliorer la résilience des terres humides et la conservation de leurs services écologiques.

Les rivières, ruisseaux, lacs, étangs, sources, plaines inondables et terres humides agissent comme des liens importants entre les écosystèmes aquatiques et terrestres des Grands Lacs. Une connectivité longitudinale et latérale continue entre ces écosystèmes facilite l'échange de sédiments, de nutriments, de plantes, d'animaux et d'énergie (Jones et coll. 2019) et offre les conditions nécessaires au développement de refuges. L'hydrologie est une composante essentielle à l'établissement et au maintien de la composition, de la structure, de l'état, de la productivité primaire et du cycle des nutriments des terres humides (Mitsch et Gosselink, 2007; Wilcox, 2011). Cependant, de nombreuses connexions hydrologiques naturelles entre les terres humides côtières et les lacs et affluents adjacents ont été coupées ou sévèrement altérées par diverses utilisations des terres. Les barrages et les déversoirs entravent ou suppriment la capacité des organismes aquatiques à migrer entre les habitats en amont et en aval, contribuent à la perte de sédiments grossiers charriés sur le fond et augmentent les températures d'eau en aval (Januchowski-Hartley et coll., 2013). Les digues, les ponceaux de mauvaise taille et les corridors de transport, notamment les routes sur digues et ponts étroits, agissent comme des barrières hydrologiques, entravant les échanges d'eau entre les terres humides côtières et les sources externes (Pearsall et coll., 2012). Le déclin du débit des affluents en amont peut réduire la taille et la biodiversité des terres humides côtières fluviales, tandis que les restrictions aux échanges lacustres peuvent affecter l'hydrochimie et l'élévation des terres humides côtières lacustres, pouvant ainsi favoriser la propagation d'espèces végétales envahissantes (*Phragmites*) (Bouchard, 2007; Maynard et Wilcox, 1997, Wilcox, 2011). Afin de rétablir et d'améliorer la connectivité hydrologique, il est nécessaire d'assurer la communication longitudinale entre les tronçons en amont et en aval d'une rivière, la connexion

latérale entre la plaine inondable ou la terre humide et le système fluviolacustre, et l'échange hydrologique vertical entre les eaux de surface et souterraines de la terre humide.

Tableau 7. Options d'adaptation relatives à la mesure 1C.

1	Recenser, cartographier et classer les barrages et les obstacles ayant un impact négatif sur l'état des terres humides côtières en fonction de paramètres d'importance écologique, d'économie et de risques (Commission des pêcheries des Grands Lacs [CFGL], 2015).
2	Restaurer la connectivité hydrologique longitudinale perdue en se concentrant sur les premières barrières d'un lac, à l'exception de celles entravant la migration de lamproies marines (Januchowski-Hartley et coll., 2013). Préserver ou restaurer la connectivité hydrologique longitudinale sur 75 % de la longueur du cours d'eau, le cas échéant (Environnement Canada, 2013). Des permis appropriés peuvent être exigés.
3	Modifier les barrages et les déversoirs afin de reproduire et maintenir un régime d'écoulement des eaux plus naturel (c'est-à-dire la fréquence, l'ampleur, la durée et le moment des crues) dans les terres humides côtières fluviales (Yochum, 2017). Des permis appropriés peuvent être exigés.
4	Restaurer les chenaux naturels à méandres qui alimentent les terres humides côtières fluviales et les deltas afin d'améliorer les niveaux d'eau, la vitesse d'écoulement et le cycle des nutriments (Environnement Canada, 2002). Exemple : zone de conservation du marais Rattray, Credit Valley Conservation, lac Ontario.
5	Protéger, restaurer ou améliorer les connexions hydrologiques latérales entre les plaines inondables, les terres humides et les zones riveraines (de plus de 30 mètres de large) afin de favoriser les mouvements de l'eau, de la faune et des sédiments (Environnement Canada, 2013).
6	Retirer ou modifier des digues, des ponts étroits et des ponceaux afin de rétablir la connectivité hydrologique et celle de l'habitat, de tenir compte des futures conditions d'écoulement et de permettre le passage des poissons et de la faune (Yochum, 2017; Molina-Moctezuma et coll. 2020). Exemple : projet d'amélioration de la route sur digue de Long Point, lac Érié, Ontario.

7	Restaurer et préserver la connectivité des bassins hydrographiques se jetant dans une terre humide côtière lors de la construction de traversées routières de cours d'eau (TRCA, 2015; http://www.trca.on.ca/dotAsset/214493.pdf).
8	Restaurer les habitats dégradés des plaines inondables et la connectivité de l'écoulement de l'eau, le cas échéant, afin de revitaliser les processus des terres humides fluviales influencés par les crues (Junk et coll., 1989).
9	Rétablir la connexion hydrologique entre les terres humides endiguées et les lacs ou affluents adjacents en construisant des ouvrages de régulation des eaux et en recensant les besoins en matière d'amélioration de l'hydrologie, de la qualité de l'eau et des assemblages de poissons. Exemple : refuge national de faune d'Ottawa, lac Érié, Ohio (Kowalski et coll., 2014).
10	Développer et mettre à l'essai de nouvelles conceptions d'ouvrages d'endiguement de terres humides et les régulateurs de débit permettant l'entrée ou la sortie des organismes (Wilcox, 2011).
11	Retirer les canaux bétonnés s'écoulant directement dans les terres humides côtières altérées ou en amont de celles-ci, et les remplacer par un chenal naturel et un habitat de plaine inondable associé, sans entraver le transport.

5.2.4 Mesure 1D : restaurer et préserver la connectivité du paysage

Cette mesure vise à améliorer la connectivité du paysage, définie comme étant les mouvements libres des espèces et le flux de processus naturels permettant la vie sur terre (Convention sur la conservation des espèces migratrices appartenant à la faune sauvage [CEM], 2020). La connectivité dépend de la quantité, de la qualité et de la disposition géographique des parcelles d'habitat, ainsi que des facteurs qui influent sur le déplacement des espèces et des matières dans les paysages (Hodgson et coll., 2009). La fragmentation du paysage causée par les activités anthropiques continue de perturber les habitats, menaçant ainsi la biodiversité et empêchant l'adaptation aux changements climatiques (Hilty et coll., 2020). Sans connectivité, les processus écologiques, tels que les flux de plantes, d'animaux, de matières abiotiques et d'énergie, ne peuvent pas se réaliser (Crooks et Sanjayan, 2006). La connectivité du paysage favorise l'adaptation des espèces en facilitant les déplacements vers de nouvelles zones lorsque les niches climatiques changent (déplacements d'aires de répartition; Chen et coll. 2011). De nombreuses espèces des terres humides ont besoin d'un habitat aquatique connecté et profond pour se déplacer (tortue géographique (*Graptemys geographica*), grand brochet (*Esox lucius*)), et les amphibiens des terres humides ont besoin d'habitats aquatiques

connectés (Rothermel et Semlitsch, 2002; Popescu et Hunter, 2011; Nowakowski et coll., 2013).

Dans une grande partie du paysage du sud de l'Ontario, le développement agricole, urbain, rural et riverain et l'artificialisation du rivage représentent les causes principales de la fragmentation de l'habitat (OBC, 2010, 2015). La connectivité du paysage terrestre dans la bande côtière de deux kilomètres des lacs Érié et Ontario a été évaluée en fonction des types de couvertures terrestre, naturelle et anthropique (ECCC, 2021), et mesurée à l'aide de la largeur effective de maille (Jaeger, 2000).

La bande côtière du lac Érié, à l'exception de l'île Walpole-delta de la rivière Sainte-Claire, de certains secteurs à l'est du lac Sainte-Claire et de parcs protégés (Pointe-Pelée, Rondeau et Long-Point), est très fragmentée. Une grande partie du paysage à l'extrémité ouest du lac Ontario est également très fragmentée, mais le système côtier situé à l'est (p. ex. le comté de Prince Edward) est largement intact (ECCC, 2021; **figure 27**). La connectivité des habitats est en grande partie intacte dans les Grands Lacs supérieurs, sauf près des centres urbains (Burke et coll., 2018).

À mesure que le climat se réchauffe, on reconnaît le besoin d'une connectivité du paysage adaptée au climat, avec pour objectif de relier les zones d'habitat actuelles aux futures zones d'habitat convenable (Keeley et coll., 2018a; 2018b), en tenant compte de la science des changements climatiques, des vulnérabilités et des impacts (Stein et coll., 2014). Il est essentiel de rétablir la connectivité perdue entre les terres humides côtières, les hautes terres, les cours d'eau, les mares et les étangs pour préserver la biodiversité des terres humides et améliorer la résilience des habitats et des espèces aux impacts des changements climatiques (Environnement Canada, 2005, 2013; Griffith et coll. 2009; Heller et Zavaleta, 2009; Tu et coll., 2017; Hamilton et coll., 2018; Hilty et coll., 2020).

Parmi les efforts visant à accroître la connectivité, on peut citer : l'élaboration et l'application de données scientifiques fiables, des solutions en matière de politiques, d'un aménagement réfléchi du territoire, d'une conservation ciblée des terres pour accroître l'habitat du paysage, l'expansion et la conservation des zones qui facilitent le déplacement des plantes et des animaux, le rétablissement de la connectivité perdue (p. ex. par l'ajout de corridors entre les

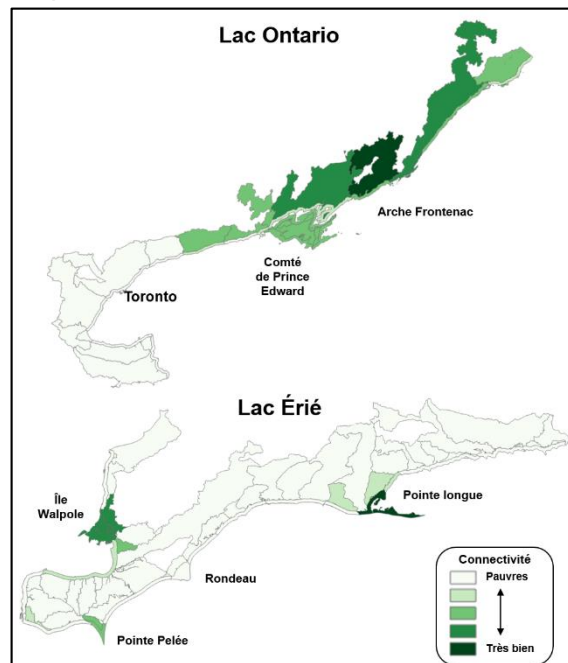


Figure 27. Connectivité du paysage dans les bassins hydrographiques côtiers des Grands Lacs inférieurs (ECCC, 2021).

zones naturelles ou protégées, la mise en place d'habitats de transition), la suppression des obstacles au déplacement, ou une combinaison de ces éléments.

La planification locale serait plus efficace si elle tenait compte du contexte local particulier dans le cadre de la planification à plus grande échelle, comme l'élaboration de plans de conservation ou de plans d'action pour la conservation des Grands Lacs et d'éléments biogéographiques uniques (p. ex. la moraine d'Oak Ridges) et le rôle joué par la géodiversité et le paysage dans la diversité et l'intégrité globales des écorégions et des écozones (ECCC, 2013). Les options énumérées ci-après visent à renforcer la résilience des terres humides côtières en améliorant la connectivité de celles-ci et entre celles-ci, les autres habitats aquatiques et le paysage terrestre côtier en général.

Tableau 8. Options d'adaptation relatives à la mesure 1D.

1	Planifier la connectivité des habitats en tenant compte de plusieurs scénarios climatiques pour évaluer les impacts et les résultats. S'assurer que les zones conservées ou créées présentent une diversité de reliefs, de gradients de température, de types de terres humides et de périodes d'inondation, ainsi que des connexions avec des habitats adjacents présentant des microclimats différents (Gross et coll., 2016; Keeley et coll., 2018b).
2	Accroître le nombre de terres humides et d'autres habitats (vallées, plaines inondables) restaurés, protégés et conservés entre les parcs et autres zones protégées existants afin d'améliorer la connectivité, de préserver les processus des écosystèmes et de soutenir l'adaptation des espèces aux changements climatiques (Mawdsley et coll., 2009; Environnement Canada, 2005, 2013; Hilty et coll., 2020).
3	Afin de favoriser les déplacements de la faune et de la flore et de créer des refuges climatiques, recenser les corridors naturels entre les écosystèmes des terres humides côtières et les habitats aquatiques et terrestres adjacents et privilégier leur création et leur protection.
4	Reconnecter les rivières aux plaines inondables en supprimant les barrières (p. ex. élimination de barrages, modification de ponceaux, suppression des bermes et des digues) ou assurer des débits écologiques conçus pour reproduire l'écoulement naturel (voir les mesures 1C, 4C et 4D).
5	Établir des « zones de fonction essentielle » et les protéger dans les terres humides et adjacentes afin de préserver les fonctions et les attributs biophysiques en faveur des espèces des terres humides. Établir et protéger des « zones de protection » du périmètre

	pour qu'elles agissent comme tampon aux facteurs de stress liés à l'utilisation des terres (Environnement Canada, 2013).
6	Recenser et établir une mosaïque d'habitats de transition, de vastes parcelles de couverture naturelle et des corridors écologiques mixtes (riverains, tributaires et terrestres) de taille suffisante pour connecter les habitats entre eux et fournir des refuges climatiques là où la connectivité est faible (Environnement Canada, 2005, 2013; Mawdsley et coll., 2009, Hilty et coll., 2020).
7	Appuyer les efforts d'aménagement et de protection du territoire qui préservent et améliorent la connectivité côtière. Collaborer avec les gouvernements, les collectivités autochtones et les organisations non gouvernementales pour déterminer les connexions prioritaires entre les zones protégées et conservées. Exemple : Résolution 40-3 des Gouverneurs de la Nouvelle-Angleterre et des Premiers ministres de l'Est du Canada concernant la connectivité écologique, l'adaptation aux changements climatiques et la conservation de la biodiversité (dans Climate Adaptation Committee of the Association of Fish and Wildlife Agencies, 2021). Voir les stratégies 5-2 et 6-6.
8	Adopter une approche de gestion intégrée des zones côtières en accordant le même degré d'attention à la santé et à la fonction des écosystèmes, à la connectivité des habitats, aux processus naturels côtiers, aux impacts de l'artificialisation du rivage, aux risques naturels et aux services écologiques (voir la stratégie 2).
9	Éviter la perte de terres humides (superficie, fonctions et caractéristiques) et leur fragmentation lorsque de nouveaux terrains sont aménagés. Lorsque cela n'est pas possible, adapter l'infrastructure pour éviter de couper les terres humides en deux, réduire les perturbations dans les habitats adjacents et éviter la fragmentation en créant et en protégeant des espaces verts supplémentaires à l'intérieur et autour des aménagements afin de compenser les pertes et d'obtenir un gain net en matière d'habitat (Luell et coll., 2003).
10	Faire progresser la science en matière de connectivité du paysage et l'adaptation aux changements climatiques en mesurant et en confirmant le succès de la connectivité fonctionnelle des nouveaux corridors et des mosaïques d'habitats (Environnement Canada, 2005; Correa Ayram et coll., 2016).

5.3 Stratégie 2 : Protéger la géodiversité des cellules littorales et restaurer les formes de relief côtier agissant comme barrières

De nombreuses terres humides côtières, ainsi que les espèces indigènes qu'elles abritent, sont protégées de l'énergie des Grands Lacs par des flèches et cordons littoraux de sable et de gravier. Ces formes de relief sont des caractéristiques géologiques importantes qui protègent les complexes de terres humides côtières des fluctuations extrêmes des niveaux des lacs, des tempêtes violentes, de l'érosion du rivage et des perturbations anthropiques des processus côtiers. La géodiversité représente la variété de sédiments, de roches et de sols ainsi que les processus naturels (érosion, transport et dépôt de sédiments) qui se produisant dans les cellules littorales et qui créent les formes de relief côtières des Grands Lacs ayant une utilité écologique. Cette stratégie comporte quatre mesures et les options connexes relatives aux politiques et aux règlements, à la gestion intégrée des cellules littorales et au rétablissement de l'apport en sédiments et des systèmes de barrières.

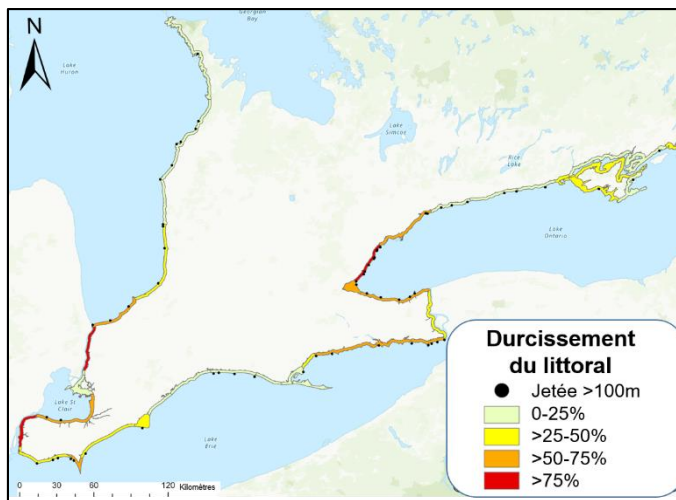


Figure 28. Pourcentage du rivage qui a été artificialisé (ECCC, 2021).

L'apport en sédiments au littoral est essentiel à la création et au maintien à long terme des flèches de sable abritant de grands complexes de terres humides. Les terres humides lacustres abritées (p. ex. baies abritées par des flèches de sable), les embouchures fluviales submergées et les terres humides côtières abritées du lac par des barrières par un cordon littoral (p. ex. lagunes) sont sensibles aux perturbations de l'apport en sédiments (Maynard et Wilcox, 1997; Wilcox et Whillans, 1999, Albert et coll. 2005). Compte tenu du déclin de la couverture de glace annuelle moyenne (Mason et coll., 2016), on s'attend à ce que l'énergie des vagues augmente de 120 % d'ici la fin du siècle dans certaines parties de la rive nord du lac Érié (Zuzek, 2020c).

Les propriétaires riverains réagissent généralement aux risques côtiers en protégeant le rivage de l'érosion et des inondations au moyen de structures en acier et en béton (**figure 28**). L'artificialisation à grande échelle du rivage perturbe la dynamique sédimentaire naturelle, accroît l'érosion sur les rives adjacentes, nuit au bilan global de sédimentation, dégrade l'habitat des terres humides, réduit le nombre d'espèces benthiques et de poissons (Mackey, 2009; Hartig et Bennion, 2017; Zuzek, 2021) et entrave la migration dynamique des terres humides vers l'intérieur des terres.

Les formes de relief sédimentaires de la pointe Pelée, de Rondeau et de Long Point protègent ensemble environ 90 % des terres humides côtières de la rive nord du lac Érié (ECCC, 2020). Parmi les autres zones protégées par des formes de relief sédimentaires dans les lacs inférieurs, on peut citer : le marais Hillman au lac Érié, les terres humides de lagune du marais Second d'Oshawa, les terres humides de l'embouchure submergée du ruisseau Lynde, ainsi que les zones humides entre les crêtes de plage de Presqu'île au lac Ontario. Les tempêtes et les niveaux élevés des lacs de 2017 à 2020 ont mis en évidence la vulnérabilité de ces formes de reliefs en manque de sédiments. Les cordons littoraux et flèches de sable abritant les terres humides côtières des lacs Érié et Ontario ont subi des brèches et une grave érosion (Zuzek, 2021), par exemple :

- Depuis 1931, le cordon littoral au coin nord-est du parc national de la Pointe Pelée a reculé de 300 m dans le marais, et l'érosion du rivage oriental du parc a directement éliminé 80 hectares de terres humides côtières (Zuzek Inc., 2021a).
- En 2018, le cordon littoral du marais Hillman s'est rompu et s'est complètement érodé. Le système a subi un changement de régime, passant d'une lagune formée par un cordon littoral à une baie vaseuse ouverte (Zuzek Inc., 2021a).
- En 2020, le cordon littoral du marais du ruisseau Creek, à Long Point, s'est rompu. Depuis 1964, le cordon littoral qui protège le marais de Hahn a reculé de plus de 110 m, causant une perte nette de terres humides côtières. Depuis cette date, la plage qui borde les terres humides de la Long Point Company a reculé de 348 m, provoquant la perte de 200 hectares d'habitat humide.
- Au cours des 150 dernières années, le cordon littoral de la baie Rondeau s'est érodé de 650 m vers l'intérieur des terres à cause des jetées du port qui piègent le sable, provoquant ainsi la perte de plus de 240 ha de terres humides côtières (figure 29; Zuzek Inc., 2020d).
- En 2019, les niveaux d'eau élevés du lac Ontario ont inondé le cordon littoral du marais Cranberry, dans l'aire de conservation Lynde Shores, exposant la végétation aquatique émergente et submergée aux vagues du lac et à la sédimentation (Zuzek Inc., 2020c).
- Depuis 1954, le cordon littoral abritant le marais Second d'Oshawa et la baie McLaughlin en aval du port d'Oshawa s'érode à un taux annuel moyen de 0,4 m/an, avec un taux maximal enregistré à 2,4 m/an.

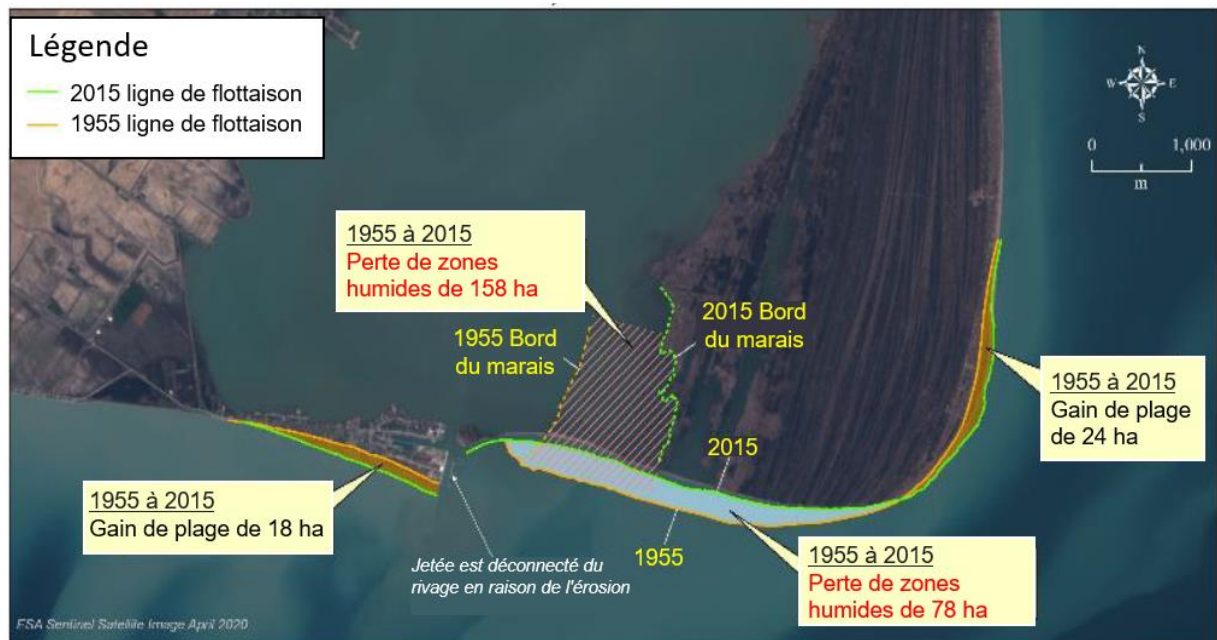


Figure 29. Représentation graphique de la perte de terres humides à cause du piégeage de sédiments du côté ouest de la jetée ouest protégeant le chenal de navigation de la baie Rondeau (Zuzek, 2021).

Parmi les principales menaces et les principaux facteurs ayant un impact sur les formations géologiques qui protègent certaines terres humides côtières, on peut citer :

- Les changements climatiques, les niveaux élevés des lacs et l'absence d'évaluation des impacts cumulatifs dans les politiques et les règlements.
- La gestion fragmentée du rivage et les plans ne tenant pas compte de tous les mandats des organismes de gestion des ressources (p. ex. pêche, faune, ports et loisirs).
- L'absence de loi obligeant les propriétaires à atténuer les impacts des structures portuaires qui piègent les sédiments littoraux.
- L'absence de plans régionaux de gestion des sédiments proposant des stratégies innovantes en matière de sédiments littoraux et fluviaux pour les projets visant à créer et restaurer de nouveaux habitats, à réduire les risques côtiers pour les collectivités et à augmenter la résilience côtière.
- Les lacunes en matière de collecte de données de référence et de surveillance des modifications du rivage, de l'érosion, de la sédimentation, et de leurs conséquences pour les terres humides côtières, notamment la perte d'habitat.

Une gestion intégrée des côtes à l'échelle de la cellule littorale est requise pour faire face à ces menaces (figure 30). De l'évaluation, de la recherche et de la surveillance appropriées sont essentielles pour définir les problèmes environnementaux, établir des relations de cause à effet, évaluer les options de remise en état de l'habitat, choisir les meilleures

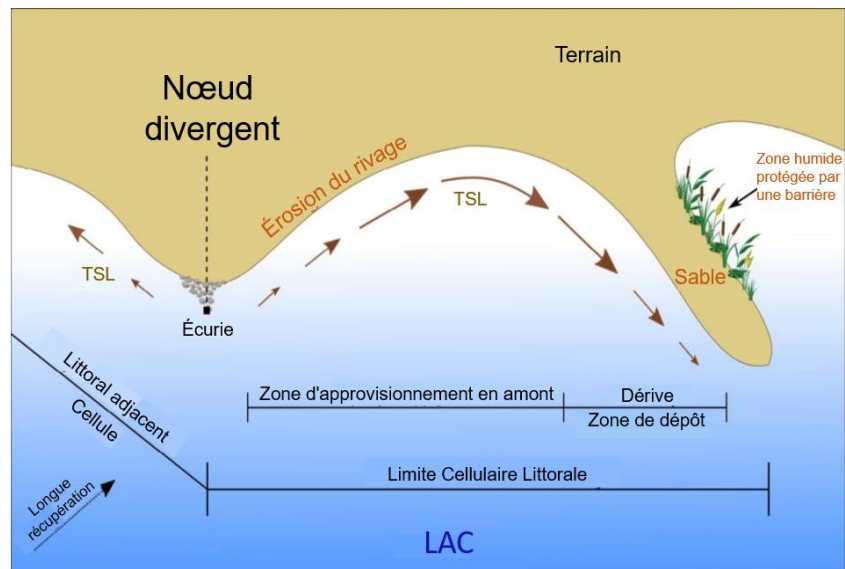


Figure 30. Schéma conceptuel d'une cellule littorale (Zuzek, 2021a).

techniques d'amélioration et faire rapport de leur efficacité. Dans le monde et au Canada, les gestionnaires de ressources prennent des mesures audacieuses pour faire face à l'élévation du niveau de la mer et protéger les écosystèmes côtiers par des solutions axées sur la nature. Il est possible de mettre en place des approches transformatrices, plurigouvernementales et multidisciplinaires, qui dépassent les limites des cellules littorales, pour rétablir la dynamique des sédiments, améliorer et rétablir les terres humides abritées par des cordons littoraux et d'autres habitats côtiers, réduire les risques côtiers et accroître la résilience. Les mesures et les options associées à la présente stratégie proviennent d'un rapport intitulé *Recommendations for Long-term Conservation of Barrier-Protected Coastal Wetlands*, préparé par Zuzek Inc. (2021a) pour d'Environnement et Changement climatique Canada.

5.3.1 Mesure 2A : Mettre à jour les politiques et règlements relatifs à l'utilisation des terres nuisant aux processus côtiers

Cette mesure décrit les changements essentiels à apporter aux politiques et règlements en vigueur à l'égard de l'utilisation des terres sur le rivage des Grands Lacs canadiens et ceux visant à restaurer la géodiversité des cellules littorales, qui sont essentiels à la création et au maintien des formes de relief abritant des terres humides côtières. Plutôt que de protéger les processus physiques responsables de la formation et de la stabilité des systèmes de barrières, les plans officiels en vigueur affectent parfois les rivages érodés au développement résidentiel. Le zonage à des fins de développement résidentiel permet de délivrer des permis pour des ouvrages de protection du rivage qui nuisent au bilan de sédimentation des cellules littorales. Aucune loi ou politique ne porte sur les conséquences des ouvrages qui piègent les sédiments (tels que les ports) et réduisent leur apport au rivage en aval. Ce type de développement qui comprend l'artificialisation du rivage en érosion a eu des effets négatifs proximaux et distaux

sur les formes de relief de la pointe Pelée, de Long Point et de Rondeau (Baird, 2007; Baird, 2008; Baird, 2010; Zuzek Inc., 2021a).

Le bassin occidental du lac Érié est un exemple pertinent. De l'embouchure de la rivière Detroit jusqu'à la rive ouest du parc national de la Pointe-Pelée, l'érosion des rives et les courants littoraux apportaient naturellement 60 000 m³ de sable par an au rivage du parc. À partir de 2008, 87 % de l'apport naturel en sable et en gravier a été perdu en raison de l'enrochement du littoral, et ce qu'il en reste est piégé par les ports de Leamington et de Kingsville (Baird, 2008). L'approvisionnement en sable et en gravier du parc national a pratiquement été réduit à néant (Baird, 2008).

D'autres gouvernements ont préféré la protection des plages et écosystèmes côtiers sensibles d'un point de vue écologique à l'artificialisation du littoral. Par exemple, en 1982, le Congrès des États-Unis a adopté le *Coastal Barriers Resources Act* (loi sur les ressources des barrières côtières) visant à limiter le financement fédéral favorisant le développement du littoral afin de protéger les barrières côtières riches d'un point de vue biologique (<https://www.fws.gov/cbra/>). Les aménagements nouveaux et existants sur les barrières littorales ne peuvent pas bénéficier de l'assurance inondation fédérale, réduisant ainsi la probabilité que des aménagements à risque soient construits sur les barrières érodées et exposées aux ouragans. En Caroline du Nord et en Oregon, la construction d'ouvrages de protection du rivage n'est plus autorisée sur les plages. Les options énumérées ci-après permettent de contribuer à la restauration des processus physiques qui acheminent les sédiments vers les systèmes de barrières des Grands Lacs canadiens. Certaines options en matière de politiques, requises pour gérer de manière intégrée les zones côtières, sont pertinentes pour les mesures 2B et 2C.

Tableau 9. Options d'adaptation relatives à la mesure 2A.

1	Veiller à ce que les décisions en matière de planification et d'aménagement du territoire en Ontario soient conformes à la Déclaration de principes provinciale et soient appliquées, notamment les points suivants de l'article 3.1.7, qui portent sur l'aménagement et la modification des sites : c) de nouveaux risques ne sont pas créés et les risques existants ne sont pas aggravés; d) il n'y a pas de conséquences préjudiciables pour l'environnement.
2	Rédiger une définition universelle de la « conservation des terres » pour les politiques relatives aux rivages et fournir des lignes directrices pour son application lors de l'évaluation des demandes de développement riverain. Justification : si elle est bien définie, la conservation des terres pourrait servir à contrôler lot par lot les demandes d'enrochement du rivage. Exemple : selon la Commission des mines et des terres : la définition de la conservation des terres doit inclure tous les aspects de l'environnement physique et tenir compte de la perte progressive et cumulative (Russell vs TRCA, 2009).

