



ÉVALUATION DE LA VULNÉRABILITÉ AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES DES MILIEUX HUMIDES CÔTIERS DES GRANDS LACS



Gouvernement
du Canada

Government
of Canada

Canada

N° de cat. : CW66-778/4-2022F-PDF
ISBN : 978-0-660-43799-6
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. Évaluation de la vulnérabilité aux effets des changements climatiques des terres humides côtières des Grands Lacs. Mayne, G., Rivers, P. et Holder, A. 50 p.

Table des matières

Liste des Figures	3
Liste des Tableaux.....	4
Abréviations et acronymes.....	5
Sommaire.....	6
1.0 Introduction.....	8
2.0 Méthodes et résultats.....	9
2.1 Sélection du site d'étude	9
2.2 Méthode d'évaluation de la vulnérabilité.....	11
2.2.1 Exposition aux changements climatiques.....	11
2.2.2 Sensibilité des terres humides côtières	20
2.2.3 Effet potentiel des changements climatiques sur les terres humides côtières.....	25
2.2.4 Capacité d'adaptation des terres humides côtières.....	30
3.0 Vulnérabilité des terres humides côtières.....	38
3.1 Vulnérabilité des terres humides côtières dans le cadre du scénario utilisant la limite inférieure du PREC 4.5	39
3.2 Vulnérabilité des terres humides côtières dans le cadre du scénario de limite supérieure du PREC 4.5	40
4.0 Conclusions	46
Références	49

Liste des Figures

Figure 1. Photo aérienne de pointe Long, dans le lac Érié, qui est riche en terres humides côtières (ECCC).....	8
Figure 2. Les vingt sites d'étude des terres humides côtières des Grands Lacs canadiens	10
Figure 3. Un cadre pour la vulnérabilité aux changements climatiques montrant l'intégration de l'exposition, de la sensibilité et de la capacité d'adaptation.	11
Figure 4. Modèle altimétrique numérique de la terre humide côtière de la baie Treasure (baie Georgienne) montrant la surface topographique de la terre nue, y compris les hauts-fonds rocheux, à une exagération verticale de 10x.	15
Figure 5. Un schéma du modèle de réponse des terres humides côtières.	16
Figure 6. Le profil vertical d'une terre humide côtière typique des Grands Lacs montrant les transitions entre les communautés végétales en relation avec le niveau du lac (Wilcox, et al., 2002).	18
Figure 7. Changements de répartition des classes de terres humides	19
Figure 8. Changements de répartition des classes de terres humides	19
Figure 9. Réponse simulée de la superficie totale des terres humides (km ²) de la baie South (lac Ontario) pour le scénario climatique utilisant la limite supérieure du PREC 4.5.....	20
Figure 10. <i>Notation des caractéristiques écologiques et des indices de sensibilité des terres humides.</i>	21
Figure 11. Exemples de caractéristiques des terres humides. De gauche à droite : végétation aquatique submergée, entremêlement et habitat de pré humide.	22
Figure 12. Notes de sensibilité pour les sites de terres humides côtières des Grands Lacs.	23
Figure 13. L'ensemble des changements relatifs prévus sur la terre humide (%), défini comme la différence de répartitions annuelles entre le futur (2070-2099) et le passé récent (1980-2009) (ECCC, 2022b).....	25
Figure 14. Notes des caractéristiques des écosystèmes et classifications des risques pour les sites d'étude des terres humides côtières.....	27
Figure 15. Un exemple de transects et de quadrats pour la collecte de données biologiques et physiques.....	30
Figure 16. Exemples de sorties de cartes spatiales pour les sous-indicateurs de la capacité d'adaptation de la baie Rondeau, lac Érié.	33
Figure 17. Notes et catégorisations de la capacité d'adaptation pour les sites d'étude des terres humides côtières.....	35
Figure 18. Notes des sous-indicateurs de la capacité d'adaptation pour les sites d'étude des terres humides côtières.	37
Figure 19. Cadre d'évaluation de la vulnérabilité des terres humides côtières des Grands Lacs.	38
Figure 20. Proportion de terres humides côtières évaluées comme ayant une vulnérabilité très élevée, élevée, moyenne, faible et très faible dans les scénarios suivants.....	42
Figure 21. Catégorisations de la vulnérabilité pour toutes les terres humides côtières évaluées..	43
Figure 22. Exemple de sortie du modèle relatif aux espèces envahissantes.....	46

Liste des Tableaux

Tableau 1. Augmentation annuelle moyenne plausible de la température de l'air.....	12
Tableau 2. Projection du changement en % des précipitations annuelles.	13
Tableau 3. Projection du changement du niveau annuel des lacs (en mètres)	14
Tableau 4. Une description des communautés végétales des terres humides modélisées avec des exemples d'espèces végétales.....	17
Tableau 5. Un résumé des caractéristiques écologiques valorisées, avec la justification utilisée pour évaluer la sensibilité des terres humides côtières aux changements climatiques.....	21
Tableau 6. Notes de sensibilité des terres humides côtières et classification des risques par lac, terre humide et type.....	24
Tableau 7. Notes des caractéristiques écologiques et classifications des risques relatifs aux sites de terres humides.....	28
Tableau 8. Notes des caractéristiques écologiques et classifications des risques des sites de terres humides	29
Tableau 9. Variables utilisées pour évaluer la capacité d'adaptation des terres humides côtières des Grands Lacs aux changements climatiques.....	31
Tableau 10. Notes des sous-indicateurs de la capacité d'adaptation pour les sites d'étude des terres humides côtières	35
Tableau 11. Notes de l'indice de vulnérabilité pour toutes les terres humides côtières évaluées.	44

Abréviations et acronymes

BDCAPC	Base de données canadienne sur les aires protégées et de conservation
MRMHC	Modèle de réponse des terres humides côtières
MAN	Modèle altimétrique numérique
ECCC	Environnement et Changement climatique Canada
GIEC	Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat
PREC	Profil représentatif d'évolution de concentration
VAS	Végétation aquatique submergée

Sommaire

La capacité de cerner les terres humides côtières écologiquement vulnérables constitue un progrès important en matière de conservation et de gestion environnementale de l'écosystème des Grands Lacs. Dans le cadre de cette étude, une équipe de scientifiques d'Environnement et Changement climatique Canada (ECCC) a utilisé un nouveau cadre scientifique pour évaluer la vulnérabilité aux changements climatiques de 20 terres humides côtières canadiennes des lacs Ontario, Érié, Sainte-Claire et Huron, ainsi que des rivières Ste-Marie et Détroit et du fleuve Saint-Laurent. Deux sites d'étude des terres humides côtières initialement sélectionnés pour le lac Supérieur n'ont pas été inclus dans l'évaluation finale. L'étude améliore la compréhension de la vulnérabilité aux changements climatiques en intégrant les nouvelles projections régionales du climat et du niveau des lacs, les modélisations de la réponse et de la sensibilité des terres humides, ainsi que la capacité des terres humides à s'adapter aux perturbations climatiques en fonction des facteurs biologiques et physiques actuels.

Pour évaluer la vulnérabilité des terres humides côtières aux changements climatiques prévus, une trajectoire intermédiaire de concentration de gaz à effet de serre a été sélectionnée, dans laquelle les émissions devraient atteindre un pic vers 2040, puis commencer à diminuer vers 2045 (profil représentatif d'évolution de concentration 4.5). Pour tenir compte de la variabilité de la modélisation, des scénarios utilisant la limite inférieure et la limite supérieure du profil représentatif d'évolution de concentration 4.5 ont été sélectionnés afin de décrire une fourchette de possibles niveaux futurs des lacs. Les résultats indiquent que les tendances générales d'évolution des variables hydroclimatiques observées dans les Grands Lacs au cours des dernières décennies devraient se poursuivre. Il s'agit notamment du réchauffement des températures de l'air et de l'eau, qui aura pour effet l'augmentation des précipitations et de l'évaporation au-dessus des lacs. Pour l'ensemble des scénarios climatiques utilisés, les résultats montrent que les niveaux moyens des lacs devraient changer, avec une diminution faible à moyenne entre 2070 et 2099 par rapport à la période de référence (1961-2000) dans le scénario de limite inférieure, et une augmentation importante dans le scénario de limite supérieure.

Les sorties du modèle de réponse des terres humides côtières ont été utilisées dans un système de cartographie d'information géographique pour examiner les changements des caractéristiques écologiques des terres humides valorisées : 1) la superficie totale des terres humides; 2) le volume de la végétation aquatique submergée et flottante; 3) l'entremêlement des terres humides; 4) la diversité des communautés végétales des terres humides; 5) la superficie des prés humides. En général, une augmentation du niveau moyen des lacs force une migration des classes de terres humides vers les zones sèches, mais entraînera probablement des diminutions plus fréquentes de la superficie des terres humides des sites modélisés en raison des types d'utilisation des terres qui empêchent la migration vers la terre (c.-à-d. l'agriculture et les zones urbaines). Toutes les caractéristiques écologiques se sont montrées sensibles aux changements prévus de niveaux des lacs (à des degrés divers), en particulier les caractéristiques fondées sur la superficie totale des terres humides et des zones de pré humide. Par conséquent, tous les sites d'étude des terres humides étaient sensibles et sont donc menacés par les changements climatiques à venir. Les terres humides les plus

sensibles et celles qui devraient subir la plus grande perte de superficie se trouvent dans le lac Érié à la pointe Long (-55 %), dans la baie Rondeau (-33 %) et sur la rive est du lac Sainte-Claire (-40 %). On s'attend à des cas fréquents de perte future de terres humides avec des niveaux de lac plus élevés, lorsque l'utilisation des terres environnantes, la géologie ou la topographie ne conviennent pas à la migration vers la terre.

D'après la couverture terrestre actuelle, la diversité végétale, l'envahissement de *Phragmites*, le potentiel de migration et le niveau de protection des terres, les terres humides côtières ayant la capacité d'adaptation relative la plus faible sont situées dans l'est du lac Sainte-Claire, dans la rivière Détroit et à l'ouest des lacs Érié et Ontario. Les terres humides dans cette région se caractérisaient par un potentiel de migration élevé, mais par une protection, un état biologique et un état du paysage relativement médiocres. Aucun indicateur unique n'était un facteur déterminant de la capacité d'adaptation des terres humides, ce qui laisse entendre que les stratégies d'adaptation différeront en fonction de la richesse des espèces, des utilisations locales des terres, de la topographie et de la géologie.

Un nouvel indice consistant en un ensemble de plusieurs indicateurs quantitatifs a été élaboré pour décrire la vulnérabilité des 20 sites de terres humides côtières dans cette étude. Dans le cadre de la simulation climatique du PREC 4.5 associée à des niveaux de lac stables ou légèrement inférieurs (limite inférieure), treize terres humides côtières sur vingt ont été évaluées comme faiblement ou très faiblement vulnérables, six terres humides ont été considérées comme moyennement vulnérables et une terre humide a été classée comme hautement vulnérable. Dans le cadre de la simulation climatique du PREC 4.5 avec des projections de niveaux d'eau plus élevés (limite supérieure), les terres humides de l'est du lac Sainte-Claire, de la rivière Détroit et de l'ouest du lac Érié ont obtenu une note de vulnérabilité très élevée. Un site de l'ouest du lac Ontario a été évalué comme étant très vulnérable et huit terres humides présentaient une vulnérabilité moyenne face aux changements climatiques à venir.

La perte de terres humides côtières équivaut à une perte d'habitats dépendant des terres humides pour les espèces indigènes, y compris les espèces en péril qui subissent actuellement des déclin de population régionaux. L'effet de la perte de terres humides plus fréquente et extrême au fil du temps peut entraîner une perte de biodiversité et de services écosystémiques précieux si la conservation de l'adaptation est ignorée. Les résultats de cette étude contribueront à ce que les gestionnaires de ressources et les décideurs prennent des décisions éclairées favorisant la résilience des terres humides aux effets des changements climatiques. Cette évaluation de la vulnérabilité crée de nouvelles occasions de conservation des terres humides côtières, afin de continuer à assurer la fourniture de biens et services des terres humides au profit des écosystèmes d'eau douce et au profit de la vie sociale, économique et culturelle.

1.0 Introduction

Des preuves irréfutables montrent que la Terre s'est réchauffée pendant l'ère industrielle (IPCC, et al., 2021). La cause principale est l'influence humaine, et la réduction des émissions de gaz à effet de serre déterminera en grande partie l'ampleur des changements climatiques au cours du prochain siècle (IPCC, et al., 2021). Avec l'augmentation des températures du globe, les changements climatiques persisteront et, dans la plupart des cas, s'intensifieront au cours des prochaines décennies (Bush et al., 2019). Dans la région des Grands Lacs, les changements climatiques entraînent des variations extrêmes du niveau des lacs, des ondes de tempête et des températures de l'air et de l'eau de surface qui sont préjudiciables aux communautés végétales aquatiques et aux espèces indigènes qu'elles abritent (Environmental Law and Policy Centre 2019; Lam et Dokoska 2022).

Les terres humides côtières des Grands Lacs sont particulièrement menacées en raison de leur emplacement à l'interface terre-eau (figure 1). Ces ressources précieuses sont confrontées à une menace systémique due aux changements climatiques et aux perturbations et pertes multiples et répétées dues à l'agriculture, à l'aménagement et à la modification du littoral, à la pollution et aux espèces envahissantes. Tandis que la communauté de la conservation se prépare aux changements climatiques, il est crucial que les terres humides soient résilientes et continuent à fournir des services écosystémiques précieux au profit des



Figure 1. Photo aérienne de pointe Long, dans le lac Érié, qui est riche en terres humides côtières (ECCC).

écosystèmes d'eau douce et au profit de la vie sociale, économique et culturelle. Pour parvenir à la résilience des terres humides, la conservation exige une méthode de gestion différente de la méthode traditionnelle, notamment l'intégration des données climatiques régionales, des évaluations de la vulnérabilité et des approches d'adaptation qui réduisent les effets négatifs des changements climatiques. Bien que cet objectif soit ambitieux, sa réalisation est plus probable si la communauté de la conservation est en mesure de prendre des décisions éclairées et de réaliser des investissements en connaissance de cause.

À cette fin, Environnement et Changement climatique Canada a lancé une nouvelle étude scientifique intitulée « Évaluation et renforcement de la résilience des terres humides côtières des Grands Lacs ». L'objectif de l'étude était d'améliorer la compréhension de la vulnérabilité des terres humides aux changements climatiques futurs, définie comme suit : « *le degré de sensibilité et d'incapacité des terres à faire face aux effets négatifs des changements climatiques* » (IPCC, et al., 2014).

Ce rapport résume la modélisation et les analyses géospatiales d'une série de rapports techniques d'Environnement et Changement climatique Canada sur la vulnérabilité des terres humides côtières aux changements climatiques. De nouvelles projections à échelle réduite du

climat et du niveau des lacs ont été élaborées pour une série de scénarios futurs jusqu'à la fin du XXI^e siècle, afin de déterminer l'exposition au climat (ECCC, 2022a). Un modèle intégré de réponse des terres humides côtières (ECCC, 2022b) et une analyse de sensibilité (ECCC, 2022c) ont permis de cerner des changements plausibles de l'étendue, de la structure et de la diversité des communautés végétales des terres humides à différents niveaux de lac et pour divers facteurs paysagers. En combinaison avec une analyse des conditions actuelles qui influencent la capacité des terres humides à s'adapter et à faire face à un climat changeant (ECCC, 2022d), la vulnérabilité aux changements climatiques à venir a été déterminée pour 20 sites de terres humides côtières des Grands Lacs canadiens.

Les résultats de l'étude permettent la détection précoce des effets potentiellement dommageables des changements climatiques sur les terres humides côtières du littoral des Grands Lacs canadiens. Les résultats de l'évaluation sont également fondamentaux pour formuler une série de solutions d'adaptation fondées sur la nature à l'intention des gestionnaires des terres humides, qui figurent dans un rapport distinct intitulé « *Adapting to Climate Change : Solutions to Enhance Great Lakes Coastal Wetland Resilience* » (*Adaptation au changement climatique : des solutions pour améliorer la résilience des terres humides côtières des Grands Lacs*) (ECCC 2022e).

2.0 Méthodes et résultats

2.1 Sélection du site d'étude

La vulnérabilité des terres humides côtières peut varier dans la région des Grands Lacs en fonction de l'utilisation des terres, de la couverture terrestre, de la géologie, de la topographie, des conditions actuelles et de l'exposition au climat. Par conséquent, vingt terres humides côtières des lacs Huron, Sainte-Claire, Érié et Ontario, ainsi que des rivières Ste-Marie et Détroit et du fleuve Saint-Laurent ont été sélectionnées pour servir de substituts à d'autres terres humides de type et d'influence d'utilisation des terres similaires (figure 2). Les terres humides lacustres et riveraines faisaient l'objet de cette étude, car les terres humides protégées par des barrières sont à l'abri de l'eau libre et ne pouvaient donc pas être modélisées efficacement. Deux sites d'étude des terres humides côtières initialement sélectionnés pour le lac Supérieur n'ont pas été inclus dans l'évaluation finale.

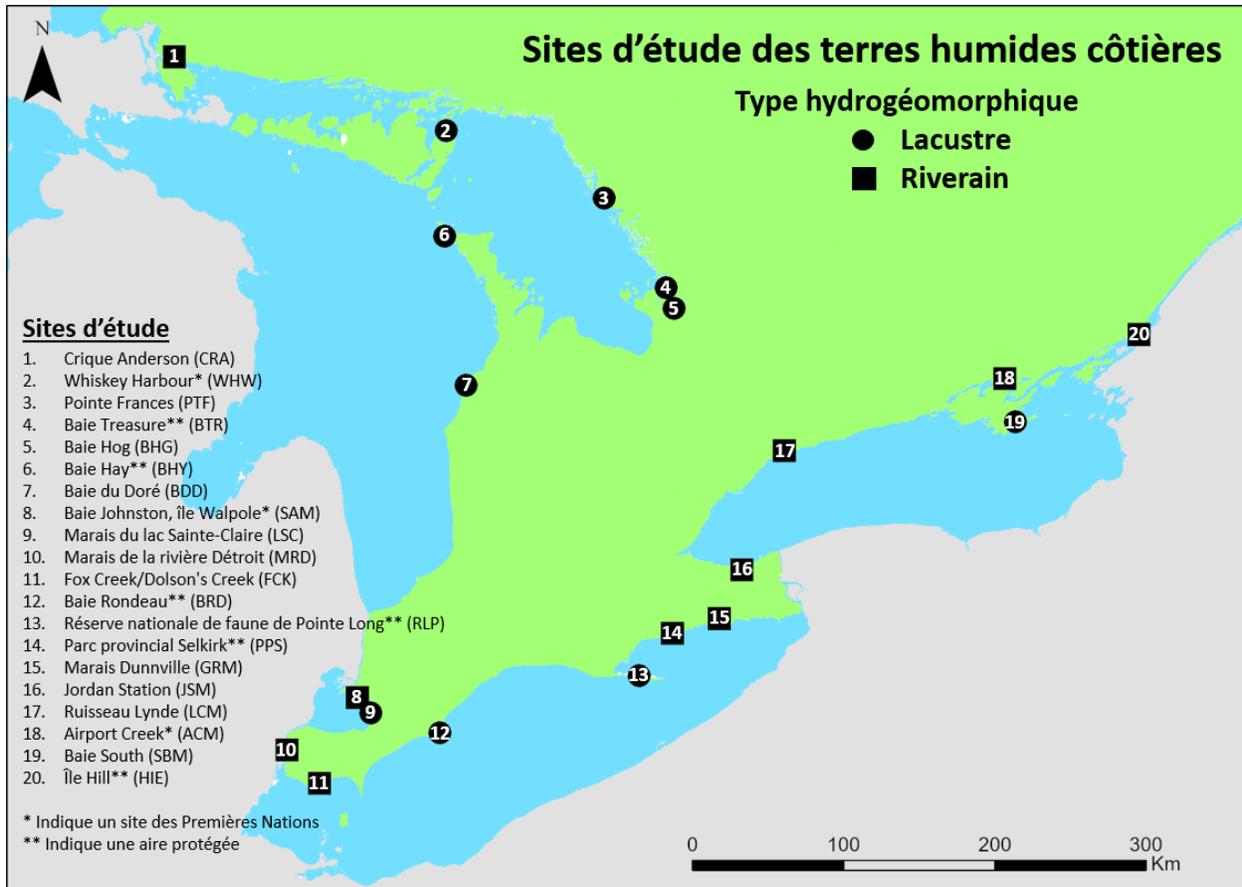


Figure 2. Les vingt sites d'étude des terres humides côtières des Grands Lacs canadiens sélectionnés pour l'évaluation de la vulnérabilité aux changements climatiques, accompagnés des acronymes utilisés ailleurs dans le présent rapport.

2.2 Méthode d'évaluation de la vulnérabilité

La compréhension des facteurs qui contribuent à la vulnérabilité aux changements climatiques est essentielle pour que les décideurs puissent se préparer et s'adapter aux effets des changements climatiques. Cette étude a décomposé la complexité de la vulnérabilité en trois composantes (figure 3). En combinant les changements climatiques, le niveau des lacs, les données des sondages sur les terres humides et les données de télédétection, la modélisation intégrée de la réaction de l'écosystème et les systèmes d'information géographique, la vulnérabilité des terres humides côtières a été déterminée jusqu'à la fin du XXI^e siècle. La méthodologie et les résultats de chaque composante de l'évaluation des vulnérabilités sont expliqués dans des rapports techniques détaillés (ECCC, 2022a, b, c et d).

L'accent mis sur le système social se limite à l'examen des stratégies et des options d'adaptation au climat à prendre en considération par les praticiens de la conservation des terres humides côtières (ECCC, 2022e).

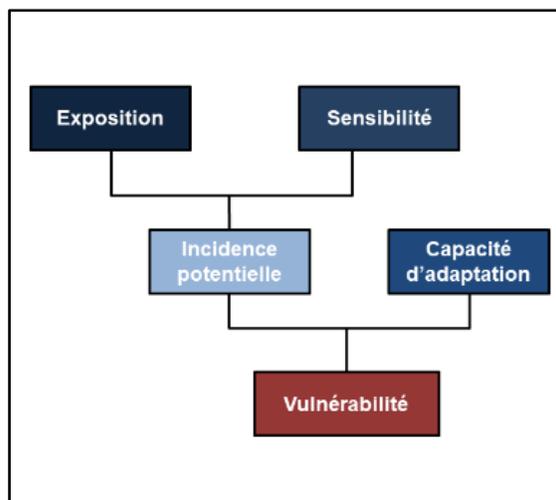


Figure 3. Un cadre pour la vulnérabilité aux changements climatiques montrant l'intégration de l'exposition, de la sensibilité et de la capacité d'adaptation.

2.2.1 Exposition aux changements climatiques

Dans le contexte de cette étude, l'exposition aux changements climatiques fait référence aux changements de température, de précipitations et de niveaux d'eau dans les Grands Lacs au fil du temps. Étant donné que l'échelle des évaluations climatiques mondiales et nationales est trop grande pour représenter la région des Grands Lacs, les projections climatiques ont été élaborées à partir des simulations du Modèle régional du climat (MRC) forcées par les modèles climatiques mondiaux (MCM). Cette étude a retenu deux scénarios de forçage appelés PREC (profils représentatifs d'évolution de concentration) : 1) une trajectoire intermédiaire de concentration future de gaz à effet de serre dans laquelle les émissions atteignent un pic vers 2040, puis commencent à diminuer (PREC 4.5) et 2) une trajectoire d'émissions croissantes, ou scénario du statu quo (PREC 8.5). En ce qui concerne l'augmentation de la température moyenne mondiale de l'air à proximité de la surface, le scénario PREC 4.5 prévoit un réchauffement de 2,5 °C par rapport aux niveaux préindustriels d'ici 2100, tandis que le scénario PREC 8.5 prévoit une augmentation de 5 °C.

La méthode a utilisé 13 combinaisons de MRC et MCM dans le processus de prédiction climatique. Les données relatives aux précipitations et à l'évaporation au-dessus des lacs ainsi qu'au ruissellement des bassins versants dans les lacs ont été extraites des MRC afin de calculer les « apports nets au bassin » pour chaque lac (précipitations totales à la surface des lacs plus ruissellement dans les lacs provenant des bassins versants environnants, moins

évaporation au-dessus des lacs). Le modèle coordonné de régulation et de routage des Grands Lacs a été utilisé pour calculer les niveaux des lacs et les débits des voies interlacustres (ECCC, 2022a).

Les résultats ci-dessous sont un résumé de la façon dont la température de l'air au-dessus des terres, les précipitations au-dessus des lacs et les niveaux des lacs ont changé dans le bassin des Grands Lacs et comment ils pourraient continuer à changer jusqu'à la fin du siècle. Pour en savoir plus sur la modélisation du climat et du niveau des lacs, voir le rapport technique « *Variables hydroclimatiques et niveaux des lacs futurs pour les Grands Lacs projetés à l'aide des données de la cinquième phase du projet d'intercomparaison de modèles couplés* » (ECCC, 2022a). Les visualisations de données associées sont disponibles dans un rapport complémentaire, « *Climate Change in the Great Lakes Basin* » (Les changements climatiques dans le bassin des Grands Lacs) (Lam & Dokoska, 2022).

Les températures de l'air au-dessus des terres devraient augmenter de manière importante dans les Grands Lacs par rapport à la période de référence (1961-2000). Selon le scénario de PREC 4.5, les températures annuelles moyennes de l'air au-dessus des terres pourraient augmenter d'environ 3 °C dans le bassin du lac Érié, et jusqu'à 3,5 °C dans le bassin du lac Supérieur, d'ici la fin du siècle. Dans le cadre du scénario de PREC 8.5, les températures annuelles moyennes de l'air au-dessus des terres pourraient augmenter de 4,8 °C dans le bassin du lac Érié et jusqu'à 5,6 °C dans le bassin du lac Supérieur dans les scénarios de changement climatique les plus extrêmes. Le réchauffement des températures pourrait entraîner des hivers plus chauds, un réchauffement printanier plus précoce, des chaleurs extrêmes, des précipitations plus abondantes et une diminution de la couverture de glace.

Tableau 1. Augmentation annuelle moyenne plausible de la température de l'air au-dessus des terres (°C) par rapport aux données historiques mesurées, dans les scénarios PREC 4.5 et PREC 8.5 et du milieu à la fin du XXI^e siècle.

LAC	Scénario, période, température moyenne en °C				
	Historique annuel	PREC 4.5		PREC 8.5	
	1961-2000	2036-2065	2066-2095	2036-2065	2066-2095
Supérieur	2,4	5,2	5,9	5,9	8,0
Huron	6,2	8,9	9,8	9,5	11,4
Érié	9,1	11,6	12,1	12,2	13,9
Ontario	7,3	9,8	10,3	10,4	12,2

Les précipitations au-dessus des lacs devraient augmenter en toutes saisons et au fil du temps dans les deux scénarios climatiques pour tous les lacs. Selon le PREC 4.5, les précipitations annuelles totales au-dessus des lacs pourraient augmenter de 9 % au-dessus du lac Érié et de 20 % au-dessus du lac Supérieur d'ici la fin du siècle. Selon le PREC 8.5, les précipitations annuelles totales au-dessus des lacs devraient augmenter encore davantage, de 18 % au-dessus du lac Érié et de 24 % au-dessus du lac Supérieur d'ici la fin du siècle. Avec des hivers plus chauds, les chutes de neige devraient diminuer, avec plus de précipitations tombant

sous forme de pluie. La neige attribuable à l'effet de lac pourrait augmenter dans les régions situées dans la ceinture de neige de l'Ontario, comme les parties orientales des lacs Supérieur et Huron, y compris l'est et le sud de la baie Georgienne. Les lacs Supérieur et Ontario pourraient connaître la plus forte augmentation des précipitations au-dessus des lacs dans les deux scénarios climatiques.

Tableau 2. Projection du changement en % des précipitations annuelles moyennes au-dessus des lacs pour les Grands Lacs canadiens, par rapport à (1961-2000), dans les scénarios PREC 4.5 et PREC 8.5 et du milieu à la fin du XXI^e siècle.

LAC	Scénario, période, changement (%)				
	Historique annuel (mm)	PREC 4.5		PREC 8.5	
	1961-2000	2036-2065	2066-2095	2036-2065	2066-2095
Supérieur	755,1	19	20	18	24
Huron	808,3	13	13	12	19
Érié	909,6	10	9	10	18
Ontario	846,6	15	15	15	22

Le niveau des lacs a fluctué jusqu'à deux mètres pour certains lacs (p. ex. le lac Huron) entre la moyenne mensuelle maximale et minimale au cours de la période historique de surveillance du niveau de l'eau. Cependant, un degré plus élevé de fréquence et d'extrêmes a été observé au cours des deux dernières décennies pour tous les lacs (Lam et Dokoska. 2022). Les principales variables hydroclimatiques utilisées pour déterminer le niveau des lacs sont les précipitations au-dessus des lacs, le ruissellement dans les lacs, l'évaporation, le débit d'eau et la régulation des débits sortants des lacs Supérieur et Ontario.

Les projections du niveau des lacs indiquent des écarts importants par rapport aux moyennes à long terme propres aux lacs, avec une tendance à la hausse pour tous les lacs dans la seconde moitié du siècle (tableau 3). La variabilité des niveaux des lacs devrait s'accroître, ce qui entraînera des niveaux élevés et bas encore plus extrêmes avec le réchauffement climatique. Les changements extrêmes des variables hydroclimatiques et des niveaux d'eau sont les plus marqués dans les scénarios à fortes émissions (c.-à-d. le PREC 8.5; dans les cas extrêmes, une augmentation d'environ un mètre par rapport aux extrêmes historiques est possible d'ici la fin du siècle), tandis que les changements du niveau des lacs dans le cadre de scénarios de changement climatique plus modérés (PREC 4.5) peuvent entraîner des extrêmes de niveau d'eau allant jusqu'à 0,5 mètre. Les lacs non réglementés (c.-à-d. Michigan-Huron, Érié et Sainte-Claire) présentent la plus grande variation dans les deux scénarios climatiques, ce qui est cohérent avec leurs fluctuations historiques du niveau des lacs et leur grand bassin versant. Cette fourchette croissante d'extrêmes devrait être prise en compte lors de l'élaboration de plans de conservation et d'adaptation susceptibles d'être affectés par les futurs niveaux des lacs.

Il existe diverses sources d'incertitude dans les projections climatiques et du niveau des lacs, allant des hypothèses socioéconomiques sur les émissions, l'atténuation et les incertitudes de modélisation, à l'adaptation à l'échelle régionale en passant par les hypothèses sur la façon

dont les Grands Lacs réagiraient dans des scénarios climatiques extrêmes. Il est également important de souligner que les projections ne prévoient pas les niveaux d'eau pour une année donnée, mais fournissent plutôt une fourchette de valeurs possibles. En outre, ce n'est pas parce que ces niveaux extrêmes sont possibles qu'ils se produiront nécessairement.

Tableau 3. Projection du changement du niveau annuel des lacs (en mètres) pour les Grands Lacs canadiens par rapport à la période de référence (1961-2000) dans les scénarios PREC 4.5 et 8.5 et du milieu à la fin du XXI^e siècle.

LAC	Scénario, période, changement moyen (5 ^e et 95 ^e centiles) (mètres)			
	PREC 4.5		PREC 8.5	
	2036-2065	2066-2095	2036-2065	2066-2095
Supérieur	0,1 (-0,3, 0,5)	0,2 (-0,3, 0,5)	0,1 (-0,3, 0,4)	0,2 (-0,3, 0,6)
Huron	0,2 (-0,5, 0,6)	0,2 (-0,7, 0,5)	0,1 (-0,9, 0,7)	0,5 (-0,1, 1,9)
Sainte-Claire	0,2 (-0,3, 0,5)	0,2 (-0,4, 0,4)	0,1 (-0,5, 0,5)	0,5 (-0,2, 1,4)
Érié	0,3 (-0,2, 0,6)	0,3 (-0,3, 0,6)	0,2 (-0,4, 0,6)	0,5 (-0,1, 1,3)
Ontario	0,3 (-0,1, 0,9)	0,3 (-0,1, 1,0)	0,2 (-0,2, 0,9)	0,3 (0,0, 1,0)

La couverture de glace des Grands Lacs peut également influencer la température de l'air, les précipitations, le vent, l'énergie des vagues et l'exposition des terres humides à l'érosion et aux dommages à long terme. Depuis les années 1970, la couverture de glace maximale a diminué de 5 % par décennie et certains lacs perdent leur couverture de glace plus rapidement que d'autres, notamment les lacs Supérieur, Huron, Sainte-Claire et Érié (Di Liberto, 2018). Selon le scénario de PREC 8.5, la couverture de glace moyenne pourrait diminuer de 8 à 30 % d'ici la fin du siècle. La couverture de glace moyenne au printemps pourrait quant à elle diminuer de 3 à 18 % d'ici la fin du siècle (Lam & Dokoska, 2022).

Modélisation de la réponse des terres humides côtières

Les classes de communautés végétales des terres humides côtières sont structurées en fonction d'un gradient d'altitude (par rapport au niveau de l'eau d'une terre humide) dans lequel les espèces végétales persistent dans une aire verticale étroite (< 2 m) (figure 6). Ainsi, la structure des terres humides et la répartition spatiale des plantes sont sensibles aux changements d'altitude par rapport au niveau des lacs (Grabas & Rokitnicki-Wojcik, 2015). Une caractérisation tridimensionnelle précise de l'altitude à l'intérieur et autour d'une terre humide côtière est essentielle pour modéliser la réponse des plantes. Cette caractérisation se fait au moyen de modèles altimétriques numériques (MAN) de haute définition, c'est-à-dire une grille où chaque valeur de cellule représente l'altitude du terrain (figure 4).

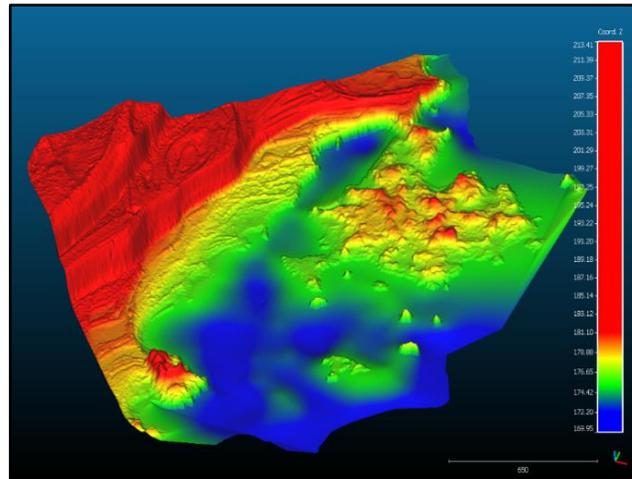


Figure 4. Modèle altimétrique numérique de la terre humide côtière de la baie Treasure (baie Georgienne) montrant la surface topographique de la terre nue, y compris les hauts-fonds rocheux, à une exagération verticale de 10x.

Une deuxième composante est le modèle de réponse des terres humides côtière, qui simule les changements dans les terres humides en fonction des possibles futurs niveaux des lacs; figure 5). Le modèle de réponse des terres humides côtière intègre les conditions physiques (niveaux des lacs, profondeur de l'eau, vagues et topographie) et écologiques (répartition des classes de plantes des terres humides grâce à des données de terrain, topographiques et bathymétriques) dans l'espace et dans le temps pour comprendre les processus de succession et la répartition géographique des classes de terres humides depuis un passé récent jusqu'à la fin du siècle, selon divers scénarios climatiques. Le modèle de réponse des terres humides côtière s'appuie sur les conditions physiques et biologiques historiquement observées pour élucider la relation entre ces deux dimensions importantes de l'écosystème et permet une représentation numérique des processus écosystémiques et hydrologiques des terres humides. Ce faisant, il est possible de relier le climat à grande échelle et la dynamique à l'échelle du lac aux processus écosystémiques à petite échelle des terres humides qui sont fondamentaux pour l'analyse spatiale de la sensibilité des terres humides côtières.

En raison de la grande incertitude concernant les niveaux modélisés du lac Ontario dans le cadre du scénario d'émissions supérieures (PREC 8.5), des simulations climatiques produites par des modèles climatiques mondiaux ont été sélectionnées à partir d'un ensemble de modèles afin de tenir compte de l'éventail de conditions futures potentielles dans le cadre du scénario d'émissions intermédiaires (PREC 4.5). Dans le cadre de ce scénario climatique, les projections faites par le modèle du système terrestre canadien (CanESM2) ont été sélectionnées pour représenter un scénario utilisant la « limite inférieure » du PREC 4.5, dans lequel les changements de niveau des lacs peuvent être stables ou légèrement inférieurs à la

moyenne à long terme. À l'inverse, les projections réalisées par le modèle du système terrestre du Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (GFDL-ESM2M) ont été sélectionnées pour représenter un scénario utilisant la « limite supérieure » du PREC 4.5, dans lequel les changements de niveau des lacs prévus sont supérieurs à la moyenne à long terme.