3	Améliorer la planification de l'aménagement du territoire en vue de protéger la géodiversité et l'apport en sédiments aux barrières abritant des terres humides dans les cellules littorales dont le rivage s'érode.
4	Former un groupe de travail qui collabore avec tous les ordres de gouvernement à l'établissement de stratégies visant à limiter la construction d'ouvrages de protection du littoral des Grands Lacs. Exemple : certaines administrations d'Amérique du Nord ont interdit la construction de nouveaux ouvrages de protection du littoral, comme la Caroline du Nord et l'Oregon (https://deq.nc.gov/about/divisions/coastal-management/coastal-management-oceanfront-shorelines/protecting-oceanfront-property-from-erosion et https://www.oregon.gov/lcd/OP/Pages/Goals.aspx). Voir la mesure 2B.
5	Envisager des mesures incitatives pour promouvoir le retrait géré plutôt que l'enrochement du rivage. Exemple : établissement d'incitatifs fiscaux à Puget Sound, État de Washington, pour encourager les propriétaires fonciers à éviter la construction d'ouvrages de protection du littoral ou à les retirer (Faghin et Mateo, 2014).
6	Lorsque l'enrochement du littoral est inévitable, étudier les mécanismes qui encouragent ou obligent les propriétaires fonciers à réduire le déficit annuel de sédiments causé par leurs ouvrages de protection du littoral. Exemple : projets de rechargement des plages pour restaurer les formes de relief abritant les terres humides, ou appui d'autres solutions axées sur la nature visant à accroître la résilience (Zuzek, 2021a).
7	Mieux intégrer les impacts des changements climatiques dans les décisions d'aménagement du territoire lorsqu'on détermine les futures limites des risques d'inondation et d'érosion centenaires (Zuzek Inc., 2021c).
8	Étendre l'horizon de planification relative au risque de retrait par érosion de 100 à 200 ans (c.-à-d. la durée théorique avant que les nouveaux aménagements ne soient menacés par l'érosion), le cas échéant, et tenir compte des impacts des changements climatiques lors de l'établissement des retraits appropriés, afin de retarder le moment où les nouveaux ouvrages de protection du littoral causeront des impacts négatifs sur la cellule littorale (Zuzek, 2021a).
9	Étudier les mécanismes (p. ex. politiques, règlements) qui incitent ou obligent les propriétaires de barrières littorales, nouvelles et existantes, à atténuer les impacts en aval survenant lorsque le sable et le gravier sont piégés. Exemples : le U.S. Army Corps of Engineers atténue les impacts des ports, notamment en ajoutant 388 000 verges

	cubes de sable à la plage Town Neck, à Sandwich, Massachusetts, et en construisant en amont de ports des installations fixes de dérivation de sédiments vers les plages en aval; l'installation de dérivation d'Indian River Inlet, sur la côte du Delaware, atténue l'érosion sur 1500 mètres en aval (Boswood et Murray, 2001; Keshtpoor et coll., 2013).
10	Protéger ou établir des zones désignées dans lesquelles le maintien de la géodiversité est essentiel à la protection des formes de relief qui abritent et maintiennent les terres humides côtières. Élaborer des plans de gestion intégrée à des échelles appropriées pour ces zones. Exemple : la <i>Coastal Barriers Resources Act</i> (U.S. Fish and Wildlife Service, 2021) concernant les cordons littoraux des États-Unis.

5.3.2 Mesure 2B : Appliquer les principes de gestion intégrée des zones côtières à l'élaboration de plans de gestion des cellules littorales

Cette mesure propose l'utilisation de la gestion intégrée des zones côtières (GIZC) comme processus continu de prise de décision pour assurer l'utilisation, le développement et la protection durables des zones et ressources côtières. Ce processus est dynamique, multidisciplinaire et itératif et englobe collecte de données, planification, prise de décision, gestion et surveillance. Le processus de GIZC est un modèle global et un cadre décisionnel visant à surmonter la fragmentation inhérente à l'approche de gestion sectorielle du rivage et à la division des compétences au sein du gouvernement de l'Ontario. Le processus de GIZC offre un cadre permettant de prendre des décisions, dans différents secteurs côtiers et différents ordres de gouvernement, cohérentes avec les politiques relatives au littoral et les documents de planification. Il est également indispensable de rédiger des ententes institutionnelles pour harmoniser et mettre en œuvre la GIZC (Cicin-Sain et Knecht, 1998).

Bien qu'il existe un cadre législatif solide pour la zone côtière canadienne des Grands Lacs, l'approche actuelle de gestion côtière n'est pas intégrée. Le système physique-social-écologique est divisé en compartiments (p. ex. qualité de l'eau, pêche, oiseaux migrateurs, espèces menacées, navigation, contaminants et zones protégées) dont la gestion est confiée à différents ministères et organismes gouvernementaux. Les administrations locales sont chargées de l'aménagement du territoire, tandis que les offices de protection de la nature réglementent les nouveaux aménagements sur les terres à risque sans soutien législatif de la part des niveaux supérieurs du gouvernement. L'approche principale de cette mesure consiste à élaborer des plans de gestion intégrée des cellules littorales pour les rives canadiennes des Grands Lacs. L'option 1 pourrait être mise à l'essai pour la cellule littorale de Long Point, qui s'étend de Port Glasgow jusqu'à la l'extrémité de la pointe abritant le phare de Long Point. Les options 2 à 9 décrivent des activités et des stratégies qui soutiendraient les plans de gestion des cellules littorales. Ces mesures respectent les processus et principes de la GIZC, ainsi que

l'objectif de gain net en matière d'habitat de l'annexe sur les habitats et les espèces de l'AQEGL.

Tableau 10. Options d'adaptation relatives à la mesure 2B.

1	Mettre en place une structure de gouvernance et utiliser les principes de la GIZC pour élaborer de nouveaux plans de gestion intégrée des cellules littorales. Consulter la collectivité concernée pour élaborer conjointement le plan, les solutions, les mesures d'adaptation et les mesures de mise en œuvre. Les principaux partenaires pour cette option sont les ministères fédéraux et provinciaux dont relève le littoral canadien des Grands Lacs, les offices locaux de protection de la nature, les administrations municipales et des ONGE.
Composantes de l'option 1	
2	Établir pour les plans de gestion des objectifs équilibrés qui respectent les éléments interconnectés des systèmes physiques-sociaux-écologiques des cellules littorales et réduisent les conséquences involontaires et les maladaptations.
3	Accorder autant d'importance à la protection de la géodiversité (sédiments, formes de relief et processus physiques qui les forment et les modifient) qu'à celle de la biodiversité (protection des habitats et des espèces) dans les plans de gestion intégrée des cellules littorales.
4	Dresser des bilans des sédiments des cellules littorales (p. ex. quantifier les sources, voies de transport et puits de sédiments) pour mettre en évidence les relations entre l'érosion et la stabilité des plages, ainsi que les impacts négatifs de l'enrochement du rivage (Cappucci et coll., 2020).
5	Mesurer les changements dans les terres humides côtières des cellules littorales et en étudier les causes afin de recenser les facteurs déterminants. Utiliser les résultats pour prioriser les plans d'action visant à restaurer les terres humides et à obtenir un gain net en matière d'habitat (AQEGL, Canada et États-Unis, 2012). Exemple : perte de plages et de terres humides sur la propriété de la Long Point Company et la flèche de sable de Long Point.
6	Mettre en œuvre de bons plans de surveillance afin de mesurer les changements dans les cellules littorales (rivage et zone sublittorale). Évaluer les risques et les menaces

	pour les objectifs du plan et modifier ou mettre à jour la stratégie de gestion dans un cadre de gestion adaptative.
7	Prévoir les impacts des changements climatiques sur les processus physiques, les habitats et les espèces. Le cas échéant, modifier les stratégies de gestion de manière à atteindre les objectifs du plan. Par exemple, le réchauffement de l'air et de l'eau causera forcément des hivers exempts de glace.
8	Élaborer des stratégies d'adaptation en collaboration avec les collectivités, afin de réorganiser les terres à risque grâce à des concepts d'adaptation transformatrice qui atténuent les risques et offrent d'autres avantages. Exemple : élaboration conjointe par le comité consultatif de la baie Rondeau d'un plan de rétablissement axé sur la nature (Zuzek, 2020d).
9	S'appuyer sur le plan de gestion des cellules littorales et la collaboration avec les partenariats pour mettre en œuvre des projets stratégiques visant à accroître la résilience des barrières littorales, à restaurer l'habitat des terres humides côtières des cellules littorales et à ainsi atteindre l'objectif de gain net d'habitat de l'AQEGL. Adopter une approche transformatrice, p. ex. envisager de modifier les jetées de façon à rétablir le transport naturel des sédiments dans les cellules littorales.

5.3.3 Mesure 2C : Rétablir l'apport en sédiments et le transport des sédiments le long du rivage des cellules littorales

Cette mesure vise à rétablir l'apport historique en sable et en gravier et leur transport le long du rivage des cellules littorales. Les ouvrages de protection du littoral et les ports piègent les sédiments et empêchent l'apport de sable aux plages et terres humides abritées par des barrières. Les structures portuaires de Port Stanley, Port Bruce et Port Burwell ont par exemple piégé 18 millions de mètres cubes de sable et de gravier introduits dans la cellule littorale par l'érosion des escarpements riverains et empêchent ainsi le dépôt en aval de ces sédiments sur la flèche de sable de Long Point (Zuzek Inc, 2020b). L'enrochement du littoral et la construction de ports sont les principales causes de perturbation des processus côtiers naturels, provoquant des conséquences néfastes sur les formes de relief qui protègent les terres humides côtières. Le dépôt de sable de dragage et sa remobilisation peuvent permettre la création ou l'amélioration d'habitats humides, la protection d'espèces indigènes, le rechargement des plages, des améliorations en matière de loisirs et d'esthétisme et des économies d'argent. Les options de cette mesure portent sur la dérivation de sédiments, les solutions axées sur la nature, les projets de rechargement en sable, les plans de dérivation de sédiments et l'acquisition stratégique de terres dans la partie érodée des cellules littorales.

Tableau 11. Options d'adaptation relatives à la mesure 2C.

1	<p>Élaborer des plans de dérivation de sédiments aux ports retenant le sable et le gravier dans des plages d'accrétion. Ces initiatives nécessitent d'établir des partenariats entre les propriétaires de ports (p. ex. Transports Canada, ports pour petits bateaux et sociétés privées) et les gestionnaires de la cellule littorale. Exemple : depuis l'an 2000 environ le port de Weatley dévie les sédiments accumulés dans son chenal de navigation de façon à les garder dans la cellule littorale (Baird, 2007).</p>
2	<p>Mettre en œuvre des programmes et solutions innovantes de dérivation de sédiments axées sur la nature, telle que le « moteur à sable » néerlandais (figure 14; Stive et coll., 2013). Dans le cadre des Grands Lacs, mobiliser les sédiments piégés dans les plages des ports pour favoriser leur transport le long du rivage de la cellule littorale. Une version canadienne de l'innovation néerlandaise, le moteur à sable de Port Burwell, a été conçue dans le cadre d'un livre blanc sur les solutions axées sur la nature (Zuze k Inc., 2021b) et vise à dériver les sédiments piégés à Port Burwell et alimenter Long Point.</p>
3	<p>Alimenter les cellules littorales de sable provenant de sources à l'intérieur des terres ou de dépôts de fond de lac pour recharger les cordons littoraux en manque de sable. Exemple : l'État de Pennsylvanie et le U.S. Army Corps of Engineers effectue ainsi du rechargement en sable au parc d'État de Presque Isle depuis des décennies pour y protéger les terres humides intérieures et soutenir le tourisme balnéaire.</p>
4	<p>Déplacer mécaniquement, par dragage hydraulique ou par camion, les sédiments des zones de dépôt des cellules littorales vers les cordons littoraux et les flèches de sable ayant besoin d'un apport artificiel. Exemple : en 2019, la collectivité d'Avalon, dans le comté de Cape May, New Jersey, sur l'île Seven Mile, a réalisé son cinquième projet de déplacement de sable depuis 2012 (https://avalonboro.net/projects/2019-sand-back-passing-project/). La ville de North Wildwood, dans le New Jersey, a récemment déplacé 375 000 verges cubes de sable d'une zone de dépôt vers une plage érodée, https://pressofatlanticcity.com/news/local/north-wildwood-builds-a-beach-one-truckload-at-a-time/article_aeb3c36f-e425-5f7c-92cb-915ab3263a26.html).</p>
5	<p>Acheter des rivages non aménagés dans les zones érodées des cellules littorales, afin de permettre aux processus d'érosion naturelle d'alimenter les cellules. Exemple : dans l'Ohio, le gouvernement de l'État a acheté une bande de terre côtière pour permettre aux processus naturels d'érosion des escarpements côtiers de se poursuivre et de recharger les plages en aval (Livchak et Mackey, 2007).</p>

5.3.4 Mesure 2D : Mettre en œuvre des projets locaux pour protéger et restaurer les barrières littorales

La modification des politiques et des règlements qui nuisent aux terres humides abritées par des barrières, l'adoption de nouveaux principes de GIZC pour les plans de gestion des cellules littorales et le rétablissement des processus de transport des sédiments sur le rivage sont des mesures dont la planification et la mise en œuvre prennent du temps. Il peut également être difficile d'obtenir des permis d'utilisation de matériaux de dragage. Cependant, de nombreux systèmes de barrières abritant des terres humides côtières nécessitent une attention immédiate. Par exemple, le cordon littoral abritant le marais Cranberry dans l'aire de conservation Lynde Shores ainsi que le cordon littoral du marais Hillman ont été complètement érodés en 2019 et en 2020, exposant ces terres humides à l'érosion par les vagues des lacs (Zuzek Inc., 2020c). Dans cinq à dix ans, il sera trop tard pour sauver certains systèmes de barrières et certaines terres humides côtières dans les conditions actuelles de niveaux élevés des lacs et de tempêtes fréquentes. La mesure 2D présente des options locales à court terme visant à restaurer les cordons littoraux et les flèches de sable qui abritent les terres humides côtières.

Tableau 12. Options d'adaptation relatives à la mesure 2D.

1	Concevoir et mettre en œuvre des projets de rechargement des plages pour stabiliser les cordons littoraux et flèches de sable en érosion en leur ajoutant des sédiments transportés par camion depuis des sources terrestres ou des dépôts lacustres.
2	Concevoir et aménager des structures d'atténuation des vagues, telles que des hauts-fonds, des îles et des brise-lames, afin de protéger les systèmes de barrière de sable, qui protègent à leur tour les terres humides côtières. Exemple : restauration de la baie Braddock, au lac Ontario, par le United States Army Corps of Engineers (USACE, 2018, 2003).
3	Concevoir et mettre en œuvre de solutions hybrides (naturelles et artificielles) pour restaurer les cordons littoraux et flèches de sable érodés qui autrefois abritaient les terres humides côtières. Exemple : une étude conceptuelle a récemment été préparée en vue de remplacer le cordon littoral érodé du marais Hillman par un ensemble d'îles et hauts-fonds rocheux (Zuzek Inc., 2021a).
4	Restaurer les écosystèmes de dunes sur des barrières littorales qui retiennent des sédiments emportés par le vent, accroissent le volume de sable stocké dans le système de plages et de dunes et réduisent la menace d'érosion côtière et d'inondation, ce qui

	améliore la résilience aux périodes où les niveaux des lacs sont élevés. Exemple : plantation de plantes sur des dunes à la plage Lighthouse, à Pictou (Nouvelle-Écosse).
5	Utiliser et recycler les sédiments de dragage de manière stratégique pour créer des îles ou des hauts-fonds pour la faune, prévenir l'érosion et reconstituer des structures de protection des terres humides (Baird, 2019, Hanley et coll. 2020; Carmo, 2018; SAGE 2019). Exemple : Sediment Management Program and Engineering with Nature de l'U.S. Army Corps of Engineers (Rosatti et coll., 2001; Banks et Smith, 2014); envisager l'utilisation efficace des matériaux de dragage des rivières Detroit et Sainte-Claire pour restaurer les habitats humides, à condition que les concentrations de contaminants dans ces matériaux soient acceptables.

5.4 Stratégie 3 : Maintenir et restaurer la biodiversité et la redondance fonctionnelle

Cette stratégie porte sur le besoin de maintenir ou de restaurer la biodiversité et la redondance fonctionnelle des terres humides côtières, deux éléments fondamentaux de la résilience et de l'adaptation (voir le tableau 2). Par biodiversité, on entend la diversité, l'équilibre et la disparité des composants de l'écosystème, notamment des gènes, des espèces, des populations, des groupes fonctionnels et des communautés, ainsi que leur configuration spatiale et temporelle (Naeem, et coll., 2009). La redondance fonctionnelle, c'est-à-dire la présence de plusieurs composants de l'écosystème ou groupes taxonomiques jouant des rôles similaires dans le fonctionnement de l'écosystème, peut fournir une « assurance » en permettant à certains composants de compenser la perte ou la défaillance d'autres (Rosenfield, 2002).

Le maintien et la restauration de la biodiversité et de la redondance fonctionnelle peuvent améliorer la résilience des services écologiques des terres humides en offrant des options d'adaptation aux changements (Briggs et coll., 2012). La plupart des services écologiques sont produits par plusieurs composants de l'écosystème (p. ex. habitats et espèces), et leur diversité permet à certains composants de résister à une perturbation et de continuer à fournir un service écologique particulier (Elmqvist et coll., 2003; Folke et coll., 2004). La redondance fournit une assurance aux services écologiques des terres humides en permettant à certains composants de l'écosystème de compenser la perte d'autres (Briggs et coll., 2012).

Les mesures et les options associées à cette stratégie visent 1) à améliorer la structure des communautés et l'habitat nécessaires à la faune des terres humides, 2) à combattre les espèces végétales envahissantes et 3) à préserver les populations et communautés végétales indigènes. Plusieurs options peuvent être classées comme des mesures actives de création ou de rétablissement de terres humides (Simenstad et coll., 2006; Zhao et coll., 2016), lesquelles nécessitent l'intervention d'organismes gouvernementaux et non gouvernementaux locaux, ainsi que le soutien des propriétaires fonciers, privés et publics, qui superviseront l'intendance et la conservation à long terme des terres humides sur leur propriété.

5.4.1 Mesure 3A : Améliorer la structure des communautés et les populations d'espèces indigènes

Des mesures de restauration actives peuvent être requises lorsque les terres humides côtières ne sont plus en mesure d'abriter des populations et communautés diversifiées d'espèces sauvages indigènes ou lorsque les facteurs de stress anthropiques existants sont aggravés par les changements climatiques (voir la stratégie 1). Trois techniques de restauration sont recommandées : 1) le dragage en vue de restaurer la structure de la communauté végétale; 2) la création d'une hétérogénéité microtopographique dans les terres humides créées ou restaurées; 3) la restauration ou l'amélioration des habitats de reproduction dégradés. La restauration active vise à obtenir les meilleurs résultats possible pour compenser les dommages du passé et accroître la superficie et la fonctionnalité des terres humides.

L'entremêlement de végétation émergente et d'eau libre (à un ratio de 1:1) est une composante structurelle des terres humides côtières qui est associée à une biodiversité accrue (Kaminski et Prince, 1981; Murkin et Clark, 2000; Rehm et Baldassarre, 2007). Cet entremêlement a été associé à une forte densité de canards barboteurs (Murkin et coll., 1982), à un taux de survie élevé des jeunes canards colverts (*Anas platyrhynchos*; Stafford et coll., 2002), à une plus grande abondance d'oiseaux et de macro-invertébrés dans les marais, ainsi qu'à une plus grande richesse en espèces végétales (Hohman et coll., 2021; Schummer et coll., 2012). L'invasion de quenouilles non indigènes et de *Phragmites* a réduit cet entremêlement, et la variabilité des niveaux des lacs liée aux changements climatiques pourrait favoriser la propagation de ces espèces envahissantes (Lishawa et coll., 2010; Mazur et coll., 2014; Mortsch, 1998). Une baisse de cet entremêlement a été associée à l'abandon de colonies de guifettes noires (*Chlidonias niger*) (Wyman et coll. 2017), et les terres humides présentant un faible entremêlement, comme celles dominées par des quenouilles non indigènes ou le roseau commun envahissant, semblent être évitées par les poissons (Jude et Pappas, 1992; Keough et coll., 1999; Croft et Chow-Fraser, 2007), les anoues (grenouilles et crapauds; Stevens et coll., 2002) et les oiseaux aquatiques (Poole et coll., 2009; Meyer et coll., 2010).

L'hétérogénéité de la microtopographie (p. ex. surfaces des sédiments élevées, planes et abaissées) dans les terres humides créées ou restaurées influe sur la pénétration et la réflexion de la lumière et les processus hydrologiques, formant ainsi différents microhabitats et favorisant la biodiversité végétale et la différenciation des niches d'espèces (Bruland et Richardson, 2005; Vivian-Smith, 1997; Watt, 1947; Werner et Zedler, 2002). L'hétérogénéité à petite échelle peut favoriser la coexistence des espèces en créant une variété d'emplacements et de conditions environnementales pour l'établissement des semis, un refuge pour les taxons non dominants et une plus grande surface d'habitat (Peach et Zedler, 2006; Tessier et coll., 2002; Werner et Zedler 2002, Varty et Zedler, 2008). La restauration ou l'amélioration des habitats de reproduction dégradés peut accroître le recrutement d'animaux qui dépendent des terres humides, renforcer leur résilience et assurer la pérennité des services écosystémiques et culturels (Briggs et coll., 2012; Elmqvist et coll., 2003, Rosenfield, 2002).

Tableau 13. Options d'adaptation relatives à la mesure 3A.

1	Rétablir l'entremêlement de végétation émergente et d'eau libre en gérant les quenouilles et <i>Phragmites</i> non indigènes dans les terres humides des Grands Lacs inférieurs au profit des oiseaux nichant dans les marais et de l'habitat des poissons et des autres animaux (Schummer et coll. 2012). Exemples : marais du lac Swan, Première Nation de Walpole Island, lac Sainte-Claire, Ontario (Gouvernement du Canada, 2017); marais Crown et parc provincial Long-Point, (Meyer et coll., 2010; Schummer et coll., 2012); île Clark, lac Ontario, Ontario (CIC, 2019).
2	Accroître l'hétérogénéité microtopographique dans les terres humides créées et restaurées afin de favoriser la diversité de la végétation et d'empêcher la domination de généralistes en matière d'habitat (Moser et coll., 2007), et ce de manière mécanique (p. ex. par le passage de disques) ou biogénique. Parmi les méthodes biogéniques, on peut citer la restauration des prés de carex raides (Lawrence et Zedler, 2011) et l'amélioration de l'activité des rats musqués en imitant la variabilité des niveaux des lacs dans les terres humides aménagées. Exemple : Carpenters Branch, French Creek, fleuve Saint-Laurent, État de New York (Kua et coll., 2020).
3	Créer des mares printanières et des terres humides palustres là où elles ont été isolées, dégradées ou perdues, en tenant compte des périodes d'inondation, du substrat, du drainage, du volume, de la profondeur, de la pente, de la végétation indigène, du couvert forestier, de la quantité d'habitats de reproduction existants et des connexions avec le paysage environnant (Calhoun et coll., 2014). Exemples : Jacobsburg State Park, Pennsylvanie; Merrill Creek Reservoir Environmental Preserve, New Jersey; Lee and Virginia Graver Arboretum, Pennsylvanie (Rothenberger et coll., 2019).
4	Restaurer l'habitat de nidification dégradé des tortues en installant des monticules de nidification artificiels dans les zones où la mortalité routière est élevée, afin d'inciter les femelles gravides à nicher plus près des habitats aquatiques. Exemple : parc provincial Algonquin (Paterson et coll., 2013). Dans les terres humides créées ou restaurées, inclure des éléments permettant aux tortues de s'exposer au soleil (p. ex. des rondins), niveler les berges pour faciliter l'accès et planter de la végétation indigène émergente, submergée et à feuilles flottantes (Hartwig et Kiviat, 2007; Long Point Basin Land Trust, 2017). Exemple : étang de Weston, Domaine canadien, Zoo de Toronto, Ontario.
5	Installer des nichoirs et des plateformes flottantes ou surélevées dans les zones où le recrutement d'oiseaux aquatiques nichant dans des cavités et d'autres espèces d'oiseaux dépendantes des terres humides pose problème (USDA-NRCS, 2008). Pour obtenir de plus amples renseignements sur les nichoirs pour les canards branchus (<i>Aix</i>

	<i>sponsa</i>), les plateformes flottantes pour les sternes et plateformes de nidification pour les balbuzards (<i>Pandion haliaetus</i>) dans la région des Grands Lacs, veuillez consulter Dyson et coll. (2018), Shealer et coll. (2006) et Martin et coll. (2005).
6	Concevoir et mettre en œuvre des projets de rétablissement utilisant des espèces animales et végétales indigènes ayant un rôle dans la structure et la fonction des terres humides. Exemple : les interactions positives entre espèces (où au moins une des espèces bénéficie de la relation et aucune n'est négativement affectée) contribuent au rétablissement des terres humides après une perturbation grâce à la facilitation trophique, à la réduction du stress et aux défenses associationnelles (Renzi et coll., 2019).

5.4.2 Mesure 3B : Combattre les espèces végétales envahissantes

Par espèces végétales envahissantes, on entend celles qui se trouvent hors de leur aire de répartition naturelle et qui menacent l'environnement, l'économie ou la société (Gouvernement du Canada, 2004). Parmi les caractéristiques communes des espèces végétales envahissantes non indigènes, on peut citer leurs reproduction et croissance rapides, leur grande capacité de dispersion, leur capacité d'adaptation physiologique à de nouvelles conditions et leur capacité de survivre dans un large éventail de conditions environnementales (Convention sur la diversité biologique, 2011). Les espèces envahissantes non indigènes peuvent avoir des conséquences négatives sur les habitats et les fonctions essentielles des écosystèmes, notamment l'hydrologie, le cycle des nutriments et les flux et cycles de l'énergie (Gouvernement du Canada, 2004). Après la perte d'habitat, les espèces invasives non indigènes sont considérées comme la plus grande menace pour la biodiversité des Grands Lacs (Pearsall et coll., 2012). La mesure 3B porte sur des actions visant le roseau commun (*Phragmites australis*) envahissant et les quenouilles non indigènes.

Le roseau commun (*Phragmites australis*) est une plante vivace originaire d'Eurasie et d'Afrique qui a été introduite en Amérique du Nord au 19^e siècle. Il est principalement présent dans les Grands Lacs inférieurs à des densités pouvant atteindre 37 % de la superficie totale des terres humides côtières (**figure 31**). On le trouve également sur les rives de la baie Georgienne, du chenal du Nord et du lac Supérieur (Nichols, 2020). En tant qu'espèce opportuniste, le roseau commun peut se répandre dans de nouveaux habitats plus rapidement que la flore indigène et profiter de perturbations, notamment la variabilité des niveaux des lacs et l'enrichissement en nutriments dans un climat se réchauffant (Hines et coll., 2013; Johnston, et coll., 2008; King et coll., 2007; Pengra et coll., 2007). Une fois établi, il forme des monocultures denses qui supplantent les espèces végétales indigènes, dégradant ainsi l'habitat et réduisant les populations et la diversité des espèces sauvages des terres humides (Carlson Mazur et coll.,

2014; Greenberg et Green, 2013; Markle et Chow-Fraser, 2018; Perez et coll., 2013; Tozer et Beck, 2018).

Les quenouilles non indigènes peuvent former des peuplements denses et homogènes qui remplacent les communautés végétales diversifiées des terres humides, dégradent l'habitat d'alimentation et de reproduction de la faune des terres humides et modifient les cycles biogéochimiques et l'hydrologie (Bansal, et coll., 2019; Farrer et Goldberg, 2009; Tuchman, et coll., 2009). La quenouille à feuilles larges (*Typha latifolia*) est originaire des Grands Lacs, tandis que la quenouille à feuilles étroites (*Typha angustifolia*) et l'hybride envahissant des quenouilles à feuilles larges et à feuilles étroites (*Typha x glauca*) sont considérés comme non indigènes (Bansal et coll., 2019). La régulation des débits sortants du lac Ontario depuis 1960 a été associée à l'expansion des quenouilles non indigènes et à un déclin de la diversité des communautés végétales des terres humides (Wilcox et coll., 2005; Wilcox et Bateman, 2018; Smith et coll., 2020). En réduisant la diversité végétale, les quenouilles non indigènes réduiraient la résilience des terres humides et des services écologiques (Folke, et coll., 2004; McNaughton, 1977).

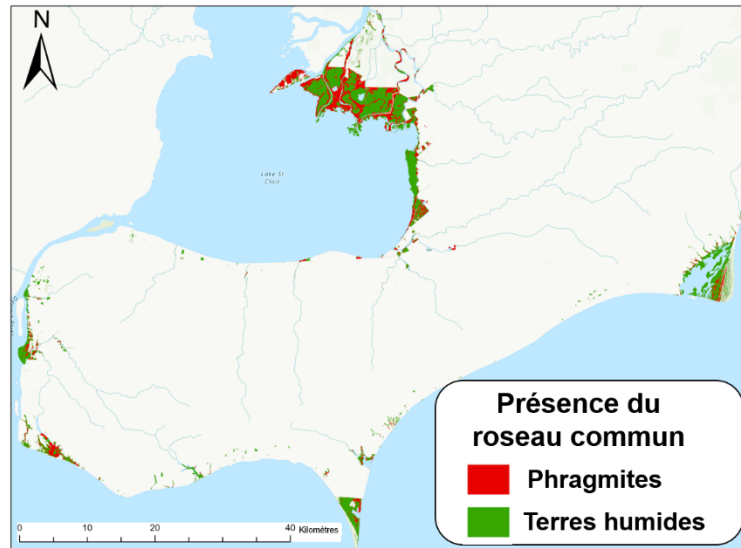


Figure 31. Présence du roseau commun aux lacs Érié et Sainte-Claire (ECCC, 2021).

Des pratiques de gestion d'autres espèces envahissantes des terres humides, notamment l'alpiste roseau (*Phalaris arundinacea*) et l'hydrocharide grenouillette (*Hydrocharis morsus-ranae*), sont fournies par l'Ontario Invasive Plant Council. Des autorisations émises par les offices de protection de la nature locaux ou des autorités provinciales ou fédérales peuvent être exigées (p. ex. un permis en vertu de la *Loi sur les espèces en péril* ou de la *Loi sur les pêches*).

Tableau 14. Options d'adaptation relatives à la mesure 3B.