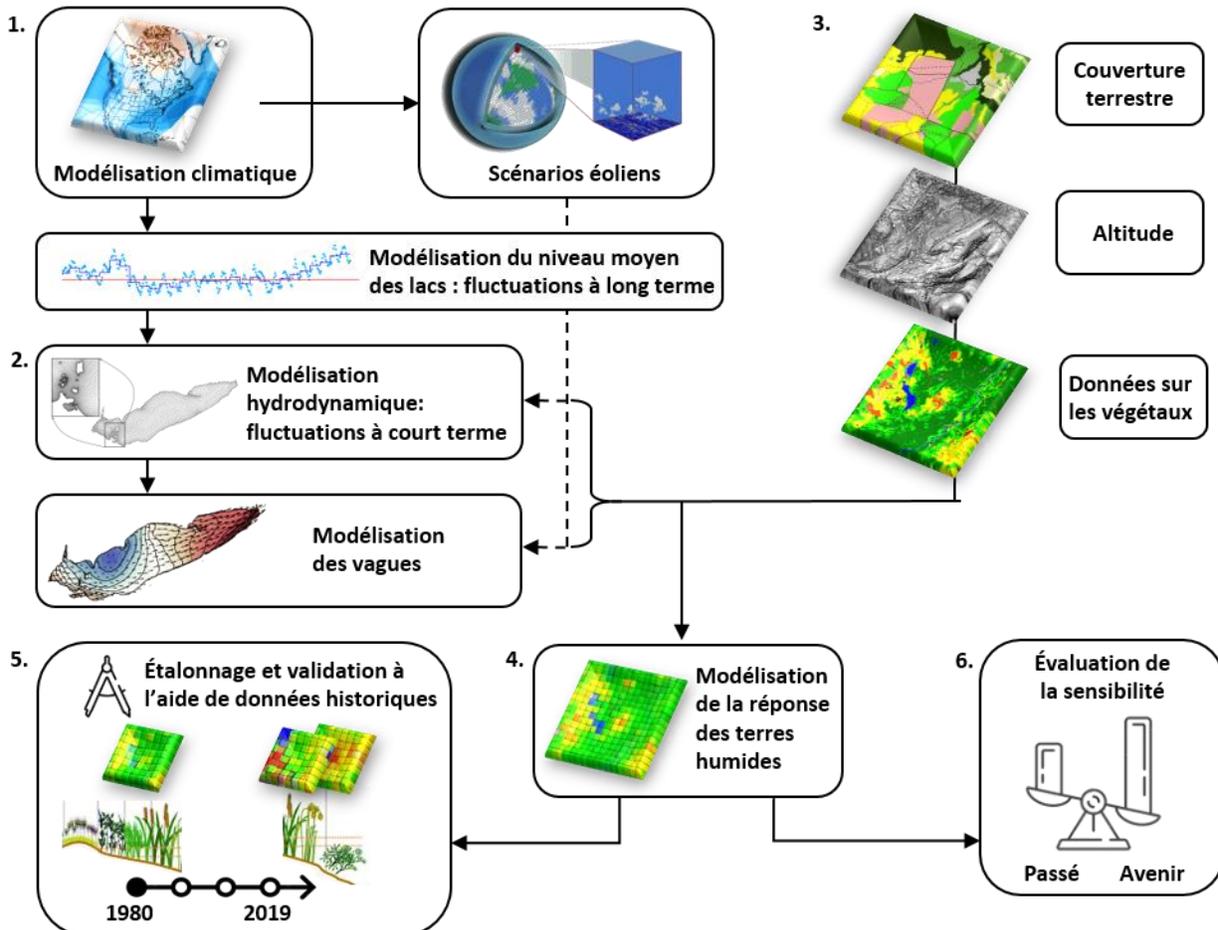


Figure 5. Un schéma du modèle de réponse des terres humides côtières. (1) La modélisation climatique a été mise à l'échelle pour modéliser les configurations régionales des vents et les niveaux moyens des lacs. (2) Les effets du vent à court et à long terme ont été utilisés pour modéliser les variations du niveau d'eau, les vagues et la dynamique de l'eau près du littoral. Les variables environnementales comprenaient la fréquence, l'ampleur et la durée des périodes d'inondation et de sécheresse. (3) Les données relatives à la couverture terrestre, à l'altitude et à l'étude des plantes des terres humides (2018-2019) ont été combinées pour comprendre où les principales classes de plantes des terres humides existent actuellement et dans quelles conditions environnementales. (4) En utilisant l'apprentissage automatique supervisé, les changements de taille et de répartition des classes de plantes des terres humides ont été prévus en réponse à des variables environnementales changeantes. (5) Le modèle de réponse des terres humides côtières a été étalonné et validé en simulant le passé observé et en le comparant aux observations historiques faites lors de collectes de données sur le terrain et par télédétection. (6) La succession prévue des terres humides a ensuite été comparée au passé simulé pour détecter les réponses des terres humides liées au climat.

Les effets du vent à court et à long terme, comme la configuration du vent et l'activité des seiches, ont été utilisés pour modéliser les variations du niveau des lacs à basse et à haute fréquence, ainsi que le climat des vagues qui façonne les terres humides côtières. Les variables, qui comprennent la fréquence, l'ampleur et la durée des périodes d'inondation et de sécheresse, ont été extraites des simulations hydrodynamiques en utilisant l'analyse des ondelettes à l'échelle d'un quart de mois pour les périodes observées et simulées. Les données sur la couverture/l'utilisation des terres, l'altitude et les classes de terres humides ont été intégrées pour comprendre où les grandes classes de terres humides existaient actuellement, et dans quelles conditions environnementales. En utilisant l'apprentissage automatique supervisé, le modèle de réponse des terres humides a prévu des changements de taille et de répartition des communautés végétales des terres humides (tableau 4, figure 6). Le modèle de réponse des terres humides a été étalonné et validé en simulant le passé observé (1980-2018) et en comparant ces simulations avec les observations historiques faites lors de la collecte de données sur le terrain et par télédétection.

Tableau 4. Une description des communautés végétales des terres humides modélisées avec des exemples d'espèces végétales.

Communauté	Description	Exemples
Végétation aquatique submergée	Plantes à racines submergées et à feuilles flottantes, nitelles et cornifles nageantes.	Potamots feuillés (<i>Potamogeton foliosus</i>). Nymphée odorante (<i>Nymphaea odorata</i>). Myriophylle de Sibérie (<i>Myriophyllum sibiricum</i>). Naiade flexible (<i>Najas flexilis</i>).
Marais émergent	Plantes à croissance au-dessus du substrat qui émergent de la colonne d'eau.	Rubanier à gros fruits (<i>Sparganium eurycarpum</i>). Sagittaire à larges feuilles (<i>Sagittaria latifolia</i>). Scirpe aigu (<i>Schoenoplectus acutus</i>). Quenouille à feuilles larges (<i>Typha latifolia</i>).
Pré humide	Carex, graminées, fougères et plantes herbacées non graminoides.	Carex raide (<i>Carex stricta</i>). Calamagrostide du Canada (<i>Calamagrostis canadensis</i>). Anémone du Canada (<i>Anemone canadensis</i>). Onoclée sensible (<i>Onoclea sensibilis</i>).
Marécage	Marais broussailleux	Plantes vivaces ligneuses à jet bas.
	Marécage arborescent	Plantes vivaces ligneuses à jet haut.
		Cornouiller stolonifère (<i>Cornus stolonifera</i>). Céphalanthe occidental (<i>Cephalanthus occidentalis</i>). Frêne vert (<i>Fraxinus pennsylvanica</i>). Saule fragile (<i>Salix fragilis</i>).

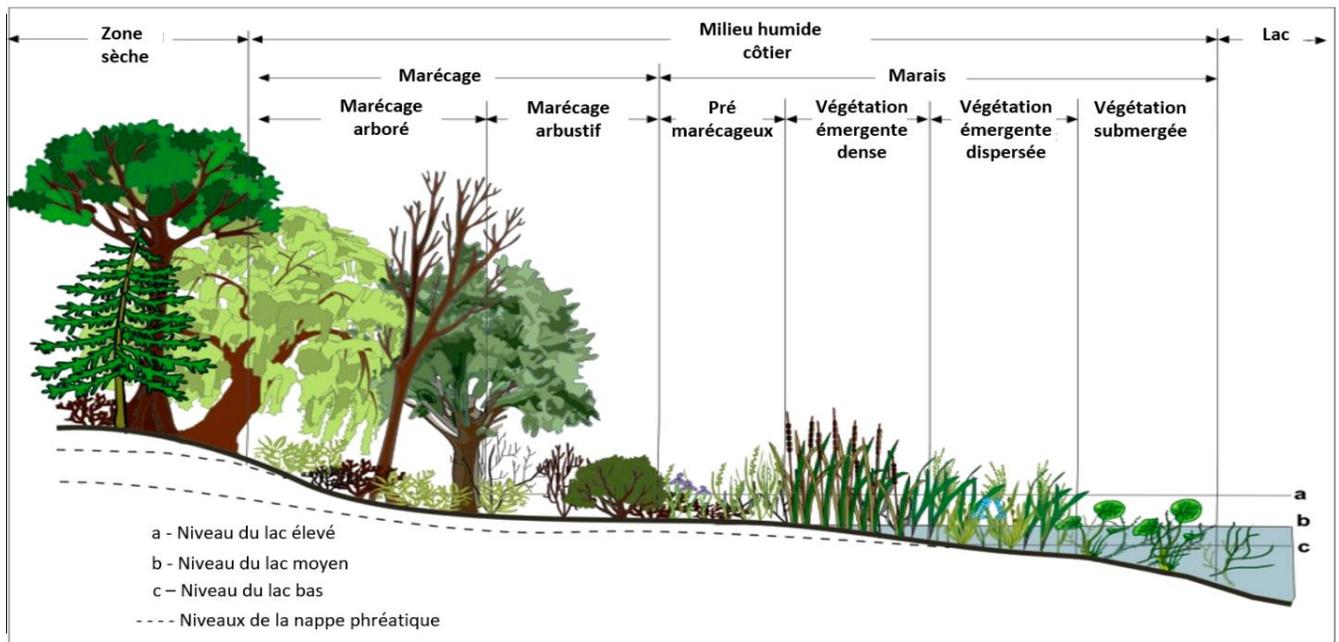


Figure 6. Le profil vertical d'une terre humide côtière typique des Grands Lacs montrant les transitions entre les communautés végétales en relation avec le niveau du lac (Wilcox, et al., 2002).

Les changements dans les classes de végétation des terres humides entre les simulations passées (1980-2010) et futures (2070-2100) ont été comparés pour détecter une réponse négative aux changements climatiques ainsi qu'un risque pour la fourniture continue de services écosystémiques précieux (Figures 7 et 8). Une description détaillée de la méthodologie utilisée pour créer les MAN et le modèle de réponse des terres humides, ainsi que les résultats du modèle, figurent dans le document « *Great Lakes coastal wetland response to climate change using a coastal wetland response model (CWRM)* » (*Réponse des terres humides côtières des Grands Lacs au changement climatique modélisée à l'aide du modèle de réponse des terres humides*) (ECCC, 2022b).

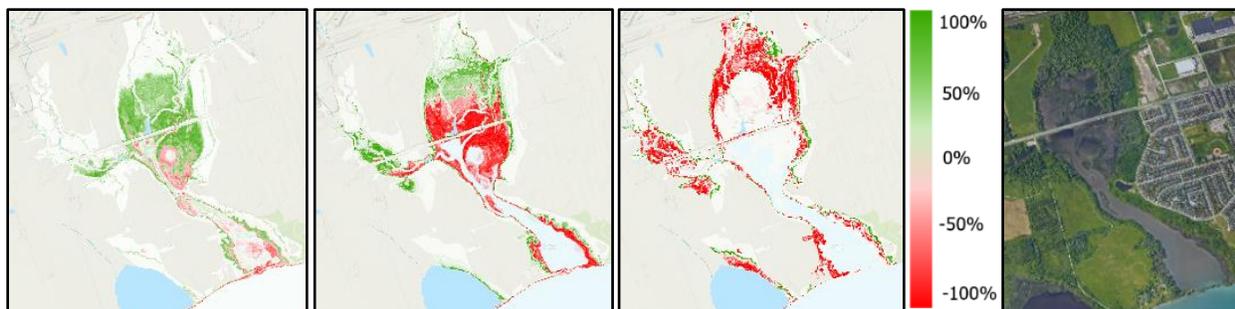


Figure 7. Changements de répartition des classes de terres humides entre le passé récent et le futur simulé d'après le scénario utilisant la limite supérieure du PREC 4.5 pour le ruisseau Lynde (Lac Ontario) (rouge : perte, vert : gain). Le graphique de gauche montre la migration vers les zones sèches du marais émergent. Le graphique central de gauche montre la perte de végétation aquatique submergée. Le graphique central de droite montre une perte de marécage. Le graphique de droite est une image satellite par Google du ruisseau Lynde.

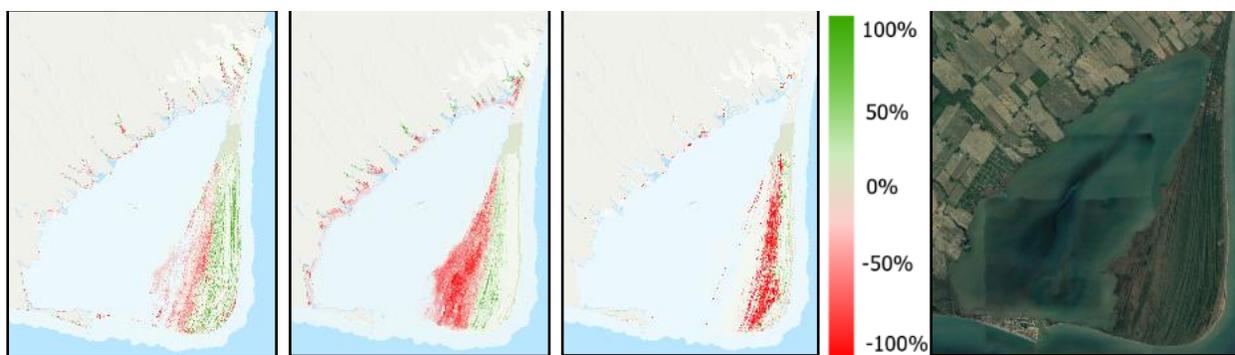


Figure 8. Changements de répartition des classes de terres humides entre le passé récent et le futur d'après le scénario utilisant la limite supérieure du PREC 4.5 pour la baie Rondeau (Lac Érié) (rouge : perte, vert : gain). Le graphique de gauche montre la migration vers les zones sèches et l'augmentation du marais émergent. Le graphique central de gauche montre la perte de végétation aquatique submergée. Le graphique central de droite illustre une perte de marécages arbustifs en raison de la faible disponibilité de terres à une altitude plus élevée. Le graphique de droite est une image satellite de Google de la baie Rondeau.

2.2.2 Sensibilité des terres humides côtières

La sensibilité est définie comme « *le degré auquel un système ou une espèce est influencé, positivement ou négativement, par la variabilité du climat ou les changements climatiques* » (Glick, Stein, & Edelson, 2011). Dans le contexte de cette étude, la sensibilité des terres humides a été évaluée en sélectionnant les caractéristiques écologiques valorisées d'un habitat humide sain (tableau 5, figure 11) et en extrayant les sorties modélisées pour quantifier les incidences nuisibles possibles sur l'étendue, la structure et la fonction des terres humides.

Un changement négatif de chaque caractéristique écologique a été déterminé en comparant le passé simulé (de 1980 à 2008) au futur prévu (de 2071 à 2098) des scénarios utilisant la limite inférieure et la limite supérieure du PREC 4.5. Pour déterminer si une caractéristique de l'écosystème a réagi négativement, le 10^e centile a été calculé pour les simulations passées et appliqué aux prévisions futures comme seuil de détection d'un état négatif extrême (figure 9). Le 10^e centile permet de catégoriser la fréquence des notes annuelles de caractéristiques inférieures à 90 % parmi celles observées dans le passé simulé. La fréquence des notes de caractéristiques inférieures au seuil de détection des changements a été additionnée et exprimée en proportion du nombre total d'années prévues pour obtenir un indice global de sensibilité des terres humides côtières.

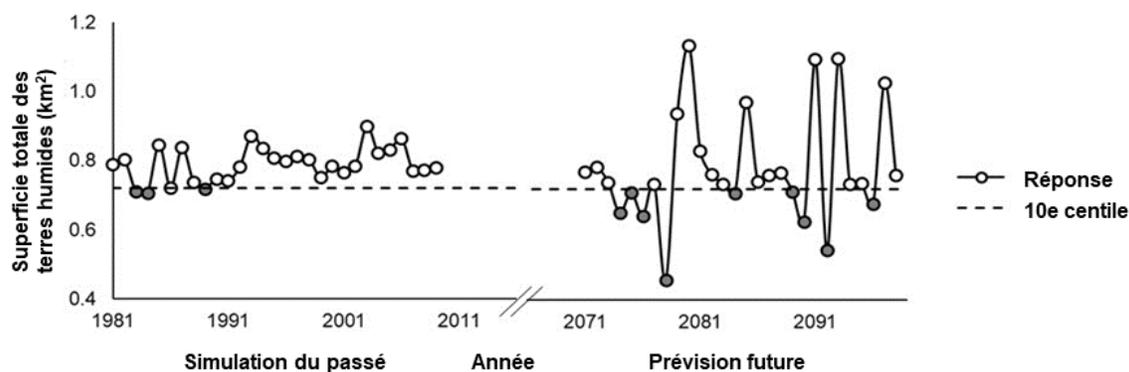


Figure 9. Réponse simulée de la superficie totale des terres humides (km^2) de la baie South (lac Ontario) pour le scénario climatique utilisant la limite supérieure du PREC 4.5. Pour déterminer si la superficie des terres humides a réagi négativement, le 10^e centile a été calculé pour l'ensemble du passé simulé et appliqué à la prévision comme seuil de détection d'un changement négatif. Dans ce cas, neuf des 28 années de prévision (32 %) dépassent le seuil de détection des changements, ce qui indique une sensibilité moyenne et un risque de perte future de terres humides.

Les notes des caractéristiques et de l'indice de sensibilité ont été classées comme suit : faible (*aucun risque détectable*), moyenne (*risque existant*) ou élevée (*risque critique*) pour les effets futurs des changements climatiques et la fourniture des services écosystémiques des terres humides (figure 10).

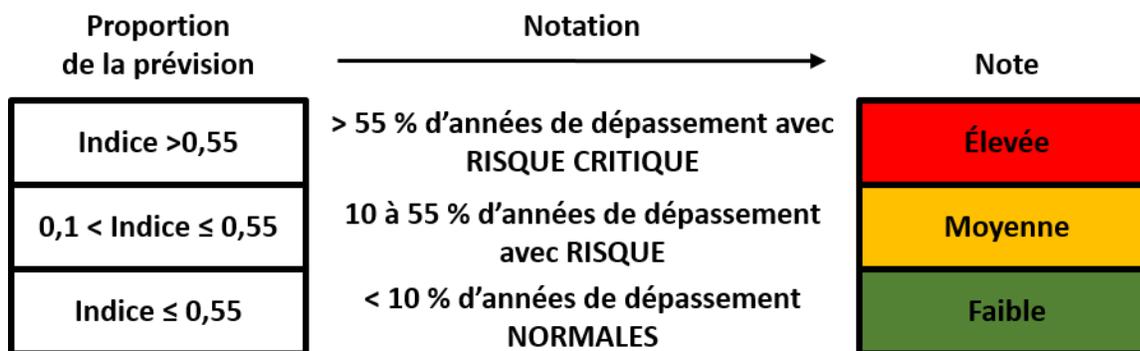


Figure 10. Notation des caractéristiques écologiques et des indices de sensibilité des terres humides. Les notes des caractéristiques des écosystèmes et de l'indice de sensibilité des terres humides ont été classées en trois catégories : élevée, moyenne ou faible; avec risque critique, avec risque existant et sans risque détectable.

Tableau 5. Un résumé des caractéristiques écologiques valorisées, avec la justification utilisée pour évaluer la sensibilité des terres humides côtières aux changements climatiques.

Caractéristique	Description	Valeur/justification de l'évaluation
Superficie totale des terres humides	La mesure bidimensionnelle de la superficie d'un site d'étude des terres humides côtières.	Les terres humides de plus grande taille favorisent la diversité et l'abondance des espèces, ainsi que les fonctions et les services écosystémiques. Les fluctuations du niveau des lacs déterminent l'étendue des terres humides.
Diversité des communautés végétales	Le nombre et la proportion relative des communautés végétales mesurés par l'indice de diversité de Shannon.	La diversité des communautés végétales favorise la diversité des espèces ainsi que la fonction, la stabilité et la résilience de l'écosystème tout en offrant un éventail d'habitats et de refuges à la faune des terres humides.
Végétation aquatique submergée	L'étendue tridimensionnelle du bas marais inondé qui abrite des plantes submergées et à feuilles flottantes.	La végétation aquatique submergée améliore la qualité de l'eau en emmagasinant et en libérant des éléments nutritifs et de l'oxygène. Le système racinaire assure la stabilité des sédiments et réduit la turbidité. La végétation aquatique submergée fournit un habitat de frai, de pépinière et d'alimentation ainsi que des refuges pour les amphibiens, les reptiles et les poissons.
Entremêlement des terres humides	Également appelé densité de bordure, l'entremêlement est le rapport entre la végétation des terres humides et l'eau libre.	Mesure de l'hétérogénéité structurelle de l'habitat associée à une diversité et une abondance accrues des oiseaux des marais et des oiseaux aquatiques. L'entremêlement dépend des fluctuations du niveau des lacs et fait souvent l'objet de la restauration et de la gestion des terres humides.

Pré humide	Étendue bidimensionnelle de la communauté végétale de la prairie humide dominée par les carex et les graminées.	La communauté végétale des prés humides est très sensible aux fluctuations du niveau des lacs, abrite la plus grande diversité de plantes des terres humides et constitue un habitat important pour la recherche de nourriture et la reproduction des oiseaux.
------------	---	--



Figure 11. Exemples de caractéristiques des terres humides. De gauche à droite : végétation aquatique submergée, entremêlement et habitat de pré humide.

Voici un résumé des résultats de l'analyse de sensibilité. Pour une compréhension approfondie de la méthodologie et des résultats, le lecteur est invité à consulter le document technique « Assessing the Sensitivity of Great Lakes Coastal Wetlands to Climate Change » (Évaluation de la sensibilité des terres humides côtières des Grands Lacs aux changements climatiques) (ECCC, 2022c).

L'analyse de sensibilité a révélé que toutes les caractéristiques écologiques des terres humides étaient sensibles aux changements climatiques, ce qui montre qu'il existe un risque pour les terres humides et les services écosystémiques associés (figure 12, tableau 6). La sensibilité des terres humides était généralement plus élevée dans le scénario de limite supérieure associé à des niveaux des lacs plus élevés. Tous les sites d'étude des terres humides côtières étaient exposés à des risques dans au moins une simulation, et cinq sites de terres humides étaient exposés à un risque critique dans au moins une simulation.

Les terres humides du lac Ontario ont été les moins sensibles, car aucun site n'a été évalué comme étant exposé à un risque grave dans les deux simulations. Le marais d'Airport Creek était le seul site à être considéré comme exposé à un faible risque dans la simulation de limite supérieure. En revanche, les sites de terres humides du lac Érié, du lac Sainte-Claire et de la rivière Détroit ont montré la plus grande sensibilité des terres humides dans les deux simulations. Sept sites étaient considérés comme étant exposés à un risque dans la simulation de limite inférieure, tandis que quatre sites étaient considérés comme étant exposés à un risque critique dans la simulation de limite supérieure. Toutes les terres humides du lac Huron et de la rivière Ste-Marie ont été évaluées comme exposées à un risque dans la simulation de limite supérieure, à l'exception de Whiskey Harbour sur l'île Manitoulin, qui était exposé à un risque critique (il convient de souligner que la sensibilité peut avoir été surestimée en raison de la résolution à grain plus grossier des données de couverture terrestre utilisées dans le modèle de réponse des terres humides côtières).

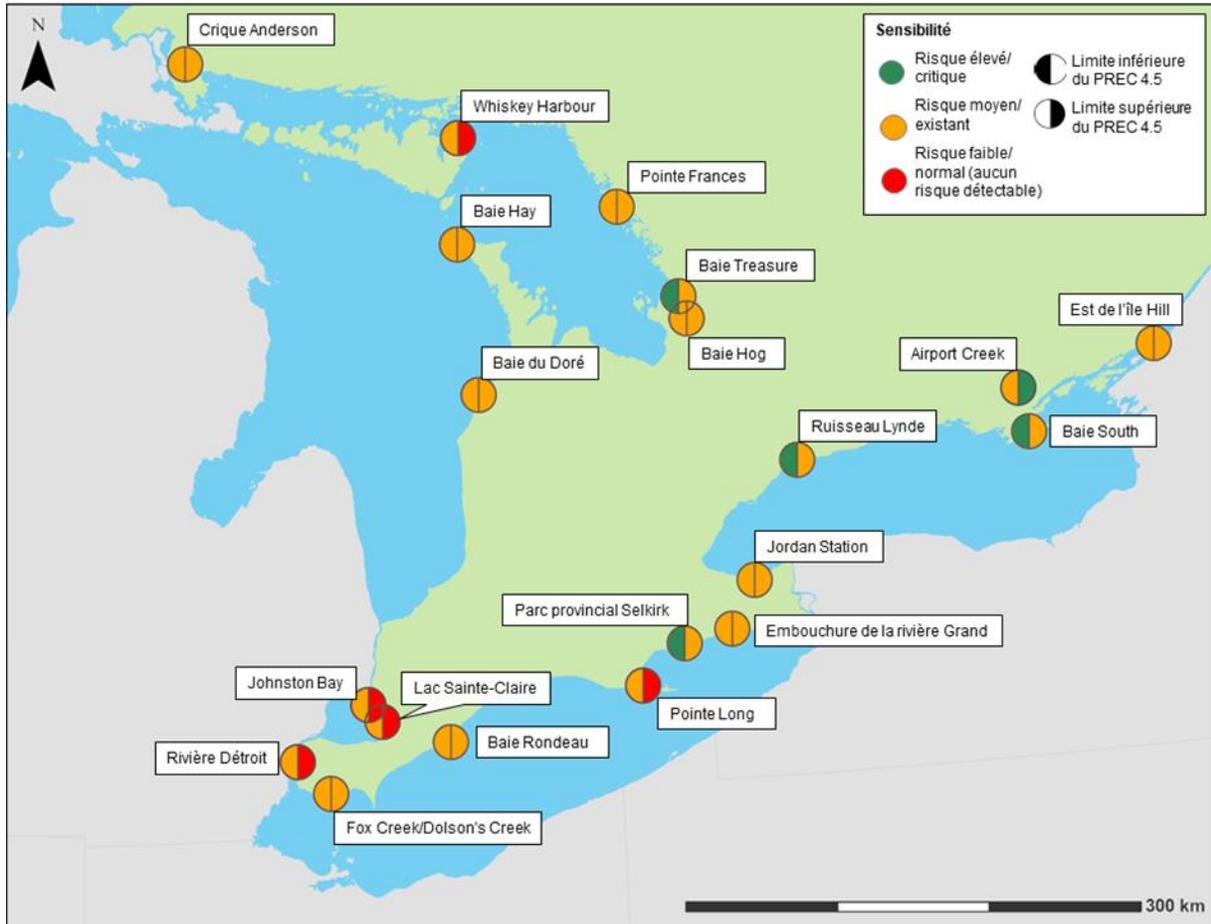


Figure 12. Notes de sensibilité pour les sites de terres humides côtières des Grands Lacs. Le côté gauche de chaque cercle montre la sensibilité dans le cadre de la simulation climatique de limite inférieure associée à des niveaux de lac plus bas. Le côté droit de chaque cercle montre la sensibilité dans le cadre de la simulation climatique de limite supérieure associée à des niveaux de lac plus élevés. La couleur rouge correspond à une sensibilité élevée (risque critique), la couleur orange à une sensibilité moyenne (risque existant) et la couleur verte à une sensibilité faible (aucun risque détectable).

Tableau 6. Notes de sensibilité des terres humides côtières et classification des risques par lac, terre humide et type. Les notes de l'indice se situent sur un continuum commençant à 0,00. Le maximum théorique est de 1,00 (figure 8). Lorsque les classifications des risques propres au modèle différent, la sensibilité globale est exprimée sous forme de fourchette.

Bassin	Nom du milieu humide	Type de terres humides	PREC 4.5		PREC 4.5		Sensibilité globale
			Limite inférieure	Moyenne	Limite supérieure	Moyenne	
Rivière Ste-Marie	Crique Anderson	Embouchure submergée dégagée	0,29	Moyenne	0,15	Moyenne	Moyenne
Lac Huron	Baie du Doré	Baie dégagée	0,21	Moyenne	0,41	Moyenne	Moyenne
	Pointe Frances	Baie protégée	0,19	Moyenne	0,23	Moyenne	Moyenne
	Baie Hay	Baie protégée	0,19	Moyenne	0,18	Moyenne	Moyenne
	Baie Hog	Baie protégée	0,14	Moyenne	0,36	Moyenne	Moyenne
	Baie Treasure	Baie protégée	0,08	Faible	0,28	Moyenne	Faible à moyenne
	Whiskey Harbour	Baie protégée	0,20	Moyenne	0,67	Élevée	Moyenne à élevée
Lac Sainte-Claire	Baie Johnston	Delta	0,12	Moyenne	0,67	Élevée	Moyenne à élevée
	Lac Sainte-Claire	Rivage dégagé	0,15	Moyenne	0,71	Élevée	Moyenne à élevée
Rivière Détroit	Rivière Détroit	Rivage dégagé	0,15	Moyenne	0,69	Élevée	Moyenne à élevée
Lac Érié	Fox Creek/Dolson's Creek	Embouchure submergée fermée	0,15	Moyenne	0,54	Moyenne	Moyenne
	Embouchure de la rivière Grand	Embouchure submergée fermée	0,21	Moyenne	0,44	Moyenne	Moyenne
	Pointe Long	Langue de sable	0,16	Moyenne	0,63	Élevée	Moyenne à élevée
	Baie Rondeau	Langue de sable	0,19	Moyenne	0,31	Moyenne	Moyenne
	Selkirk	Embouchure submergée fermée	0,09	Faible	0,34	Moyenne	Faible à moyenne
Lac Ontario	Airport Creek	Embouchure submergée dégagée	0,27	Moyenne	0,08	Faible	Faible à moyenne
	Jordan Station	Embouchure submergée fermée	0,37	Moyenne	0,43	Moyenne	Moyenne
	Ruisseau Lynde	Embouchure submergée fermée	0,04	Faible	0,14	Moyenne	Faible à moyenne
	Baie South	Baie dégagée	0,04	Faible	0,29	Moyenne	Faible à moyenne
Fleuve Saint-Laurent	Est de l'île Hill	Baie protégée	0,25	Moyenne	0,52	Moyenne	Moyenne

2.2.3 Effet potentiel des changements climatiques sur les terres humides côtières

On s'attend à ce que la superficie des terres humides fluctue au fil du temps, avec des gains et des pertes; cependant, cette analyse montre qu'il y aura plus d'années avec moins de terres humides par rapport au passé. Une perte de la superficie totale des terres humides est prévue dans le scénario de limite supérieure pour tous les sites d'étude des terres humides, 12 sites étant exposés à des risques critiques. L'étendue des prés humides suivait une tendance similaire dans le scénario de limite supérieure, avec 10 sites très sensibles (figures 14A et 14D, tableau 8).

Le changement prévu de superficie des terres humides allait d'une diminution de 55 % à une augmentation de 30 % (figure 13). Dans le scénario de limite supérieure, auquel est associée une élévation moyenne du niveau de l'eau de 54,5 cm pour tous les lacs, on observe une perte moyenne de terres humides de 16 % (entre -55 % et 12 %). En revanche, le scénario de limite inférieure présente une baisse moyenne du niveau d'eau de 10,3 cm pour tous les lacs et un gain moyen associé de 7 % pour les terres humides, allant de -1 % à 29 % pour tous les sites. Pour le lac Érié, la perte était de 31 % de la superficie des terres humides, tandis que pour le lac Sainte-Claire, la superficie des terres humides diminuait de 35 %. Le lac Huron enregistrait une perte moyenne de 11 % dans le scénario de limite supérieure. Inversement, la montée des eaux prévue du lac Ontario dans le cadre du scénario de PREC 4.5 de limite supérieure était à l'origine d'une augmentation moyenne de la superficie des terres humides de 8 % (ECCC, 2022b).

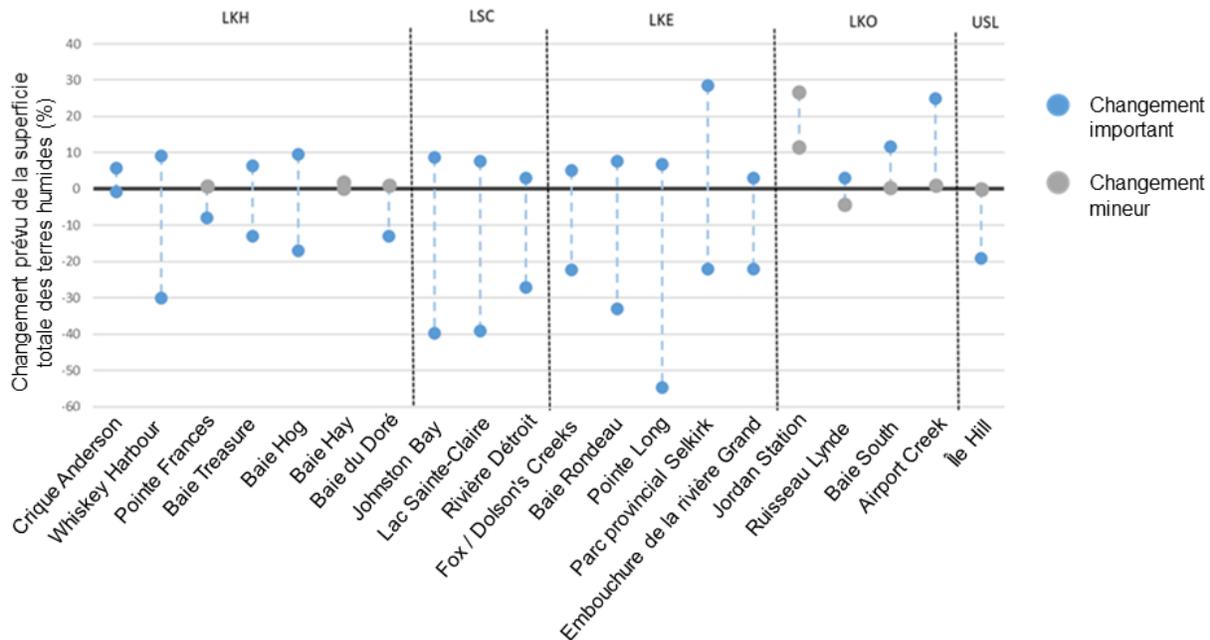


Figure 13. L'ensemble des changements relatifs prévus sur la terre humide (%), défini comme la différence de répartitions annuelles entre le futur (2070-2099) et le passé récent (1980-2009) (ECCC, 2022b).

L'entremêlement et le volume de la végétation aquatique submergée étaient les moins réactifs. Dans le scénario de limite inférieure, 12 terres humides ont montré une perte d'entremêlement (figure 14E, tableau 7). Ce nombre diminuait à neuf terres humides dans le scénario de limite supérieure; toutefois, la baie Hay, la rivière Détroit et la pointe Long étaient très sensibles (figure 14E, tableau 8). Le volume de la végétation aquatique submergée était plus sensible dans le scénario de limite inférieure, une perte étant prévue sur 14 sites (figure 14 B, tableau 7). Ce nombre diminuait à 10 terres humides dans le scénario de limite supérieure (tableau 8); toutefois, les sites de Fox Creek/Dolson's Creek et du lac Sainte-Claire étaient très sensibles. La diversité des communautés végétales des terres humides était modérément sensible aux changements climatiques prévus. Dans le cadre du scénario de limite inférieure, neuf terres humides enregistraient une diminution de la diversité des communautés, un endroit (Jordan Station) étant très sensible (figure 14C, tableau 7). Dans le scénario de limite supérieure, ce chiffre passait à 14 sites, dont six terres humides très sensibles (figure 14C, tableau 8).