Options relatives aux espèces végétales envahissantes	
1	Élaborer des stratégies régionales coordonnées de gestion des plantes envahissantes comprenant : 1) l'évaluation initiale des sites, notamment la cartographie des terres humides et des paysages (Bourgeau-Chavez et coll., 2012; White et coll., 2020); 2) l'établissement d'objectifs et de priorités de gestion; 3) la planification des mesures de

	gestion et de surveillance; 4) la restauration des sites, 5) la sensibilisation, la collaboration et le transfert de connaissances. L'outil de priorisation des sites pour la lutte contre le roseau commun envahissant peut aider à l'élaboration de la stratégie de gestion (Ontario Phragmites Working Group et coll., 2016). Exemple : cadre stratégique pour la gestion coordonnée en Ontario, préparé par le Centre de recherche sur les espèces envahissantes et Conservation de la nature Canada (sous presse).
2	Utiliser une approche écosystémique de gestion des plantes envahissantes. Élaborer une stratégie de gestion intégrée des terres, de l'eau et des ressources vivantes qui favorise la conservation, l'utilisation durable et le partage juste et équitable des avantages fournis par les écosystèmes entre les utilisateurs des terres humides côtières (CDB, 2021; Nichols, 2020).
3	Élaborer un programme de lutte antiparasitaire intégrée proactif et préventif qui comprend plusieurs options de traitement (p. ex. chimique, biologique, manuel, etc.) et qui est spécifique à des espèces et à des sites. Les terres humides côtières doivent faire l'objet d'une surveillance régulière permettant de déterminer si les mesures sont justifiées et d'évaluer l'efficacité du programme. Les mesures préventives consistent à protéger ou à attirer les espèces indigènes ou à réduire les activités anthropiques qui causent des perturbations (Nichols, 2020).
4	Procéder à des évaluations de l'habitat avant et après la mise en œuvre de pratiques de gestion des espèces envahissantes afin 1) de détecter les espèces en péril, 2) d'éviter les activités de gestion pendant les périodes critiques du cycle de vie (reproduction, nidification) et 3) d'évaluer l'efficacité des pratiques de gestion (Canards Illimités Canada, 2013; Nichols, 2020).
5	Signaler toute observation d'espèce végétale envahissante (nouvelle ou existante) à la ligne d'urgence sur les espèces envahissantes, au 1-800-563-7711 ou sur le site https://www.eddmaps.org/ontario/ .
Options relatives au roseau commun envahissant	
1	Combattre le roseau commun le long des routes de l'Ontario afin de prévenir leur invasion des terres humides côtières (Alexander et coll., 2015).
2	Pour la gestion du roseau commun en milieu sec (p. ex. prairies), pulvériser des herbicides (glyphosate, imazapyr) sur les feuilles et effectuer des coupes sélectives ou

	déterrer les roseaux(Nichols, 2020). Exemples : l'arrachage sur la rive sud de l'île Manitoulin, lac Huron (Jones, 2019) et sur la plage Wymbolwood, baie Nottawasaga, lac Huron (Short, 2017).
3	Pour la gestion du roseau commun dans les terres humides, utiliser un herbicide homologué et consulter le ministère de l'Environnement, de la Conservation et des Parcs de l'Ontario. Exemple : l'Agence de réglementation de la lutte antiparasitaire de Santé Canada a autorisé la vente et l'utilisation de l'herbicide technique Imazapyr et de l'herbicide Habitat Aqua pour lutter contre certaines plantes envahissantes qui poussent en milieu aquatique et à proximité, conformément au Projet de décision d'homologation PRD2020-17 concernant l'imazapyr .
4	Pour la gestion du roseau commun dans les terres humides où l'utilisation d'herbicides n'est pas appropriée, effectuer une coupe sélective à l'aide d'une débroussailleuse ou d'un véhicule de coupe amphibie. Des permis ou autorisations peuvent être exigés. Exemples : Stokes Bay, péninsule Bruce, lac Huron (Rodgers, 2019); aire de conservation de Bruce Dale, port Elgin, lac Huron (LHCCC, 2017); marais de Wood Drive, Lambton Shores, lac Huron (Gilbert et Vilder, 2013; Vidler et MacDonald, 2017).
5	Évaluer l'utilité d'agents de lutte biologique lors de l'élaboration de programmes de lutte antiparasitaire intégrée contre le roseau commun envahissant (Blossey et coll., 2020; Kiviat et coll., 2019). Au Canada, l'importation et l'utilisation de ces agents sont réglementées par l'Agence canadienne d'inspection des aliments. Exemple : Agriculture et Agroalimentaire Canada et l'Université de Toronto relèvent les sites candidats à la libération de noctuelles perceuses de tiges (<i>Lenisa geminipuncta</i> et <i>Archanara neurica</i>) pour la gestion des populations de roseau commun envahissant (McTavish et coll., 2020).
6	En combinaison avec d'autres pratiques de gestion (pulvérisation d'herbicides), effectuer des brûlages dirigés pour éliminer la biomasse entravant la croissance de la végétation indigène et pour faciliter les applications ultérieures d'herbicides (Nichols, 2020). Exemple : terres humides côtières dans le secteur préoccupant de la rivière Sainte-Claire (p. ex. Bay Lodge, Rex Club 14 et Mud Creek Club), lac Sainte-Claire (Lozon, 2015).
7	Éliminer la biomasse de roseau commun en fonction des objectifs de gestion, des ressources disponibles et des processus et règlements administratifs locaux relatifs à l'élimination. Les techniques d'élimination courantes comprennent la mise en sac, l'incinération, le séchage et l'abandon sur place. La production de bioénergie, l'enfouissement et le compostage sont des techniques moins courantes (Nichols, 2020). Pour l'enfouissement, la biomasse de roseau commun doit être recouverte d'au moins un

	mètre de terre (Howell, 2017). Contacter auparavant les sites d'enfouissement municipaux afin de déterminer s'ils acceptent la biomasse de roseau commun.
8	Planter ou ensemercer les sites de restauration lorsqu'au moins 85 % des roseaux communs ont été éliminés (Michigan Department of Environmental Quality [MDEQ], 2014). Les plantes indigènes en mesure de supplanter le roseau commun comprennent des arbustes (p. ex. cornouillers, <i>Cornus</i> spp.), des herbes hautes et des carex (p. ex. spartine pectinée, <i>Spartina pectinata</i> , carex faux-vulpin, <i>Carex vulpinoidea</i>) et des herbacées non graminoides (p. ex. asclépiade incarnate, <i>Asclepias incarnata</i>). Ne pas planter de roseaux indigènes du genre <i>Phragmites</i> pour prévenir l'hybridation (Nichols, 2020). Exemple : Mentor Marsh State Nature Reserve, Ohio (Musée d'histoire naturelle de Cleveland, 2017).
9	Pratiquer une gestion proactive à l'échelle du paysage, en recueillant des données sur la répartition géographique des plantes envahissantes, recenser et cartographier les zones propices à leur colonisation future selon les scénarios des changements climatiques, et les cibler à des fins de contrôle (Carlson Mazur et coll., 2014).

Options relatives aux quenouilles non indigènes

1	Dans les terres humides endiguées, modifier les niveaux des lacs pour lutter contre les quenouilles non indigènes en les inondant ou en les asséchant. La vigueur des quenouilles peut être réduite lorsque la profondeur de l'eau est d'un mètre durant une longue période (Grace, 1989; van der Valk, 1994; van der Valk et Davis, 1980). La manipulation des niveaux d'eau doit être associée à d'autres techniques, telles que l'incinération ou la coupe (Ball, 1990; Bansal et coll., 2019; Malik et Wein, 1986; Svedarsky, et coll., 2016). Exemples : marais Delta, Manitoba (van der Valk, 1994), réserve nationale de faune de Sainte-Claire, lac Sainte-Claire, Ontario (Ball, 1990), et Shiawassee National Wildlife Refuge, comté de Saginaw, lac Huron, Michigan (Lishawa, et coll., 2020).
2	Pour la gestion des quenouilles non indigènes en milieu sec (p. ex. prairies), appliquer des herbicides (glyphosate, imazapyr) sur leurs feuilles (Bansal et coll., 2019; Wilcox et coll., 2018) à la fin de l'été, lorsque les quenouilles sont en pleine croissance et transportent des hydrates de carbone vers leurs rhizomes (Linz et Homan, 2011). Exemple : ruisseau Kents, État de New York (Wilcox et coll., 2018).
3	Utiliser des traitements mécaniques, notamment le pâturage, le fauchage, le passage de disques, le cisaillement, le broyage et le grattage, en combinaison avec d'autres

	méthodes (application d'herbicides, manipulation des niveaux d'eau), pour combattre les quenouilles non indigènes (Ball, 1990; Bansal et coll., 2019; Lishawa, et coll., 2017; Murkin et Ward, 1980; Schultz, 1987; Wilcox et coll., 2018). Exemple : île Sand, rivière Sainte-Marie, Michigan (Lishawa et coll. 2017).
4	Récolter la biomasse de quenouille et la litière associée pour accroître à court terme la biodiversité indigène et la complexité de l'habitat dans diverses conditions climatiques (Bansal et coll., 2019). La biomasse récoltée peut être utilisée pour la production de bioénergie. Exemple : marais Cheboygan, lac Huron, Michigan (Lishawa et coll., 2015).
5	Introduire dans les sites restaurés des espèces indigènes compétitives par ensemencement ou plantation de semis en mottes ou de semis, afin de compléter la restauration et de compenser les déficiences de la banque de semences du sol (Bansal et coll., 2019; van der Valk et Baalman, 2018).

5.4.3 Mesure 3C : Préserver et restaurer les espèces et communautés végétales indigènes

En réponse aux changements climatiques, les espèces végétales modifieront leur phénologie ou leur physiologie et s'adapteront par sélection ou par migration vers des endroits où les conditions leur conviennent mieux (Davis et Shaw, 2001). Cependant, dans le bassin des Grands Lacs, les changements climatiques pourraient modifier les conditions environnementales au point où elles ne conviennent plus aux espèces et où une intervention humaine sera nécessaire pour assurer leur conservation à long terme (McDermid et coll., 2015). Dans les zones présentant une perte ou une fragmentation importante des terres humides, des mesures transformatrices, telles que la migration assistée, peuvent être nécessaires, en particulier pour les espèces incapables de s'adapter et celles ayant une grande importance culturelle (Seddon, 2010; Vitt et coll. 2010).

De plus en plus de praticiens de la restauration passent de l'utilisation traditionnelle de semences locales à l'utilisation de mélanges de semences adaptés au climat, qui consiste à ajouter aux semences locales des semences recueillies ailleurs dans l'aire de répartition naturelle d'une espèce, le long d'un gradient correspondant aux projections des conditions climatiques futures (Breed et coll., 2018). La résilience des banques de semences du sol est essentielle et doit être évaluée afin de s'assurer que la diversité des espèces peut résister à de multiples perturbations, et que les espèces qui ne sont plus présentes dans les communautés végétales restantes sont préservées (Kirkman et Sharitz, 1994; Chow-Fraser, 1998). Si la résilience des banques de semences du sol est réduite par des facteurs de stress anthropiques, les terres humides côtières peuvent devenir plus vulnérables aux perturbations liées au climat. Les variations des niveaux des lacs sont susceptibles d'exposer les banques de semences du

sol manquant de diversité et de permettre aux espèces envahissantes de se propager (Frieswyk et Zedler, 2006).

Tableau 15. Options d'adaptation relatives à la mesure 3C.

1	Rétablir l'hydrologie naturelle afin d'améliorer la régénération de la végétation émergente des terres humides, améliorer la qualité de l'eau (voir la stratégie 1) et faciliter la migration des terres humides (voir la stratégie 5).
2	Élaborer une stratégie d'approvisionnement en semences et de plantation visant : 1) à accroître le potentiel d'adaptation des plantes dans les sites de restauration en augmentant la diversité génétique (p. ex. mélange de semences) et 2) à faire en sorte que les sources des semences correspondent aux conditions climatiques projetées (p. ex. mélanges de semences adaptées au climat; Breed, et coll., 2018). Maximiser le nombre d'espèces indigènes et la diversité de leurs phénotypes et caractères fonctionnels dans les mélanges de semences ou les plantations afin d'accroître la probabilité d'une dominance de la végétation indigène dans des conditions climatiques changeantes.
3	Travailler avec les collectivités autochtones locales pour intégrer leurs connaissances sur les espèces de terres humides d'importance culturelle et sur les aires de répartition traditionnelles. Inclure des stratégies de plantation et d'ensemencement pour le <i>manoomin</i> (riz sauvage, <i>Zizania</i> spp.), l'acore roseau (<i>Acorus calamus</i>), la quenouille à feuilles larges (<i>Typha latifolia</i>) et le <i>wisqoq</i> (frêne noir, <i>Fraxinus nigra</i>). Exemple : étude de caractérisation de l'importance culturelle et écosystémique du <i>manoomin</i> au lac Supérieur (Great Lakes Wild Rice Initiative, 2020).
4	Étudier la vulnérabilité des plantes des terres humides aux changements climatiques et mettre à l'essai la migration assistée par l'humain des espèces végétales des terres humides en réponse aux changements climatiques (Hoegh-Guldberg, et coll., 2008; Seddon, 2010; Vitt et coll., 2010, 2016). Exemple : en Colombie-Britannique et en Ontario, les zones de transfert de semences forestières ont été étendues de 200 mètres en altitude, et des espèces et des semences provenant des États-Unis au sud ont été sélectionnées pour être utilisées dans des essais (RNCAN, 2020); migration assistée de conifères au Canada et au Mexique (Sáenz-Romeror et coll., 2021).
5	Collecter des échantillons de sol et évaluer les attributs de la banque de semences du sol (p. ex. densité des graines, richesse et composition en espèces et types d'espèces) pour confirmer la résilience des terres humides aux facteurs de stress climatiques et

	anthropiques. Exemple : marais des rivières Atkinson, Peter, Long Tail, Little Suamico et Oconto, baie Green, lac Michigan, Michigan (Frieswyk et Zedler, 2006).
6	Préserver et rétablir les populations de plantes indigènes favorisant la recolonisation et la succession des communautés végétales des terres humides. Les interactions positives entre espèces (où au moins une des espèces bénéficie de la relation et aucune n'est négativement affectée) contribuent au rétablissement des terres humides après une perturbation grâce à la facilitation trophique, à la réduction du stress et aux défenses associationnelles (Renzi et coll., 2019).

5.5 Stratégie 4 : Améliorer la capacité des terres humides à s'adapter aux modifications hydrologiques

La planification en vue des changements attendus des niveaux d'eau des Grands Lacs est essentielle pour réussir à s'adapter aux changements climatiques. Il s'agit toutefois d'un grand défi compte tenu de la variabilité naturelle des niveaux des lacs et des effets des précipitations, du ruissellement dans les bassins versants, des débits entrants et sortants, de l'évaporation de la surface des lacs et de la régulation des niveaux d'eau (Clamen et Macfarlane, 2018; Heinrich et Penning-Rowsell, 2020; Mortsch et coll., 2006a; Bartolai et coll., 2014; Wilcox et Whillans, 1999). En 2019 et en 2020, les cinq Grands Lacs ont tous atteint ou presque atteint leur niveau d'eau le plus élevé enregistré depuis 1918. Cependant, des niveaux bas records ont également été enregistrés aux lacs Michigan et Huron en 2013, après une baisse prolongée ayant commencé en 1999. D'autres lacs présentaient également des niveaux bien en dessous de la moyenne à cette époque, en raison de précipitations inférieures à la normale et de températures de l'air plus élevées, provoquant une évaporation plus importante. Les terres humides côtières des lacs Ontario et Supérieur ont présenté des régimes de niveaux d'eau différents de ceux des autres lacs. Les ordonnances d'approbation supplémentaires de la Commission mixte internationale comprennent des exigences visant à réduire les fluctuations des niveaux d'eau dans ces lacs, afin de protéger les collectivités côtières, de fournir un débit pour la production d'hydroélectricité, de maintenir des profondeurs de navigation adéquates et de satisfaire d'autres intérêts. Cependant, la régulation des niveaux d'eau a atténué les fluctuations saisonnières et interannuelles des niveaux d'eau qui sont essentielles au maintien de la structure, de la diversité et des fonctions écologiques des plantes des terres humides (Keddy et Reznicek, 1986; Mortsch et coll., 2006a; Midwood et Chow-Fraser, 2012; Perry et coll., 2015; Didiano et coll., 2018; Weller et Chow-Fraser, 2019; Smith et coll., 2020).

Les résultats d'une récente étude de modélisation menée par Environnement et Changement climatique Canada indiquent que les niveaux des lacs non régulés (c.-à-d. les lacs Michigan-Huron, Érié et Sainte-Claire) présenteront un plus grand écart par rapport aux moyennes à long terme, ainsi que des hauts et des bas plus fréquents et plus extrêmes (Seglenieks et Temgoua, 2021). Les projections pour le lac Ontario indiquent également un

degré de variation important (voir la section 3; **figure 9**). Ces projections mettent en lumière le besoin de planifier en vue de niveaux des lacs plus élevés et plus faibles que par le passé et de concevoir et mettre en œuvre des stratégies d'adaptation qui tiennent compte des deux scénarios.

Les variations fréquentes, extrêmes ou prolongées des niveaux des lacs ont des effets néfastes. Lorsque les niveaux dépassent leur maximum historique, la superficie des terres humides et l'habitat aquatique sont susceptibles de diminuer en raison de l'inondation, voire de disparaître si les ouvrages riverains, l'utilisation des terres ou la topographie empêchent la migration de la végétation des terres humides vers l'intérieur des terres. À l'inverse, lorsque les niveaux des lacs sont extrêmement faibles pendant une période prolongée, les terres humides peuvent s'assécher, perdre leur lien hydrologique avec le lac, diminuer en superficie et être colonisées par des communautés végétales plus sèches composées de plantes de prairie et d'arbustes (Midwood et Chow-Fraser, 2012). L'atténuation des fluctuations saisonnières et interannuelles des niveaux des lacs Supérieur et Ontario peut provoquer une perte de diversité et de structure de la végétation des terres humides (Wilcox et coll., 2005; Smith et coll., 2020).

Les mesures et les options de cette stratégie concernent principalement une échelle locale, reconnaissant que la gestion internationale des niveaux d'eau est une entreprise complexe et plurigouvernementale qui nécessite des contributions et une coopération considérables au-delà des gestionnaires des terres humides. Les éventuelles mesures et options d'adaptation portent sur la gestion des nombreux changements hydrologiques possibles, notamment les changements soutenus, rapides, alternatifs et prolongés des niveaux des lacs. Les gestionnaires peuvent améliorer la résilience des terres humides en concentrant leurs efforts sur le maintien, la conservation et l'amélioration des processus naturels et de la structure et des fonctions souhaitables des terres humides. Il s'agit notamment de se préparer en vue de niveaux maximaux plus élevés et de niveaux minimaux plus faibles en prévoyant des inondations importantes et des sécheresses (Tu et coll., 2017). Cette stratégie vise tous les types hydrogéomorphologiques de terres humides, y compris les terres humides endiguées.

5.5.1 Mesure 4A : Gérer les terres humides de façon à ce qu'elles s'adaptent aux périodes prolongées de niveau élevé des lacs

Les options comprises dans cette mesure permettront d'améliorer la résilience des terres humides en cas de niveaux d'eau élevés extrêmes ou prolongés. On s'attend à une érosion importante du rivage dans la partie sud du lac Huron et dans une grande partie des lacs Érié et Ontario, en raison du till relativement meuble, des sédiments d'épandage fluvioglaciaire et des plages formées sur les flèches et les poulies qui abritent des terres humides (Zuzek, 2021a, 2021b).

Les niveaux élevés des lacs et les changements dans le régime des vagues sont susceptibles d'avoir les impacts les plus grands, surtout en raison de la hausse des températures de l'eau qui réduira la durée et la superficie de la couverture de glace et rendra ainsi le rivage plus

vulnérable aux tempêtes. Les terres humides abritées par des barrières littorales sont susceptibles d'être les plus directement touchées lorsqu'il existe un potentiel de débordement et de rupture des digues et des barrières qui les abritent (p. ex., Long Point, pointe Pelée; ELPC, 2019). Les niveaux d'eau élevés extrêmes ou de longue durée peuvent également restreindre les plantes aquatiques submergées à une bande étroite du côté terre et provoquer la mort de plantes émergentes ainsi que des changements dans les communautés végétales, notamment en raison de l'inondation des terres qui nuit aux communautés végétales de milieux surélevés et plus secs, comme les prés marécageux et les arbustaies, ainsi que la propagation de quenouilles dans la zone de pré marécageux (Smith et coll., 2020).

Il existe un besoin et des possibilités en matière d'innovation, notamment en ce qui concerne la conception et la mise en œuvre d'approches combinant des infrastructures naturelles et construites (approches hybrides, Sutton-Grier et coll., 2015) et visant à fournir un maximum d'avantages en matière de protection côtière tout en offrant des services sociaux et écologiques. Par exemple, le projet de naturalisation de l'embouchure de la rivière Don (Waterfront Toronto, Ville de Toronto et Office de protection de la nature de la région de Toronto) s'attaque aux niveaux d'eau élevés et aux problèmes récurrents d'inondation et d'érosion, crée et restaure des terres humides côtières et l'habitat de vallée et offre des possibilités de loisirs.

Tableau 16. Options d'adaptation relatives à la mesure 4A.

1	Au cours des activités de restauration des terres humides, planter des plantes indigènes adaptées aux niveaux élevés des lacs (Mortsch et coll., 2006).
2	S'assurer que les solutions, existantes et proposées, de lutte contre les espèces aquatiques envahissantes (p. ex. les barrières anti-carpes) fonctionnent en cas de niveaux élevés des lacs (Wilcox et Whillans, 1999; Asian Carp Canada, non daté; Heer et coll., 2019).
3	Combattre les espèces indésirables qui réagissent aux niveaux élevés du lac, comme les quenouilles non indigènes (p. ex. <i>Typha angustifolia</i>) et le <i>Phragmites australis</i> var. <i>australis</i> (Wilcox et coll., 2007; Wilcox et Nichols, 2008; voir la Mesure 3B).
4	Lorsque des débits élevés pénètrent dans une terre humide par un ponceau ou un émissaire d'égout pluvial, installer des dispositifs de dissipation de l'énergie pour limiter les impacts du ruissellement extrême sur les terres humides (Minnesota Stormwater Steering Committee, 2018).

5	Évaluer le niveau d'énergie des vagues et déterminer dans quelle mesure les rivages vivants et les solutions axées sur la nature sont réalisables dans des conditions de niveaux d'eau élevés (Gallagher et coll., 2020; Stewardship Centre for British Columbia, 2020)
6	Restaurer les cordons littoraux (« crêtes de plage ») et les flèches de sable qui protégeaient les terres humides côtières (Wilcox et Whillans, 1999) (voir la stratégie 2).
7	Déplacer les enrochements et les brise-lames en retrait du rivage, le cas échéant, et permettre le recrutement de végétation de terre humide entre le lac et les brise-lames (Sutton-Grier et coll., 2015).
8	Installer des structures de récifs et des brise-lames au large (SAGE, 2019) ou des barrières sous-marines de diffraction de l'énergie des vagues de tempête (Tamara, 2018). Dans le document <i>Strategies and Approaches for Adapting Great Lakes Coastal Ecosystems to Climate Change</i> de Schmitt et coll., 2020. Exemple : afin de protéger l'habitat aquatique, des récifs sous-marins peuvent être construits dans la rivière Detroit, près de Belle Isle et de l'île Fighting, pour servir d'habitat de fraie pour les poissons (Michigan Sea Grant, 2021).
9	Empêcher que la sédimentation ne recouvre la végétation des terres humides d'embouchures fluviales submergées en installant des zones de gestion des sédiments en amont qui ralentissent les eaux de crue et permettent le dépôt et le dragage des sédiments. Exemple : aire de conservation du marais Rattray, Credit Valley Conservation; projet de naturalisation de la rivière Don (Waterfront Toronto, ville de Toronto et Office de protection de la nature de la région de Toronto).
10	Recenser, préserver et améliorer les zones où les communautés végétales de terres humides peuvent migrer en cas de période prolongée de niveaux élevés des lacs (voir la mesure 5A).
11	Appuyer la surveillance, la modélisation et l'évaluation du débit sortant du lac Supérieur vers la rivière Sainte-Marie en vue d'améliorer la fonction de l'habitat aquatique, et soutenir l'approche de régulation des niveaux d'eau du lac Ontario qui consiste à imiter, autant que possible, les fluctuations naturelles des niveaux d'eau (AECOM, 2016; Clamen et Macfarlane, 2018).

12	Élaborer, concevoir et mettre à l'essai des combinaisons d'infrastructures naturelles et construites (approches hybrides) pour améliorer la résilience aux tempêtes et la protection contre les inondations. Exemple : les programmes « Designing with Water » (Boston, États-Unis), « Living with Water » (Pays-Bas) (Sutton-Grier et coll., 2015), et le projet de naturalisation de la rivière Don (Ville de Toronto, Office de protection de la nature de la région de Toronto).
----	--

5.5.2 Mesure 4B : Gérer les terres humides de façon à ce qu'elles s'adaptent aux faibles niveaux des lacs

Les praticiens de la conservation des terres humides doivent également prévoir des niveaux d'eau faibles extrêmes ou prolongés. La sécheresse est particulièrement préoccupante durant la saison de croissance, car elle est susceptible de provoquer la disparition à grande échelle de la végétation aquatique submergée et émergente lorsque la température de l'eau, la profondeur et la durée des conditions d'humidité optimales ne sont pas atteintes et que la migration en direction du lac des terres humides est impossible (Mortsch et coll., 2006b). Bien que l'abaissement périodique du niveau d'eau peut avoir des effets bénéfiques sur la biodiversité des terres humides, comme la repousse d'espèces de prairies et d'espèces émergentes à partir d'une banque de semences du sol exposée (Keddy et Reznicek, 1986), il peut également favoriser les espèces envahissantes qui supplantent leurs homologues indigènes (Wilcox, 2012). Les périodes prolongées de faible niveau d'un lac peuvent rompre le lien hydrologique d'une terre humide avec le lac, ou entraîner une dominance de la végétation de prairie au détriment de l'habitat aquatique de la terre humide (Quinlan et Mulamootil, 1987; Midwood et Chow-Fraser, 2012). Une perte d'habitat du poisson peut se produire lorsque les faibles niveaux d'eau réduisent les zones d'eaux peu profondes dans les terres humides (Fracz et Chow-Fraser, 2013). Certaines parties du rivage du Bouclier canadien sont très abruptes et n'offrent aucun espace où la végétation des terres humides peut migrer du côté lac ou du côté terre (Midwood et Chow-Fraser, 2012). Lorsque les niveaux des lacs sont bas pendant une période prolongée, l'habitat tend à devenir de plus en plus homogène et on constate une perte nette globale de végétation aquatique (une communauté végétale de milieu plus sec domine, moins d'entremêlement eau-végétation), qui fournit de l'habitat à de nombreuses espèces de poissons (Midwood et Chow-Fraser, 2012). Les options comprises dans cette mesure portent sur des techniques de gestion de la végétation des terres humides, sur le contrôle des facteurs de stress anthropiques et sur la restauration.

Tableau 17. Options d'adaptation relatives à la mesure 4B.

1	Protéger et gérer la terre humide d'origine et une zone tampon riveraine contre le développement ou leur modification lorsque les niveaux d'eau sont bas pendant une période prolongée.
---	---

2	Ensemencer des espèces végétales résistantes aux faibles niveaux des lacs, particulièrement des espèces de pré humide dans les terres humides ouvertes qui s'assèchent (Meyer et coll., 2006).
3	Combattre les espèces envahissantes favorisées par les faibles niveaux des lacs, telles que <i>Typha X glauca</i> , qui peuvent s'étendre et devenir prédominantes derrière les crêtes de cordons littoraux (Lishawa et coll., 2010).
4	Lorsque l'objectif est une communauté de terres humides ouverte et diversifiée, gérer l'empiètement des espèces ligneuses qui peuvent dominer les prairies.
5	S'attaquer aux pressions en amont sur la qualité de l'eau, l'hydrologie et la connectivité du paysage des terres humides (voir les mesures 1A, 1C et 1D pour connaître les activités envisageables).
6	Maintenir et rétablir les niveaux de nappe phréatique appropriés dans les terres humides pendant les périodes de sécheresse, en remplissant les fossés ou en les obstruant à leur sortie (Wilcox et Whillans, 1999).
7	Limiter ou interdire l'enrochement du littoral qui empêche la migration des terres humides vers la terre ferme ou le lac, notamment vers des zones présentant des conditions plus appropriées en matière de substrat et d'humidité (Mortsch et coll., 2006a). Voir la mesure 4C.
8	Supprimer les infrastructures qui entravent ou empêchent l'écoulement d'eau vers ou dans les terres humides et utiliser des solutions axées sur la nature, le cas échéant (Shannon et coll., 2019). Voir les mesures 1C et 4C.
9	Rétablir les habitats dégradés des plaines inondables et des zones riveraines pour augmenter la rétention d'eau et les connexions hydrologiques en vue d'atténuer les conséquences des inondations, de l'érosion et de la sédimentation (Junk et coll., 1989). Voir l'option 7 de la mesure 1C.
10	Améliorer la connectivité des habitats aquatiques entre les lacs et les terres humides vulnérables, en plaçant des roches à des endroits stratégiques et en modifiant la hauteur du substrat rocheux. Exemple : modification du chenal de la rivière Shebeshekong au

moyen de l'agent de démolition non explosif Dexpan, Eastern Georgian Bay Stewardship Council.

5.5.3 Mesure 4C : Retirer, réaménager ou relocaliser les infrastructures contraignant les terres humides et intégrer des rivages vivants

Les tendances et projections des niveaux des lacs mettent en lumière le besoin d'adopter de nouvelles pratiques et activités innovantes et durables. Parmi celles-ci, on peut citer le retrait ou le réaménagement des infrastructures construites entravant la capacité des terres humides à s'adapter aux conditions climatiques changeantes (Glick et coll., 2011; Shannon et coll., 2019) et la mise en œuvre d'infrastructures vertes et de solutions axées sur la nature (ICF pour le Conseil canadien des ministres de l'Environnement, 2018; Gallagher et coll., 2020).

Si la conception et le positionnement d'ouvrages de protection du littoral (revêtements, épis, jetées, etc.) sont uniquement basés sur les tendances climatiques historiques, ils ne tiennent alors pas compte des risques posés par les changements climatiques actuels et futurs (voir la stratégie 2). De ce fait, les projections climatiques doivent être intégrées dans la planification, l'exploitation, la modernisation et le développement des infrastructures existantes et proposées. La priorité est de prévenir la construction de bâtiments, de routes, de sentiers ou d'enrochement du rivage dans les zones où ils peuvent altérer la fonction des terres humides et les empêcher de fournir des services écologiques (US Army Corps of Engineers, 2003). Un nouvel examen des infrastructures solides et de leur cycle de vie permettrait de prendre des décisions judicieuses à long terme sur leur remplacement, leur retrait ou leur réparation afin de favoriser les processus naturels (Fédération canadienne des municipalités, 2018).

Les options associées à cette mesure soutiennent également une transformation socioécologique à plus grande échelle, comme indiqué à la section 5.1. Il s'agit notamment de prendre en compte les changements climatiques dans l'aménagement des collectivités et du territoire, d'élaborer ou de modifier des stratégies de développement (p. ex. en retirant les ouvrages d'artificialisation des rives, le cas échéant, ou en encourageant des aménagements à faible impact) et d'élaborer des plans et des politiques de préparation aux catastrophes. La capacité des terres humides à fournir des services, tels que le contrôle de l'érosion du rivage en milieu urbain et rural, doit également être reconnue (Moudrak et coll., 2017).

Les rivages vivants, les infrastructures vertes et les solutions climatiques naturelles ou axées sur la nature sont efficaces pour atténuer les impacts écologiques, améliorer la qualité de l'eau, reconnecter les rivages avec les plans d'eau et renforcer la résilience globale de l'écosystème (ICF for Canadian Council of Ministers of the Environment, 2018; Gallagher et coll., 2020). Ces solutions permettraient d'utiliser les terres humides pour améliorer la résilience des humains, des écosystèmes et des infrastructures aux impacts climatiques et pour réduire les dommages naturels et les impacts des ouvrages riverains, souvent à moindre coût (ICF for Canadian

Council of Ministers of the Environment, 2018; Eyzaguirre, 2020). La portée géographique des options d'adaptation ci-dessous doit être définie par l'utilisateur final du présent document, en fonction des besoins locaux ou régionaux dans la région du lac concerné.

Tableau 18. Options d'adaptation relatives à la mesure 4C.

1	Recenser et cartographier les emplacements les plus adaptés à des rivages vivants (p. ex. en fonction des vents dominants, de la direction et de l'énergie des vagues, des taux d'érosion et de récession, du type de sol et de l'altitude) et agir en faveur de leur autorisation, de leur construction et de leur entretien à long terme (ELI, 2016). Voir la Mesure 2B.
2	Utiliser des stratégies de gestion des actifs aux étapes de conception, de planification, d'exploitation, d'entretien et de démantèlement pour définir les impacts climatiques sur les infrastructures (Fédération canadienne des municipalités, 2018). Évaluer la faisabilité, le coût et les avantages du retrait des infrastructures solides et de la construction d'infrastructures vertes. Voir la Mesure 2B.
3	Faciliter le retrait géré et relocaliser les installations et autres infrastructures présentant un haut risque d'inondation et étant difficiles d'accès au moyen d'un plan à long terme garantissant que la gestion future soutienne la conservation des terres humides (US Army Corps of Engineers, 2003; Strauch et coll., 2015).
4	Démanteler les sentiers et les routes d'accès détériorés et replanter des plantes indigènes, le cas échéant (Strauch et coll., 2015; Parcs Canada, 2018; Shannon et coll., 2019).
5	Retirer les structures qui limitent l'écoulement en surface et sous-marin, telles que les ponceaux, les barrages ou les déversoirs trop étroits et mal positionnés (Shannon et coll., 2019; Yochum et Reynolds, 2020). Voir la Mesure 1C.
6	Tenir compte des problèmes environnementaux survenant à grande échelle (p. ex. le développement dans les bassins hydrologiques et la perturbation du transport des sédiments dans les cellules littorales qui traversent des limites administratives) au cours des activités de restauration et de remplacement des infrastructures, afin de prévenir les impacts en aval et de recenser les possibilités de remplacer les surfaces imperméables en amont par des systèmes perméables ou naturels (Glick et coll., 2011).