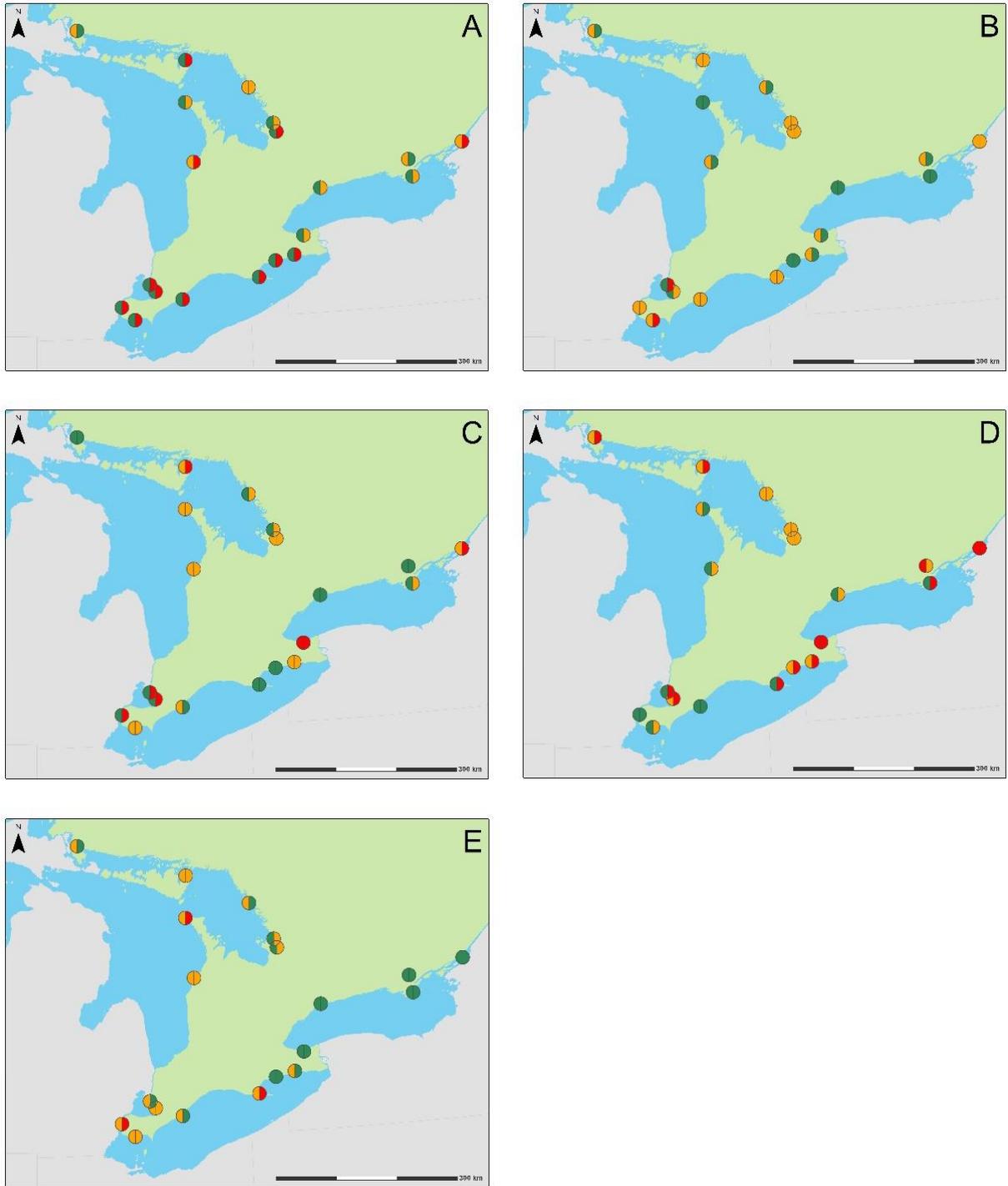


Figure 14. Notes des caractéristiques des écosystèmes et classifications des risques pour les sites d'étude des terres humides côtières. (A) Superficie totale de la terre humide; (B) volume de la végétation aquatique submergée; (C) diversité de la communauté végétale; (D) superficie des prés humides; (E) entremêlement. Le côté gauche de chaque cercle représente les notes des caractéristiques de l'écosystème et les classifications de risque pour la limite inférieure du PREC 4.5. Le côté droit de chaque cercle représente les classifications de sensibilité et de risque pour la limite supérieure du PREC 4.5. Sensibilité élevée - risque critique (rouge), sensibilité moyenne – risque existant (orange), sensibilité faible et aucun risque détectable (vert).

Tableau 7. Notes des caractéristiques écologiques et classifications des risques relatifs aux sites de terres humides organisés par région des Grands Lacs d'après le scénario de PREC 4.5 de limite inférieure. L'indice de sensibilité représente la proportion (de 0,00 à 1,00) de baisses extrêmes prévues pour chaque caractéristique dans le cadre du scénario modélisé. Les classifications des risques sont fondées sur le régime de notation de la figure 9.

Bassin	Nom du milieu humide	Superficie totale des terres humides		Volume de la végétation aquatique submergée		Diversité des communautés végétales		Zone de pré humide		Entremêlement	
Rivière Ste-Marie	Crique Anderson	0,11	Moyenne	0,43	Moyenne	0,04	Faible	0,46	Moyenne	0,43	Moyenne
Lac Huron	Baie du Doré	0,25	Moyenne	0,14	Moyenne	0,25	Moyenne	0,04	Faible	0,39	Moyenne
	Pointe Frances	0,18	Moyenne	0,18	Moyenne	0,07	Faible	0,32	Moyenne	0,18	Moyenne
	Baie Hay	0,07	Faible	0,07	Faible	0,36	Moyenne	0,14	Moyenne	0,32	Moyenne
	Baie Hog	0,04	Faible	0,18	Moyenne	0,25	Moyenne	0,18	Moyenne	0,04	Faible
	Baie Treasure	0,07	Faible	0,11	Moyenne	0,00	Faible	0,18	Moyenne	0,04	Faible
	Whiskey Harbour	0,04	Faible	0,29	Moyenne	0,18	Moyenne	0,29	Moyenne	0,21	Moyenne
Lac Sainte-Claire	Baie Johnston	0,07	Faible	0,07	Faible	0,07	Faible	0,00	Faible	0,39	Moyenne
	Lac Sainte-Claire	0,07	Faible	0,07	Faible	0,07	Faible	0,11	Moyenne	0,43	Moyenne
Rivière Détroit	Rivière Détroit	0,07	Faible	0,32	Moyenne	0,07	Faible	0,00	Faible	0,29	Moyenne
Lac Érié	Fox Creek/Dolson's Creek	0,04	Faible	0,39	Moyenne	0,11	Moyenne	0,00	Faible	0,21	Moyenne
	Embouchure de la rivière Grand	0,04	Faible	0,25	Moyenne	0,39	Moyenne	0,29	Moyenne	0,11	Moyenne
	Pointe Long	0,07	Faible	0,29	Moyenne	0,04	Faible	0,07	Faible	0,32	Moyenne
	Baie Rondeau	0,07	Faible	0,18	Moyenne	0,18	Moyenne	0,07	Faible	0,43	Moyenne
	Parc provincial Selkirk	0,04	Faible	0,04	Faible	0,00	Faible	0,29	Moyenne	0,07	Faible
Lac Ontario	Airport Creek	0,39	Moyenne	0,11	Moyenne	0,07	Faible	0,71	Élevée	0,07	Faible
	Jordan Station	0,00	Faible	0,14	Moyenne	0,68	Élevée	0,96	Élevée	0,07	Faible
	Ruisseau Lynde	0,07	Faible	0,04	Faible	0,00	Faible	0,00	Faible	0,07	Faible
	Baie South	0,04	Faible	0,07	Faible	0,07	Faible	0,00	Faible	0,04	Faible
Fleuve Saint-Laurent	Est de l'île Hill	0,14	Moyenne	0,25	Moyenne	0,21	Moyenne	0,64	Élevée	0,00	Faible

Tableau 8. Notes des caractéristiques écologiques et classifications des risques des sites de terres humides organisées par région des Grands Lacs d'après le scénario utilisant la limite supérieure du PREC 4.5. L'indice de sensibilité représente la proportion (de 0,00 à 1,00) de baisses extrêmes prévues pour chaque caractéristique dans le cadre du scénario modélisé. Les classifications des risques sont fondées sur le régime de notation de la figure 9.

Bassin	Nom du milieu humide	Superficie totale des terres humides		Volume de la végétation aquatique submergée		Diversité des communautés végétales		Zone de pré humide		Entremêlement	
		Indice	Classification	Indice	Classification	Indice	Classification	Indice	Classification	Indice	Classification
Rivière Ste-Marie	Crique Anderson	0,00	Faible	0,00	Faible	0,00	Faible	0,68	Élevée	0,07	Faible
Lac Huron	Baie du Doré	0,82	Élevée	0,00	Faible	0,18	Moyenne	0,54	Moyenne	0,50	Moyenne
	Pointe Frances	0,50	Moyenne	0,04	Faible	0,36	Moyenne	0,25	Moyenne	0,00	Faible
	Baie Hay	0,11	Moyenne	0,00	Faible	0,11	Moyenne	0,07	Faible	0,61	Élevée
	Baie Hog	0,64	Élevée	0,29	Moyenne	0,39	Moyenne	0,25	Moyenne	0,21	Moyenne
	Baie Treasure	0,39	Moyenne	0,21	Moyenne	0,21	Moyenne	0,29	Moyenne	0,29	Moyenne
	Whiskey Harbour	0,64	Élevée	0,46	Moyenne	0,96	Élevée	1,00	Élevée	0,29	Moyenne
Lac Sainte-Claire	Baie Johnston	1,00	Élevée	0,71	Élevée	0,64	Élevée	1,00	Élevée	0,00	Faible
	Lac Sainte-Claire	1,00	Élevée	0,50	Moyenne	0,86	Élevée	0,93	Élevée	0,25	Moyenne
Rivière Détroit	Rivière Détroit	1,00	Élevée	0,46	Moyenne	1,00	Élevée	0,00	Faible	0,96	Élevée
Lac Érié	Fox Creek/Dolson's Creek	0,89	Élevée	0,93	Élevée	0,18	Moyenne	0,32	Moyenne	0,36	Moyenne
	Embouchure de la rivière Grand	0,93	Élevée	0,07	Faible	0,46	Moyenne	0,68	Élevée	0,04	Faible
	Pointe Long	1,00	Élevée	0,29	Moyenne	0,04	Faible	1,00	Élevée	0,82	Élevée
	Baie Rondeau	0,96	Élevée	0,50	Moyenne	0,00	Faible	0,00	Faible	0,07	Faible
	Parc provincial Selkirk	0,89	Élevée	0,00	Faible	0,04	Faible	0,79	Élevée	0,00	Faible
Lac Ontario	Airport Creek	0,04	Faible	0,00	Faible	0,04	Faible	0,29	Moyenne	0,04	Faible
	Jordan Station	0,32	Moyenne	0,07	Faible	0,86	Élevée	0,89	Élevée	0,00	Faible
	Ruisseau Lynde	0,50	Moyenne	0,00	Faible	0,04	Faible	0,14	Moyenne	0,00	Faible
	Baie South	0,32	Moyenne	0,00	Faible	0,32	Moyenne	0,79	Élevée	0,04	Faible
Fleuve Saint-Laurent	Est de l'île Hill	0,79	Élevée	0,29	Moyenne	0,64	Élevée	0,89	Élevée	0,00	Faible

2.2.4 Capacité d'adaptation des terres humides côtières

La vulnérabilité des terres humides côtières ne dépend pas seulement de l'exposition aux variables des changements climatiques et de la sensibilité des terres humides, mais aussi de la capacité de ces dernières à faire face aux chocs et aux perturbations. Ceci est influencé par l'état, la structure et la fonction actuels des terres humides, ainsi que par des facteurs humains. Dans le contexte de cette étude, la capacité d'adaptation est la « *capacité d'un milieu humide dans son état actuel à s'ajuster et à maintenir son régime écologique dans des conditions climatiques changeantes, y compris la variabilité climatique et les extrêmes* ». Il s'agit d'une composante essentielle du renforcement de la résilience des écosystèmes et d'un élément crucial de la gestion des terres humides.

La capacité d'adaptation est un concept théorique difficile à mesurer pour les terres humides côtières complexes. Des études antérieures ont opérationnalisé la capacité d'adaptation en utilisant des variables de substitution pour déduire la capacité d'adaptation des écosystèmes (Angeler, et al., 2019). Dans cette étude, huit variables de la capacité d'adaptation des terres humides ont été sélectionnées d'après des études empiriques de l'état des terres humides et de contributions d'experts des terres humides côtières. Ces variables englobent une grande diversité d'influences et cernent les caractéristiques de la terre humide et du milieu environnant susceptibles d'avoir l'effet le plus important sur la capacité d'adaptation. Ces variables ont été regroupées en quatre catégories de sous-indicateurs (tableau 9), puis combinées en un indicateur composite (c.-à-d. une combinaison pondérée de variables) pour quantifier la capacité d'adaptation en vue d'une comparaison entre les sites d'étude des terres humides.

Cinq indicateurs ont été évalués à l'aide d'une cartographie et d'une analyse du système d'information géographique (figure 16), notamment la quantité (surface) de *Phragmites* envahissants à l'intérieur et autour de chaque terre humide, la quantité (surface) de protection à l'intérieur et autour de chaque site de terre humide (ECCC, 2019) et l'étendue de la couverture terrestre naturelle autour de chaque terre humide. Le potentiel de migration des terres humides vers les zones sèches et vers les basses terres a également été mesuré en déterminant les limites de migration verticale en fonction des prévisions de niveau des lacs et de l'utilisation des terres adjacentes (Zuzek Inc, 2020). La richesse des espèces végétales des terres humides

a été déterminée à partir de deux années de collecte de données sur le terrain (figure 15). Une note d'indicateur composite a été élaborée en combinant les sous-indicateurs et les variables. Cette analyse a produit une note numérique relative pour chacun des quatre sous-indicateurs



Figure 15. Un exemple de transects et de quadrats pour la collecte de données biologiques et physiques.

ainsi que des notes par catégorie (Élevée, Moyenne et Faible) pour la capacité d'adaptation des 20 sites de terre humide évalués (tableau 10 et figure 17). Pour obtenir des renseignements exhaustifs sur la méthodologie d'évaluation de la capacité d'adaptation des terres humides côtières, consultez le site « *Assessing the Adaptive Capacity of Great Lakes Coastal Wetlands to Climate Change* » (Évaluation de la capacité d'adaptation des terres humides côtières des Grands Lacs aux changements climatiques) (ECCC, 2022d).

Tableau 9. Variables utilisées pour évaluer la capacité d'adaptation des terres humides côtières des Grands Lacs aux changements climatiques. Les variables ont été regroupées en quatre sous-indicateurs en fonction de leur influence sur la capacité d'adaptation. Une description de chaque caractéristique utilisée pour mesurer chaque variable est fournie.

Sous-indicateur	Variable	Influence sur la capacité d'adaptation
État du paysage	La proportion de couverture terrestre naturelle (p. ex. forêts, prairies et terres humides adjacentes) dans un rayon de 5 km d'une terre humide côtière.	Les paysages aménagés ont une incidence négative sur la quantité et la qualité des habitats, ce qui peut réduire la taille des populations d'espèces sauvages locales ainsi que leur persistance et leur diversité génétique. Les terres humides côtières situées au sein de paysages très aménagés peuvent abriter des populations végétales et animales moins adaptables aux perturbations liées aux changements climatiques.
État biologique	La proportion de la couverture de <i>Phragmites</i> envahissants sur une terre humide côtière	Les peuplements denses de <i>Phragmites</i> envahissants réduisent la biodiversité en déplaçant la faune indigène. La présence de <i>Phragmites</i> dans les habitats environnants augmente la probabilité d'une invasion. Une perte de biodiversité diminue la probabilité que les espèces s'adaptent à une perturbation ou s'en accommodent, ce qui limite la capacité d'une terre humide côtière à modérer les effets des changements climatiques.
	La proportion de la couverture de <i>Phragmites</i> envahissants dans un rayon de 5 km d'une terre humide côtière.	
	La richesse en espèces végétales d'une terre humide côtière.	La diversité des espèces végétales augmente la probabilité qu'il existe une ou plusieurs espèces capables de résister à une perturbation ou ayant des réponses différentes à une perturbation. Ces deux éléments contribuent à la résilience et augmentent la probabilité qu'une terre humide côtière soit capable de s'adapter aux changements climatiques tout en maintenant les fonctions clés de l'écosystème.
Potentiel de migration du milieu humide	Le potentiel de migration vers les zones sèches pendant les périodes de crue des eaux. <hr/> Le potentiel de migration vers les lacs pendant les périodes d'étiage.	Les communautés végétales des terres humides s'adaptent en migrant vers les zones sèches ou vers l'eau en réponse à la modification des niveaux d'eau. Si leur migration était entravée par des barrières ou des aménagements du territoire, des disparitions locales ou la perte d'une communauté végétale entière

		pourraient se produire. Cela réduirait la capacité d'une terre humide à maintenir les fonctions clés de l'écosystème et compromettrait sa capacité à s'adapter aux changements climatiques.
Protection	<p>La proportion de l'aire protégée dans une terre humide côtière.</p> <hr/> <p>La proportion de l'aire protégée dans un rayon de 5 km d'une terre humide côtière, d'après les données de la base de données canadienne sur les aires protégées et de conservation (BDCAPC, 2019).</p>	Comparativement aux zones non gérées, les aires protégées canadiennes sont davantage en mesure de préserver la diversité, tant biologique que géologique, et d'offrir une protection contre la dégradation de l'habitat et les facteurs de stress non climatiques. En atténuant les facteurs de stress non climatiques, tels que la perte d'habitat, la fragmentation de l'habitat, les espèces envahissantes et la dégradation de la qualité de l'eau, les aires protégées permettent à la faune des terres humides côtières de mieux s'adapter aux changements climatiques.

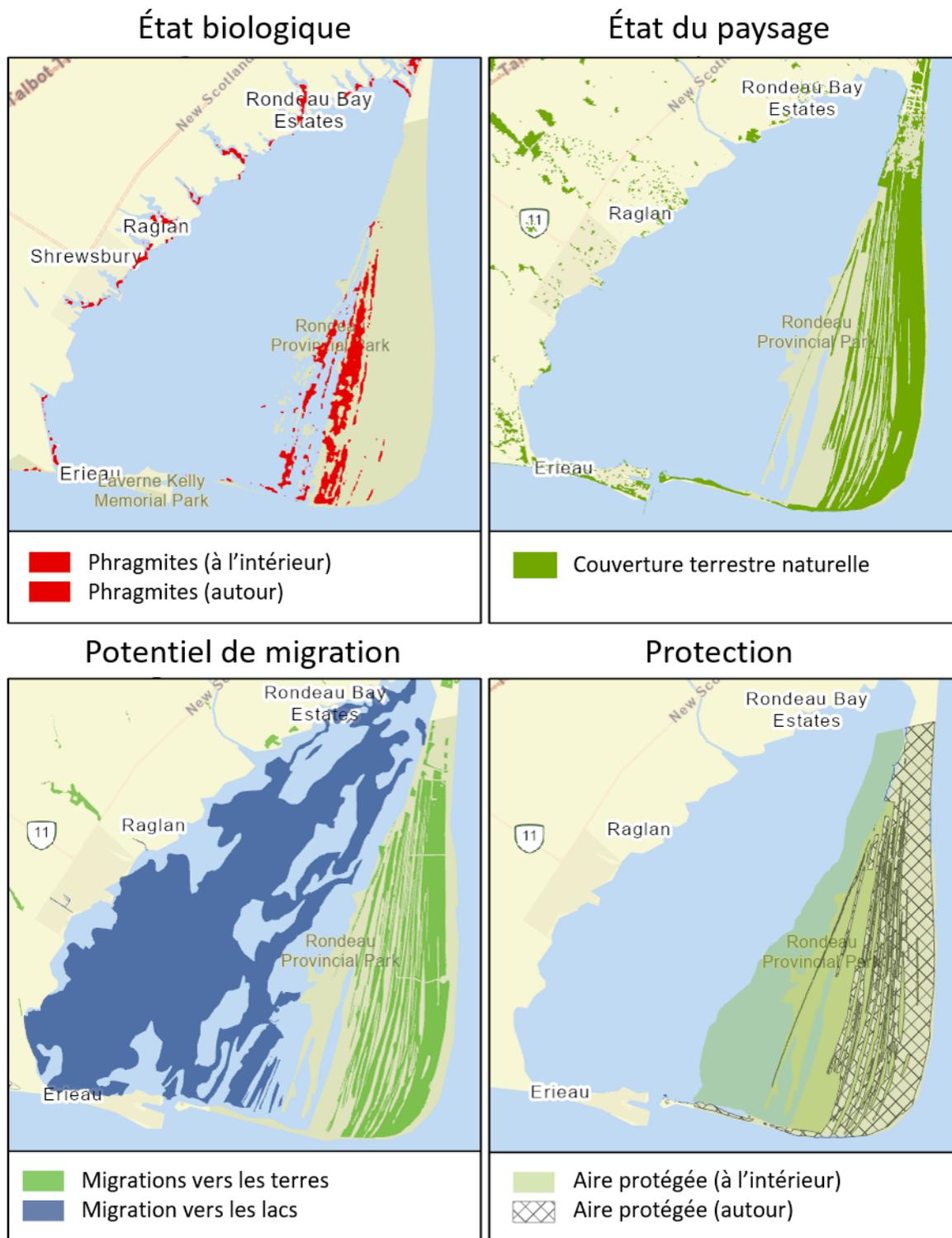


Figure 16. Exemples de sorties de cartes spatiales pour les sous-indicateurs de la capacité d'adaptation de la baie Rondeau, lac Érié.

Les résultats de l'analyse de la capacité d'adaptation montrent que les terres humides les moins bien notées sont situées dans le lac Sainte-Claire, la rivière Détroit et à l'ouest des lacs Érié et Ontario (figures 17 et 18, tableau 10). Ces terres humides côtières deltaïques et au rivage dégagé ont obtenu une note moyenne à élevée relativement à leur potentiel de migration, mais une note faible relativement à leur état biologique, l'état de leur paysage et leur protection.

Les sites d'étude des terres humides ayant une capacité d'adaptation moyenne se trouvent dans tous les Grands Lacs et toutes les voies interlacustres. Ces sites ne reflétaient pas les mêmes tendances sous-jacentes de sous-indicateurs et présentaient souvent au moins deux sous-indicateurs ayant une note faible ou moyenne (tableau 10). Cela laisse entendre qu'aucun sous-indicateur unique n'a été le facteur déterminant des notes de capacité d'adaptation moyennes et que les stratégies d'adaptation au climat seront donc différentes selon les terres humides.

Les sites de terres humides ayant une capacité d'adaptation élevée se trouvaient dans les lacs Huron, Érié et Ontario (figure 17, tableau 10). Malgré des notes de capacité d'adaptation relativement élevées, un ou plusieurs sous-indicateurs se situent dans la fourchette moyenne à basse. Les sites d'étude du lac Huron présentent un état biologique relativement élevé et deux sites sont partiellement protégés par leurs parcs nationaux respectifs (îles de la baie Georgienne et Fathom Five). Cependant, les baies Treasure et Hay sont considérées comme ayant un potentiel de migration moyen à faible en raison de la géologie du substrat rocheux qui entrave la capacité de migration. La pointe Long, qui comprend les réserves nationales de faune de Big Creek et Long Point, présente une note faible d'état du paysage. Airport Creek, la baie South et la Baie du Doré sont des terres humides non protégées. Airport Creek et la baie South étaient les seules terres humides du lac Ontario ayant reçu une note élevée relativement à leur capacité d'adaptation. Ces deux endroits présentent une note d'état biologique et d'état du paysage relativement élevée, ainsi qu'un potentiel de migration relativement élevé.

Cependant, les notes d'état biologique et d'état du paysage sont cohérentes avec le gradient de qualité de l'eau et de couverture terrestre d'est en ouest le long de la rive nord (Cvetkovic, Rokitnicki-Wojcik et Midwood, 2017; Harrison *et al.*, 2020).

Bien que certains sites d'étude soient considérés comme ayant une capacité d'adaptation relativement élevée, ces terres humides peuvent encore tirer profit de mesures d'adaptation qui améliorent la résilience climatique globale. La capacité d'adaptation des terres humides du lac Huron peut être améliorée en tenant compte de la protection, du potentiel de migration et de l'état du paysage. Les notes les plus basses concernant l'état biologique relatif des terres humides côtières dans le lac Sainte-Claire et dans l'ouest des lacs Érié et Ontario sont dues aux effets des activités agricoles et urbaines environnantes et à la proportion de *Phragmites* envahissants sur ces sites. L'absence de protection officielle des terres humides côtières sur de nombreux sites montre la nécessité de prendre plus de mesures d'acquisition de terres qui soutiendraient la gestion et renforceraient la vigilance face à des changements climatiques.

La note finale attribuée pour la capacité d'adaptation représente la capacité théorique d'une terre humide côtière de s'adapter aux changements climatiques et découle d'une comparaison relative des variables agrégées. Les notes relatives à la capacité d'adaptation par catégorie (Élevée, Moyenne et Faible) peuvent aider les gestionnaires des terres humides à cerner les terres humides côtières dont la capacité d'adaptation et la résilience générale aux changements

climatiques sont faibles (figure 18). En outre, l'examen des sous-indicateurs et des variables sous-jacentes qui ont contribué à la capacité d'adaptation peut éclairer l'élaboration et la hiérarchisation des stratégies et des mesures d'adaptation.

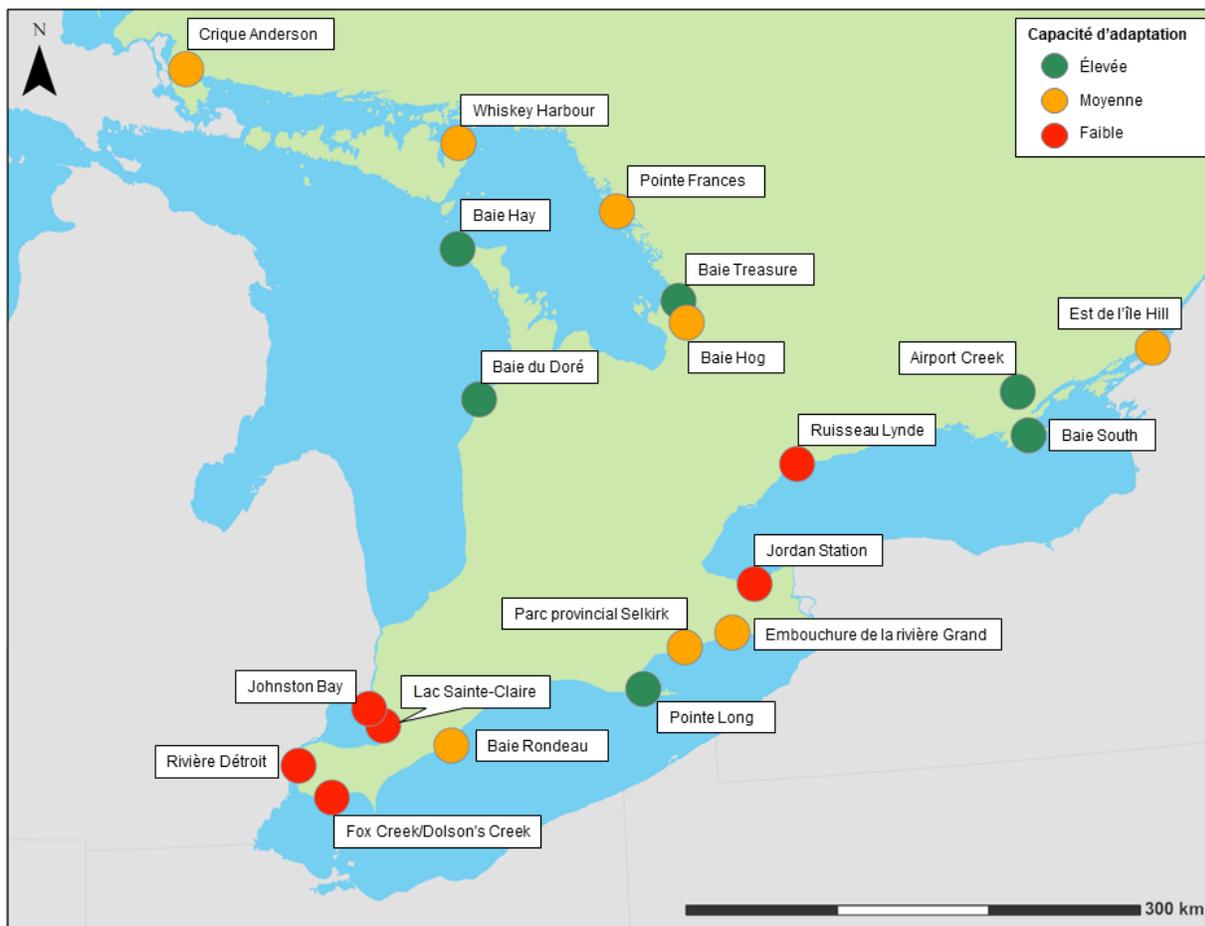


Figure 17. Notes et catégorisations de la capacité d'adaptation pour les sites d'étude des terres humides côtières. Le vert reflète une capacité d'adaptation élevée, l'orange une capacité moyenne et le rouge une capacité faible.

Tableau 10. Notes des sous-indicateurs de la capacité d'adaptation pour les sites d'étude des terres humides côtières, y compris de l'état biologique, de l'état du paysage, du potentiel de migration et du degré de protection.

Bassin	Nom du milieu humide	État biologique	État du paysage	Potentiel de migration	Protection
Rivière Ste-Marie	Crique Anderson	0,90	0,74	0,18	0,00
Lac Huron	Baie du Doré	1,00	0,42	0,58	0,00
	Pointe Frances	0,80	1,00	0,25	0,00
	Baie Hay	0,78	0,94	0,23	0,32
	Baie Hog	0,89	0,57	0,45	0,00

	Baie Treasure	0,97	0,98	0,48	0,50
	Whiskey Harbour	0,96	1,00	0,20	0,00
Lac Sainte-Claire	Baie Johnston	0,21	0,12	1,00	0,00
	Lac Sainte-Claire	0,42	0,00	0,98	0,63
Rivière Détroit	Rivière Détroit	0,26	0,11	0,83	0,00
Lac Érié	Fox Creek/Dolson's Creek	0,34	0,07	0,35	0,00
	Embouchure de la rivière Grand	0,46	0,27	0,75	0,00
	Pointe Long	0,70	0,31	0,85	0,60
	Baie Rondeau	0,64	0,04	0,88	0,84
	Parc provincial Selkirk	0,85	0,11	0,35	0,65
Lac Ontario	Airport Creek	0,86	0,60	0,70	0,00
	Jordan Station	0,56	0,17	0,35	0,00
	Ruisseau Lynde	0,70	0,10	0,48	0,00
	Baie South	0,72	0,57	0,58	0,00
Fleuve Saint-Laurent	Est de l'île Hill	0,85	0,85	0,10	0,74

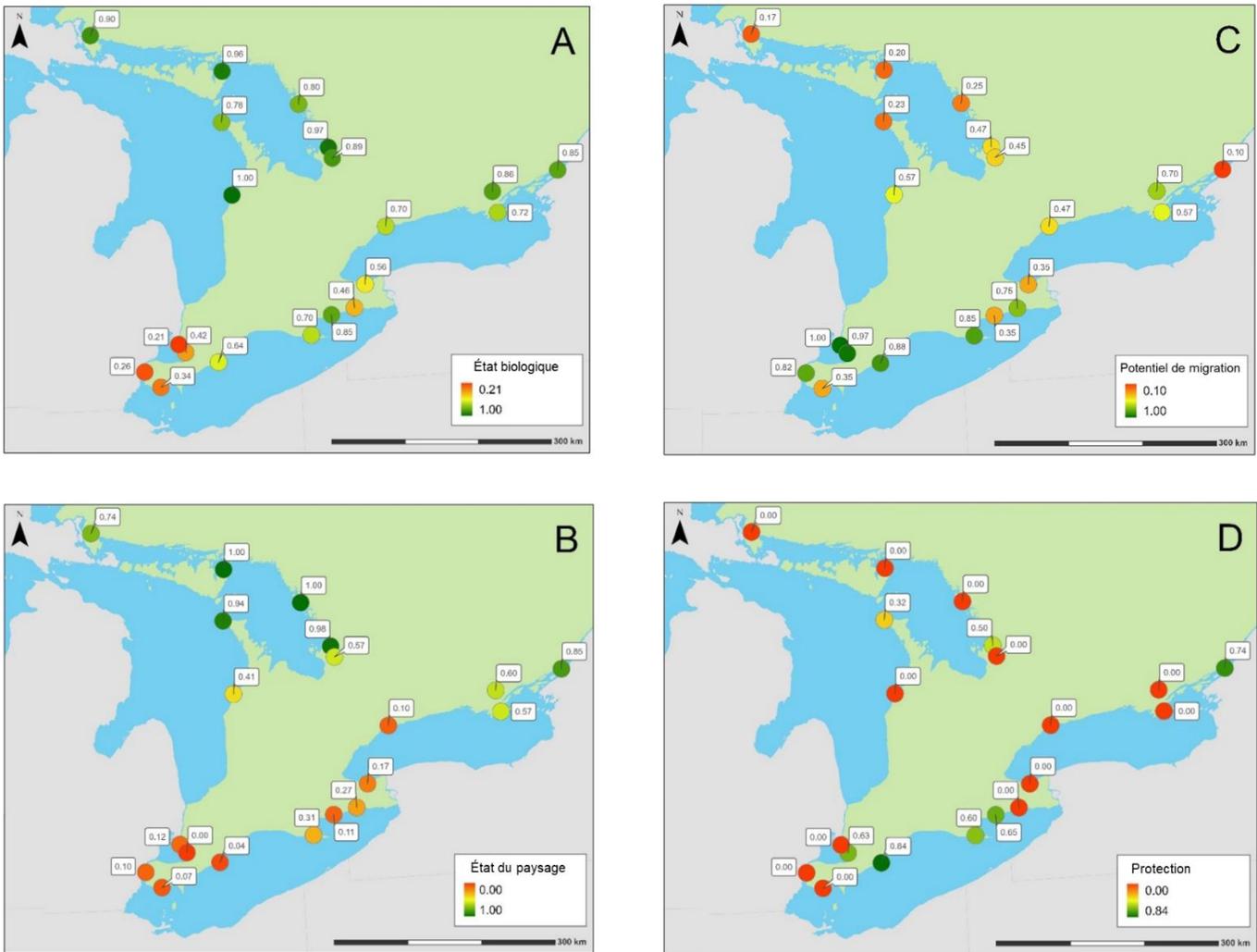


Figure 18. Notes des sous-indicateurs de la capacité d'adaptation pour les sites d'étude des terres humides côtières. (A) État biologique (de 0,21 à 1,00), (B) état du paysage (de 0,00 à 1,00), (C) potentiel de migration (de 0,10 à 1,00) et (D) protection (de 0,00 à 0,84). Les notes sont symbolisées à l'aide d'un gradient de couleur continu non classé afin de montrer les tendances géographiques et d'établir des priorités en fonction du lieu pour soutenir les mesures d'adaptation aux changements climatiques. Les lieux ayant des notes associées à l'extrémité rouge de chaque gradient (notes faibles) devraient avoir une capacité d'adaptation moindre, et donc une vulnérabilité plus élevée. Inversement, les lieux ayant des notes associées à l'extrémité verte de chaque gradient (notes élevées) devraient être capables de s'adapter et être résilients aux effets des changements climatiques.

3.0 Vulnérabilité des terres humides côtières

Cette étude est la première du genre concernant les terres humides côtières des Grands Lacs qui intègre des prévisions simulées du climat et du niveau des lacs, la réponse et la sensibilité modélisées des communautés végétales des terres humides, et des mesures de la capacité d'adaptation des terres humides côtières dans une évaluation de la vulnérabilité aux effets des changements climatiques. L'évaluation organise une série de sous-analyses dans une structure cohérente afin de mettre en lumière les principales composantes de la vulnérabilité, de sorte que chacune puisse être évaluée individuellement ou en combinaison. L'évaluation aboutit à une série de notes à cinq niveaux (c.-à-d. très élevé, élevé, moyen, faible et très faible), où une vulnérabilité très élevée résulte de la combinaison d'un effet élevé et d'une faible capacité d'adaptation, et une faible vulnérabilité des terres humides résulte de la combinaison d'un effet faible et d'une capacité d'adaptation élevée (figure 21).

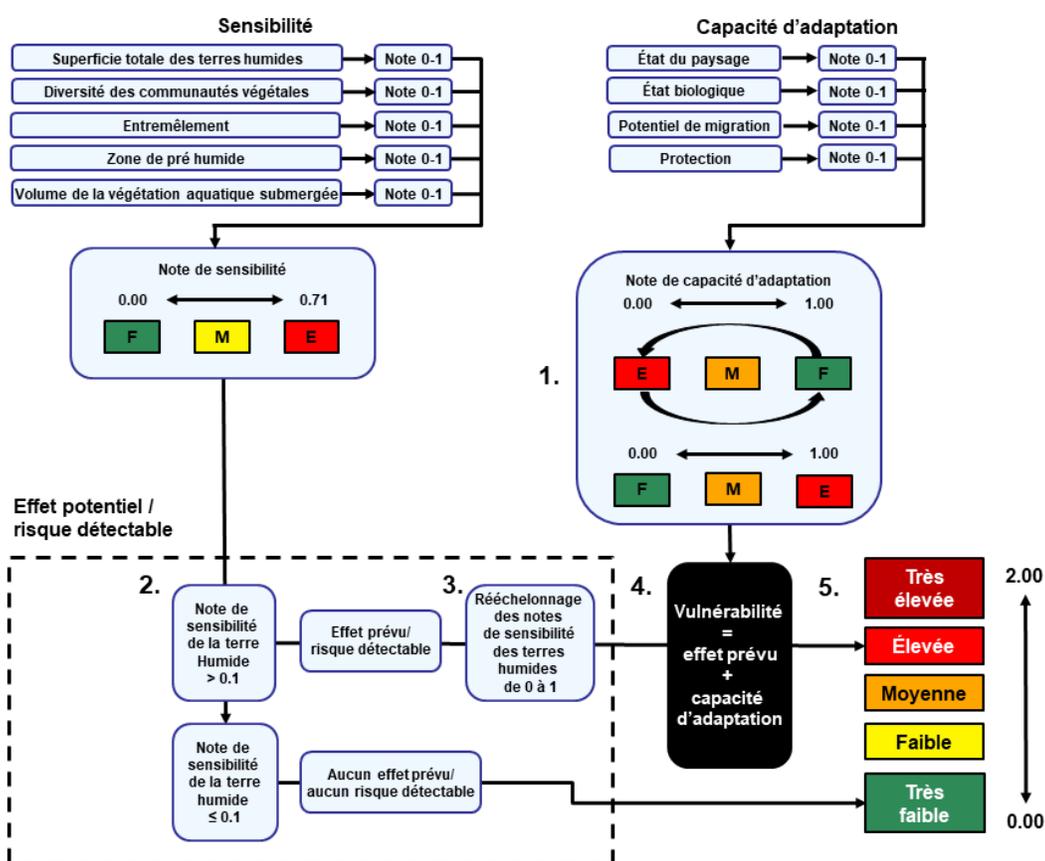


Figure 19. Cadre d'évaluation de la vulnérabilité des terres humides côtières des Grands Lacs : 1) Les notes de capacité d'adaptation ont été inversées pour une directionnalité cohérente avec les indices de sensibilité et de capacité d'adaptation. (2) Les notes de sensibilité ont été rééchelonnées; les notes inférieures ou égales à 0,1 ont été rééchelonnées à zéro. (3) Les notes de sensibilité supérieures à 0,1 ont été rééchelonnées de zéro à un pour une pondération égale entre les indices de capacité d'adaptation et de sensibilité. (4) Les notes des indices de sensibilité et de capacité d'adaptation propres au site et au modèle ont été combinées pour obtenir un indice de vulnérabilité allant de 0,00 à 2,00. (5) En utilisant des intervalles égaux, les notes de l'indice de vulnérabilité ont été classées en cinq niveaux de vulnérabilité : très faible (vert), faible (jaune), moyenne (orange), élevée (rouge) et très élevée (rouge foncé).