7	<p>Concevoir les infrastructures devant être installées à l'intérieur des terres humides et entre elles de manière à minimiser les perturbations hydrologiques (en surface, dans les cours d'eau et les eaux souterraines) causées par les traversées (routes et bermes de terre) en installant des ponceaux bien situés, larges ou espacés, ou des conduits continus afin de permettre l'écoulement de l'eau, le transport des sédiments et le déplacement des espèces lorsque le débit est à son niveau maximal (Nason et coll., 2019; Canards Illimités Canada, 2014). Voir la Mesure 1C.</p>
---	--

5.5.4 Mesure 4D : Gérer et améliorer la résilience des terres humides endiguées

Les terres humides côtières endiguées doivent faire l'objet d'une attention particulière en vue de réduire les impacts des périodes prolongées des niveaux élevés et bas des lacs et de fournir des services écologiques. Au moins 31 % des terres humides restantes du lac Érié (Robb et Mitsch, 1990) et près de la moitié de celles du lac Sainte-Claire sont endiguées (McCullough, 1985). Certaines de ces digues approchent de la fin de leur vie utile et sont constituées de terre couverte d'herbe en guise de protection de surface. Compte tenu de la fréquence et de la gravité prévues des tempêtes et de la hausse prévue des niveaux d'eau, les terres humides endiguées seront particulièrement vulnérables à l'érosion due aux variations des niveaux d'eau et aux vagues provoquées par les tempêtes. Étant donné la diversité, les emplacements et les vulnérabilités aux changements climatiques des terres humides endiguées, il convient d'adopter une approche d'évaluation et de priorisation spécifique à chaque site lorsqu'on envisage des options d'adaptation. En fin de compte, la gestion des digues exige qu'un équilibre soit trouvé entre pêches, sauvagine, utilisation des terres adjacentes, objectifs globaux de biodiversité des terres humides et coût de l'entretien à long terme des digues.

Les terres humides endiguées peuvent réduire la biodiversité et l'intégrité des Grands Lacs, en raison de la perte de connexions physiques, chimiques et biologiques avec les eaux libres, réduire le piégeage et le recyclage des sédiments et des nutriments et empêcher l'accès des poissons à des habitats d'alimentation, d'abri, de fraie et d'alevinage (Pearsall et coll., 2012; Kowalski et coll., 2014). Les terres humides endiguées sont également susceptibles d'abriter davantage de plantes envahissantes (et leurs banques de semences dans le sol), telles que *Lythrum salicaria* (salicaire pourpre), *Phalaris arundinacea* (alpiste roseau) et *Typha* spp. (quenouilles) (Herrick et Wolf, 2005; Herrick et coll., 2007). Les ressources techniques et financières requises pour l'entretien à long terme des ouvrages de régulation des eaux, des pompes et des prises d'eau et la gestion des plantes non indigènes devraient également augmenter à cause des changements climatiques (Wilcox et Meeker, 1995; Doka et coll., 2006; Galloway et coll., 2006).

Si certaines terres humides endiguées ne sont plus viables ou plus désirées, des mesures d'adaptation peuvent être mises en place, accompagnées d'évaluations des risques fondées

sur des données scientifiques et d'une consultation avec le public. Si les niveaux des lacs sont élevés pendant une période prolongée, ces digues pourraient être submergées longtemps. Une fois complètement saturées, les digues composées de terre peuvent se détériorer. Dans d'autres cas, une digue peut être tellement dégradée que les gestionnaires de la terre humide sont incapables d'abaisser complètement le niveau de l'eau dans celle-ci lorsque le niveau du lac est élevé ou de l'élever au-dessus du niveau du lac, car la différence de pression hydrostatique pourrait endommager la digue. Dans de telles situations, il est possible d'utiliser des solutions naturelles, de rétablir la connexion hydrologique avec le lac et d'investir l'argent économisé pour créer davantage de zones d'eau libre, de canaux et de fondrières. La reconnexion hydrologique de terres humides endiguées a donné de bons résultats, mais elle comporte des risques écologiques, notamment une augmentation de l'apport en nutriments, de la turbidité et des plantes envahissantes ainsi qu'une réduction de la couverture de végétation aquatique submergée dans les marais côtiers connectés (Kowalski et coll., 2014). Les terres humides devant être endiguées peuvent être gérées et améliorées en créant un habitat ou en le rétablissant, en augmentant la diversité végétale, en améliorant l'habitat sauvage et en fournissant des avantages sociaux (Galloway et coll., 2006; Kowalski et coll., 2009).

Tableau 19. Options d'adaptation relatives à la mesure 4D.

1	Lorsque des terres humides endiguées doivent être préservées, préserver une importante diversité végétale et structurelle des terres humides, en créant des communautés végétales bien entremêlées (Doka et coll., 2006) et en rétablissant les variations annuelles et saisonnières des niveaux d'eau (Wilcox et Whillans, 1999) (voir la stratégie 3).
2	Gérer l'ensemble de la biodiversité en concevant et en installant des structures de passage sélectif des poissons de la plupart des formes et des tailles (Wilcox et Whillans, 1999; Kowalski et coll., 2014), tout en empêchant le passage de poissons invasifs.
3	Améliorer les valeurs écologiques, sociales et structurelles des systèmes de digues 1) en plantant de la végétation sur l'estran, 2) en augmentant la largeur et réduisant la pente du côté du lac, 3) en installant des revêtements végétalisés remplis de terre, 4) en fournissant une texture extérieure et en construisant des éléments de rétention d'eau et des digues artificielles (Scheres et Schüttrumpf, 2019).
4	Réduire le nombre de poissons envahissants (carpe) et de plantes non indigènes, telles que <i>Phalaris arundinacea</i> (alpiste roseau) et <i>Typha</i> spp. (quenouilles), qui sont plus répandues dans les terres humides endiguées (Herrick et Wolf, 2005; Environnement et Changement climatique Canada, 2018; voir la Stratégie 3).

5	Créer et préserver des zones de profondeur moyenne à grande et des chenaux à l'intérieur des terres humides afin de donner refuge aux poissons et à la faune pendant les baisses hivernales des niveaux d'eau et les périodes prolongées de couverture de glace et de faible teneur en oxygène (Environnement et Changement climatique Canada, 2018).
6	Lorsqu'il est nécessaire de séparer temporairement les terres humides des lacs (p. ex., à des fins de rétablissement), il convient d'envisager l'utilisation de batardeaux Aquadam (Wilcox et Whillans, 1999).
7	Limiter le débit entrant dans les terres humides endiguées et détourner l'écoulement d'eau autour de celles-ci pour empêcher le dépôt de sédiments et l'apport en nutriments (Doka et coll., 2006).
8	En ce qui concerne les digues et les rivages abrupts, compléter les mesures visant à réduire les vagues en installant des agents de soutien du substrat, tels que des géotextiles biodégradables pour imperméabiliser la digue (Abrahams, 2008). Exemple : la reconstruction de la digue et de l'ouvrage de régulation du niveau d'eau du marais de la Digue-aux-Aigrettes, réserve nationale de faune du lac Saint-François.
9	En ce qui concerne les digues très vulnérables à l'érosion, dégradées ou trop coûteuses à réparer, les réaménager ou y ouvrir des brèches stratégiques, partielles ou totales, qui correspondent aux anciens chenaux et bassins. Exemple : réorganisation de la digue Truro-Onslow, en Nouvelle-Écosse.
10	Décourager la construction de nouvelles digues permanentes, sauf si elles reproduisent la fonction protectrice d'un cordon littoral perdu. Ne pas construire de nouvelles digues sur des rivages en érosion ou susceptibles de s'éroder dans le futur. Inclure une structure de régularisation de l'eau pour permettre une connexion hydrologique similaire à celle de la terre humide d'origine (Wilcox et Whillans, 1999).

5.6 Stratégie 5 : Recenser, gérer protéger et créer des refuges climatiques

L'agriculture, le développement et l'aménagement du littoral, combinés aux sécheresses et inondations, réduisent la qualité et la disponibilité des habitats pour les espèces animales et végétales des terres humides. L'établissement de refuges climatiques représente une mesure d'adaptation prometteuse qui permettrait d'améliorer la résilience des terres humides et de

préservent les services écologiques qu'elles fournissent (Keppel et coll., 2015; Beavers et coll., 2016; Morelli et coll., 2016; 2020; Selwood et Zimmer, 2020). Par refuges, on entend les zones dans lesquelles une population d'organismes et d'habitats peut survivre au cours de conditions défavorables (Morelli et coll., 2020). Une approche stratégique consiste à recenser les refuges qui : 1) sont susceptibles de moins subir les effets des changements climatiques et du développement; 2) présentent une diversité de caractéristiques physiques et topographiques; 3) sont susceptibles de rester dans des conditions climatiques appropriées (Michalak et coll., 2020). La science des refuges climatiques (Ashcroft, 2010; Michalak et coll., 2020; Morelli et coll., 2016; 2020) suggère que les mesures suivantes peuvent favoriser la planification de l'adaptation :

- protection des terres où les éléments de la biodiversité peuvent persister, se réfugier et potentiellement s'étendre dans des conditions climatiques changeantes (Keppel et coll., 2012);
- protection des terres qui seront relativement protégées des changements climatiques à l'avenir (p. ex. faible exposition au changement thermique dans les tourbières minérotrophes côtières) et des niveaux d'eau extrêmes (Krawchuk et coll., 2016; Morelli et coll., 2020);
- acquisition et protection de terres où le sol et l'hydrologie peuvent favoriser la réhabilitation, la restauration et la création de terres humides;
- permettre la migration des terres humides vers l'intérieur des terres ou vers le lac (Pahalad et coll., 2019; McLaughlin et coll., 2017).

Les stratégies d'adaptation visant à recenser, à protéger, à gérer des refuges climatiques et à en créer doivent tenir compte des processus écologiques, de la diversité des espèces, de la topographie et des vulnérabilités aux changements climatiques (Hagerman et Chan, 2009; Morelli, 2016; Michalak et coll., 2020). L'échelle spatiale doit également être prise en compte pour le recensement des refuges, notamment des microrefuges (par exemple, les suintements d'eau souterraine), des zones au sein des terres humides pouvant protéger des conditions changeantes (p. ex. changements en matière de bathymétrie et de topographie), aux grands complexes de terres humides permettant des changements dans le comportement, la réaction et le mouvement des espèces (Beever et coll., 2017). Comme mentionné dans la stratégie 1, la gestion à long terme des terres humides est nécessaire pour que la qualité de l'eau, les connexions hydrologiques et le fonctionnement des processus côtiers soient garantis à l'intérieur et en dehors des terres humides. La conservation des refuges doit également résoudre les problèmes relatifs 1) aux objectifs de gestion incohérents entre les institutions qui gèrent les terres, l'eau et les ressources aquatiques, 2) aux contraintes logistiques imposées par la propriété foncière et 3) à l'évaluation des compromis. Il est nécessaire de s'interroger sur l'utilité des refuges et d'incorporer des renseignements spécifiques aux espèces dans la planification pour faire progresser le recensement des refuges (Michalak et coll., 2020).

5.6.1 Mesure 5A : Recenser et gérer les zones de refuge

Garantir la présence de terres pouvant accueillir la migration vers l'intérieur des terres et protéger les conditions physiques et biologiques du rivage pour la migration vers le lac constituent des mesures d'adaptation importantes. Les niveaux des lacs vont continuer à varier, et les communautés végétales des terres humides ne pourront migrer que s'il y a des zones pour accueillir la formation de terres humides pendant les périodes où les niveaux des lacs sont faibles ou élevés (**figure 32**). Une évaluation du potentiel de migration de 26 terres humides canadiennes a révélé que, outre les contraintes liées aux conditions géomorphologiques (falaises, escarpements, landes rocheuses), à l'utilisation des terres (agriculture et développement) et à la connectivité du paysage, les principaux obstacles à la migration des terres humides vers l'intérieur des terres lorsque les niveaux du lac sont élevés pendant une période prolongée sont l'aménagement du rivage, les routes et les infrastructures (Zuzek, 2020d). Environ 39 % du rivage du lac Érié et 37 % de celui du lac Ontario sont artificialisés (ECCC, 2021). On s'attend à ce que les niveaux des lacs soient variables, alternant entre des périodes de niveaux élevés et des périodes de niveaux faibles. L'environnement physique (énergie des vagues, type de substrat de fond, profondeur de l'eau et pente du fond du lac dans les eaux adjacentes aux terres humides) influe sur le potentiel de migration vers le lac et d'expansion des terres humides.

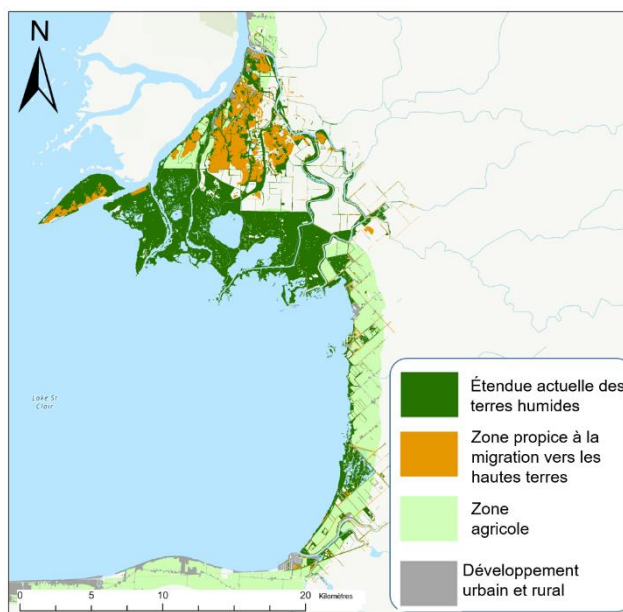


Figure 32. Exemple de migration potentielle des terres humides à l'est du lac Sainte Claire et dans le delta de la rivière Walpole (ECCC, 2021).

Les pratiques de gestion et les directives réglementaires qui favorisent l'établissement de zones tampons de végétation naturelle adjacentes aux terres humides côtières permettront d'améliorer le potentiel de migration vers l'intérieur des terres et la résilience. La cartographie des éventuels refuges climatiques a progressé (Enwright et coll., 2016; Carroll et coll. 2017; Stralberg et coll., 2018; Morelli et Ramirez, 2019; Thorne et coll., 2020). Cependant, il demeure compliqué de recenser les refuges à des échelles plus petites, pertinentes pour la gestion locale des terres (Selwood et Zimmer, 2020), d'effectuer des vérifications sur le terrain et de mobiliser les ressources nécessaires à la protection des refuges à long terme (Barrows et coll., 2020). Une fois les refuges potentiels recensés, les gestionnaires devront établir des priorités de gestion des caractéristiques des refuges afin de garantir la fonctionnalité et la résilience (Morelli et coll., 2016, 2020).

Tableau 20. Options d'adaptation relatives à la mesure 5A.

1	Utiliser un système d'information géographique et d'autres outils pour cartographier les zones de refuge potentielles pour la migration des terres humides. Exemple : quantification du potentiel de migration vers l'intérieur des terres et du coincement côtier de 39 estuaires situés sur le rivage américain du golfe du Mexique, riche en terres humides, selon différents scénarios de niveaux de la mer (Borchert et coll., 2018; Prahalad et coll., 2019).
2	Intégrer des couches cartographiques des zones de refuge dès les premières phases de planification de l'aménagement du territoire afin de recenser et de protéger les zones naturellement résilientes aux changements climatiques qui peuvent servir de refuges où des aires de répartition peuvent se déplacer. Si possible, acquérir, préserver, conserver et restaurer ces zones en tant que refuges de terres humides dans le cadre de scénarios futurs de niveaux des lacs (ELI, 2016). Exemple : l'outil de planification du programme de l'estuaire Derwent et les « processus côtiers naturels » pour les terres humides et les marais salés (Whitehead, 2011).
3	Optimiser les conditions écologiques des zones de refuge en réduisant les facteurs de stress non climatiques (stratégie 1) et en supprimant les routes, les ponceaux, les sentiers, les emprises, les infrastructures et les murs côtiers qui peuvent modifier l'hydrologie, la connectivité et l'érosion et introduire des espèces envahissantes (Morelli et coll., 2016; Selwood et Zimmer, 2020).
4	Retirer, le cas échéant, l'enrochement du littoral ou toute autre obstruction entravant la migration des terres humides vers les zones de refuge appropriées. Voir les mesures 2B et 4C.
5	Préserver ou améliorer l'hétérogénéité et la complexité topographiques (p. ex. des dépressions peu profondes aux complexes plus vastes de crêtes et de creux) et bathymétriques (mares et étangs peu profonds et profonds) des terres humides côtières, afin de fournir des refuges en eaux hautes et basses et une diversité de régimes hydrologiques (Beller et coll., 2019).
6	Réduire la fragmentation de l'habitat et recenser, protéger, améliorer ou réhabiliter les voies migratoires et les zones de refuge afin de garantir l'accès aux habitats humides (p. ex. accès aux refuges, aux frayères et aux zones d'alevinage; Dove-Thompson et coll., 2011).

7	Créer de nouveaux habitats de refuge des terres humides, en déplaçant le sol ou la végétation de terres humides vers des sites de création ou de restauration de terres humides (Moomaw et coll., 2018).
8	Recenser, cartographier et gérer les habitats aquatiques adjacents qui soutiennent la fonction et la résilience des terres humides, tels que les mares printanières, les réseaux de mares et les cours d'eau qui les relient et qui servent de corridors de déplacement (Calhoun et deMaynadier, 2008; Wenning, 2015).
9	Recenser, cartographier et protéger les bas marais qui maintiennent le volume de l'habitat aquatique dans les scénarios de fluctuations des niveaux d'eau. Exemple : simulation des modifications de la superficie des bas marais de la baie Georgienne en fonction de différents niveaux du lac (Weller et Chow-Fraser, 2019).
10	Faire progresser la science des refuges en validant leur efficacité à l'aide de données indépendantes, et intégrer l'importance des refuges climatiques dans les processus décisionnels (Barrows et coll., 2020).

5.6.2 Mesure 5B : Protéger les sources et processus d'eau souterraine et les refuges connexes

Les stratégies d'adaptation visant à recenser et protéger les sources d'eaux souterraines (aires d'alimentation et d'émergence) en tant que refuges climatiques représentent des mesures pratiques pour préserver la résilience aux changements climatiques des terres humides (Morelli et coll., 2016; McLaughlin et coll., 2017; Cartwright et coll., 2020). Les eaux souterraines pénètrent dans les terres humides directement depuis une source, par mouvement latéral à partir d'un aquifère adjacent (suintement) ou par mouvement ascendant à partir d'un aquifère sous-jacent (émergence). Les eaux souterraines sont contrôlées par 1) la géographie physique du terrain adjacent à la terre humide, 2) les altitudes relatives de la terre humide et du lac au fil du temps et 3) la quantité d'eau de suintement (Crowe et Shikaze, 2004).

La protection des sources d'eaux souterraines en vue de créer des refuges est très importante pour les marais côtiers. Selon Kraus et White (2009), les tourbières minérotrophes côtières sont les principales terres humides côtières qui dépendent des eaux souterraines sur des plaines plates de lacs glaciaires. Ce sont des terres humides dominées par des carex et des joncs et présentant un substrat calcaire. Les structures et les processus des eaux souterraines qui relient les aires d'alimentation aux zones d'émergence (sources) contribuent à maintenir des températures d'eau plus basses dans les tourbières et à proximité. L'écoulement des eaux souterraines permet de stabiliser les variations saisonnières des niveaux d'eau des marais

côtiers (Godwin et coll., 2002) et de tempérer l'effet des variations des niveaux des lacs (Mortsch, 2006). L'émergence d'eaux souterraines permet de faire baisser de maintenir des températures fraîches du sol des terres humides pendant la saison de croissance (Rentch et coll., 2008) et joue un rôle important pour garder des températures d'eau fraîches dans les cours d'eau et soutenir les refuges d'eau froide en été (Mortsch et coll., 2003) et les refuges d'eau relativement chaude en hiver (Meisner et coll., 1988). Les eaux souterraines riches en carbonates de calcium et de magnésium fournissent un apport stable d'eau et de nutriments, soutenant des communautés végétales différentes de celles alimentées par les eaux de surface. Les tourbières du lac Huron et de la baie Georgienne sont des communautés en péril, abritant plus de 40 espèces végétales importantes à l'échelle provinciale (Ontario Natural Heritage Information Centre, 1995).

Les tourbières vulnérables alimentées par les eaux souterraines sont menacées par le développement routier, le drainage, l'érosion et la pollution. Les véhicules tout-terrain et le stationnement sur les tourbières et les plages créent des ornières, compactent le sol et endommagent les lits de germination. La création de fossés de drainage, de chenaux et de routes temporaires peut également modifier le régime hydrologique et la qualité de l'eau à proximité et faire en sorte que la communauté végétale de carex indigènes passe à une communauté de scirpes, de quenouilles et du roseau commun en vahissant.

Tableau 21. Options d'adaptation relatives à la mesure 5B.

1	Utilisez un système d'information géographique ou d'autres outils pour cartographier les tourbières et leurs sources d'eau souterraine riche en minéraux. Exemple : cartographie des aires d'alimentation des eaux souterraines d'importance écologique par l'Office de protection de la nature.
2	Protéger les tourbières de la pollution, du drainage ou de toute autre altération de l'hydrologie afin de préserver les caractéristiques chimiques de l'eau. Exemple : cartographie des aires d'alimentation des eaux souterraines d'importance écologique par l'Office de protection de la nature. Voir la stratégie 1.
3	Restaurer les microrefuges d'eau souterraine dans les tourbières côtières partiellement drainées par l'excavation de fossés et l'installation de drains souterrains près de la surface. Pour ce faire, on peut bloquer les fossés et chenaux de drainage (Raney, 2014; Lamers et coll., 2014).
4	Empêcher l'augmentation de l'écoulement de surface et la réduction de l'alimentation des eaux souterraines en établissant des zones tampons dans les peuplements adjacents aux tourbières.

5	Ne pas construire de routes dans les tourbières afin de prévenir les altérations hydrologiques et les changements dans la composition et la structure des espèces.
6	Empêcher le stationnement de véhicules et leur accès aux tourbières côtières sensibles et aux plages connexes afin de prévenir le compactage du sol, l'orniérage, la modification de l'écoulement de surface et de la composition en espèces et la propagation de plantes envahissantes (Peach et Donnelly, 2010).

5.7 Stratégie 6 : Améliorer la conservation et la protection des terres humides côtières des Grands Lacs

On ne peut assurer la résilience des terres humides côtières sans mettre en place des mesures de conservation efficaces, notamment : 1) la protection des terres humides et corridors riverains existants (Moomaw et coll., 2018), 2) la réduction au minimum des dommages, 3) la restauration ou l'amélioration des terres humides et de leurs fonctions (MRNFO, 2017) et 4) le maintien et le rétablissement de la connectivité écologique (voir la stratégie 1, mesures C et D). Les zones protégées abritant des terres humides côtières jouent un rôle essentiel au Canada (ECCC, 2016) et dans le monde pour conserver la biodiversité (Chape et coll., 2005; Le Saout et coll., 2013), améliorer la résilience aux changements climatiques (Stein et coll., 2014, Beller et coll., 2015 et 2019; Beavers et coll., 2016; Chambers et coll., 2019) et maintenir les fonctions écologiques qui fournissent des services écologiques (ECCC, 2016). La conservation des terres humides soutient les objectifs provinciaux, régionaux, continentaux et internationaux établis par divers mécanismes (p. ex. convention RAMSAR, Plan nord-américain de gestion de la sauvagine; Plan conjoint des habitats de l'Est de l'Ontario).

Les terres humides côtières bénéficient d'une protection directe dans des parcs nationaux et provinciaux et d'une protection indirecte conférée par diverses politiques comprenant plus de 20 textes législatifs différents, administrés ou appliqués par cinq ministères provinciaux, deux ministères fédéraux, un organisme provincial (la Commission de l'escarpement du Niagara), 36 offices de protection de la nature et 444 municipalités (MRNFO, 2017), et grâce à des mesures de protection du patrimoine naturel appliquées en vertu de la *Loi sur l'aménagement du territoire* de l'Ontario et de la Déclaration de principe provinciale (2020). La Déclaration de principe provinciale interdit « l'aménagement » et la « modification d'emplacements » sur les terres humides d'importance du sud de l'Ontario et les terres humides côtières d'importance des Grands Lacs. Les terres humides sont classées comme étant « d'importance » par des procédures d'évaluation provinciales, mais la définition de ces termes ne prend pas en compte d'autres utilisations des terres, telles que les projets d'infrastructure et les travaux de drainage.

Le Canada s'est fixé des objectifs nationaux et internationaux en matière de biodiversité, notamment la conservation d'un quart de sa superficie terrestre d'ici 2025, la création d'habitats

plus sains pour les espèces en péril et l'amélioration de son environnement naturel, dans le cadre d'un engagement en faveur de solutions climatiques axées sur la nature qui englobent les terres humides et les forêts urbaines (lettre de mandat du ministre de l'Environnement et du Changement climatique, 2019). En tant que membre de la Coalition de la haute ambition pour la nature et les peuples, le Canada se prépare également à protéger et à conserver 30 % de son territoire terrestre et marin d'ici 2030². Afin de suivre les progrès réalisés en la matière, la base de données canadienne sur les aires protégées et de conservation fournit des données spatiales actualisées³.

De nombreux sites candidats à l'expansion du réseau d'aires protégées du Canada ont déjà été recensés dans le cadre du Plan de réseau de Parcs Canada, des plans concernant les zones clés pour la biodiversité et les zones conservées par les Autochtones et les collectivités et des plans d'acquisition de terres par des fiducies foncières (MaKinnin et coll., 2016; Coristine et coll., 2018). Cependant, par rapport aux autres régions canadiennes, seule une petite proportion de la région des Grands Lacs a été relevée aux fins de protection. L'écozone des plaines à forêts mixtes de l'Ontario, dans la région des Grands Lacs inférieurs, est par exemple l'écozone la moins protégée (1,8 %; ECCC, 2016).

Le réseau existant d'aires protégées n'est peut-être pas suffisant pour permettre aux terres humides et aux organismes qui en dépendent de s'adapter, de migrer ou d'être résilients face à des conditions climatiques changeantes. Cette affirmation se base sur la quantité de couverture terrestre environnante et sur la qualité de l'eau (Harrison et al., 2020), sur le maintien et la restauration des processus naturels (sédimentologie, hydrologie) qui agissent à l'échelle du paysage ou de la cellule littorale (voir la stratégie 2), et sur les facteurs qui influent sur l'efficacité des aires protégées, notamment la taille et la configuration, la gestion et le financement, la gestion des espèces envahissantes, la gestion intégrée des ressources en eau, la surveillance et la recherche et d'autres facteurs résumés par Acreman (2020). Même au sein des aires protégées, des mesures d'adaptation doivent être mises en place face aux impacts climatiques (Barr, 2021). Le manque d'aires protégées a des conséquences graves et durables pour la conservation de l'eau douce et de la biodiversité. Une nouvelle vision des terres humides côtières et d'autres habitats en tant qu'écosystème interconnecté permettrait d'améliorer la résilience et la conservation des terres humides.

Il n'existe pas de valeur sans équivoque du pourcentage de superficie terrestre et aquatique qui devrait être protégée. Cependant, un examen des données scientifiques sur les objectifs de conservation du territoire indique que le cible devrait être d'au moins 30 % de la superficie terrestre et aquatique (Woodley et coll., 2019). La protection des terres dans la bande côtière des Grands Lacs est bien en dessous de cette valeur (**tableau 2**).

² <https://www.campaignfornature.org/high-ambition-coalition>

³ <https://www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/services/reserves-nationales-faune/base-donnees-aires-protégees-conservation.html>

La science permettant de recenser et de cartographier les habitats terrestres et aquatiques d'eau douce résilients existe, tout comme il est possible de développer des outils pour soutenir l'évaluation et la gestion. Par exemple, The Nature Conservancy a créé un outil de cartographie spatiale qui détecte les terres connectées et résilientes aux changements climatiques aux États-Unis et au Canada (Anderson et coll. 2016). Weller et Chow-Fraser (2019) ont élaboré un indice de résilience à plusieurs échelles pour détecter les refuges importants pour le maskinongé (*Esox masquinongy*) dans les terres humides de la baie Georgienne. Les terres humides côtières des Grands Lacs américains ont été jugées prioritaires pour la conservation des oiseaux des terres humides (Grand et coll., 2020). Zuzek (2021b) a relevé les rivages vulnérables du lac Érié où la gestion intégrée des sédiments doit être améliorée. La première étude directe sur la dette d'extinction des Grands Lacs a recensé 17 terres humides côtières à haute priorité du lac Érié qui nécessitent des activités de restauration. L'étude estime qu'il faudrait également conserver une superficie de 178 km² répartie en 29 terres humides non protégées afin de réduire le risque de perte de biodiversité de poissons d'eau douce (Montgomery et coll., 2020). Ce type d'étude permet de mieux appréhender la gestion des terres humides côtières et les besoins en matière de conservation.

Les terres humides doivent être conservées dans le cadre d'un partenariat solide entre les gouvernements fédéraux, provinciaux et locaux, les collectivités autochtones, les organismes publics locaux, les propriétaires fonciers privés, la communauté agricole, l'industrie, les organisations non gouvernementales et les autres parties concernées par la conservation des terres humides. Toute la population peut aider à protéger les terres humides côtières, notamment celles situées en milieu urbain ou semi-urbain, car elles permettent de modérer les variations extrêmes de température et de conserver la biodiversité et offrent des avantages en matière de loisirs et d'esthétisme (MRNFO, 2017). La protection et la conservation de plus de terres humides côtières réduisent l'effet d'îlot de chaleur urbain, ajoutent des refuges pour les espèces indigènes et augmentent le stockage de carbone, la capacité d'adaptation et la résilience côtière, tout en fournissant des biens et services écologiques.

Tableau 22. Options d'adaptation relatives à la stratégie 6.

1	Développer une méthodologie standardisée pour cartographier la superficie des terres humides côtières, selon leur type hydrogéomorphologique et leur composition, et pour suivre les changements temporels de manière régulière.
2	Recenser les possibilités d'améliorer et de moderniser les politiques de conservation et de gestion des terres humides côtières et intérieures, dans le but de prévenir la perte nette de terres humides.
3	Améliorer les mesures de protection et d'amélioration des terres humides urbaines en tant que partie intégrante de l'aménagement du territoire, de la restauration, de la

	<p>résilience et des solutions climatiques axées sur la nature, afin d'atténuer les impacts climatiques urbains (p. ex. l'effet d'îlot de chaleur; Jain et Carpay, 2020).</p>
4	<p>Protéger les autres terres humides côtières, les habitats adjacents et les corridors riverains au moyen de servitudes de conservation, d'acquisitions de terres, de partenariats de conservation (p. ex. le Plan conjoint des habitats de l'Est), de mesures de protection des terres prises par les gouvernements fédéral et provinciaux, les municipalités, les propriétaires privés et les Autochtones, etc.</p>
5	<p>Accroître le nombre d'aires protégées (ou d'autres mesures efficaces de conservation de zones) en modifiant leur nombre, leur taille, leur emplacement, leur forme, en créant des liens entre elles et en améliorant la gestion des terres (MacKinnon et coll., 2020; voir la mesure 1D).</p>
6	<p>Recenser et protéger les propriétés riveraines non aménagées dont les processus côtiers naturels et la dynamique des sédiments sont intacts et contribuent à maintenir la structure et la fonctionnalité des terres humides (Livchak et Mackey 2007, Zuzek, 2021a; stratégie 2).</p>
7	<p>Désigner les terres humides publiques récemment sélectionnées pour les protéger en tant que refuges climatiques (c'est-à-dire pour leur résistance aux changements climatiques) par inscription dans une loi ou par d'autres instruments juridiques ou réglementaires, ou en tant que « zone prioritaire de refuges climatiques » dans les plans de gestion (Morelli et coll., 2016; stratégie 5)</p>
8	<p>Établir un corridor côtier protégé visant à améliorer la connectivité et à faciliter l'adaptation, par la protection des terres humides et d'autres zones, afin de permettre la migration des terres humides et les processus naturels de transport des sédiments. Intégrer les concepts de zones naturelles essentielles, de zones tampons et de zones de transition côtière (Mortsch et coll., 2006). Voir également l'idée de corridor de sous-bassin versant côtier à la mesure 1D.</p>
9	<p>Développer des indices de priorité et de résilience à plusieurs échelles pour recenser et cartographier les zones ayant besoin de mesures de restauration ou de protection, dans le cadre d'une stratégie globale de gestion des populations de poissons et d'animaux indigènes (Grand et coll., 2020; Weller et Chow-Fraser, 2019).</p>

10	Rétablir les terres humides et leurs fonctions en vue de soutenir un habitat sain et résilient et des communautés indigènes (MRNFO, 2017).
11	Améliorer la mobilisation des connaissances et la communication au sein des organisations responsables des aires protégées, et entre elles, en ce qui concerne les stratégies de surveillance et d'adaptation (Barr, 2020).
12	Élaborer des modèles d'enveloppe climatique (Pearson et Dawson, 2003) pour évaluer la capacité des aires protégées et des réseaux associés à soutenir l'habitat des espèces dans le cadre de différents scénarios de changement climatique (Scott et coll., 1996; Burns et coll., 2003; Araújo et coll., 2004; Hannah, 2008).
13	Maintenir la diversité des espèces lors de l'établissement de nouvelles aires protégées, en tenant compte de l'hétérogénéité de l'habitat dans divers scénarios climatiques, afin de fournir diverses conditions topographiques, bathymétriques, édaphiques et hydrologiques (Anderson et Feree, 2020; Beier et Brost, 2010; Halpin, 1997; Hunter, 1988; Wessels et coll., 1999). Voir la stratégie 5.
14	Quantifier et valoriser les actifs, biens et services naturels des terres humides côtières, à des fins de gestion et d'élaboration de politiques et d'une stratégie de protection et de restauration (Moudrak et coll., 2018).
15	Élaborer, en collaboration avec d'autres ordres de gouvernement, les collectivités autochtones et le public, des stratégies municipales ou régionales de conservation de la biodiversité et des plans de réseaux de patrimoine naturel qui établissent les priorités en matière de rétablissement et de protection des terres humides côtières. Exemples : plan de conservation et de gestion de la péninsule de Bruce (Liipere, S. 2014); A Biodiversity Strategy for Toronto (City of Toronto and the Toronto Region Conservation Authority, 2019); Coastal Action Plan for the Southeastern Shores of Lake Huron (Lake Huron Centre for Coastal Conservation, 2019).
16	Améliorer la gouvernance, la collaboration et la coordination et développer davantage les partenariats pour faire progresser les objectifs de conservation des terres humides côtières et les harmoniser avec l'approche du Plan d'action pour la conservation des terres humides côtières des Grands Lacs (http://glwcap.ca/GLWCAPfiles/GLWCAP_HighlightsReport_2005-2010.pdf).

6.0 Résumé des lacunes en matière de gestion et de politiques

Il est essentiel de relever et de combler les lacunes en matière de gestion et de politiques qui influent sur la vulnérabilité des terres humides côtières et leur résilience aux changements climatiques afin d'élaborer une stratégie d'adaptation efficace pour les Grands Lacs. Analyses documentaires, entretiens, ateliers et groupes de discussion avec les gestionnaires de terres humides et les praticiens de la conservation (OCC, 2019; 2020; Mortsch, 2020) ont été utilisés pour recenser les défis, les lacunes et les besoins. Six points clés ont été mis en lumière : la gouvernance; les politiques; la science et la modélisation prédictive; les inventaires, l'évaluation et la surveillance des terres humides; l'harmonisation et la visualisation des données; la conception, la mise en œuvre et l'évaluation des mesures d'adaptation.

6.1 Gouvernance

Compte tenu du rythme et de l'ampleur des changements climatiques dans le bassin des Grands Lacs, l'un des plus grands défis consiste à développer la capacité, les connaissances et la structure de gouvernance afin d'aller au-delà des réponses d'adaptation ponctuelles, opportunistes et progressives et de passer à des changements proactifs, voire transformateurs (voir la **figure 11**). Dans ce contexte, la gouvernance s'entend d'une approche inclusive et d'un moyen par lequel la communauté de conservation des terres humides combine différentes disciplines, détermine les objectifs d'adaptation et y donne suite, et établit des priorités pour renforcer la résilience des terres humides côtières, notamment :

- un leadership de haut niveau reconnaissant le besoin urgent de l'adaptation aux changements climatiques, permettant la mise en place de cadres stratégiques et favorisant la coordination et la collaboration entre les organismes et les intervenants en vue d'améliorer la résilience des terres humides côtières;
- l'amélioration de la mobilisation, de la collaboration, de la coordination et du développement de partenariats pour faire progresser les recherches et la planification en matière d'adaptation des terres humides côtières et la mise en œuvre de mesures connexes;
- la mise en place d'un réseau d'adaptation et de résilience aux changements climatiques pour les terres humides côtières des Grands Lacs qui s'appuiera sur les enseignements des nombreuses activités scientifiques, réglementaires et régionales portant déjà sur les différents aspects de l'adaptation et de la résilience;
- la mise en place de mécanismes, protocoles et ententes d'échange de données et de transfert des connaissances au sein de la communauté de conservation des terres humides côtières;
- l'élaboration de visions, méthodologies et objectifs communs pour améliorer les résultats en matière de conservation des terres humides côtières dans le bassin des Grands Lacs.

6.2 Politiques

À mesure que notre compréhension des changements climatiques et de la conservation des terres humides côtières s'améliore, de nouveaux problèmes apparaissent, nécessitant des stratégies d'adaptation et outils politiques (lois, règlements, procédures, incitatifs) avant-gardistes pour conserver la fonction et la superficie des terres humides, notamment :

- la manière dont les objectifs et cibles en matière de conservation et de gestion des terres humides doivent être établis en fonction des changements climatiques;
- une politique d'adaptation fondée sur une compréhension solide des processus côtiers naturels, de la dynamique des terres humides et de l'évolution de l'état des terres humides dans des conditions climatiques changeantes;
- l'utilisation des meilleures données scientifiques disponibles sur l'adaptation aux changements climatiques et d'études de cas pour éclairer les politiques fondées sur des données probantes;
- des politiques innovantes intégrant les terres humides côtières en tant que caractéristiques naturelles ou solutions axées sur la nature pour réduire les risques climatiques et assurer la résilience des zones côtières;
- des politiques pour recenser, préserver, restaurer et améliorer les terres afin de permettre la migration des terres humides côtières vers l'intérieur des terres ou vers le lac sous les futurs régimes de niveaux d'eau;
- des approches stratégiques de gestion intégrée des zones côtières tenant compte de la santé et de la fonction des terres côtières, de la connectivité des habitats, des processus physiques naturels, des risques naturels et des services écologiques;
- des initiatives régionales de gestion collaborative des sédiments qui protègent des formes de relief côtières vulnérables et géologiquement diversifiées (pointe Pelée, Rondeau et Long Point) et les terres humides abritées par des barrières littorales;
- l'intégration des impacts des changements climatiques dans les décisions réglementaires pour une représentation précise des futures limites des risques d'inondation et d'érosion centennaires, afin d'éviter l'aménagement de terres marginales et de réduire l'artificialisation future du littoral;
- une mise à jour des lignes directrices techniques sur les risques naturels afin de tenir compte des options pour les rivages naturels et vivants comme solutions de rechange aux mesures traditionnelles de protection des rivages artificialisés;
- une mise à jour des politiques d'aménagement du territoire et des instruments réglementaires protégeant les processus côtiers naturels et la gestion des sédiments;
- des programmes d'échange de terrains, dans le cadre desquels les propriétaires peuvent échanger leurs propriétés situées dans des zones à risque d'inondation et d'érosion contre des terrains situés dans l'intérieur des terres ou dans des zones côtières à moindre risque, permettant ainsi aux écosystèmes de s'adapter aux changements;

- l'intégration d'approches de conservation et d'outils politiques dans la conception de réseaux de patrimoine naturel pour améliorer la connectivité des caractéristiques naturelles et empêcher la perte nette de terres humides côtières;
- un soutien aux efforts de conservation menés par les Autochtones et l'intégration des connaissances écologiques traditionnelles (CET) dans les programmes et politiques de conservation, de gestion adaptative et d'intendance des terres humides côtières.

6.3 Science et modélisation prédictive

Pour faire progresser les pratiques en matière d'adaptation, il est essentiel d'avoir recours à la science, à la modélisation prédictive et à l'analyse spatiale, qui permettent d'étudier divers scénarios de changements climatiques et de réactions des terres humides. Parmi les lignes directrices et les outils à l'appui de la conservation des terres humides côtières, on peut citer :

- la modélisation prédictive intégrée de la réaction des terres humides aux facteurs de stress non climatiques, tels que l'utilisation et la couverture des terres, le transport des sédiments, les espèces envahissantes et les seuils relatifs aux terres humides, afin de réfléchir aux questions de gestion et d'établir des priorités :
 - collecte et intégration de données d'altitude et de profondeur afin de produire des modèles altimétriques numériques haute résolution des terres humides à des fins de modélisation;
 - caractérisation des attributs, fonctions et processus importants des terres humides au moyen de la télédétection et de la collecte de données géoréférencées sur le terrain;
- des évaluations de la vulnérabilité et des impacts prenant en compte les effets des changements climatiques, des niveaux des lacs, de la connectivité hydrologique, de la sédimentation et de la géochimie sur les terres humides endiguées et abritées par des barrières littorales afin d'améliorer la prise de décision en matière d'adaptation;
- les pratiques exemplaires et spécifications techniques relatives au recensement spatial des zones critiques contribuant à la résilience des terres humides, telles que :
 - les terres humides existantes contribuant à la réduction des risques climatiques et à la résilience, et le recensement des possibilités de conservation et de rétablissement de ces zones;
 - les futures terres humides, les voies de migration des terres humides, et le recensement des possibilités de conservation de ces zones et de facilitation de la migration des terres humides;
 - les emplacements idéaux pour les rivages vivants, et le soutien à leur autorisation par permis, leur construction et leur entretien, lorsque cela est justifié;
- les recherches visant à mieux comprendre la manière dont les changements dans la structure des habitats des terres humides (p. ex. taille, composition) influent sur les populations et communautés des espèces sauvages des terres humides (p. ex.

modélisation de la qualité de l'habitat, modélisation des enveloppes ou niches climatiques, etc.).

6.4 Surveillance, inventaires, cartographie et évaluation

L'évolution du paysage du bassin des Grands Lacs et des pratiques d'utilisation des terres nécessite d'obtenir des données à jour sur la superficie, l'emplacement et la qualité des habitats humides côtiers existants. Une méthodologie normalisée et des mises à jour quinquennales sont nécessaires pour réaliser un relevé de référence afin de suivre les changements dans le temps et de faciliter l'établissement des priorités en matière d'acquisition et de restauration. La surveillance des sites peut fournir des renseignements sur la santé et la fonction des terres humides et les effets des changements climatiques et orienter les décisions stratégiques et de gestion concernant par exemple l'acquisition et la restauration de terres humides et la mise en œuvre de mesures d'adaptation. Un inventaire des terres humides côtières des Grands Lacs peut être élaboré par la mise en œuvre d'une série d'activités, parmi lesquelles on peut citer :

- l'établissement de protocoles normalisés d'inventaire et de cartographie des terres humides côtières (selon leur type hydrogéomorphologique et leur superficie) à des résolutions permettant de suivre les changements dans le temps et d'éclairer la planification locale et régionale afin d'améliorer les décisions relatives à l'utilisation et à l'aménagement du territoire;
- l'évaluation et le suivi de la santé, de la fonction et de l'évolution des terres humides dans le temps afin d'appuyer l'établissement des zones prioritaires pour la restauration, la protection et l'adaptation;
- la visualisation des données en vue de mieux comprendre la distribution, l'étendue et la composition des terres humides, ainsi que leur vulnérabilité aux changements climatiques, et d'éclairer la mise en œuvre de stratégies d'adaptation. La visualisation des données peut être utilisée pour communiquer avec le public et le mobiliser et pour communiquer efficacement les décisions spatialement explicites aux organismes gouvernementaux, aux responsables locaux et aux autres personnes chargées d'établir des priorités ou d'envisager de nouvelles politiques;
- une plateforme en ligne qui permettra de visualiser des données et des produits cartographiques 1) accessibles au public, 2) gérés par le gouvernement et 3) permettant aux intervenants locaux des terres humides d'évaluer les risques des changements climatiques sur les plans écologique, économique et de la santé humaine.

6.5 Établissement des priorités, conception et mise en œuvre des options d'adaptation

Une fois les risques et vulnérabilités liés aux changements climatiques évalués et les options d'adaptation privilégiées déterminées, un cadre de mise en œuvre (p. ex une stratégie et un plan d'action) doit être établi. Ce cadre doit tenir compte des vulnérabilités aux changements climatiques, de la conception de la stratégie d'adaptation appropriée et des discussions avec

les intervenants et les partenaires pour obtenir leur soutien. L'adaptation doit être intégrée aux cadres politiques existants, à la planification municipale et à la gestion des risques afin de mieux faire connaître l'adaptation, d'économiser des ressources et de relever les synergies avec le développement et les efforts d'atténuation des changements climatiques. Les ensembles de données, les modèles et les analyses spatiales peuvent être utilisés pour soutenir le processus et l'établissement de priorités. Les indicateurs de performance et les évaluations sont d'autres éléments importants pour évaluer les résultats des projets d'adaptation et pour procéder à des ajustements, notamment pour déterminer les nouveaux besoins en matière de données, suivre les résultats et mettre à jour ou modifier les modèles. Enfin, la communication des stratégies, des méthodes et des résultats est essentielle à l'adaptation, car elle permet de garantir la compréhension des objectifs, l'obtention de résultats et l'apprentissage continu.

- Recenser les terres humides prioritaires pour l'adaptation dans le bassin des Grands Lacs pour mener des recherches à long terme, collaboratives et financées.
- Établir des indicateurs et des protocoles de surveillance pour évaluer l'efficacité des projets d'adaptation.
- Élaborer conjointement et mettre en œuvre des solutions d'adaptation aux changements climatiques qui renforceront la résilience des terres humides côtières.
- Veiller à ce que les mesures d'adaptation ne restreignent pas les possibilités d'action future en fonction de l'évolution des conditions.
- Procéder à un suivi régulier des progrès réalisés et en faire rapport aux décideurs et aux intervenants concernés.
- Mettre à jour, revoir et réajuster la stratégie d'adaptation ou le plan d'action en fonction des résultats du projet.
- Évaluer l'efficacité de la mise en œuvre des stratégies, mesures et options d'adaptation à l'aide d'indicateurs de rendement et d'un cadre de gestion adaptative.
- Constituer un portefeuille d'exemples pratiques d'adaptation des terres humides pour en illustrer les coûts et les avantages et commencer le processus d'apprentissage avec les partenaires et intervenants en vue de passer à l'action.

7.0 Résilience des terres humides côtières : un regard optimiste sur l'avenir

Les changements climatiques présentent une multitude de risques, de possibilités et de compromis pour la conservation des terres humides côtières des Grands Lacs et les personnes qui en dépendent. Ces changements vont probablement persister et, dans de nombreux cas, s'intensifier au cours des prochaines décennies. Notre préparation à ces changements présente de grandes lacunes, et la recherche indique que les efforts d'adaptation actuels sont insuffisants face à l'accumulation des pertes écologiques, sociales et économiques.

Lorsque les gouvernements, les responsables des politiques et la communauté de conservation planifient en vue des impacts des changements climatiques, il est crucial qu'ils s'assurent que

les terres humides côtières maintiennent leur biodiversité et fonctionnent de manière à fournir des services écologiques indispensables. La majorité de la population du bassin des Grands Lacs vit et pratique des loisirs à proximité du littoral. Les collectivités et les résidents du littoral doivent donc vivre en harmonie avec les terres humides côtières et les espèces indigènes qu'elles abritent. Des interventions urgentes, soutenues par des investissements importants, sont nécessaires afin d'accroître la résilience aux changements climatiques grâce à l'adaptation. Il est impératif de prendre des décisions éclairées en s'appuyant sur les meilleures données et connaissances scientifiques disponibles.

Fort heureusement, on reconnaît de plus en plus l'interconnexion entre les changements climatiques, la biodiversité et le bien-être humain. Les valeurs sociales, écologiques et économiques des terres humides côtières sont désormais largement reconnues et le public est fermement en faveur de leur protection. La science et la surveillance ont fait de grands progrès, et il existe un ensemble immense de stratégies de conservation et de ressources humaines et techniques complémentaires sur lesquelles s'appuyer. Les politiques, les ententes et les programmes fédéraux et provinciaux jouent un rôle important dans l'évaluation et la restauration des terres humides côtières. Des leçons sur les bonnes pratiques continuent d'être apprises pour aider à guider une adaptation réussie. Les gestionnaires des terres humides côtières de plusieurs administrations se mobilisent en faveur de l'adaptation aux changements climatiques. De plus, des financements jamais vus auparavant sont disponibles pour protéger la biodiversité grâce à l'établissement d'aires protégées et de conservation, à la conservation des espèces en péril et à des solutions climatiques axées sur la nature, notamment la restauration des écosystèmes dégradés, l'amélioration des pratiques de gestion des terres et la conservation des écosystèmes riches en carbone.

Le présent livre blanc établit un cadre d'adaptation permettant aux gestionnaires des terres humides d'obtenir les informations et ressources essentielles pour comprendre les stratégies d'adaptation aux changements climatiques, les concevoir et les mettre en œuvre. Six stratégies générales fournissent les objectifs généraux initiaux pour concevoir des approches d'adaptation aux changements climatiques. Les 17 mesures d'adaptation relevant de ces stratégies énoncent plus précisément les options et les objectifs. Enfin, plus de 150 options illustrent des solutions spécifiques à intégrer dans les plans. Ensemble, elles peuvent être utilisées pour atteindre l'objectif commun d'améliorer la conservation des terres humides côtières et la résilience aux changements climatiques.

Il convient ensuite d'appliquer ces connaissances à la conception, la mise en œuvre et l'évaluation des mesures d'adaptation afin de favoriser un apprentissage continu. La coordination, la coopération et la collaboration entre les gouvernements, les collectivités autochtones, les organisations environnementales non gouvernementales et les propriétaires fonciers locaux seront nécessaires pour tirer parti de l'intégralité des connaissances, des capacités techniques et du soutien financier des différentes administrations. Des actions collectives peuvent soutenir et préserver les nombreuses fonctions, valeurs et services des terres humides dont dépendent la communauté humaine et la biodiversité des Grands Lacs.

Références

- Abrahams, C. (2008). Climate change and lakeshore conservation: A model and review of management techniques. *Hydrobiologia*, 613, 33–43. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9192-6_5.
- Acreman, M., Blake, J., Booker, D., Harding, R., Reynard, N., Mountford, J., & Stratford, C. (2009). A simple framework for evaluating regional wetland ecohydrological response to climate change with case studies from Great Britain. *Ecohydrology*, 2(1), 1-17.
- Acreman, M., Hughes, K.A., Arthington, A.H., Tickner, D. & Duenas, M-A. (2020). Protected areas and freshwater biodiversity: A novel systematic review distils eight lessons for effective conservation. *Journal for Conservation Biology*. Conservation Letters. 13(1).
- Expert Panel of Climate Change (2009): Adapting to climate change in Ontario: Towards the design and implementation of a strategy and action plan. Report of the Expert Panel on Climate Change Adaptation to the Minister of the Environment. 2009. Queens Printer for Ontario.
- Agard, J., Schipper, L., Birkmann, J., Campos, M., Dubeux, C., Nojiri, & Y., Bilir, E. (2014). WGII AR5 glossary. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) 5th assessment report. http://ipcc-wg2.gov/AR5/images/uploads/WGIAR5-Glossary_FGD.
- Ahiablame, L., Engel, B., & Chaubey, I. (2012). Effectiveness of low impact development practices: Literature review and suggestions for future research. *Water, Air, & Soil Pollution*, 223(7), 4253-4273.
- Albert, D., Wilcox, D., Ingram, J., & Thompson, T. (2005). Hydrogeomorphic classification for Great Lakes coastal wetlands. *Environmental Science and Biology Faculty Publications*. 50.
- Alexander, K., Crewe, H., Ferrier, E. Warren, J. 2015. Smart Practices for the Control of Invasive Phragmites along Ontario's Roads. Pp. 31
- Allin, C., & Husband, T. (2003). Mute swan (*Cygnus olor*) impact on submerged aquatic vegetation and macroinvertebrates in a Rhode Island coastal pond. *Northeastern Naturalist*, 10(3), 305-318. doi: [https://doi.org/10.1656/1092-6194\(2003\)010\[0305:MSCOIO\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1656/1092-6194(2003)010[0305:MSCOIO]2.0.CO;2).
- Alofs, K. & Jackson, D. (2014). The abiotic and biotic factors limiting establishment of predatory fishes at their expanding northern range boundaries in Ontario, Canada. *Global Change Biology*, 21, 2227-2237.

- Asian Carp Canada. (2021). Efforts in the Chicago Area Waterway System – Asian Carp Canada. <https://asiancarp.ca/surveillance-prevention-and-response/efforts-in-the-chicago-area-waterway-system/>.
- Aslan, C., Petersen, B., Shiels, A., Haines, W., & Liang, C. (2018). Operationalizing resilience for conservation objectives: the 4S's. *Restoration Ecology*, 26(6), 1032–1038.
- Audubon. (2019) Survival by degrees: 389 species on the brink. *Audubon Magazine*, Fall 2019 Climate Issue.
- Austin, J., Anderson, S., Courant, P., & Litan, R. (2007). America's north coast: A benefit–cost analysis of a program to protect and restore the Great Lakes. *Brookings Institute*, Washington DC.
- Bailey, M., Petrie, S., & Badzinski, S. (2008). Diet of mute swans in lower Great Lakes coastal marshes. *The Journal of Wildlife Management*, 72(3), 726-732. doi: <https://doi.org/10.2193/2007-133>.
- Bajer, P., Chizinski, C., & Sorensen, P. (2011). Using the Judas technique to locate and remove wintertime aggregations of invasive common carp. *Fisheries Management and Ecology*, 18(6), 497-505.
- Ball, J. (1990). Influence of subsequent flooding depth on cattail control by burning and mowing. *Journal of Aquatic Plant Management*, 28(1), 32-36.
- Bansal, S., Lishawa, S., Newman, S., Tangen, B., Wilcox, D., Albert, D., . . . Elgersma, K. (2019). Typha (Cattail) invasion in North American wetlands: Biology, regional problems, impacts, ecosystem services, and management. *Wetlands*, 39(4), 645-684. doi: <https://doi.org/10.1007/s13157-019-01174-7>.
- Baird (2008). Colchester to southeast shoal littoral cell study. Prepared for the Essex Region Conservation Authority.
- Baird (2019). Adapting to the future storm and ice regime in the Great Lakes: Lake Erie and Ontario nearshore wave and surge modelling. Prepared for Zuzek Inc.
- Barr, S. L., Larson, B.M.H., Beechey, T.J., Scott, D.J. (2021) Assessing climate change adaptation progress in Canada's protected areas. *The Canadian Geographer*. 65(2): 152-165.
- Barrows, C, Ramirez, A, Sweet, L, Morelli, T, Millar, C, Frakes, N, Rodgers, J, & Mahalovich, M. (2020). Validating climate-change refugia: Empirical bottom-up approaches to support management actions. *Frontiers in Ecology and the Environment*. 18(5), 298-306. doi:10.1002/fee.2205.

- Bartolai, He, Hurst, Mortsch, Paehlke, & Scavia. (2014). Climate change as a driver of change in the Great Lakes St. Lawrence River Basin. <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2014.11.012>.
- Bartolai, A. M., He, L., Hurst, A. E., Mortsch, L., Paehlke, R., & Scavia, D. (2015). Climate change as a driver of change in the Great Lakes St. Lawrence River Basin. *Journal of Great Lakes Research*, 41, 45-58. <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2014.11.012>
- Beavers, R.L., A.L. Babson, & C.A. Schupp [eds.]. (2016). Coastal adaptation strategies handbook. NPS 999/134090. *National Park Service*. Washington, DC.
- Beller E, Robinson A, Grossinger R, & Grenier L. (2015). Landscape resilience framework: Operationalizing ecological resilience at the landscape scale. Prepared for Google Ecology Program. *Resilient Landscapes Program, 752*, San Francisco Estuary Institute, Richmond, CA.
- Beller. E., Spotwood. E.N., Robinson A. H., Anderson, M.G., Higgs, E.S., Hobbs, R.J., . . . Grossinger, R.M. (2019). Building ecological resilience in highly modified landscapes bioscience. *BioScience*, 69(1), 80-92.
- Biggs, R. M. Schlüter, M.L. Schoon (eds). (2015). Principles for building resilience - Sustaining ecosystem services in social-ecological systems. Cambridge University Press.
- Blossey, B., Endriss, S., Casagrande, R., Hafliger, P., Hinz, H., Davalos, A., . . . Bouchier, R. (2020). When misconceptions impede best practices: Evidence supports biological control of invasive Phragmites. *Biological Invasions*, 22, 873-883. doi: <https://doi.org/10.1007/s10530-019-02166-8>.
- Bodamer, B., & Bossenbroek, J. (2008). Wetlands as barriers: Effects of vegetated waterways on downstream dispersal of zebra mussels. *Freshwater Biology*, 53, 2051-2060. doi:10.1111/j.1365-2427.2008.02027.x.
- Boesch, D. (2019). Barriers and bridges in abating coastal eutrophication. *Frontiers in Marine Science*, 6, 123.
- Borchert, S., Osland, M.J., & Enwright, N.M. 2018. Coastal wetland adaptation to sea level rise: Quantifying potential for landward migration and coastal squeeze. *Journal of Applied Ecology*. 55(6), 2876-2887. DOI: 10.1111/1365-2664.13169.
- Bowman, S., & Smith, S. (2012). A management strategy for emerald ash borer in St. Lawrence Islands National Park. *Forestry Chronicle*, 88(2), 124-130. doi: 10.5558/tfc2012-028.
- Bourgeau-Chavez, L. L., Scarbrough, K. A., Miller, M. E., Banda, C., E., Battaglia, M. J., . . . Brooks, C. N. (2012). Mapping coastal Great Lakes wetlands and adjacent land use through hybrid optical-infrared and radar image classification techniques. *IAGLR 55th Annual Conference on Great Lakes Research*. https://digitalcommons.mtu.edu/mtri_p/108.

- Braun, K.N., Theuerkauf, E.J., Masterson, A.L., Curry, B.B., & Horton, D.E. (2019) Modeling organic carbon loss from a rapidly eroding freshwater coastal wetland. *Scientific Reports*, 9, 1–13.
- Brazner, J.C., Danz, N.P., Trebitz, A.S., Niemi, G.J., Regal, R.R., Hollenhorst, T., . . . Ciborowski, J.J.H. (2007). Responsiveness of Great Lakes wetland indicators to human disturbances at multiple spatial scales: a multi-assemblage assessment. *Journal of Great Lakes Research*, 33(3), 42–66.
- Brazner, J.C., Sierszen, M.E., Keough, J.R., & Tanner, D.K. (2000). Assessing the ecological importance of coastal wetlands in a large lake context. *Verhandlungen des Internationalen Verein Limnologie*, 27, 1950–1961.
- Breed, M., Harrison, P., Bischoff, A., Durruty, P., Gellie, N., Gonzales, E., . . . Bucharova, A. (2018). Priority Actions to Improve Provenance Decision-Making. *BioScience*, 68(7), 510-516. doi: <https://doi.org/10.1093/biosci/biy050>.
- Brinker, S.R., M. Garvey & C.D. Jones. (2018). Climate change vulnerability assessment of species in the Ontario Great Lakes Basin. *Ontario Ministry of Natural Resources and Forestry, Science and Research Branch, Peterborough, ON. Climate Change Research Report CCRR-48*, 85.
- Brooks, N., & Adger, N. (2005). Assessing and enhancing adaptive capacity. In B. Lim, I. Burton, E. Malone, & S. Hug, *Adaptation policy frameworks for climate change: Developing strategies, policies and measures. Cambridge, UK: Cambridge University Press*, 165-181.
- Bruce Peninsula Biosphere Association. (2018). *Community Conservation and Stewardship Plan*.
- Bruland, G., & Richardson, C. (2005). Hydrologic, edaphic, and vegetative responses to microtopographic reestablishment in a restored wetland. *Restoration Ecology*, 13(3), 515-523. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1526-100X.2005.00064.x>.
- Burke, T., Bywater, D., Krievins, K., Pollock, B., Clark, B. & Paterson, C. (2018). State of the bay report. Technical Report for Eastern and Northern Georgian Bay. *Georgian Bay Biosphere Reserve*.
- Byun, K., & Hamlet, A.F. (2018). Projected changes in future climate over the Midwest and Great Lakes region using downscaled CMIP5 ensembles. *International Journal of Climatology*, 38. DOI: 10.1002/joc.5388.
- Cahn, A. (1929). The effect of carp on a small lake: The carp as a dominant. *Ecology*, 10, 271-274.

- Calhoun, A., Arrigoni, J., Brooks, R., Hunter, M., & Richter, S. (2014). Creating successful vernal pools: A literature review and advice for practitioners. *Wetlands*, 34, 1027-1038. doi: <https://doi.org/10.1007/s13157-014-0556-8>.
- Carlson Mazur, M.L, Kowalski, K.P., & Galbraith, D. (2014). Assessment of suitable habitat for *Phragmites australis* (common reed) in the Great Lakes coastal zone. *Aquatic Invasions*, 9(1), 1–19.
- Canada-Ontario Agreement on Great Lakes Water Quality and Ecosystem Health (2021). Ministry of the Environment, Conservation and Parks and Environment and Climate Change Canada. <https://www.ontario.ca/document/canada-ontario-great-lakes-agreement>.
- Canadian Food Inspection Agency (CFIA). (2020). Forestry. Canada.ca. <https://www.inspection.gc.ca/plant-health/forestry/don-t-move-firewood/eng/1500309474824/1500309544561>.
- Carroll, C., Roberts D.R., Michalak J.L., et al. (2017). Scale- dependent complementarity of climatic velocity and environmental diversity for identifying priority areas for conservation under climate change. *Global Change Biol*, 23, 4508–20.
- Carson, B.D., Lishawa, S.C., Tuchman, N.C., Monks, A.M., Lawrence, B.A., & Albert, D.A. (2018). Harvesting invasive plants to reduce nutrient loads and produce bioenergy; an assessment of Great Lakes coastal wetlands. *Ecosphere*, 9(6).
- Chamberlain, E. (1948). Ecological factors influencing the growth and management of certain waterfowl foods plants on Back Bay National Wildlife Refuge. *Transactions of the North American Wildlife Conference*, 13, 347-356.
- Chambers, Jeanne C., Allen, Craig R., Cushman, & Samuel A. (2019) Operationalizing ecological resilience concepts for managing species and ecosystems at risk. *Nebraska Cooperative Fish & Wildlife Research Unit*, 269.
- Chape, S., Harrison, J., Spalding, M., & Lysenko, I. (2005). Measuring the extent and effectiveness of protected areas as an indicator for meeting global biodiversity targets. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series B, Biological Sciences*, 360(1454), 443–455.
- Chapin, F., et al. (eds.). (2009). Principles of ecosystem stewardship. Springer Science+Business Media, LLC. DOI: 10.1007/978-0-387-73033-2_6.
- Chapman, D., Davis, J., Jenkins, J., Kocovsky, P., Miner, J., Farver, J., & Jackson, R. (2013). First evidence of grass carp recruitment in the Great Lakes Basin. *Journal of Great Lakes Research*, 4, 547-554. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2013.09.019>.