3.1 Vulnérabilité des terres humides côtières dans le cadre du scénario utilisant la limite inférieure du PREC 4.5

Lors de la simulation climatique utilisant la limite inférieure du PREC 4.5 associée à des moyennes de niveaux de lac stables ou inférieures, quatre terres humides ont obtenu une note de vulnérabilité très faible (figure 21, tableau 11). Il s'agit notamment de la baie Treasure sur le lac Huron, du parc provincial Selkirk sur le lac Érié, et du ruisseau Lynde et de la baie South sur le lac Ontario. Chacune de ces terres humides a été évaluée comme ayant une faible sensibilité et aucun risque détectable pour la plupart des caractéristiques de l'écosystème. La baie Treasure et la baie South étaient considérées comme ayant une capacité d'adaptation élevée, tandis que Selkirk et le ruisseau Lynde étaient considérés comme ayant une capacité d'adaptation moyenne et faible, respectivement. Selkirk et le ruisseau Lynde ont obtenu des notes relativement élevées relativement à l'état biologique, mais une note médiocre concernant l'état du paysage.

La plupart des terres humides évaluées ont obtenu une faible note de vulnérabilité dans le cadre de la simulation de limite inférieure du scénario PREC 4.5 (neuf sites sur 20). Ces neuf terres humides étaient modérément sensibles et la plupart des caractéristiques écologiques mesurées étaient en danger. Cinq de ces terres humides se trouvent dans le lac Huron, notamment Whiskey Harbour, la baie Hay, la Baie du Doré, la pointe Frances et la baie Hog dans l'est de la baie Georgienne. Notamment, la pointe Frances et la Baie du Doré ont réagi par des pertes de terres humides. La Baie du Doré et la baie Hay présentent une capacité d'adaptation élevée, tandis que Whiskey Harbour, la pointe Frances et la baie Hog présentent une capacité d'adaptation moyenne. Ces zones humides ne sont pas protégées, et la capacité de Whiskey Harbour et de la pointe Frances à migrer en réponse aux changements de niveau des lacs est limitée.

Les quatre autres terres humides qui présentent une note de vulnérabilité faible sont la baie Rondeau et la pointe Long sur le lac Érié, Airport Creek sur le lac Ontario et l'île Hill sur le fleuve Saint-Laurent. Airport Creek et l'est de l'île Hill étaient sensibles en matière de perte de terres humides et très sensibles en matière de perte de prés humides. La pointe Long et Airport Creek présentaient une capacité d'adaptation élevée, principalement en raison de leur état biologique élevé et de leur capacité à migrer, tandis que la baie Rondeau et l'est de l'île Hill avaient une capacité d'adaptation moyenne, en raison de l'état relativement médiocre du paysage et d'une capacité limitée de migration des terres humides.

Six terres humides présentaient une vulnérabilité moyenne aux changements climatiques dans le cadre de la simulation de limite inférieure du PREC 4,5, notamment la crique Anderson sur la rivière Ste-Marie, la baie Johnston sur le lac Sainte-Claire, la rivière Détroit, Fox Creek et Dolson Creek, et les marais à l'embouchure de la rivière Grand. À l'exception de la rivière Anderson, toutes ces terres humides sont situées dans le lac Sainte-Claire, la rivière Détroit et le lac Érié. Les six terres humides présentaient une sensibilité moyenne en matière de perte d'entremêlement des terres humides. Aucun de ces endroits n'a obtenu de note élevée en matière de capacité d'adaptation. La crique Anderson et les marais de la rivière Grand avaient une capacité d'adaptation moyenne. La crique Anderson présentait un état biologique et un état paysager relativement élevés, une capacité limitée à migrer et un manque de protection des

terres. À l'inverse, le marais de la rivière Grand avait une capacité à migrer importante, mais présentait des notes faibles relativement à l'état de son paysage et à la protection des terres. Situés dans des zones de faible relief, la baie Johnston sur le lac Sainte-Claire et les marais de la rivière Détroit présentaient un fort potentiel de migration, mais un état du paysage médiocre. Les terres humides de Fox Creek et de Dolson's Creek ne sont pas protégées, leur état biologique et leur potentiel de migration sont moyens, mais l'état de leur paysage est médiocre.

Jordan Station était la seule terre humide côtière considérée comme très vulnérable dans le cadre de la simulation utilisant la limite inférieure du PREC 4.5. Cette terre humide présentait une sensibilité moyenne, la diversité de la communauté végétale et la superficie du pré humide étant gravement menacées. Avec un paysage en mauvais état et aucune protection officielle, Jordan Station présentait une capacité d'adaptation faible.

3.2 Vulnérabilité des terres humides côtières dans le cadre du scénario de limite supérieure du PREC 4.5

Dans le cadre de la simulation climatique du PREC 4.5 associée à des moyennes de niveau d'eau plus élevées (scénario utilisant la limite supérieure), Airport Creek, sur le lac Ontario, était la seule terre humide dont la vulnérabilité était très faible (figures 20 et 21, tableau 11). Cette terre humide présentait une faible sensibilité (aucun risque détectable pour toutes les caractéristiques écologiques, à l'exception de la superficie du pré humide). Airport Creek a également obtenu une note d'adaptation élevée, étant donné son état biologique relativement élevé et son haut potentiel de migration.

Cinq terres humides ont été évaluées comme ayant une faible vulnérabilité aux changements climatiques dans le cadre de la simulation de limite supérieure du PREC 4.5 (figure 21, tableau 11), et toutes sauf une se trouvent dans le lac Huron (y compris la rivière Ste-Marie). Il s'agit notamment de la crique Anderson, de la pointe Frances, de la baie Treasure et de la baie Hay, et de la baie South dans le lac Ontario. Tous les sites présentaient une sensibilité moyenne, la plupart des caractéristiques écologiques étant menacées. La crique Anderson et la baie South présentaient des pertes fréquentes et extrêmes de pré humide. L'entremêlement était très sensible et considéré comme gravement menacé dans la baie Hay. La baie Treasure, la baie Hay et la baie South sont toutes considérées comme ayant un haut potentiel d'adaptation, tandis que la crique Anderson et la pointe Frances sont considérées comme ayant un potentiel d'adaptation moyen. Les cinq terres humides présentaient une note moyenne à élevée en ce qui concerne leur état biologique et l'état de leur paysage; cependant, la crique Anderson et la pointe Frances présentaient un faible potentiel de migration et de protection.

Huit terres humides ont été évaluées comme présentant une vulnérabilité moyenne aux changements climatiques dans le cadre de la simulation utilisant la limite supérieure du PREC 4.5 (figure 21, tableau 11). Il s'agit notamment de la baie Hog et de la Baie du Doré sur le lac Huron, de la baie Rondeau, de la pointe Long, du parc provincial Selkirk et de l'embouchure de la rivière Grand sur le lac Érié, du ruisseau Lynde sur le lac Ontario et de l'île Hill sur le fleuve Saint-Laurent. La pointe Long présentait une note de sensibilité élevée, tandis que les autres sites présentaient une sensibilité moyenne. La superficie totale des terres humides, la superficie des prés humides et l'entremêlement étaient très réactifs à la pointe Long

et considérés comme exposés à un risque critique. Il convient de souligner que la pointe Long est reconnue dans le monde entier comme l'une des plus importantes haltes migratoires du continent pour la sauvagine. Plusieurs caractéristiques écologiques étaient très réactives sur ces terres humides. Toutes les terres humides, sauf le ruisseau Lynde, ont subi des pertes fréquentes et extrêmes. L'île Hill a enregistré une perte fréquente et extrême de la diversité de la communauté végétale, et Selkirk, la rivière Grand et l'île Hill ont enregistré une perte fréquente et extrême de pré humide. On s'attend à une réduction de la fonction et de la stabilité de l'écosystème de l'île Hill, et pour tous les lieux, à une réduction potentielle de la quantité d'habitats de recherche de nourriture et de reproduction des oiseaux des terres humides.

Les notes de capacité d'adaptation de toutes les terres humides présentant une vulnérabilité moyenne aux changements climatiques étaient également très variables. La Baie du Doré et la pointe Long étaient considérées comme hautement adaptatives, tandis que la baie Hog, la baie Rondeau, Selkirk, la rivière Grand et l'île Hill Island avaient une capacité d'adaptation moyenne. Tous les sites présentaient un état biologique relativement élevé, mais les évaluations des autres sous-indicateurs variaient considérablement. L'état des paysages des terres humides du lac Érié est actuellement relativement médiocre et les marais de l'embouchure de la rivière Grand ne sont pas protégés. Située sur un substrat rocheux (arche de Frontenac) avec un fort relief vertical, l'île Hill est considérée comme ayant un faible potentiel de migration. L'état du paysage et le potentiel de migration de la baie Hog sont moyens, mais comme la rivière Grand, cette zone reste à protéger. Le ruisseau Lynde a obtenu une note faible en matière de capacité d'adaptation en raison du mauvais état actuel de son paysage et de son statut non protégé.

Whiskey Harbour et Jordan Station ont obtenu une note élevée de vulnérabilité lors de la simulation utilisant la limite supérieure du scénario PREC 4.5 (figure 21, tableau 11). Whiskey Harbour présentait une sensibilité élevée, tandis que Jordan Station présentait une sensibilité moyenne. Plusieurs caractéristiques écologiques étaient très sensibles sur chaque site et considérées comme menacées ou gravement menacées. Les deux terres humides présentaient des pertes fréquentes et extrêmes en matière de diversité de la communauté végétale et de superficie des prés humides. Whiskey Harbour présentait également des pertes fréquentes et extrêmes de la superficie totale des terres humides. Avec un état biologique et du paysage relativement bon, Whiskey Harbour est considéré comme moyennement adaptable et a un potentiel de migration limité. Jordan Station est considéré comme ayant une faible capacité d'adaptation étant donné son état paysager relativement médiocre et le fait qu'elle reste à protéger.

Quatre terres humides ont obtenu des notes de vulnérabilité aux changements climatiques très élevées lors de la simulation utilisant la limite supérieure du PREC 4.5 (figure 21, tableau 11). Il s'agit notamment de la baie Johnston située à l'est du lac Sainte-Claire, de la rivière Détroit et de Fox Creek/Dolson's Creek à l'ouest du lac Érié. Fox Creek/Dolson's Creek présentaient une sensibilité moyenne, alors que les trois autres sites présentaient une sensibilité élevée. Plusieurs caractéristiques écologiques étaient très sensibles sur chaque terre humide et considérées comme menacées ou gravement menacées. Tous les sites présentaient des pertes fréquentes et extrêmes de terres humides. La baie Johnston et Fox Creek/Dolson's Creek présentaient des pertes fréquentes et extrêmes du volume de la végétation aquatique submergée. La baie Johnston et l'est du lac Sainte-Claire présentaient tous deux des pertes

extrêmes et fréquentes de la diversité des communautés végétales et de la superficie des prés humides. La rivière Détroit présentait des pertes fréquentes et extrêmes de la diversité et de l'entremêlement des communautés végétales.

Les quatre sites ont été évalués comme ayant une vulnérabilité très élevée avec une faible capacité d'adaptation. Tous ont un paysage et un état biologique relativement médiocres, et tous les sites, à l'exception de certaines parties de la rive est du lac Sainte-Claire, restent à protéger. La baie Johnston, l'est du lac Sainte-Claire et la rivière Détroit ont été évalués comme ayant un potentiel de migration élevé. Cependant, ces évaluations ont été influencées par le potentiel de ces terres humides à migrer vers les lacs pendant les périodes de bas niveaux des lacs, situations qui ont été rarement observées lors de la simulation de limite supérieure du PREC 4.5 (ECCC 2022d).



Figure 20. Proportion de terres humides côtières évaluées comme ayant une vulnérabilité très élevée, élevée, moyenne, faible et très faible dans les scénarios suivants : (A) limite inférieure du PREC 4.5; et (B) limite supérieure du PREC 4.5.

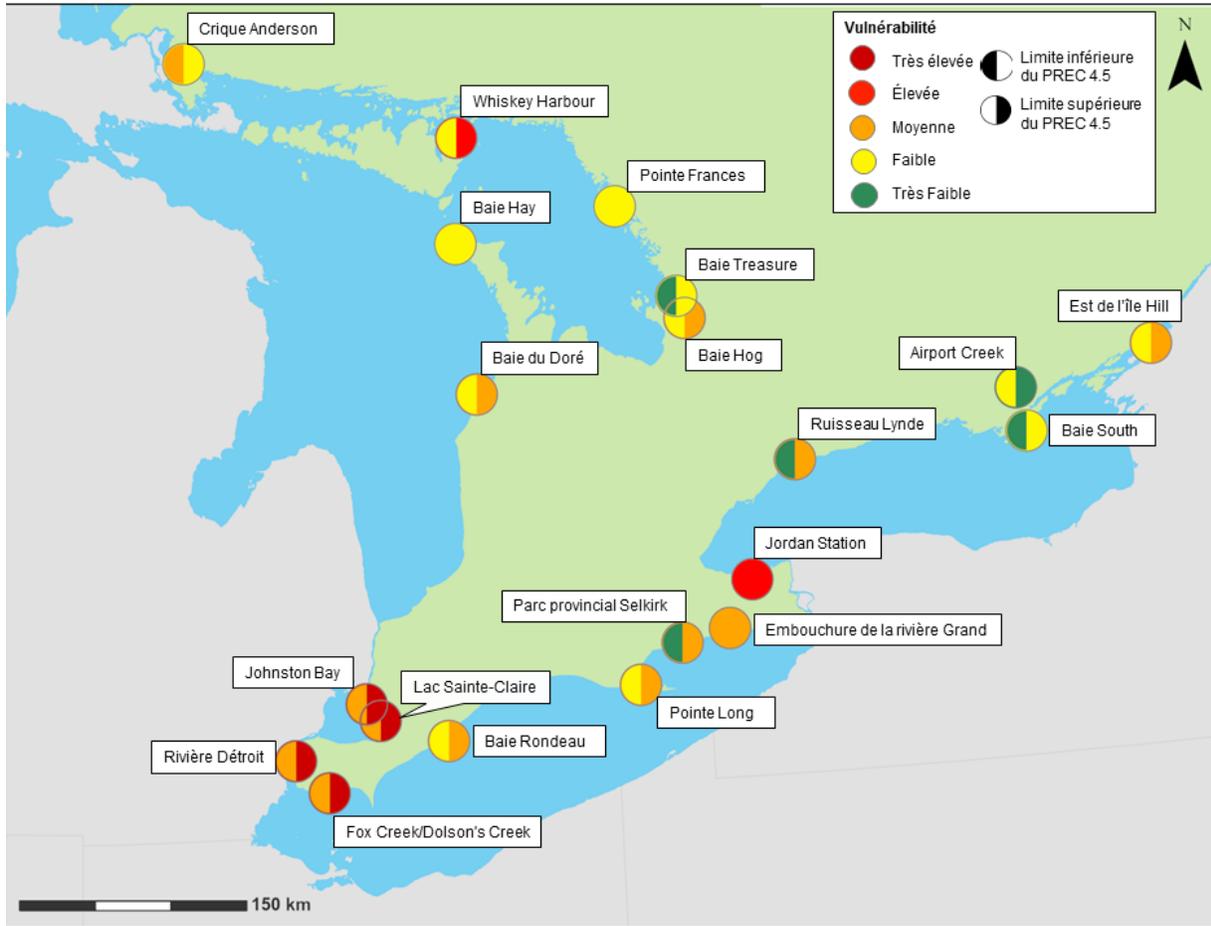


Figure 21. *Catégorisations de la vulnérabilité pour toutes les terres humides côtières évaluées. La partie gauche de chaque point représente les catégories de vulnérabilité du scénario de limite inférieure du PREC 4.5 et la partie droite de chaque point représente les catégories de vulnérabilité du scénario de limite supérieure du PREC 4.5. Le rouge foncé indique une vulnérabilité très élevée; le rouge indique une vulnérabilité élevée; l'orange indique une vulnérabilité moyenne; le jaune indique une vulnérabilité faible; le vert indique une vulnérabilité faible aux changements climatiques.*

Tableau 11. Notes de l'indice de vulnérabilité pour toutes les terres humides côtières évaluées. Les sites sont organisés par bassin des Grands Lacs et par classification hydrogéomorphologique selon Albert et al. (2005). La vulnérabilité se situe sur une échelle continue de 0,00 à 2,00. Les notes de vulnérabilité de chaque modèle (de très faible à très élevée) ont été attribuées selon la méthodologie décrite à la figure 19. Lorsque les vulnérabilités propres à un modèle diffèrent, la vulnérabilité globale est exprimée sous forme de fourchette.