- Chapman, D., Benson, A., Embke, H., King, N., Kocovsky, P., Lewis, T., Mandrak, N. (2021). Status of the major aquaculture carps of China in the Laurentian Great Lakes Basin. *Journal of Great Lakes Research*, 47(1), 3-13.
- Chen, I., Hill, J., Ohlemüller, R., Roy, D. & Thomas, C. (2011). Rapid range shifts of species associated with high levels of climate warming. *Science (New York, N.Y.)*, 333, 1024-6. 10.1126/science.1206432.
- Chow-Fraser, P. (1998). A conceptual ecological model to aid restoration of Cootes Paradise Marsh, A degraded coastal wetland of Lake Ontario, Canada. *Wetlands Ecology and Management*, 6, 43-57.
- Chow-Fraser, P. (2006). Development of the water quality index (WQI) to assess effects of Basin-wide land-use alteration on coastal marshes of the Laurentian Great Lakes. In *Coastal wetlands of the Laurentian Great Lakes: Health, Habitat and Indicators*, 137 -185.
- Chin, A.T.M., Tozer, D.C., & Fraser, G.S. (2014). Hydrology influences generalist–specialist bird-based indices of biotic integrity in Great Lakes coastal wetlands. *Journal of Great Lakes Research*, 40, 281-287.
- Clamen, & Macfarlane. (2018). Plan 2014: The historical evolution of Lake Ontario–St. Lawrence River regulation. *Canadian Water Resources Journal*, 43(4), 416–431. <https://doi.org/10.1080/07011784.2018.1475263>.
- Cleveland Museum of Natural History. (2017). Mentor marsh & Carol H. Sweet Nature Center. <https://www.cmnh.org/mentor-marsh>.
- CMS (2020). Improving ways of addressing connectivity in the conservation of migratory species, *Resolution*, 12, 26 (REV.COP13), Gandhinagar, India (17-22 February 2020). UNEP/CMS/COP13/CRP 26.4.4. https://www.cms.int/sites/default/files/document/cms_cop13_crp26.4.4_addressing-connectivity-in-conservation-of-migratory-species_e_0.docx.
- Cohen-Shacham, Walters, G., Janzen, E., & Maginnis, S. (2016). Nature-based solutions to address societal challenges. Gland, Switzerland: International Union for Conservation of Nature.
- Cohen-Shacham, E., Andrade, A., Dalton, J., Dudley, N., Jones, M., Kumar, C., . . . Walters, G. (2019) Core principles for successfully implementing and upscaling nature-based solutions. *Environmental Science & Policy*, 98, 20-29.
- Collingsworth, P., Bunnell, D., Murray, M., Kao, Y., Feiner, Z., Claramunt, R., . . . Ludsin, S. (2017). Climate change as a long-term stressor for the fisheries of the Laurentian Great Lakes of North America. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 27, 363-391.

- Comer, P.J., Young, B., Schulz, K., Kittel, G., Unnasch, B., Braun, D., . . . Hammerson G. (2012). Climate change vulnerability and adaptation strategies for natural communities: piloting methods in the Mojave and Sonoran deserts. Report to the U.S. Fish and Wildlife Service, NatureServe, Arlington, VA.
- Conover, M., & Kania, G. (1994). Impact of interspecific aggression and herbivory by mute swans on native waterfowl and aquatic vegetation in New England. *The Auk*, 111(3), 744-748.
- Convention on Biological Diversity. (2004). The ecosystem approach, (CBD Guidelines) Montreal: *Secretariat of the Convention on Biological Diversity*, 50.
- Convention on Biological Diversity. (2010). What are invasive alien species? Convention on biological diversity. Available online: <https://www.cbd.int/invasive/WhatareIAS.shtml>.
- Convention on Biological Diversity. (2011). Invasive alien species: A threat to biodiversity. <https://www.cbd.int/doc/bioday/2009/idb-2009-booklet-en.pdf>.
- Convention on Biological Diversity. (2021). Ecosystem approach. <https://www.cbd.int/ecosystem/>.
- Cooper, M. G. (2012). Edge effects on abiotic conditions, zooplankton, macroinvertebrates, and larval fishes in Great Lakes fringing marshes. *Journal of Great Lakes Research*, 38(1), 142-151.
- Cooper, M., Lamberti, G., Moerke, A., Ruetz, C., Wilcox, D., Brady, V., . . . Johnson, L. (2018). An expanded fish-based index of biotic integrity for Great Lakes coastal wetlands. *Environmental Monitoring and Assessment*, 190(10), 580.
- Cooper, M., Ruetz, C., Uzarski, D., & Burton, T. (2007). Distribution of round gobies in coastal areas of Lake Michigan: Are wetlands resistant to invasion? *Journal of Great Lakes Research*, 33, 303-313.
- Coristine, L.E., Jacob, A.L., Schuster, R., Otto, S.P., Baron, N.E., Bennett, N.J., . . . Dey Woodley, S. (2018). Informing Canada's commitment to biodiversity conservation: A science-based framework to help guide protected areas designation through Target 1 and beyond. *FACETS* 3:531–562. doi: 10.1139/facets-2017-0102.
- Costanza, K., Livingston, W., Kashian, D., Slesak, R., Tardif, J., Dech, J., . . . Reinikainen, S. N. (2017). The precarious state of a cultural keystone species: Tribal and biological assessments of the role and future of black ash. *Journal of Forestry*, 115(5), 435-446. doi: <https://doi.org/10.5849/jof.2016-034R1>.

- Croft, M. V., & Chow-Fraser, P. (2007). Use and development of the wetland macrophyte index to detect water quality impairment in fish habitat of Great Lakes coastal marshes. *Journal of Great Lakes Research*, 33, 172-197.
- Croft-White, M. V., Cvetkovic, M., Rokitnicki-Wojcik, D., Midwood, J. D., & Grabas, G. P. (2017). A shoreline divided: twelve-year water quality and land cover trends in Lake Ontario coastal wetlands. *Journal of Great Lakes Research*, 43(6), 1005-1015.
- Crooks, K. & Sanjayan, M (2006). Connectivity conservation: Maintaining connections for nature. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Crowe, A.S., & Shikaze, S.G. (2004) Linkages between groundwater and coastal wetlands of the Laurentian Great Lakes. *Aquatic Ecosystem Health and Management Society*, 7(2), 199-204.
- Cudmore, B., Jones, L.A., Mandrak, N.E., Dettmers, J.M., Chapman, D.C., Kolar, C.S, & Conover, G. 2017. Ecological risk assessment of grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) for the Great Lakes Basin. *DFO Canadian Science Advisory Secretariat Research Document*, 2016/118, 115.
- Dananay, K. L., Krynak, K. L., Krynak, T. J., & Benard, M. F. (2015). Legacy of road salt: Apparent positive larval effects counteracted by negative postmetamorphic effects in wood frogs. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 34(10), 2417-2424.
- Dance, K., & Hynes, H. (2003). Some effects of agricultural land usage onstream insect communities. *Environnemental Pollution*, 22(1), 19-28.
- D'Amato, A., Palik, B., Slesak, R., Edge, G., Matula, C., & Bronson, D. (2018). Evaluating adaptive management options for black ash forests in the face of emerald ash borer invasion. *Forests*, 9(6), 348.
- Davis, M., & Shaw, R. (2001). Range shifts and adaptive responses to quaternary climate change. *Science*, 292(5517), 673-679. doi: 10.1126/science.292.5517.673.
- Dehghan, A. (2019). Projections of key climate variables for use in wetlands vulnerability assessment. Environment and Climate Change Canada.
- Delaney, F. & Milner, G. (2019). The state of climate modeling in the Great Lakes Basin. A Synthesis in Support of a Workshop held on June 27, 2019 in Ann Arbor, MI. Toronto, Canada.
- Denton, F., T.J. Wilbanks, A.C. Abeyasinghe, I. Burton, Q. Gao, M.C. Lemos, . . . K. Warner, . (2014). Climate-resilient pathways: adaptation, mitigation, and sustainable development. In: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of WorkingGroup II to the Fifth Assessment Report of the*

Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. *Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA*, 1101-1131.

- Díaz, S., Settele, J., Brondízio, E., Ngo, H.T., Guèze, M., Agard, . . . Butchart, S. (2019). Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the intergovernmental science-policy platform on biodiversity and ecosystem services. IPBES Secretariat, Bonn.
- Didiano, Johnson, & Duval. (2018). Response of herbaceous wetland plant species to changing precipitation regimes. *Ecohydrology*, 11(8), e2030. <https://doi.org/10.1002/eco.2030>.
- Doka, S., Ingram, J., Mortsch, L.S., Hebb, A. (2006). Preparing for climate change: Assessing adaptation strategies for coastal wetlands. In Mortsch, Linda, Ingram, Joel W., Hebb, Andrea, & Doka, Susan (Eds.), *Great Lakes Coastal Wetland Communities: Vulnerabilities to Climate Change and Response to Adaptation Strategies* (pp. 179–247). Environment Canada and the Department of Fisheries and Oceans.
- Ducks Unlimited Canada. (2010). Southern Ontario wetland conversion analysis – Final Report. Retrieved from [duc_ontariowca_optimized.pdf](#) (longpointbiosphere.com).
- Ducks Unlimited Canada. (2013). Ontario species at Risk manual for wetland restoration and management. Barrie, Ontario.
- Ducks Unlimited Canada. (2014). Operational guide: Forest Road Wetland Crossings. Sustainable Forestry Initiative, FP Innovations, LP Building Products and Weyerhaeuser. *Learning from Field Trials in the Boreal Plains Ecozone of Manitoba and Saskatchewan*, 1, 44.
- Ducks Unlimited Canada. (2019). Habitat Offsetting Project a Win-win for Environment and Economy. <https://www.ducks.ca/news/provincial/ontario/habitat-offsetting-project-win-win-for-environment-economy/>.
- Dyson, M., Schummer, M., Barney, T., Fedy, C., Henry, H., & Petrie, S. (2018). Survival and habitat selection of wood duck ducklings. *Wildlife Management*, 82(8), 1725-1735. doi: <https://doi.org/10.1002/jwmg.21508>.
- Eimers, C.M., Liu, F., Bontje, J. (2020). Land Use, Land Cover, and Climate Change in Southern Ontario: Implications for Nutrient Delivery to the Lower Great Lakes. The Handbook of Environmental Recovery. Part of The Handbook of Environmental Chemistry book series (HEC, volume 101).

- ELI (Environmental Law Institute) (2016). Developing Wetland Restoration Priorities for Climate Risk Reduction and Resilience in the MARCO Region. 78 pp.
- Elmqvist, T., Folke, C., Nyström, M., Peterson, G., Bengtsson, J., Walker, B., & Norberg, J. (2003). Response diversity, ecosystem change, and resilience. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 1(9), 488-494.
- Environment and Climate Change Canada (ECCC). (2021). Canadian Baseline Coastal Habitat Survey: Lake Erie: Technical Addendum. 89pp. (Unpublished).
- Environment and Climate Change Canada (ECCC). (2016). Canadian Protected Area Status Report: 2012-2015. Cat. No.: En81-9/2016E-PDF ISBN: 978-0-660-05861.
- Environment and Climate Change Canada (ECCC). (2022a). Future hydroclimate variables and lake levels for the Great Lakes using data from the Coupled Model Intercomparison Project Phase 5. Environment and Climate Change Canada: Seglenieks, F. & Temgoua, A.
- Environment and Climate Change Canada (ECCC). (2022b). Great Lakes coastal wetland response to climate change using the coastal wetland response model (CWRM). Environment and Climate Change Canada: Sevingy, C., Thériault, D., Maranda, A., Gosselin, R., Roy, M., Hogue-Hugron, S., Fortin, N., Bachand, M., Morin, J.
- Environment and Climate Change Canada (ECCC). (2022c). Assessing the Sensitivity of Great Lakes Coastal Wetlands to Climate Change. Environment and Climate Change Canada: Quesnelle, P., Spencer, N., Abdulhamid, N., Denomme-Brown, S., Rivers, P., Hrynyk, M., Fiorino, G., Grabas, G.
- Environment and Climate Change Canada (ECCC). (2022d). Assessing the Adaptive Capacity of Great Lakes Coastal Wetlands to Climate Change. Environment and Climate Change Canada: Hrynyk, M., Quesnelle, P., Rivers, P., Duffe, J., Grabas, G., Mayne, G
- Environment and Climate Change Canada (ECCC). (2018). St. Clair National Wildlife Area Management Plan 2018. http://publications.gc.ca/collections/collection_2018/eccc/CW66-503-2018-eng.pdf.
- Environment and Climate Change Canada and U.S. Environmental Protection Agency. (2021). Lake Superior Lakewide Action and Management Plan, 2020-2024.
- Environment Canada. 2002. Where land meets water: Understanding wetlands of the Great Lakes. Environment Canada, Downsview, ON: Environment Canada, Canadian Wildlife Service. Catalogue No. CW66–212/2002E.
- Environment Canada and Ontario Ministry of Natural Resources. (2003). The Ontario Great Lakes Coastal Wetland Atlas: A summary of information (1983-1997). 57pp.

- Environment Canada. (2005). *Beyond Islands of green: A primer for using conservation Science to select and design community-based nature reserves*. Environment Canada. Toronto, Ontario 80 pp.
- Environment Canada. (2013). *How much habitat is enough? Third Edition*. Environment Canada. Toronto, Ontario. 130 pp.
- Environmental Commissioner of Ontario (ECO). (2018). *Climate action in Ontario: What's next? Greenhouse Gas Progress Report*. Environmental Commissioner of Ontario.
- Environmental Commissioner of Ontario (ECO). (2018). *Back to basics, Volume 4: Southern Ontario's wetlands and forests. 2018 Environmental Protection Report*. Environmental Commissioner of Ontario.
- Environmental Law and Policy Center (ELPC). (2019). *An assessment of the impacts of climate change on the Great Lakes. By Scientists and Experts from Universities and Institutions in the Great Lakes Region*. 74 pp.
- Enwright, Griffith, & Osland. (2016). Barriers to and opportunities for landward migration of coastal wetlands with sea-level rise. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 14(6), 307–316.
- Escobar, L., Mallez, S., McCartney, M., Lee, C., Zielinski, D., Ghosal, R., . . . Phelps, N. (2017). Aquatic invasive species in the Great Lakes region: An Overview. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 26(1), 121-138.
- Essex Region Conservation Authority (ERCA). (2002). *Essex Region Biodiversity Conservation Strategy - Habitat Restoration and Enhancement Guidelines (Comprehensive Version)*. Dan Lebedyk, Project Co-ordinator. Essex, Ontario. 181 pp.
- Eyzaguirre. (2020). *Green shores 2020: Impact, value and lessons learned final project report* Prepared for: The Stewardship Centre for BC.
- Farrer, E., & Goldberg, D. (2009). Litter drives ecosystem and plant community changes in cattail invasion. *Ecological Applications*, 19(2), 398-412.
- Fedele, G., Donatti, C.I., Harvey, C.A., Hannah, L., Hole, D.G. (2019). Transformative adaptation to climate change for sustainable social-ecological systems. *Environmental Science & Policy*, 101, 116-125.
- Federation of Canadian Municipalities. (2018). *Building Sustainable and Resilient Communities with Asset Management*. Federation of Canadian Municipalities. Available online: www.fcm.ca/gmf.

- Folke, C. (2006). Resilience: the emergence of a perspective for social ecological systems analysis. *Global Environmental Change*, 16, 253–267.
- Folke, C., Carpenter, S., Walker, B., Scheffer, M., Elmqvist, T., Gunderson, L., & Holling, C. (2004). Regime shifts, resilience, and biodiversity in ecosystem management. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 35, 557-581.
- Füssel, H.M. and Klein, R.J. (2006). Climate change vulnerability assessments: An evolution of conceptual thinking. *Climate Change*, 75, 301-329.
- Frieswyk, C., & Zedler, J. (2006). Do seed banks confer resilience to coastal wetlands invaded by *Typha x glauca*? *Canadian Journal of Botany*, 84(12), 1882-1893.
- Gallagher, G.E., Duncombe, R.K., Steeves, T.M. (2020). Establishing Climate Change Resilience in the Great Lakes in Response to Flooding. *Journal of Science, Policy & Governance*, 17(1). <https://doi.org/10.38126/JSPG170105>
- Gallopín, G. (2006). Linkages between vulnerability, resilience, and adaptive capacity. *Global Environmental Change*, 16(3), 293-303.
- Galloway, M., Bouvier, L., Meyer, S., Ingram, Doka, S., Grabas, G., Holmes, K., Mandrak, N. (2006). Evaluation of current wetland dyking effects on coastal wetlands and biota. In Mortsch, L., Ingram, J., Hebb, A., & Doka, S. (Eds.), *Great Lakes Coastal Wetland Communities: Vulnerabilities to Climate Change and Response to Adaptation Strategies to Climate Change and Impacts and Adaptation Program*, Natural Resources Canada.
- Gauthier, S., Bernier, P. Burton, P.J., Edwards, J., Isaac, K., Isabel, . . . Le Goff, H.E. (2014). Climate change vulnerability and adaptation in the managed Canadian boreal forest. *Environmental Reviews*, 22(3): 256-285.
- Gathman, J., & Burton, T. (2011). A Great Lakes coastal wetland invertebrate community gradient: Relative influence of flooding regime and vegetation zonation. *Wetlands*, 31, 329-341. Doi: DOI 10.1007/s13157-010-0140-9.
- Gehring, T., Blass, C., Murray, B., & Uzarski, D. (2020). Great Lakes coastal wetlands as suitable habitat for invasive mute swans in Michigan. *Journal of Great Lakes Research*, 46(2), 323-329. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2019.12.013>
- Gleason, R., Euliss, N., Hubbard, D., & Duffy, W. (2003). Effect of sediment load on the emergence of aquatic invertebrates and plants from wetland soil egg and seed banks. *Wetlands*, 23(1), 26-34.
- Global Commission on Adaptation (GCA). (2016). *Adapt Now: A global call for leadership on climate resilience*. pp 90.

- Gilbert, J., & Vilder, N. (2013). Invasive Phragmites management plan for the municipality of Lambton Shores, Ontario. <http://lspcg.com/wp-content/uploads/2017/03/Invasive-Phragmites-Management-Plan-for-LS.pdf>.
- Gitay, H., Finlayson, C.M. & Davidson, N.C. (2011). A framework for assessing the vulnerability of wetlands to climate change. Ramsar Technical Report No. 5/CBD Technical Series No. 57. Ramsar Convention Secretariat, Gland, Switzerland & Secretariat of the Convention on Biological Diversity, Montreal, Canada. ISBN 92-9225-361-1 (print); 92-9225-362-X (web).
- Glick, P., J. Hoffman, M. Koslow, A. Kane, D. Inkley. (2011). Restoring the Great Lakes' coastal future: Technical guidance for the design and implementation of climate-smart restoration projects. National Wildlife Federation and EcoAdapt, Washington, D.C. https://permanent.access.gpo.gov/gpo22104/final_restoring_the_great_lakes_coastal_future_2011.pdf.
- Glick, P., Staudt, A., & Stein, B. (2009). A new era for conservation: Review of climate change adaptation literature. Technical Report. *National Wildlife Federation*.
- GLISA-Great Lakes Integrated Sciences and Assessment. (2018). Synthesis of the third national climate assessment for the Great Lakes Region, <http://glisa.umich.edu/resources/nca>.
- GLISA - Great Lakes Integrated Sciences & Assessments. (2016). Managing climate change and variability risks in the Great Lakes Region, 2010-2016, Phase 1 Final Report. University of Michigan.
- Government of Canada (2004). An invasive alien species strategy for Canada. http://publications.gc.ca/collections/collection_2014/ec/CW66-394-2004-eng.pdf.
- Government of Canada. (2011). Species profile - Black ash. Species at Risk Public Registry: https://wildlife-species.canada.ca/species-risk-registry/species/speciesDetails_e.cfm?sid=1445.
- Government of Canada. (2017). Update on Great Lakes areas of concern. <https://www.canada.ca/en/environment-climate-change/services/great-lakes-protection/areas-concern/update/working-walpole-first-nation-restore-wetlands.html>.
- Grabas, G., Blukacz-Richards, E., & Pernanen, S. (2012). Development of a submerged aquatic vegetation community index of biotic integrity for use in Lake Ontario coastal wetlands. *Journal of Great Lakes Research*, 38, 243-250. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.jglr.2012.02.014>.

- Grace, J. (1989). Effects of water depth on *Typha latifolia* and *Typha domingensis*. *American Journal of Botany*, 76(5), 762-768. doi: <https://doi.org/10.1002/j.1537-2197.1989.tb11371.x>.
- Grand, J., Saunders, S.P., Michel, N.L., Elliott, L., Beilke, S., Bracey, . . . Wilsey, C. (2020) Prioritizing coastal wetlands for marsh bird conservation in the U.S. Great Lakes. *Biological Conservation*, 249, 1-12.
- Great Lakes – St. Lawrence River Adaptive Management Committee. (2020). Short-term and long-term strategy for evaluating and improving the rules for managing releases from Lakes Ontario and Superior.
- Great Lakes Wild Rice Initiative (GLWRI). Lake Superior Manoomin cultural and ecosystem characterization study. Retrieved from 1854 Treaty Authority: https://www.1854treatyauthority.org/images/Manoomin_Final.Report_Online.Version_2020.05.29-compressed.pdf.
- Great Lakes Water Quality Agreement (2012). Protocol Amending the Agreement Between Canada and the United States of America on Great Lakes Water, 1978, as Amended 2012 and entered into force February 12, 2013.
- Greenberg, D., & Green, D. (2013). Effects of an invasive plant on population dynamics in toads. *Conservation Biology*, 27(5), 1049-1057. doi: <https://doi.org/10.1111/cobi.12078>.
- Gregg, R.M., K.M. Feifel, J.M. Kershner, & J.L. Hitt. (2012). The state of climate change adaptation in the Great Lakes Region. EcoAdapt, Bainbridge Island, WA.
- Griffith, B., Scott, J.M., Adamcik, R., Ashe, D., Czech, B., Fischman, R., . . . Pidgorna, A., (2009). Climate change adaptation for the US National Wildlife Refuge System. *Environment Management*, 44, 1043–1052. <http://dx.doi.org/10.1007/s00267-009-9323-7> ER.
- Gronewold, A. D., Fortin, V., Lofgren, B., Clites, A., Stow, C. A., & Quinn, F. (2013). Coasts, water levels, and climate change: A Great Lakes perspective. *Climatic Change*, 120(4), 697-711. <https://doi.org/10.1007/s10584-013-0840-2>
- Gross, J.E., Woodley, S., Welling, L.A., & Watson, J.E.M. (eds.) (2016). Adapting to climate change: Guidance for protected area managers and planners. *Best Practice Protected Area Guidelines Series*, 24, Gland, Switzerland: IUCN.
- Gunderson, L. (2000). Ecological resilience—in theory and application. *Annual review of 583 ecology and systematics*, 425–439.
- Gunderson, L. (2010). Ecological and human community resilience in response to natural disasters. *Ecology and Society*, 15(2), 18.

- Hamilton, C., Bateman, B., Gorzo, J., Reid, B., Thogmartin, W., Peery, M., . . . Pidgeon, A. (2018). Slow and steady wins the race? Future climate and land use change leaves the imperiled Blanding's turtle (*Emydoidea blandingii*) behind. *Biological Conservation*, 222, 75-85. [10.1016/j.biocon.2018.03.026](https://doi.org/10.1016/j.biocon.2018.03.026).
- Hansen, A., Dolph, C., Fougoula-Georgiou, E., & Finlay, J. (2018). Contribution of wetlands to nitrate removal at the watershed scale. *Nature Geoscience*, 11(2), 127-132.
- Harrison, A.M., Reisinger, A.J., Cooper, M.J., Brady, V.J., Ciborowski, J.J.H., O'Reilly, K.E., Ruetz, C.R., Wilcox, D.A., Uzarski, D.G. (2020) A basin-wide survey of coastal wetlands of the Laurentian Great Lakes: Development and comparison of water quality indices. *Wetlands*, 40, 465-477.
- Hartwig, T., & Kiviat, E. (2007). Microhabitat association of Blanding's Turtles in natural and constructed wetlands in southeastern New York. *The Journal of Wildlife Management*, 71(2), 576-582.
- Hecnar, S.J. (2004) Great Lakes wetlands as amphibian habitats: A review. *Aquatic Ecosystem Health and Management*, 7(2), 289-303.
- Heer, Wells, & Mandrak. (2019). Assessment of Asian carp spawning potential in tributaries to the Canadian Lake Ontario Basin. *Journal of Great Lakes Research*, 45(6), 1332–1339. <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2019.09.019>.
- Heinrich, & Penning-Roswell. (2020). Flood risk management under uncertainty in transboundary Basins: a delicate balancing act. *International Journal of River Basin Management*. <https://doi.org/10.1080/15715124.2020.1837845>.
- Heller, N. & Zavaleta, E. (2009). Biodiversity management in the face of climate change: A review of 22 years of recommendations. *Biological Conservation*, 142(1), 14-32, ISSN 0006-3207.
- Herrick, Morgan, & Wolf. (2007). Seed banks in diked and undiked Great Lakes coastal wetlands. *The American Midland Naturalist*, 158(1), 191-206. <https://go-gale-com.proxy.queensu.ca/ps/i.do?p=AONE&sw=w&issn=00030031&v=2.1&it=r&id=GALE%7CA167254666&sid=googleScholar&linkaccess=fulltext>.
- Herrick, Morgan, & Wolf. (2007). Seed banks in diked and undiked Great Lakes coastal wetlands. *The American Midland Naturalist*, 158(1), 191–206. <https://go-gale-com.proxy.queensu.ca/ps/i.do?p=AONE&sw=w&issn=00030031&v=2.1&it=r&id=GALE%7CA167254666&sid=googleScholar&linkaccess=fulltext>.
- Herrick, & Wolf. (2005). Invasive plant species in diked vs. undiked great lakes wetlands. *Journal of Great Lakes Research*, 31(3), 277–287. [https://doi.org/10.1016/S0380-1330\(05\)70259-8](https://doi.org/10.1016/S0380-1330(05)70259-8).

- Hille, S., Graeber, D., Kronvang, B., Rubaek, G., Onnen, N., Molina-Navarro, E., . . . Stutter, M. (2018). Management options to reduce phosphorus leaching from vegetated buffer strips. *Journal of Environmental Quality*, *48*(2), 322-329.
- Hilty, J., Worboys, G.L., Keeley, A., Woodley, S., Lausche, B., Locke, H., . . . Tabor, G.M. (2020). Guidelines for conserving connectivity through ecological networks and corridors. *Best Practice Protected Area Guidelines*, 30. Gland, Switzerland: IUCN.
- Hodgson, J.A., Thomas, C.D., Wintle, B.A., & Moilanen, A. (2009). Climate change, connectivity and conservation decision making: Back to basics. *Journal of Applied Ecology*, *46*, 964–969.
- Hoegh-Guldberg, O., Hughes, L., McIntyre, S., Lindenmayer, D., Parmesan, C., Possingham, H., & Thomas, C. (2008). Assisted colonization and rapid climate change. *Science*, *321*(5887), 345-346. doi:10.1126/science.1157897.
- Hoffman, A. R., Armstrong, D. E., Lathrop, R. C., & Penn, M. R. (2009). Characteristics and influence of phosphorus accumulated in the bed sediments of a stream located in an agricultural watershed. *Aquatic Geochemistry*, *15*(3), 371-389.
- Hohman, T. R., Howe, R. W., Tozer, D. C., Giese, E. E. G., Wolf, A. T., Niemi, G. J., ... & Norment, C. J. (2021). Influence of lake levels on water extent, interspersion, and marsh birds in Great Lakes coastal wetlands. *Journal of Great Lakes Research*.
- Holling, C. S. (1973). Resilience and stability of ecological systems. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* *4*, 1–23. doi: 10.1146/annurev.es.04.110173.000245.
- Howe, R.W., Regal, R.R., Hanowski, J., Niemi, G.J., Danz, N.P., Smith, C.R., 2007. An index of ecological condition based on bird assemblages in Great Lakes coastal wetlands. *J. Great Lakes Res.*, *33* (3), 93–105.
- Houlahan, J. & Findlay, C. (2003). The effects of adjacent land use on wetland amphibian species richness and community composition. *Canadian Journal of Fish Aquatic Science*, *60*(9):1078-1094.
- Houlahan, J., & Findlay, C. (2004). Estimating the ‘critical’ distance at which adjacent land-use degrades wetland water and sediment quality. *Landscape Ecology*, *19*(6), 677-690.
- Howell, E., Chomicki, K., & Kaltenecker, G. (2012). Patterns in water quality on Canadian shores of Lake Ontario: Correspondence with proximity to land and level of urbanization. *Journal of Great Lakes Research*, *38*(4), 32-46.
- Hudon, C., Lalonde, S., & Gagnon, P. (2000). Ranking the effects of site exposure, plant growth form, water depth, and transparency on aquatic plant biomass. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, *57*(S1), 31-42.

- ICF for Canadian Council of Ministers of the Environment. (2018). Best Practices and Resources on Climate Resilient Natural Infrastructure.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2007): Climate Change: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Q in, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, Cambridge University Press, 1535, doi:10.1017/CBO9781107415324.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2014). Summary for policymakers. In: Climate change 2014: Impacts, adaptation, and vulnerability. Part A: Global and sectoral aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [C. B. Field, V. R. Barros, D. J. Dokken, K. J. Mach, M. D. Mastrandrea, T. E. Bilir L. L. White (Eds.),] Cambridge: Cambridge University Press, 1–32.
- International Joint Commission. (2012). Lake Superior Regulation: Addressing Uncertainty in Upper Great Lakes Lake levels. www.iugls.org.
- International Joint Commission. (2020). Lake Ontario St. Lawrence River Regulation. <https://ijc.org/en/losrb/who/regulation>.
- International Union for Conservation of Nature. (2014). Lake Ontario St. Lawrence River Plan (2014): Protecting against extreme lake levels, restoring wetlands, and preparing for climate change. International Joint Commission, Washington, DC and Ottawa, Ontario.
- International Union for Conservation of Nature. (2017). Invasive Alien Species and Climate Change. IUCN: Gland, Switzerland. https://www.iucn.org/sites/dev/files/ias_and_climate_change_issues_brief_final.pdf
- IPBES (2019): Global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. E. S. Brondizio, J. Settele, S. Díaz, and H. T. Ngo (editors). IPBES secretariat, Bonn, Germany. XXX pages.
- Irons, K., Sass, G., McClelland, M., & Stafford, J. (2007). Reduced condition factor of two native fish species coincident with invasion of non-native Asian carps in the Illinois River, U.S.A. Is this evidence for competition and reduced fitness? *Journal of Fish Biology*, 71(Supplement D), 258-273.
- Iuell, B., Bekker, G., Cuperus, R., Dufek, J., Fry, G., Hicks, C., . . . Wandall, B. (2003). Wildlife and traffic: A European handbook for identifying conflicts and designing solutions.

- Jaeger, J.A.G. (2000). Landscape division, splitting index, and effective mesh size: New measures of landscape fragmentation. *Landscape Ecology*, 15, 115-130.
- Jain, N. & Carpay, S. (2020). Urban wetlands for cooler and climate-proof cities. Wetlands International. Wageningen.
- Janes, B.B. & Isenhardt, T.M. (2014). Reconnecting tile drainage to riparian buffer hydrology for enhanced nitrate removal. *Journal of Environmental Quality*, 43(2), 631-8.
- Januchowski-Hartley, S.R., McIntyre, P.B., Diebel, M., Doran, P.J., Infante, D.M., Joseph, C., & Allan, D. (2013). Restoring aquatic ecosystem connectivity requires expanding inventories of both dams and road crossings. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 11(4). 211-217.
- Joakim, E.P., Mortsch, L., & Oulahan, G., (2015). Using vulnerability and resilience concepts to advance climate change adaptation. *Environmental Hazards*, 14(2), 137-155.
- Johnston, C., Ghioca, D., Tulbure, M., Bedford, B., Bourdaghs, M., Frieswyk, C., . . . Zedler, J. (2008). Partitioning vegetation response to anthropogenic stress to develop multi-taxa wetland indicators. *Ecological Applications*, 18(4), 983-1001.
- Jones, J. (2019, October). The Manitoulin Phragmites Project - Results of 2019 Work. Retrieved from Municipality of Central Manitoulin: http://www.centralmanitoulin.ca/sites/default/files/2019_phrag_results_letter.pdf
- Jude, D. J., & Pappas, J. (1992). Fish utilization of Great Lakes coastal wetlands. *Journal of Great Lakes Research*, 18(4), 651-672.
- Kaminski, R., & Prince, H. (1981). Dabbling duck and aquatic macroinvertebrate responses to manipulated wetland habitat. *The Journal of Wildlife Management*, 45(1), 1-15.
- Kashian, D., & Burton, T. (2000). A comparison of macroinvertebrates of the Great Lakes coastal wetlands: testing potential metrics for an index for ecological integrity. *Journal of Great Lakes Research*, 26(4), 460-481.
- Keddy, P.A. & Reznicek, A.A. (1986). Great Lakes Vegetation Dynamics: The Role of Fluctuating Lake levels and Buried Seeds. *Journal of Great Lakes Research*, 1 (21), 25–36. [https://doi.org/10.1016/S0380-1330\(86\)71697-3](https://doi.org/10.1016/S0380-1330(86)71697-3).
- Keeley, A., Ackerly, D., Cameron, R., Heller, E., Huber, R., Schloss, . . . Merenlender, M. (2018a). New concepts, models, and assessments of climate-wise connectivity. *Environmental Research Letters*, 13(7), 73002. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aacb85>.
- Keeley, A.T., G. Basson, D.R. Cameron, N.E. Heller, P.R. Huber, C.A. Schloss, & A.M. Merenlender. (2018b). Making habitat connectivity a reality. *Conservation Biology*, 32(6).

- Keller, G., & Ketcheson, G. (2015). Storm damage risk reduction guide for low-volume roads. San Dimas, CA: United States Department of Agriculture, Forest Service, San Dimas Technology and Development Center. <https://www.fs.fed.us/t-d/pubs/pdfpubs/pdf12771814/pdf12771814dpi100.pdf>.
- Keough, J., Thompson, T., Guntenspergen, G., & Wilcox, D. (1999). Hydrogeomorphic factors and ecosystem responses in coastal wetlands of the Great Lakes. *Wetlands*, 19(4), 821-834.
- Kirkman, L., & Sharitz, R. (1994). Vegetation disturbance and maintenance of diversity in intermittently flooded Carolina Bays in South Carolina. *Ecological Applications*, 177-188.
- Kiviat, E., Meyerson, L., Mozdzer, T., Warwick, J., Baldwin, A., Bhattarai, G., . . . Cronin, J. (2019). Evidence does not support the targeting of cryptic invaders at the subspecies level using classical biological control: the example of Phragmites. *Biological Invasions*, 21, 2529-2541. doi: <https://doi.org/10.1007/s10530-019-02014-9>.
- Kolka, R., D'Amato, A., Wagenbrenner, J., Slesak, R., Pypker, T., Youngquist, M., . . . Palik, B. (2018). Review of ecosystem level impacts of emerald ash borer on black ash wetlands: What does the future hold? *Forests*, 9(4), 179.
- Kondolf, G., Gao, Y., Annandale, G., Morris, G., Jiang, E., Zhang, J., . . . Guo, Q. (2014). Sustainable sediment management in reservoirs and regulated rivers: Experiences from five continents. *Earth's Future*, 2(5), 256-280.
- Kowalski, Wilcox, & Wiley. (2009). Stimulating a Great Lakes coastal wetland seed bank using portable cofferdams: implications for habitat rehabilitation. *Journal of Great Lakes Research*, 35(2), 206–214.
- Kowalski, K. P., M. J. Wiley, D. A. Wilcox, M. L. Carlson Mazur, A. Czayka, A. Dominguez, . . . A. Sweetman. (2014). 2011 Summary: Coastal wetland restoration research. Cooperator Report to the U.S. Fish and Wildlife Service. U.S. Geological Survey – Great Lakes Science Center, Ann Arbor, MI.
- Krishnapillai, M. (2018). Enhancing adaptive capacity and climate change resilience of coastal communities in Yap. *Climate Change Impacts and Adaptation Strategies for Coastal Communities*, 87-118.
- Kua, Z., Stella, J., & Farrell, J. (2020). Local disturbance by muskrat, an ecosystem engineer, enhances plant diversity in regionally-altered wetlands. *Freshwater Ecology*, 11(10).
- Lafrancois B., Riley, S., Blehert, D., & Ballmann, A. (2011). Links between type E botulism outbreaks, lake levels, and surface water temperatures in Lake Michigan, 1963–2008. *Journal of Great Lakes Research*, 37, 86–91.

- Lake Huron Centre for Coastal Conservation (LHCCC). (2017). Programs - Invasive Species Management. Retrieved from the Coastal Centre: <https://www.lakehuron.ca/brucedale>.
- Lake Huron Centre for Coastal Conservation (LHCCC). (2019). Coastal Action Plan for the Southeastern Shores of Lake Huron. Goderich Ontario. 297pp.
- Lamers, L. P. M., Vile, M. A., Grootjans, .A P., Acreman, M.C., van Diggelen, R., Evans, M.G., Richardson, C.J., . . . Smolders, A.J.P. (2014). Ecological restoration of rich fens in Europe and North America: from trial and error to an evidence-based approach. *Biological Reviews*, 90(1) 182-203.
- Lawler, J.J., (2009). Climate change adaptation strategies for resource management and conservation planning. *Annual NY Academic Science*, 1162, 79–98.
- Lawler J, Watson J, & Game E. (2015). Conservation in the face of climate change: Recent developments. F1000Res. F1000 Faculty Rev-1158.
- Lawrence, B., & Zedler, J. (2011). Formation of tussocks by sedges: Effects of hydroperiod and nutrients. *Ecological Applications*, 21(5), 1745-1759.
- Leisti, K.E., Theÿsmeÿer, T., Doka, S.E., & Court, A. (2016). Aquatic vegetation trends from 1992 to 2012 in Hamilton Harbour and Cootes Paradise, Lake Ontario. *Aquatic Ecosystem Health & Management*, 19(2), 219-229.
- Le Saout, S., Hoffmann, M., Shi Y., Hughes, A., Bernard, C., Brooks, T.M., et al. (2013). Protected areas and effective biodiversity conservation. *Science*, 342, 803–805.
- Linz, G., & Homan, H. (2011). Use of glyphosate for managing invasive cattail (*Typha* spp.) to disperse blackbird (*Icteridae*) roosts. *Crop Protection*, 30(2), 98-104.
- Liipere, S. 2014. Community Conservation and Stewardship Plan for the Bruce Peninsula. Bruce Peninsula Biosphere Association, Lion's Head, Ontario.
- Lishawa, S. C., Albert, D. A., & Tuchman, N. C. (2010). Water level decline promotes *Typha X glauca* establishment and vegetation change in Great Lakes coastal wetlands. *Wetlands*, 30(6), 1085-1096.
- Lishawa, S., Carson, B., Brandt, J., T. J., Albert, D., M. A., . . . Clark, E. (2017). Mechanical Harvesting Effectively Controls Young *Typha* spp. Invasion and Unmanned Aerial Vehicle Data Enhances Post-treatment Monitoring. *Frontiers in Plant Science*, 8, 619.
- Lishawa, S., Lawrence, B., Albert, D., & Tuchman, N. (2015). Biomass harvest of invasive *Typha* promotes plant diversity in a Great Lakes coastal wetland. *Restoration Ecology*, 23(3), 228-237.

- Long Point Basin Land Trust. (2017). Creating and Improving Turtle Habitat. <http://longpointlandtrust.ca/wp-content/uploads2/2017/04/Turtlehab.pdf>.
- Lonsdale, K., Pringle, P. & Turner, B. (2015). Transformative adaptation: what it is, why it matters & what is needed. UK Climate Impacts Programme, University of Oxford, Oxford, UK ISBN: 978-1-906360-11-5.
- Lougheed, V., Crosbie, B., & Chow-Fraser, P. (1998). Predictions on the effect of common carp (*Cyprinus carpio*) exclusion on water quality, zooplankton, and submergent macrophytes in a Great Lakes wetland. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 55(5), 1189-1197.
- Lougheed, V. L., Crosbie, B., & Chow-Fraser, P. (2001). Primary determinants of macrophyte community structure in 62 marshes across the Great Lakes Basin: latitude, land use, and water quality effects. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 58(8), 1603-1612.
- Lougheed, V., Theysmeijer, T., Smith, T., & Chow-Fraser, P. (2004). Carp exclusion, food-web interactions, and the restoration of Cootes Paradise Marsh. *Journal of Great Lakes Research*, 30, 44-57.
- Lozon, J. (2015). Habitat rehabilitation in the Lake St. Clair watershed. Binational Lake St. Clair Conference (p. 13). Environment Canada, Ontario Ministry of Natural Resources and Climate Change, Michigan Department of Environmental Quality, the United States Environmental Protection Agency, and Lake St. Clair Canadian Watershed Coordination Council. <https://www.scrca.on.ca/wp-content/uploads/2016/02/lake-st-clair-proceedings.pdf>.
- Lucke, T., Mohamed, M., & Tindale, N. (2014). Pollutant removal and hydraulic reduction performance of field grassed swales during runoff simulation experiments. *Water*, 6(7), 1887-1904.
- Luell B., Bekker G.J., Cuperus R., Dufek J., Fry G., Hicks C., HlaváčV., Keller V., Rosell C., Sangwine T. Tørnløv N., Wandall B. (eds.), 2003. *Wildlife and Traffic: A European handbook for identifying conflicts and designing solutions*. KNNV Publishers.
- MacFarlane, D., & Meyer, S. (2005). Characteristics and distribution of potential ash tree hosts for emerald ash borer. *Forest Ecology and Management*, 213, 15-24.
- Magnuson, J.J., Webster, K.E., Assel, R.A., Bowser, C.J., Dillon, P.J. Eaton, J.G. & Quinn, F.H. (1997). Potential effects of climate changes on aquatic systems: Laurentian Great Lakes and Precambrian Shield Region. *Hydrological Processes*, 11(8) 825–871.

- Mahl, U. H., Tank, J. L., Roley, S. S., & Davis, R. T. (2015). Two-stage ditch floodplains enhance N-removal capacity and reduce turbidity and dissolved P in agricultural streams. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 51(4), 923-940.
- Mailhot, E., B. Music, D. Nadeau, A. Frigon, & R. Turcotte, (2019). Assessment of the Laurentian Great Lakes' hydrological conditions in a changing climate. *Climatic Change*, 157, 243-259. <https://doi.org/10.1007/s10584-019-02530-6>.
- Malik, A., & Wein, R. (1986). Response of a Typha marsh community to draining, flooding, and seasonal burning. *Canadian Journal of Botany*, 64(9), 2136-2143.
- Mandrak, N. (1989). Potential invasion of the Great Lakes by fish species associated with climatic warming. *Journal of Great Lakes Research*, 15, 306-316.
- Marcaccio, J., & Chow-Fraser, P. (2019). Simulated consumption of submersed aquatic vegetation by Grass Carp (*Ctenopharyngodon idella*) in coastal marshes of Georgian Bay, Lake Huron. Report prepared for the Georgian Bay Great Lakes Foundation.
- Markle, C., & Chow-Fraser, P. (2018). Effects of European Common Reed on Blanding's Turtle spatial ecology. *Journal of Wildlife Management*, 82(4), 857-864.
- Martin, P., de Solla, S., Ewins, P., & Barker, M. (2005). Productivity of Osprey, *Pandion haliaetus*, nesting on natural and artificial structures in the Kawartha Lakes, Ontario, 1991-2001. *The Canadian Field Naturalist*, 119(1), 58-63.
- Mason, L., C. Riseng, A. Gronewold, E. Rutherford, J. Wang, A. Clites, . . . P. McIntyre. (2016). Fine-scale spatial variation in ice cover and surface temperature trends across the surface of the Laurentian Great Lakes. *Climatic Change*, 138, doi: 10.1007/s10584-016-1721-2.
- Masselink, G., & Lazarus, E.D. (2019). Defining coastal resilience. *Water*, 11, 2587.
- Mawdsley, J., O'Malley, R. & Ojima, D. (2009). A review of climate-change adaptation strategies for wildlife management and biodiversity conservation. *Conservation Biology*, 23, 1080–1089.
- Mazur, M., Kowalski, K., & Galbraith, D. (2014). Assessment of suitable habitat for *Phragmites australis* (common reed) in the Great Lakes coastal zone. *Aquatic Invasions*, 9, 1-19.
- Mayor, S.J., Guralnick, R.P., Tingley, M.W. et al. (2017). Increasing phenological asynchrony between spring green-up and arrival of migratory birds. *Scientific Reports*, 7, 1902. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-02045-z>
- McColl, K., Cooke, B., & Sunarto, A. (2014). Viral biocontrol of invasive vertebrates: Lessons from the past applied to cyprinid herpesvirus-3 and carp (*Cyprinus carpio*) control in Australia. *Biological Control*, 72, 109-117.

- McCrackin, M. L., Cooter, E. J., Dennis, R. L., Harrison, J. A., & Compton, J. E. (2017). Alternative futures of dissolved inorganic nitrogen export from the Mississippi River Basin: influence of crop management, atmospheric deposition, and population growth. *Biogeochemistry*, 133(3), 263-277.
- McCullough. (1985). Wetland threats and losses in Lake St. Clair. In *Coastal Wetlands*, 201–208. Lewis Publishers Inc.
- McDermid, J., Dickin, S., Winsborough, C., Switzman, H., Barr, S., Gleeson, J., . . . Gray, P. (2015). State of Climate Change Science in the Great Lakes Basin: A Focus on Climatological, Hydrological and Ecological Effects. Prepared jointly by the Ontario Climate Consortium and the Ontario Ministry of Natural Resources and Forestry to advise on Annex 9 - Climate Change Impacts under the Great Lakes Water Quality Agreement.
- McNaughton, S. (1977). Diversity and stability of ecological communities: A comment on the role of empiricism in ecology. *The American Naturalist*, 111(979), 515-525.
- McTavish, M., Smith, S., & Bouchier, R. (2020). Update on biological control of introduced *Phragmites australis* in Ontario. Ontario Invasive Plant Council (OIPC) and Ontario *Phragmites* Work Group (OPWG). *Invasive Plant Conference*, 31. Retrieved from <https://opwg.ca/wp-content/uploads/2020/01/OPIC-OPWG-2020-McTavish-Condensed.pdf>.
- Meronek, T., Bouchard, P., Buckner, E., Burri, T., Demmerly, K., Hatlei, D., . . . Coble, D. (1996). A Review of Fish Control Projects. *North American Journal of Fisheries Management*, 16(1), 63-74.
- Meyer, S., Badzinski, S., Petrie, S., & Ankey, C. (2010). Seasonal abundance and species richness of birds in common reed habitats in Lake Erie. *Journal of Wildlife Management*, 74, 1559-1567.
- Meyer, S., Galloway, M., Grabas, G., Ingram, J. (2006). Chapter 3. Vulnerability of wetland plant communities in Great Lakes coastal wetlands to climate-induced hydrological change. In L. Mortsch, J. Ingram, A. Hebb, and S. Doka (eds.), *Great Lakes Coastal Wetland Communities: Vulnerability to Climate Change and Response to Adaptation Strategies*, Environment Canada and the Department of Fisheries and Oceans, Toronto, Ontario, pp. 21-32.
- Michalak, A., Anderson, E., Beletsky, D., Boland, S., Bosch, N., Bridgeman, T., ... Zagorski, M. (2013). Record-setting algal bloom in Lake Erie caused by agricultural and meteorological trends consistent with expected future conditions. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110, 6448-6452.

- Michalak, J, Stralberg, D, Cartwright, J., & Lawler, J. (2020). Combining physical and species-based approaches improves refugia identification. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 18(5), 254-260.
- Michigan Department of Environmental Quality. (2014). A guide to the control and management of invasive Phragmites. *Michigan Department of Environmental Quality*, 3.
- Michigan Sea Grant. (2018). Botulism in the Great Lakes.
<http://www.miseagrant.umich.edu/explore/coastal-communities/avian-botulism/faqs-botulism-in-the-great-lakes/#whatis>.
- Midwood, & Chow-Fraser. (2012). Changes in aquatic vegetation and fish communities following 5 years of sustained low lake levels in coastal marshes of eastern Georgian Bay, Lake Huron. *Global Change Biology*, 18(1), 93–105. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2011.02558.x>.
- Millar, C.I., N.L. Stephenson, & S.L. Stephens. (2007). Climate change and forests of the future: managing in the face of uncertainty. *Ecological Applications*, 17(8), 2145-2151.
- Ministry of Environment (2012). Ontario's Great lakes Strategy. The Government of Ontario.
<https://dr6j45jk9xcmk.cloudfront.net/documents/896/5-1-5-great-lakes-strategy-en.pdf>
- Minnesota Stormwater Steering Committee. (2018). Minnesota Stormwater Manual.
https://stormwater.pca.state.mn.us/index.php/About_the_Minnesota_Stormwater_Manual.
- Mitsch, W.J., Gosselink, J.G. (2000). *Wetlands*, 3rd Edition. J. Wiley and Sons, New York, USA
- Mitsch, W.J., Gosselink, J.G. (2007). The values of wetlands: Importance of scale and landscape setting. *Ecological Economics*, 35, 25–33.
- Moffett, K.G., Nardin, W., Silvestri, S., Wang, C., & Temmerman, S. (2015). Multiple stable states and catastrophic shifts in coastal wetlands: Progress, challenges, and opportunities in validating theory using remote sensing and other methods. *Remote Sensing*. 7.
- Montgomery, F., Reid, S.M., Mandrak, N.E. (2020). Extinction debt of fishes in Great Lakes coastal wetlands. *Biological Conservation*, 241,
<https://doi.org/10.1016/j.biocon.2019.108386>.
- Moomaw, Chmura, Davies, Finlayson, Middleton, Natali, . . . Sutton-Grier. (2018). Wetlands in a changing climate: Science, Policy and Management. *In Wetlands*, 38(2), 183–205. Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/s13157-018-1023-8>.
- Molina-Moctezuma et al. (2020). Restoration of rapids habitat in a Great Lakes connecting channel, the St. Marys River, Michigan. *Restoration Ecology*.
<https://doi.org/10.1111/rec.13310>.

- Morelli, T., C. Barrows, A. Ramirez, J. Cartwright, D. Ackerly, T. Eaves, Joe Ebersole, M. Krawchuk, B. Letcher, M. Mahalovich, G. Meigs, J. Michalak, C. Millar, R. Quiñones, D. Stralberg, J. Thorne. (2020) Innovative Approaches for Identifying and Managing Climate-Change Refugia. North American Congress for Conservation Biology, Denver, CO, July 26 - 31.
- Morelli, T. L., C. Daly, S. Z. Dobrowski, D. M. Dulen, J. L. Ebersole, S. T. Jackson, J. D. Lundquist, et al. (2016). Managing Climate Change Refugia for Climate Adaptation. *PLoS One* 11 (8): e0159909.
- Mortsch, L. (1998). Assessing the impact of climate change on the Great Lakes shoreline wetlands. *Climatic Change*, 40(2), 391-416.
- Mortsch, L. (2018). Building ecosystem resilience in Great Lakes coastal wetlands: Context for assessing vulnerability and developing adaptations. A Report prepared for Great Lakes Ecosystem Management, Environment and Climate Change Canada (ECCC), Waterloo, ON. 79 pp.
- Mortsch, L. (2019). Exploring how to enhance the resilience of Great Lakes coastal wetlands: Conversations with experts. A Report prepared for Great Lakes Ecosystem Management, Environment and Climate Change Canada (ECCC), Waterloo, ON. 31 pp.
- Mortsch, L. (2020). Assessing and enhancing coastal wetland resilience to climate change: Focus group discussions. A Report prepared for Great Lakes Ecosystem Management Section, Strategic Policy Branch, Environment and Climate Change Canada (ECCC), Waterloo, ON.
- Mortsch, L., J. Ingram, A. Hebb, & S. Doka (eds). (2006). Great Lakes coastal wetland communities: Vulnerability to climate change and response to adaptation strategies. Final report submitted to the Climate Change Impacts and Adaptation Program, Natural Resources Canada. Environment Canada and Department of Fisheries and Oceans, Toronto, Ontario. 251 pp. + appendices.
- Mortsch, L., Snell, E., Ingram, J. (2006). Chapter 2. Climate variability and changes within the context of the Great Lakes Basin. In L. Mortsch, J. Ingram, A. Hebb, and S. Doka (eds.), *Great Lakes Coastal Wetland Communities: Vulnerability to Climate Change and Response to Adaptation Strategies*, Environment Canada and the Department of Fisheries and Oceans, Toronto, Ontario, pp. 9-19.
- Moser, K., Ahn, C., & Noe, G. (2007). Characterization of microtopography and its influence on vegetation patterns in created wetlands. *Wetlands*, 27(4), 1081-1097.
- Moudrak, Hutter, & Feltmate. (2017). When the big storms hit: The role of wetlands to limit urban and rural flood damage. www.intactcentreclimateadaptation.ca.

- Moudrak, N., Feltmate, B., Venema, H., & Osman, H. (2018). Combating Canada's rising flood costs: natural infrastructure is an underutilized option. Prepared for Insurance Bureau of Canada. Intact Centre on Climate Adaptation, University of Waterloo.
- Murkin, H. R., Kaminski, R. M., & Titman, R. D. (1982). Responses by dabbling ducks and aquatic invertebrates to an experimentally manipulated cattail marsh. *Canadian Journal of Zoology*, 60(10), 2324-2332.
- Murkin, H., & Ward, P. (1980). Early spring cutting to control cattail in a northern marsh. *Wildlife Society Bulletin*, 8(3), 254-256.
- Murkin, H., van der Valk, A., & Clark, W. (2000). Prairie wetland ecology: The contribution of the Marsh Ecology Research Program. Ames, IA: *Iowa State University Press*.
- Mushet, D.M., McKenna, O.P., & McLean, K.I. (2019). Alternative stable states in inherently unstable systems. *Ecology and Evolution*, 10(2), 843-850.
- Myers P., Lundrigan, B.L., Hoffman, S.M.G., Haraminac, A.P., & Seto, S.H. (2009). Climate-induced changes in the small mammal communities of the Northern Great Lakes Region. *Global Change Biology*, 15, 1434–1454.
- N'Guyen, A., Hirsch, P., Adrian-Kalchhauser, I., & Burkhardt-Holm, P. (2016). Improving invasive species management by integrating priorities and contributions of scientists and decision makers. *Ambio*, 45, 280-289. doi: 10.1007/s13280-015-0723-z
- Naeem, S., Bunker, D. E., Hector, A., Loreau, M., & Perrings, C. (Eds.). (2009). Biodiversity, ecosystem functioning, and human wellbeing: An ecological and economic perspective. Oxford University Press.
- Nakayama, T., Watanabe, M., Tanji, K., & Morioka, T. (2007). Effect of underground urban structures on eutrophic coastal environment. *Science of the Total Environment*, 373(1), 270-288.
- Nason, S., Osko, T., Gillies, C., Gingras, B., Pyper, M. (2019) Recommendations for a Wetland Crossings Monitoring Protocol: A report for the Foothills Stream Crossing Partnership. 113.
- National Oceanic and Atmospheric Administration. (2018). Great Lakes ice cover decreasing over last 40 years. Climate.Gov. <https://www.climate.gov/news-features/featured-images/great-lakes-ice-cover-decreasing-overlast-40-years>
- Natural Resources Canada. (2013). Detecting and monitoring emerald ash borer populations. Sault Ste. Marie, ON: Canadian Forest Service – Great Lakes Forestry Centre. <https://d1ied5g1xfqpx8.cloudfront.net/pdfs/34916.pdf>.

- Nichols, G. (2020). Invasive Phragmites (*Phragmites australis*) best management practices in Ontario: Improving species at risk habitat through the management of Invasive Phragmites. Peterborough, ON: Ontario Invasive Plant Council. Ed 2.1 (April 2021).
- Noble, I.R., S. Huq, Y.A. Anokhin, J. Carmin, D. Goudou, F.P. Lansigan, B. Osman-Elasha, & A. Villamizar (2014): Adaptation needs and options. In: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L.White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 833-868.
- Notaro, M., Bennington, V., & Lofgren, B. (2015). Dynamical downscaling based projections of Great Lakes lake levels. *Journal of Climate*, 28(24), 9721-9745.
- O'Hare, M., Stillman, R., McDonnell, J., & Wood, L. (2007). Effects of mute swan grazing on a keystone macrophyte. *Freshwater Biology*, 2463-2475. doi.org/10.1111/j.1365-2427.2007.01841.x.
- Ontario Climate Consortium. (2019). First annual workshop on 'Assessing and Enhancing Great Lakes Coastal Wetland Resilience'. Eds. Delaney, F., Morand, A., Myles, A., Perdeaux, S. and Milner, G. (2019). *Assessing and Enhancing the Resilience of Great Lakes Coastal Wetlands: Information Sharing Workshop Report*. Toronto, Ontario: Ontario Climate Consortium and Ontario Centre for Climate Impacts and Adaptation Resources.
- Ontario Climate Consortium. (2020). Second annual workshop on 'Assessing and Enhancing Great Lakes Coastal Wetland Resilience'. Eds. Dokoska, K. and Lam, S. (2020). *Assessing and Enhancing the Resilience of Great Lakes Coastal Wetlands: Second Information Sharing Meeting Report*. Toronto, Ontario: Ontario Climate Consortium.
- Ontario Climate Consortium. (2021). Climate data visualization and brief climate highlights. Eds. Lam, S. and Dokoska, K. Toronto, Ontario: Ontario Climate Consortium.
- Ontario Biodiversity Council. (2011). *Ontario's biodiversity strategy: Renewing our commitment to protecting what sustains us*. Ontario Biodiversity Council, Peterborough, ON.
- Ontario Biodiversity Council. (2015). *State of Ontario's biodiversity 2015: Summary. A report of the Ontario Biodiversity Council*, Peterborough, ON.
- Ontario Climate Consortium. (2018). *Prioritizing climate science knowledge gaps in the Great Lakes Water Quality Agreement*.

- Ontario Federation of Anglers and Hunters (OFAH); Ontario Ministry of Natural Resources and Forestry (OMNRF). (2012). Spiny and Fishhook Waterfleas. Ontario's Invading Species Awareness Program: <http://www.invadingspecies.com/spiny-and-fishhook-waterfleas/>.
- Ontario Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs. (2016). Management Strategy for Emerald Ash Borer and Bronze Birch Borer - Insect Pests of Landscape Trees in Ontario. Ontario Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs: <http://www.omafra.gov.on.ca/english/crops/insects/eab-bbb-manage.htm>
- Ontario Ministry of Municipal Affairs and Housing. (2020). Provincial Policy Statement: <https://www.ontario.ca/page/provincial-policy-statement-2020>.
- Ontario Ministry of Natural Resources. (2001). Technical Guide - Rivers and Stream Systems: Flooding Hazard Limit. Queen's Printer for Ontario. Peterborough, ON. 118pp.
- Ontario Ministry of Natural Resources. (2015). Wetland Conservation in Ontario; A Discussion Paper.
- Ontario Ministry of Natural Resources and Forestry. (2017). A wetland conservation strategy for Ontario 2017–2030. Queen's Printer for Ontario. Toronto, ON. 52 pp.
- Ontario Phragmites Working Group, Ontario Invasive Plant Council and Invasive Species Centre. (2016). Site Prioritization Tool for Control of Invasive Phragmites. Available online: https://www.ontarioinvasiveplants.ca/wp-content/uploads/2016/07/OPWG_PrioritizationTool_May52016_FINAL.pdf.
- Page, B., Aminian, P., Steele, O. (2020). Determining the nutrient retention capacity of newly restored wetlands in southwestern Ontario. Ducks Unlimited Canada Institute of Wetland and Waterfowl Research. 76pp.
- Parks Canada. (2018). Restoring coastal dynamics in Forillon National Park. 2018. <https://www.pc.gc.ca/en/agence-agency/bib-lib/rapports-reports/core-2018/quebec-nunavut/que2>.
- Paterson, J., Steinberg, B., & Litzgus, J. (2013). Not just any old pile of dirt: Evaluating the use of artificial nesting mounds as conservation tools for freshwater turtles. *Oryx*, 47(4), 607-615.
- Paul, M., & Meyer, J. (2001). Streams in the urban landscape. *Annual review of Ecology and Systematics*, 32(1), 333-365.
- Peach, G., & Donnelly, P. (2010). Oliphant coastal stewardship plan. Prepared by the Lake Huron Centre for Coastal Conservation. 62.