Bassin	Terre humide	Type de terres humides	Vulnérabilité propre au modèle				Vulnérabilité globale
			Limite inférieure du PREC 4.5	Moyenne	Limite supérieure du PREC 4.5		
Rivière Ste-Marie	Crique Anderson	Embouchure submergée dégagée	0,77	Moyenne	0,54	Faible	Faible à moyenne
Lac Huron	Baie du Doré	Baie dégagée	0,49	Faible	0,81	Moyenne	Faible à moyenne
	Pointe Frances	Baie protégée	0,48	Faible	0,55	Faible	Faible
	Baie Hay	Baie protégée	0,43	Faible	0,40	Faible	Faible
	Baie Hog	Baie protégée	0,37	Faible	0,73	Moyenne	Faible à moyenne
	Baie Treasure	Baie protégée	0,00	Très faible	0,29	Faible	Très faible à faible
	Whiskey Harbour	Baie protégée	0,51	Faible	1,29	Élevée	Faible à élevée
Lac Sainte-Claire	Baie Johnston	Delta	0,81	Moyenne	1,71	Très élevée	Moyenne à très élevée
	Lac Sainte-Claire	Rivage dégagé	1,04	Moyenne	1,95	Très élevée	Moyenne à très élevée
Rivière Détroit	Rivière Détroit	Rivage dégagé	0,88	Moyenne	1,76	Très élevée	Moyenne à très élevée
Lac Érié	Fox Creek/Dolson's Creek	Embouchure submergée fermée	1,08	Moyenne	1,72	Très élevée	Moyenne à très élevée
	Embouchure de la rivière Grand	Embouchure submergée fermée	0,69	Moyenne	1,05	Moyenne	Moyenne
	Pointe Long	Langue de sable	0,25	Faible	1,03	Moyenne	Faible à moyenne
	Baie Rondeau	Langue de sable	0,67	Faible	0,87	Moyenne	Faible à moyenne
	Parc provincial Selkirk	Embouchure submergée fermée	0,00	Très faible	0,91	Moyenne	Très faible à moyenne
Lac Ontario	Airport Creek	Embouchure submergée dégagée	0,49	Faible	0,00	Très faible	Très faible à faible

	Jordan Station	Embouchure submergée fermée	1,16	Élevée	1,25	Élevée	Élevée
	Ruisseau Lynde	Embouchure submergée fermée	0,00	Très faible	0,78	Moyenne	Très faible à moyenne
	Baie South	Baie dégagée	0,00	Très faible	0,62	Faible	Très faible à faible
Fleuve Saint-Laurent	Est de l'île Hill	Baie protégée	0,55	Faible	1,00	Moyenne	Faible à moyenne

Un exercice de modélisation distinct a été entrepris pour comprendre les effets des changements climatiques sur la quantité des habitats propices ainsi que sur la croissance et l'expansion des populations de roseaux communs envahissants (*Phragmites australis*, subsp. *australis*) et de quenouilles glauques (*Typha x glauca*) (ECCC 2022b). La première simulation s'appuyait sur un modèle d'habitat propice, la deuxième sur un modèle de croissance démographique qui simulait l'effet des espèces envahissantes sur les terres humides. Bien que les résultats de cette modélisation n'aient pas été utilisés lors de l'évaluation de la vulnérabilité, l'avenir des terres humides côtières menacées par les espèces végétales envahissantes met en lumière les besoins d'adaptation. Les résultats sont brièvement résumés pour chaque lac ci-dessous, et une description détaillée de la méthodologie et des résultats peut être trouvée dans un rapport technique intitulé « *Great Lakes coastal wetland response to climate change using a coastal wetland response model (CWRM)* » (*Réponse des terres humides côtières des Grands Lacs au changement climatique modélisée à l'aide du modèle de réponse des terres humides*) (ECCC, 2022b).

Les niveaux moyens plus élevés du cours supérieur du fleuve Saint-Laurent et du lac Ontario pourraient favoriser l'expansion des espèces végétales envahissantes. À des projections de niveaux de lac plus élevés, l'état de l'habitat devient particulièrement adapté aux *Phragmites*, qui devraient devenir plus abondants que *Typha* d'ici la fin du siècle. Les simulations effectuées selon les deux scénarios climatiques indiquent une augmentation importante de l'habitat de *Phragmites* à tous les endroits, sauf à Jordan Station, avec des augmentations allant jusqu'à 150 %. De plus, l'expansion de *Phragmites* pourrait menacer les sites où l'espèce n'est pas encore établie. Sans changements importants du niveau moyen des lacs et de la variabilité interannuelle, *Typha* restera probablement dominant dans le lac Ontario.

Les projections selon le scénario de limite inférieure indiquent que la plupart des sites du lac Érié présenteront des conditions d'habitat propices à une abondance encore plus grande de *Phragmites* ainsi qu'à une expansion importante de *Typha* si le niveau moyen des lacs reste stable ou diminue d'ici la fin du siècle. Dans la baie Rondeau, la modélisation laisse entendre que l'invasion de *Phragmites* n'est pas amplifiée par une baisse prévue des niveaux d'eau, mais qu'elle est plutôt due à la croissance exponentielle inhérente à cette espèce compétitive. En revanche, une augmentation prévue du niveau des lacs ralentirait la croissance de *Phragmites* et de *Typha* dans cette baie et obligerait ces espèces à migrer vers les zones sèches. La terre humide de la baie Johnston, dans le lac Sainte-Claire, ne montre aucune réaction aux facteurs climatiques, et l'invasion de *Phragmites* dépendrait principalement de la croissance naturelle

extensive de cette espèce végétale. Des niveaux d'eau moyens plus élevés pourraient potentiellement réduire l'expansion de *Phragmites* et de *Typha* dans tous les sites de terres humides du lac Sainte-Claire et de la rivière Détroit.

La topographie accidentée de la baie Georgienne semble généralement moins favorable à l'invasion de *Phragmites* et de *Typha* que les sites d'étude des Grands Lacs inférieurs. Selon le scénario climatique utilisant la limite supérieure, on prévoit une diminution de la zone d'habitat propice à *Phragmites* sur les sites du lac Huron, de l'île Manitoulin et de la rivière Ste-Marie. On prévoit également que la zone d'habitat propice de *Typha* diminue ou ne subisse aucun changement important.

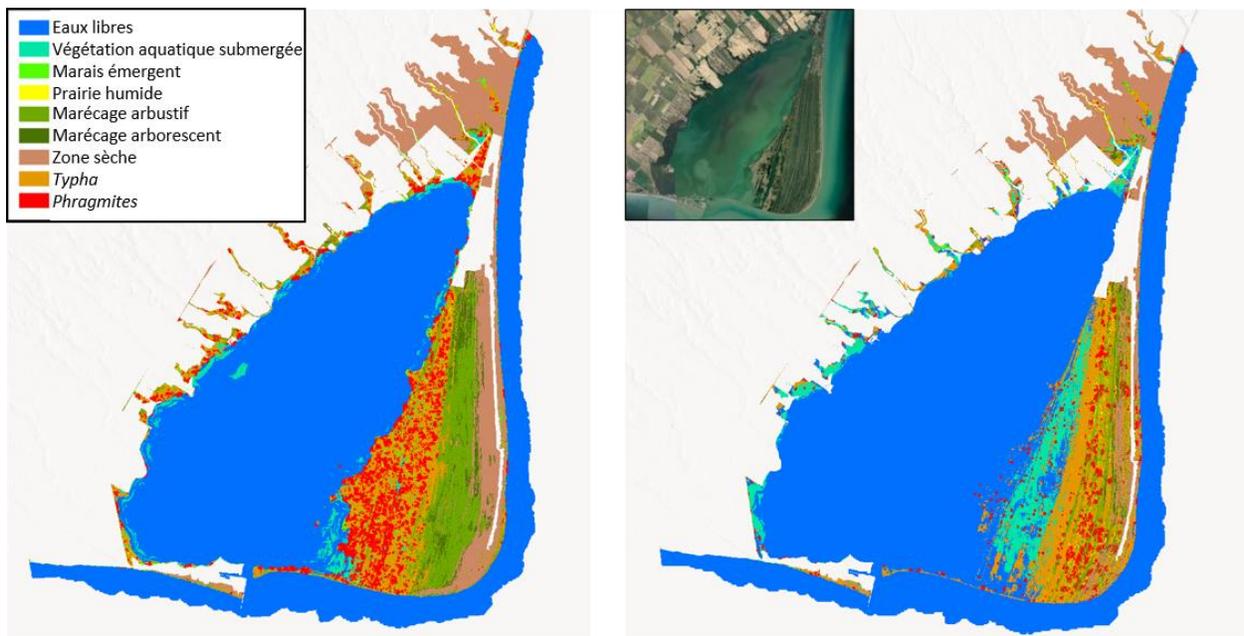


Figure 22. Exemple de sortie du modèle relatif aux espèces envahissantes montrant la répartition géographique de *Phragmites* (rouge) et *Typha* (orange) à la fin du siècle (2099) pour une partie de l'aire de gestion des espèces sauvages de la pointe Long dans le cadre des scénarios climatiques utilisant la de limite inférieure (haut) et la limite supérieure (bas) du PREC 4.5.

4.0 Conclusions

Malgré la valeur remarquable des terres humides côtières, elles continuent d'être détruites au profit de l'aménagement et d'être dégradées par la modification du littoral, la pollution et les espèces envahissantes. Les changements climatiques intensifient les stress non climatiques actuels et représentent une menace critique pour l'habitat et les espèces indigènes. Dans cette étude, les scientifiques d'Environnement et Changement climatique Canada ont utilisé un cadre novateur et scientifique pour décomposer systématiquement la complexité de la vulnérabilité climatique en ses éléments constitutifs.

Tout d'abord, cette évaluation confirme que les risques pour les terres humides côtières augmenteront à mesure que le climat des Grands Lacs se réchauffe; et plus le réchauffement est important, plus les risques sont élevés. Les températures de l'air au-dessus des terres

devraient augmenter de manière importante par rapport à la période de référence de l'étude (1961-2000). Les précipitations au-dessus des lacs devraient augmenter en toutes saisons et au fil du temps dans les deux scénarios climatiques (PREC 4.5 et PREC 8.5) et pour tous les lacs. La variabilité du niveau des lacs devrait s'accroître sous l'effet des changements climatiques, ce qui se traduira par des valeurs extrêmes plus élevées et plus basses. Les lacs non réglementés (c.-à-d. Huron, Érié et Sainte-Claire) présentent la plus grande variation, avec une plus grande variation pour le lac Huron, ce qui est cohérent avec les fluctuations historiques de niveau des lacs et le grand bassin versant.

Deuxièmement, un modèle de réponse des terres humides côtières a simulé la succession spatio-temporelle de grandes classes de communautés végétales d'après les résultats de la modélisation des niveaux d'eau dans le cadre de la trajectoire de concentration intermédiaire des gaz à effet de serre (PREC 4.5). Les données de sortie du modèle ont servi de base à une analyse de sensibilité qui a révélé que les niveaux élevés et bas du lac devraient avoir un effet négatif sur les caractéristiques écologiques valorisées des terres humides (c. -à-d. la superficie totale, la superficie des prés humides, la végétation aquatique submergée, la diversité des communautés végétales et l'entremêlement). Tous les sites étudiés ont montré une sensibilité aux changements prévus de niveau des lacs (à des degrés divers) et sont donc considérés comme exposés à des risques. Les terres humides côtières du lac Sainte-Claire, de la rivière Détroit et de l'ouest du lac Érié sont très sensibles et exposées à des risques graves, les cas de disparition de terres humides pouvant être plus fréquents que par le passé. On peut s'attendre à des cas fréquents de perte de terres humides avec des scénarios de niveaux des lacs plus élevés où l'utilisation des terres environnantes empêche la colonisation et la migration vers l'intérieur des terres des communautés végétales. Cela signifie que la poursuite de l'aménagement des terres entourant les terres humides côtières risque d'exacerber la perte des terres humides due au climat.

Troisièmement, les facteurs naturels et anthropiques actuels (c. -à-d. la couverture terrestre, la diversité des plantes des terres humides, l'invasion de *Phragmites*, le potentiel de migration des terres humides et le niveau de protection des terres) ont été sélectionnés pour rendre opérationnel le concept de capacité d'adaptation des terres humides côtières, ou la capacité d'une terre humide dans son état actuel à s'adapter et à faire face aux conditions climatiques changeantes, à la variabilité et aux extrêmes. Les terres humides côtières dont les notes de capacité d'adaptation relative sont les plus faibles sont situées dans l'est du lac Sainte-Claire, la rivière Détroit et l'ouest des lacs Érié et Ontario. Les terres humides côtières dans cette région étaient caractérisées par un potentiel de migration élevé, mais elles ont obtenu de mauvaises notes pour la protection, l'état biologique et l'état du paysage.

Enfin, cette évaluation est la première du genre pour les terres humides côtières des Grands Lacs qui intègre les projections de niveau des lacs dictées par le climat, les réponses modélisées des communautés végétales des terres humides, la sensibilité des terres humides et la capacité d'adaptation des terres humides côtières dans un cadre d'évaluation de la vulnérabilité pour comprendre les effets possibles des changements climatiques. Dans le scénario de limite inférieure associé à des niveaux des lacs futurs stables ou inférieurs, 13 des 20 terres humides côtières ont été évaluées comme ayant une vulnérabilité faible ou très faible, six terres humides ont été considérées comme ayant une vulnérabilité moyenne et une terre

humide a été classée comme ayant une vulnérabilité élevée. En revanche, dans le cadre d'un scénario de hausse du niveau des lacs, quatre sites de terres humides ont été évalués comme présentant une vulnérabilité très élevée aux changements climatiques. Ils étaient tous situés dans le lac Sainte-Claire, la rivière Détroit et l'ouest du lac Érié.

La perte de terres humides côtières représente une réduction de l'habitat pour les espèces sauvages indigènes qui ont besoin des terres humides pour au moins une partie de leur cycle de vie; plusieurs d'entre elles subissent des déclin de population régionaux ou sont répertoriées comme des espèces en péril à l'échelle fédérale ou provinciale. L'effet cumulatif de la perte plus fréquente et plus extrême de terres humides au fil du temps pourrait entraîner un déclin important des populations d'espèces sauvages, une perte de biodiversité régionale et la perte de services écosystémiques pour la nature et la population humaine des Grands Lacs. La perte locale de terres humides côtières pourrait avoir des effets disproportionnés sur les populations fauniques régionales. Par exemple, la pointe Long et le lac Sainte-Claire sont reconnus comme des habitats de repos importants pour plusieurs populations orientales de sauvagines migratrices, de monarques, de chauves-souris et d'oiseaux forestiers. Certaines années, la pointe Long devrait perdre jusqu'à 55 % de sa superficie en terres humides, ce qui met en danger les populations orientales d'espèces migratrices.

Bien qu'il y ait des incertitudes et des hypothèses inhérentes aux projections climatiques et à la modélisation de la réponse des écosystèmes, elles sont nécessaires pour montrer les tendances générales, les conditions, comprendre les effets potentiels et orienter la planification de l'adaptation. La méthodologie, les indicateurs et les résultats de cette étude contribuent à garantir que les gestionnaires de ressources et les décideurs s'appuient sur des décisions éclairées afin que les terres humides puissent s'adapter, se reconstituer et maintenir leur biodiversité et leur fonctionnalité face aux chocs et aux perturbations climatiques. Cette évaluation de la vulnérabilité crée de nouvelles occasions de conservation des terres humides côtières, afin de continuer à assurer la fourniture de biens et services des terres humides au profit des écosystèmes d'eau douce et au profit de la vie sociale, économique et culturelle.

Références

- Angeler, D., Fried-Petersen, H., Allen, C., Garmestani, A., Twidwell, D., Birgé, H., . . . Wonkka, C. (2019). Adaptive capacity in ecosystems. (D. A. Bohan, & A. J. Dumbrell, Éd.) *Advances in Ecological Research*, 60, 1-24. doi:10.1016/bs.aecr.2019.02.001
- Bush et al. (2019). *Observed Global Climate Change; Chapter 2 in Canada's Changing Climate Report*. Ottawa, Ontario: Government of Canada.
- Cvetkovic, M., Rokitnicki-Wojcik, D., & Midwood, J. (2017, December). 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. doi:https://doi.org/10.1016/j.jglr.2017.08.003
- Di Liberto, T. (2018, July 9). *Great Lakes Ice Cover Decreasing Over Last 40 Years*. (J. Kessler, Éditeur) Récupéré sur Climate.gov: <https://www.climate.gov/news-features/featured-images/great-lakes-ice-cover-decreasing-over-last-40-years>
- ECCC. (2019, December). *Canadian Protected and Conserved Areas Database*. Récupéré sur Environment and Natural Resources: https://cws-scf.ca/CPCAD-BDCAPC_Dec2019.gdb.zip
- ECCC. (2021, December). *Canadian Protected and Conserved Areas Database*. Récupéré sur Environment and Natural Resources: https://cws-scf.ca/CPCAD-BDCAPC_Dec2021.gdb.zip
- ECCC. (2022). *Lake Ontario Canadian Baseline Coastal Habitat Survey - Technical Report*. Gatineau, QC: 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- ECCC. (2022e). *Adapting to Climate Change: Solutions to Enhance Great Lakes Coastal Wetland Resilience*. Regional Director General's Office. Mayne, G., Hazen, S., Milner, G., Rivers, P., MacMillan, K., Mortsch, L., Zuzek, P.

- Environmental Law and Policy Centre. (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.
- Glick, P., Stein, B., & Edelson, N. (2011). *Scanning the Conservation Horizon: A Guide to Climate Change Vulnerability Assessment*. Washington, D.C.: National Wildlife Federation.
- Grabas, G., & Rokitnicki-Wojcik, D. (2015). Characterizing Daily Water-Level Fluctuation Intensity and Water Quality Relationships with Plant Communities in Lake Ontario Coastal Wetlands. *Journal of Great Lakes Research*, 41(1), 136-144. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.jglr.2014.12.019
- Harrison, A. M., Reisinger, A. J., Cooper, M. J., Brady, V. J., Ciborowski, J. J., O'Reilly, K. E., . . . 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.
- IPCC, Field, C. B., Barros, V. R., Dokken, D. J., Mach, K. J., Mastandrea, M. D., . . . White, L. L. (2014). *Summary for policymakers. In: Climate change 2014 IPCC: 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*. Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press.
- IPCC, Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Pirani, A., Connors, S. L., Pean, C., . . . Zhou, B. (2021). *Summary for Policymakers. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I*. Cambridge, United Kingdom and New York NY, USA: Cambridge University Press.
- Lam, S., & Dokoska, K. (2022). *Climate Change in the Great Lakes Basin: Summary of Trends and Impacts*. Toronto, ON: Toronto and Region Conservation Authority.
- Wilcox, D. A., Patterson, N., Thompson, T., Albert, D., Weeber, R., McCracken, J., . . . Gannon, J. (2002). *Where land meets water - Understanding wetlands of the Great Lakes*. Toronto, ON: Environment Canada.
- Zuzek Inc. (2020). *Great Lakes Migration and Sediment Dynamics*. Waterdown, ON: Environment and Climate Change Canada.