- Peach, M., & Zedler, J. (2006). How tussocks structure sedge meadow vegetation. *Wetlands*, 26, 322-335.
- Pearsal, D.R., Khoury, M.L., Paskus, J., Kraus, D., Doran, P.J. (2013). "Make No Little Plans": Developing biodiversity conservation strategies for the Great Lakes. *Environmental Practice*, 15(4), 462-480.
- Pearsall, Carton De Grammont, Cavalieri, Chu, Doran, Elbing, Ewert, Hall, Herbert, Khoury, Kraus, Mysorekar, Paskus, & Sasson. (2012). Returning to a healthy lake: An international biodiversity conservation strategy for Lake Erie.
- Pengra, B., Johnston, C., & Loveland, T. (2007). Mapping an invasive plant, *Phragmites australis*, in coastal wetlands using the EO-1 Hyperion hyperspectral sensor. *Remote Sensing of Environment*, 108(1), 74-81.
- Perez, A., Mazerolle, M., & Brisson, J. (2013). Effects of exotic common reed (*Phragmites australis*) on wood frog (*Lithobates sylvaticus*) tadpole development and food availability. *Journal of Freshwater Ecology*, 28(2), 165-177.
- Perry, Reynolds, Beechie, Collins, & Shafroth. (2015). Incorporating climate change projections into riparian restoration planning and design. *Ecohydrology*, 8(5), 863–879. <https://doi.org/10.1002/eco.1645>.
- Petrie, S., & Francis, C. (2003). Rapid increase in the lower Great Lakes population of feral mute swans: A review and a recommendation. *Wildlife Society Bulletin*, 407-416.
- Pinto, L., Chandrasena, N., Pera, J., Hawkins, P., Eccles, D., & Sim, R. (2005). Managing invasive carp (*Cyprinus carpio* L.) for habitat enhancement at Botany Wetlands, Australia. *Aquatic Conservation, Marine and Freshwater Ecosystems*, 15(5), 447-462.
- Poland, T., & McCullough, D. (2006). Emerald Ash Borer: Invasion of the urban forest and the threat to North America's ash resource. *Journal of Forestry*, 104(3), 118-124.
- Polyakov, M., White, B., & Zhang, F. (2017). Cost-effective strategies to reduce nitrogen and phosphorus emissions in an urban river catchment (Draft). Melbourne, Australia: Cooperative Research Centre for Water Sensitive Cities.
- Popescu, V. D., & Hunter Jr, M. L. (2011). Clear-cutting affects habitat connectivity for a forest amphibian by decreasing permeability to juvenile movements. *Ecological Applications*, 21(4), 1283-1295.
- Poole, A., Lowther, P., Poole, J., Reid, F., & Melvin, S. (2009). Least Bittern (*Ixobrychus exilis*). (Cornell Lab of Ornithology) Retrieved January 29, 2015, from The Birds of North America Online (A. Poole, Ed.): <http://bna.birds.cornell.edu/bna/species/>

- Prahalad, N. V., Lacey, M. J. & Mount, R. E. (2009). The future of the Derwent Estuary saltmarshes and tidal freshwater wetlands in response to sea level rise. Technical report for the Derwent Estuary Program and NRM South. School of Geography and Environmental Studies, University of Tasmania, Hobart, Tasmania.
- Prairie Climate Centre (2019). Climate Atlas of Canada, version 2 (July 10, 2019). <https://climateatlas.ca>.
- Prince, H. H., Padding, P. I., & Knapton, R.W. (1992). Waterfowl use of the Laurentian Great Lakes. *J. Great Lakes Res.* 18(4), 673–699.
- Rahel, F., & Olden, J. (2008). Assessing the effects of climate change on aquatic invasive species. *Conservation Biology*, 22, 521-533. doi:10.1111/j.1523-1739.2008.00950.x.
- Randall, R., Minns, C., Cairns, V., Moore, & J.E. (1996). The relationship between an index of fish production and submerged macrophytes and other habitat features at three littoral areas in the Great Lakes. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 53(1), 34-44.
- Raney, P.A. (2014) Identifying potential refugia from climate change in wetlands. A dissertation submitted in partial fulfillment of the requirements for the Doctor of Philosophy Degree *State University of New York College of Environmental Science and Forestry Syracuse*, New York.169.
- Rehm, E., & Baldassarre, G. (2007). The influence of interspersion on marsh bird abundance in New York. *The Wilson Journal of Ornithology*, 119(4), 648-654.
- Relyea, R. (2005). The impact of insecticides and herbicides on the biodiversity and productivity of aquatic communities. *Ecological Applications*, 15(2), 618-627.
- Rezanezhad, F., McCarter, C.P.R., & Lennartz, B. (2020). Wetland biogeochemistry: Response to environmental change. *Frontiers of Environmental Science*. Editorial Article. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2020.00055>.
- Robb, D.M and Mitsch, W.J. (1990). Selected chemical parameters of dyked and undyked Lake Erie wetlands. In Kusler, J. & Samrdon, R. (Eds.), *Wetlands of the Great Lakes: Protection and Restoration Policies. Status of the Science*, Association of Wetland Managers, Berne, New York, pp 130–136.
- Robel, R. (1961). The effect of carp populations on the production of waterfowl plant foods on a western waterfowl marsh. *Transactions of the North American Wildlife Conference*, 26, 147-159.

- Rodgers, W. (2019). Keeping Phragmites at bay on the Bruce Peninsula. The Bruce Peninsula Press. <https://brucepeninsulapress.com/2019/09/10/keeping-Phragmites-at-bay-on-the-bruce-peninsula/>.
- Rothenberger, M., Vera, M., Germanoski, D., & Ramirez, E. (2019). Comparing amphibian habitat quality and functional success among natural, restored, and created vernal pools. *Restoration Ecology*, 27(4), 881-891. doi:<https://doi.org/10.1111/rec.12922>.
- Rothermel, B. B., & Semlitsch, R. D. (2002). An experimental investigation of landscape resistance of forest versus old-field habitats to emigrating juvenile amphibians. *Conservation biology*, 16(5), 1324-1332.
- Rozema, E. R., VanderZaag, A. C., Wood, J. D., Drizo, A., Zheng, Y., Madani, A., & Gordon, R. J. (2016). Constructed wetlands for agricultural wastewater treatment in Northeastern North America: A review. *Water*, 8(5), 173.
- Rudnick, D., Ryan, S., Beier, P., . . . Trombulak, S.C. (2012). The role of landscape connectivity in planning and implementing conservation and restoration priorities. *Ecology*, 16, 1-20.
- Sáenz-Romero, C., O'Neill, G., Aitken, S.N., & Lindig-Cisneros, R. (2021) Assisted migration field tests in Canada and Mexico: Lessons, limitations, and challenges. *Forests*, 12(9). <https://dx.doi.org/10.3390/f12010009>.
- Schock, N., Murry, B., & Uzarski, D. (2014). Impacts of agricultural drainage outlets on Great Lakes coastal wetlands. *Wetlands*, 34(2), 297-307.
- Schrage, L., & Downing, J. (2004). Pathways of increased water clarity after fish removal from Ventura Marsh; a shallow, eutrophic wetland. *Hydrobiologia*, 511, 215-231.
- Schultz, B. (1987). Biotic responses on Typha-monodominant semipermanent wetlands to cattle grazing. Brookings, SD: South Dakota State University. Retrieved from <http://openprairie.sdstate.edu/etd/224>.
- Schummer, M., Palframan, J., McNaughton, E., Barney, T., & Petrie, S. (2012). Comparisons of bird, aquatic macroinvertebrate, and plant communities among dredged ponds and natural wetland habitats at Long Point, Lake Erie. *Wetlands*, 32, 945-953. doi:10.1007/s13157-012-0328-2.
- Schuurman, G. W., C. Hawkins Hoffman, D. N. Cole, D. J. Lawrence, J. M. Morton, D. R. Magness, A. E., . . . Fisichelli. (2020). Resist-accept-direct (RAD)—a framework for the 21st-century natural resource manager. Natural Resource Report NPS/NRSS/CCRP/NRR—2020/ 2213. National Park Service, Fort Collins, Colorado. <https://doi.org/10.36967/nrr-2283597>.

- Scott, R.W. & F.A. Huff (1996) Impacts of the Great Lakes on regional climate conditions. *J. Great Lakes Research*, 22, 845- 863.
- Seddon, P. (2010). From reintroduction to assisted colonization: Moving along the conservation translocation spectrum. *Restoration Ecology*, 18(6), 796-802. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1526-100X.2010.00724.x>
- Seddon, N., Chausson, A., Berry, P., Girardin, C.A.J., Smith, A., & Turner, B. (2020). Understanding the value and limits of nature-based solutions to climate change and other global challenges. *Royal Society*, 375(1794).
- Seilheimer, T. S., Wei, A., Chow-Fraser, P., & Eyles, N. (2007). Impact of urbanization on the water quality, fish habitat, and fish community of a Lake Ontario marsh, Frenchman's Bay. *Urban Ecosystems*, 10(3), 299-319.
- Seilheimer, T., & Chow-Fraser, P. (2006). Development and use of the Wetland Fish Index to assess the quality of coastal wetlands in the Laurentian Great Lakes. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 63(2), 354-366.
- Selwood, KE, Zimmer, HC. 2020. Refuges for biodiversity conservation: A review of the evidence. *Biological Conservation*, 245(9). doi:10.1016/j.biocon.2020.108502.
- Settele, J., Scholes, R., Betts, R., Bunn, S., Leadley, P., Nepstad, D., . . .Taboada, M.A., (2014). Terrestrial and inland water systems. In: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 271-359.
- Shannon, P. D., Swanston, C.W., Janowiak, M.K., Handler, S.D., Schmitt, K.M., Brandt, L.A., & Butler-Leopold, P.R. (2019). Adaptation strategies and approaches for forested watersheds. *Climate Services*. <https://doi.org/10.1016/j.cliser.2019.01.005>.
- Sharma, A., Hamlet, A. F., Fernando, H. J. S., Catlett, C. E., Horton, D. E., Kotamarthi, V. R., Kristovich, D. A. R., Packman, A. I., Tank, J. L., & Wuebbles, D. J. (2018). The Need for an Integrated Land-Lake-Atmosphere Modeling System, Exemplified by North America's Great Lakes Region. *Earth's Future*, 6(10), 1366-1379. <https://doi.org/10.1029/2018EF000870>
- Sharpley, A., & Withers, P. (1994). The environmentally-sound management of agricultural phosphorus. *Fertilizer Research*, 39, 133-146.

- Sharpley, A., Jarvie, H. P., Buda, A., May, L., Spears, B., & Kleinman, P. (2013). Phosphorus legacy: Overcoming the effects of past management practices to mitigate future water quality impairment. *Journal of environmental quality*, 42(5), 1308-1326.
- Shealer, D., Buzzell, J., & Heiar, J. (2006). Effect of floating nest platforms on the breeding performance of Black Terns. *Journal of Field Ornithology*, 77(2), 184-194. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1557-9263.2006.00040.x>
- Sherren, K., Bowron, T., Graham, J. M., Rahman, H. M. T., & van Proosdij, D. (2019). Coastal infrastructure realignment and salt marsh restoration in Nova Scotia, Canada. Chapter 5 in *Responding to Rising Seas: OECD Country Approaches to Tackling Coastal Risks*, 111 - 135. OECD Publishing: Paris, France.
- Short, L. (2017). Best practice case studies for non-native Phragmites - Wymbolwood Beach, Ontario. Retrieved from *Great Lakes Phragmites Collaborative*: <https://www.greatlakesPhragmites.net/resources/casestudies-3/wymbolwood-beach-ontario/>.
- Sierszen, M.E., Morrice, J.A., Trebitz, A.S., & Hoffman, J.C. (2012). A review of selected ecosystem services provided by coastal wetlands of the Laurentian Great Lakes. *Aquatic Ecosystem Health & Management*, 15(1), 92-106, DOI: 10.1080/14634988.2011.624970.
- Sierszen, M.E., Schoen, L.S., Kosiara, J.M., Hoffman, J.C., Cooper, M.J., & Uzarski, D.G. (2019). Relative contributions of nearshore and wetland habitats to coastal food webs in the Great Lakes. *Journal Great Lakes Research*, 45(1), 129-137.
- Simenstad, C., Reed, D., & Ford, M. (2006). When is restoration not? Incorporating landscape-scale processes to restore self-sustaining ecosystems in coastal wetland restoration. *Ecological Engineering*, 26, 27–39.
- Simonsen, T. H., Biggs, R., Schlüter, M., Schoon, M., Bohensky, E., Cundill, G., . . . Moberg, F. (2015). *Applying resilience thinking: Seven principles for building resilience in social-ecological systems*. Stockholm Resilience Centre. Stockholm University. Cambridge Press.
- Slezak, R., Lenhart, C., Brooks, K., D'Amato, A., & Palik, B. (2014). Water table response to harvesting and simulated emerald ash borer mortality in black ash wetlands in Minnesota, USA. *Canadian Journal of Forest Research*, 44, 961-968.
- Smith, I., Fiorino, G., Grabas, G., & Wilcox, D. (2020). Wetland vegetation response to record-high Lake Ontario lake levels. *Journal of Great Lakes Research*, 47(1), 160-167. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jglr.2020.10.013>.

- Smith, L., Haukos, D., & Prather, R. (2004). Avian response to vegetative pattern in playa wetlands during winter. *Wildlife Society Bulletin*, 32(2), 474-480.
doi:[https://doi.org/10.2193/0091-7648\(2004\)32\[474:ARTVPI\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.2193/0091-7648(2004)32[474:ARTVPI]2.0.CO;2).
- Smith, S., McIntyre, P., Halpern, B., Cooke, R., Marino, A., Boyer, G., . . . Allan, D. J. (2015). Rating impacts in a multi-stressor world: a quantitative assessment of 50 stressors affecting the Great Lakes. *Ecological Adaptations*, 25(3), 717-728.
- Spaling, H. (1995). Analyzing cumulative environmental effects of agricultural land drainage in southern Ontario, Canada. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 53(3), 279-192.
- Staffen, A., O'Connor, R., Johnson, S.E., Shannon, P.D., Kearns, K., Zine, M., . . . Volkening, A. (2019). Climate adaptation strategies and approaches for conservation and management of non-forested wetlands. Report NFCH-3. USDA Northern Forests Climate Hub. Houghton, MI: U.S. Department of Agriculture, *Climate Hubs*, 41.
- Stafford, J. D., Flake, L. D., & Mammenga, P. W. (2002). Survival of mallard broods and ducklings departing overwater nesting structures in eastern South Dakota. *Wildlife Society Bulletin*, 30(2), 327-336. <https://www.jstor.org/stable/3784488>.
- Standish, R.J., Hobbs, R.J., Mayfield, M.M., & Bestelymeyer, B. (2014). Resilience in ecology: Abstraction, distraction, or where the action is? *Biological Conservation*, 177, 43-51.
- Stein, B.A., P. Glick, N. Edelson, & A. Staudt (eds.). (2014). Climate-smart conservation: Putting adaptation principles into practice. *National Wildlife Federation*, Washington.
- Sterk, M., Van de Leemput, I. A., & Peeters. E. (2017). How to conceptualize and operationalize resilience in socio-ecological systems? Elsevier. *Science Direct*.
- Stevens, C., Diamond, A., & Gabor, T. (2002). Anuran call surveys on small wetlands in Prince Edward Island, Canada restored by dredging of sediments. *Wetlands*, 22(1), 90-99.
- Stewardship Centre for British Columbia. (2020). Green shores for shoreline development: Credits and ratings guide. www.stewardshipcentrebc.ca.
- Stralberg D, Carroll C, Pedlar JH, et al. 2018. Microrefugia for North American trees and songbirds: Climatic limiting factors and multi-scale topographic influences. *A Journal of Macroecology*, 27, 690–703.
- Strauch, Raymond, Rochefort, Hamlet, & Lauver. (2015). Adapting transportation to climate change on federal lands in Washington State, U.S.A. *Climatic Change*, 130(2), 185–199. <https://doi.org/10.1007/s10584-015-1357-7>.

- Steen, D.A., Gibbs, J.P., & Timmermans, S.T.A. (2006). Assessing the sensitivity of wetland bird communities to hydrological change in the eastern Great Lakes Region. *Wetlands*, 26(2), 605-611.
- Stutter, M. I., Chardon, W. J., & Kronvang, B. (2012). Riparian buffer strips as a multifunctional management tool in agricultural landscapes: introduction. *Journal of Environmental Quality*, 41(2), 297-303.
- Svedarsky, D., Bruggman, J., Ellis-Felege, S., Grosshans, R., Lane, V., Norrgard, R., & Brenny, T. (2016). Cattail management in the Northern Great Plains: Implications for wetland wildlife and bioenergy harvest. Crookston, MN: University of Minnesota.
- Swanston, C., Janowiak, M., Brandt, L., Butler, P., Handler, S., Shannon, P., . . . Kerber, A. (2016). Forest adaptation resources: climate change tools and approaches for land managers. Netwon, PA: US Department of Agriculture, Forest Service, Northern Research Station.
- Tessier, M., Gloaguen, J., & Bouchard, V. (2002). The role of spatio-temporal heterogeneity in the establishment and maintenance of *Suaeda maritima* in salt marshes. *Journal of Vegetation Science*, 12(1), 115-122. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1654-1103.2002.tb02028.x>
- The Wetlands Initiative. (n.d.). Growing wetlands for clean water: Farmers now putting wetlands in the ground – (2016) Update. <https://static1.squarespace.com/static/567070822399a343227dd9c4/t/584b187ee58c62c8367ec4d6/1481316479983/Growing+Wetlands+for+Clean+Water%2C+2016+Update.pdf>
- Thresher, R., van de Kamp, J., Campbell, G., Grewe, P., Canning, M., Barney, M., . . . Fulton, W. (2014). Sex-ratio-biasing constructs for the control of invasive lower vertebrates. *Nature Biotechnology*, 32, 424-427.
- Thomassen, S., & Chow-Fraser, P. (2012). Detecting changes in ecosystem quality following long-term restoration efforts in Cootes Paradise Marsh. *Ecological Indicators*, 13, 82-92. doi:10.1016/j.ecolind.2011.04.036.
- Thorne, J.H., Gogol-Prokurat, M., Walsh, d., Bounton, R.M., & Choe, H. (2020) Vegetation refugia can inform climate-adaptive land management under global warming. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 18(5), 281-287.
- Timmermans, S.T.A., Badzinski, S.S., & Ingram, J.W. (2008). Associations between breeding marsh bird abundances and Great Lakes hydrology. *Journal of Great Lakes Research*, 35, 351-364.
- Toronto and Region Conseration Authority (TRCA) (2015). Crossings guideline for valley and stream corridors. 66.

- Toronto and Region Conservation Authority (TRCA) and Credit Valley Conservation (CVC). (2010). Low impact development stormwater management planning and design guide - Version 1.0. <https://cvc.ca/low-impact-development/low-impact-development-support/stormwater-management-lid-guidance-documents/low-impact-development-stormwater-management-planning-and-design-guide/>.
- Tozer, D., & Beck, G. (2018). How do recent changes in Lake Erie affect birds? Part one: invasive Phragmites. *Ontario Birds*, 161-169. <https://www.bsc-eoc.org/download/LakeEriePart1Phragmites.pdf>.
- Trebitz, A., Brazner, J., Cotter, A., Knuth, M., Morrice, J., Peterson, G., . . . Kelly, J. (2007). Water quality in Great Lakes coastal wetlands: Basin-wide patterns and responses to an anthropogenic disturbance gradient. *Journal of Great Lakes Research*, 33, 67-85.
- Trebitz, A.S., & Hoffman, J.C. (2015) Coastal wetland support of Great Lakes Fisheries: Progress from concept to quantification. *Transactions for the American Fisheries Society*, 144, 352-372.
- Troy, A., & K. Bagstad. (2009). Estimating ecosystem services in southern Ontario. Report for Ontario Ministry of Natural Resources. Peterborough, ON.
- Tu, C., Milner, G., Lawrie, D., Shrestha, N., & Hazen, S. (2017). Natural systems vulnerability to climate change in Peel Region. Technical Report. Toronto, Ontario: Toronto and Region Conservation Authority and Ontario Climate Consortium Secretariat.
- Tuchman, N., Larkin, D., Geddes, P., Wildova, R., Jankowski, K., & Goldberg, D. (2009). Patterns of environmental change associated with *Typha x glauca* invasion in a Great Lakes coastal wetland. *Wetlands*, 29(3), 964-975.
- Tulbure, M., Johnston, C., & Auger, D. (2007). Rapid Invasion of a Great Lakes Coastal Wetland by Non-native *Phragmites australis* and *Typha*. *Journal of Great lakes Research*, 33, 269-279.
- Udeigwe, T. K., Young, J., Kandakji, T., Weindorf, D., Mahmoud, M., & Stietiya, M. H. (2015). Elemental quantification, chemistry, and source apportionment in golf course facilities in a semi-arid urban landscape using a portable X-ray fluorescence spectrometer. *Solid Earth*, 6(2), 415.
- United Nations Development Program (UNDP), (2005). Adaptation policy frameworks for climate change: Developing strategies, policies and measures. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom.
- United Nations: Framework Convention on Climate Change: The Paris Agreement. (2016).

- United States Agency for International Development (USAID). (2009). Adapting to coastal climate change—A guidebook for development planners. Washington, D.C.: Global Climate Change Team, USAID.
- United States Department of Agricultural (USDA), Natural Resources Conservation Service (NRCS) and the Wildlife Habitat Council (WHC). (2008). Artificial Nesting Structures. USDA-NRCS. Retrieved from <https://ucanr.edu/sites/csnce/files/124138.pdf>
- Union of Ontario Indians (UOI). (2018). Great Lakes coastal wetlands information sharing gatherings. Summary Report. Prepared for Environment and Climate Change Canada. 32 pp.
- United States Army Corps of Engineers (USACE). (2003). Living on the coast: Protecting investments in shore property on the Great Lakes. [https://ijc.org/sites/default/files/Living on the Coast - Protecting Investments in Shore Property on the Great Lakes_2003_e.pdf](https://ijc.org/sites/default/files/Living%20on%20the%20Coast%20-%20Protecting%20Investments%20in%20Shore%20Property%20on%20the%20Great%20Lakes_2003_e.pdf).
- United States Environmental Protection Agency. (2005). State of the Great Lakes: What is the state of Great Lakes coastal wetlands?
- United States Environmental Protection Agency. (2018). Where are Great Lakes coastal wetlands?
- Uzarski, D.G., Wilcox, D.A., Brady, V.J. et al. Leveraging a landscape-level monitoring and assessment program for developing resilient shorelines throughout the Laurentian Great Lakes. *Wetlands*, 39, 1357–1366 (2019). <https://doi.org/10.1007/s13157-019-01139>.
- Vaccaro L.E., Bedford B.L., & Johnston C.A. (2009) Litter accumulation promotes dominance of 563 invasive species of cattails (*Typha* spp.) in Lake Ontario wetlands. *Wetlands*, 29, 1036-564, 1048.
- van der Valk, A. (1994). Effects of prolonged flooding on the distribution and biomass of emergent species along a freshwater wetland coenocline. *Vegetatio*, 110(2), 185-196. doi:<https://www.jstor.org/stable/20046385>.
- van der Valk, A., & Baalman, M. (2018). Effects of seed treatments, delayed planting and ground lake levels on the restoration of sedge meadows. *Wetlands*, 38(5), 875-883.
- van der Valk, A., & Davis, C. (1980). The impact of a natural drawdown on the growth of four emergent species in a prairie glacial marsh. *Aquatic Botany*, 9, 301-322. doi:[https://doi.org/10.1016/0304-3770\(80\)90033-9](https://doi.org/10.1016/0304-3770(80)90033-9).
- Varty, A., & Zedler, J. (2008). How waterlogged microsites help an annual plant persist among salt marsh perennials. *Estuaries and Coasts*, 31, 300-312.

- Vidler, N., & MacDonald, B. (2017). Best practice case studies for non-native Phragmites - Lambton Shores, Ontario. *Great Lakes Phragmites Collaborative*.
<https://www.greatlakesPhragmites.net/resources/casestudies-3/lambton-shores-ontario/>.
- Vitt, P., Belmaric, P., Book, R., & Curran, M. (2016). Assisted migration as a climate change adaptation strategy: Lessons from restoration and plant reintroductions. *Israel Journal of Plant Sciences*, 250–261. doi:<https://doi.org/10.1080/07929978.2016.1258258>.
- Vitt, P., Havens, K., Kramer, A. T., Sollenberger, D., & Yates, E. (2010). Assisted migration of plants: Changes in latitudes, changes in attitudes. *Biological Conservation*, 143(1), 18-27. doi:<https://doi.org/10.1016/j.biocon.2009.08.015>.
- Vivian-Smith, G. (1997). Microtopographic heterogeneity and floristic diversity in experimental wetland communities. *Journal of Ecology*, 85(1), 71-82. doi:<https://doi.org/10.2307/2960628>.
- Walker, B., Holling, C. S., Carpenter, S. R., & Kinzig, A. (2004). Resilience, adaptability, and transformability in social–ecological systems. *Ecology and Society*, 9(2), 5.
- Walker, B.H. & D. Salt. (2006). Resilience thinking: Sustaining ecosystems and people in a changing world. *Island Press*.
- Walker, B.H. & D. Salt. (2012). Resilience practice: Building capacity to absorb disturbance and maintain function. *Island Press*.
- Warren, F. and Lulham, N., editors (2021). Canada in a Changing Climate: National Issues Report; Government of Canada, Ottawa, ON.
- Watt, A. (1947). Pattern and process in the plant community. *Journal of Ecology*, 35(1/2), 1-22. doi:<https://doi.org/10.2307/2256497>
- Wang, X., Huang, G., Baetz, B. W., & Zhao, S. (2017). Probabilistic projections of regional climatic changes over the Great Lakes Basin. *Climate Dynamics*, 49(7–8), 2237–2247.
- Wanner, G., Nenneman, M., & Kaemingk, M. (2009). Common carp abundance, biomass, and removal from Dewey and Clear lakes on the Valentine National Wildlife Refuge: Does trapping and removing carp payoff? *National Invasive Species Council materials*.
<https://digitalcommons.unl.edu/natlinvasive/15>.
- Wei, A., P. Chow-Fraser & D. Albert. (2004). Influence of shoreline features on fish distribution in the Laurentian Great Lakes. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 61, 1113-1123.
- Weller, D.J. & Chow-Fraser, P. (2019) Simulated changes in extent of Georgian Bay low-marsh habitat under multiple lake levels. *Wetlands Ecology and Management*, 27, 483-495.

- Werner, K., & Zedler, J. (2002). How sedge meadow soils, microtopography, and vegetation respond to Sedimentation. *Wetlands*, 22, 451-466.
- Whillans, T. H. (1982). Changes in marsh area along the Canadian shore of Lake Ontario. *Journal of Great Lakes Research*, 8(3), 570–577.
- White, L., Brisco, B., Murnaghan, K., Pasher, J., & Duffe, J. (2020). Temporal filters for mapping Phragmites with C-HH SAR Data. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 46(3), 376-385. doi:<https://doi.org/10.1080/07038992.2020.1799770>
- Whitehead, J. (2011). Climate change mitigation -natural coastal assets: Derwent estuary program planning tool discussion paper for tidal wetlands & saltmarshes. *Derwent Estuary Program*, 30.
- Whitney, J., Al-Chokhacy, R., Bunnell, D., Caldwell, C., Cooke, S., Eliason, E., . . . Paukert, C. (2016). Physiological basis of climate change impacts on North American Inland fishes. *Fisheries*, 41(7), 332-345.
- Wilcox, D. A. (2011). National wetlands newsletter, *Environmental Law Institute*, 33(2).
- Wilcox, D.A. & Bateman, J.A. (2018). Photointerpretation analysis of plant communities in Lake Ontario wetlands following 65 years of lake-level regulation. *Journal of Great Lakes Research*. 44. 1306-1313.
- Wilcox, D., Buckler, K., & Czayka, A. (2018). Controlling cattail invasion in Sedge / grass meadows. *Wetlands*, 38, 337-347. doi:10.1007/s13157-017-0971-8.
- Wilcox, D.A., Ingram, J.W., Kowalski, K.P., Meeker, J.E., Carlson, M.L., Yichum, X., . . . Patterson, N.J. (2005). Evaluation of water level regulation influences in Lake Ontario and upper St. Lawrence River coastal wetland plant communities. Final project report to the International Joint Commission, Washington, DC and Ottawa, ON.
- Wilcox, D.A., Kowalski, K.P., Hoare, H.L., Carlson, M.L., & Morgan, H.N. (2008). Cattail invasion of sedge/grass meadows in Lake Ontario: Photointerpretation analysis of sixteen wetlands over five decades. *Journal of Great Lakes Research*, 34(2), 301-323.
- Wilcox, D.A. & Meeker. (1991). Disturbance effects on aquatic vegetation in regulated and unregulated lakes in northern Minnesota. *Canadian Journal of Botany*, 69(7), 1542–1551. <https://doi.org/10.1139/b91-198>.
- Wilcox, & Meeker. (1995). Wetlands in regulated Great Lakes. In LaRoe, E. T., Farris, G. S., Puckett, C. E., Doran, P. D., & Mac, M. J. (Eds.), *Our Living Resources: A Report to the Nation on the Distribution, Abundance, and Health of U.S. Plants, Animals, and Ecosystems*. *National Biological Service*, 247–249.

- Wilcox, & Nichols. (2008). The effects of water-level fluctuations on vegetation in a Lake Huron wetland. *Wetlands*, 28(2), 487–501. <https://doi.org/10.1672/07-129.1>
- Wilcox, K. L., Petrie, S., Maynard, L. A., & Meyer, S. (2003). Historical distribution and abundance of *Phragmites australis* at Long Point, Lake Erie, Ontario. *Journal of Great Lakes Research*, 29(4), 664-680.
- Wilcox, Thompson, Booth, & Nicholas. (2007). Lake-Level Variability and Water Availability in the Great Lakes. U.S. *Geological Survey Circular*, 1311, 1–25.
- Wilcox, & Whillans. (1999). Techniques for restoration of disturbed coastal wetlands of the Great Lakes. *Wetlands*, 19(4), 835–857. <https://doi.org/10.1007/BF03161787>
- Wuebbles, D., Cardinale, B., Cherkauer, K., Davidson-Amott, R., Hellmann, J., Infante, D., . . . Ballinger, A. (2019). An assessment of the impacts of climate change on the Great Lakes. *Environmental Law and Policy Center*.
- Wittmann, M. E., Jerde, C., Howeth, J., Maher, S., Deines, A., Jenkins, J., . . . Lodge, D. (2014). Grass carp in the Great Lakes region: establishment potential, expert perceptions, and re-evaluation of experimental evidence of ecological impact. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 71, 1-8. doi:10.1139/cjfas-2013-0537.
- Woo, I., & Zedler, J. (2002). Can nutrients alone shift a sedge meadow towards dominance by the invasive *Typha x glauca*. *Wetlands*, 22(3), 509-521.
- Woodley, S., Locke, H., Laffoley, D., MacKinnon, K., Sandwith, T., Smart, J. (2019). A review of evidence for area-based conservation targets for the post-2020 global biodiversity framework. *Parks*, 25 (2).
- Yang, C., Kim, D-K., Bowman, J., Theysmeyer, T., & Arhonditsis, B.B. (2020). Predicting the likelihood of a desirable ecological regime shift: A case study in Cootes Paradise marsh, Lake Ontario, Ontario, Canada. *Ecological Indicators*, 112.
- Yang, Y., He, Z., Wang, Y., Fan, J., Liang, Z., & Stoffella, P. (2013). Dissolved organic matter in relation to nutrients (N and P) and heavy metals in surface runoff water as affected by temporal variation and land uses - A case study from Indian River Area, south Florida, USA. *Agricultural Water Management*, 118, 38-49.
- Yochum, S.E. (2017). Guidance for stream restoration. Technical Note TN-102.3. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, National Stream & Aquatic Ecology Center. Fort Collins, CO. https://efotg.sc.egov.usda.gov/references/public/CO/TN-102.3_Yochum_106p_2017_sm.pdf
- Yochum, & Reynolds. (2020). Guidance for stream restoration. http://www.ascr.usda.gov/complaint_filing_cust.h.

Youngquist, M., Eggert, S., D'Amato, A., Palik, B., & Slesak, R. (2017). Potential effects of foundation species loss on wetland communities: A case study of black ash wetlands threatened by emerald ash borer. *Wetlands*, 37, 787-799.

Zhao, Q., Bai, J., Huang, L., Gu, B., Lu, Q., & Gao, Z. (2016). A review of methodologies and success indicators for coastal wetland restoration. *Ecological Indicators*, 60, 442-452. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.07.003>.

Zuzek P. (2020a). Increasing coastal resilience with nature-based solutions in the Great Lakes.

Zuzek Inc. (2020b). Lake Ontario shoreline management plan. Prepared for the Central Lake Ontario Conservation Authority, Ganaraska Region Conservation Authority, and the Lower Trent Region Conservation Authority.

Zuzek Inc. (2020c). Great Lakes wetland migration and sediment dynamics. Prepared for Environment and Climate Change Canada.

Zuzek Inc. (2021a). Recommendations for long-term conservation of barrier protected coastal wetlands. Prepared for Environment and Climate Change Canada.

Zuzek Inc. (2021b). Enhancing the Chatham-Kent Lake Erie shoreline study; Final Report. Prepared for the Ministry of the Environment, Conservation, and Parks.