

MERS MONTANTES ET SABLES MOUVANTS

ALLIER LES INFRASTRUCTURES
NATURELLES ET GRISES
POUR PROTÉGER LES
COLLECTIVITÉS DES CÔTES
EST ET OUEST DU CANADA

Avec le soutien de:



National Research
Council Canada

Conseil national de
recherches Canada

Joanna Eyquem P.Geo.
ENV SP. CWEM. CEnv.

Le Centre Intact d'adaptation au climat

Le Centre Intact d'adaptation au climat (Centre Intact) est un centre de recherche appliquée de l'Université de Waterloo, fondé en 2015 grâce au financement d'Intact Corporation financière, le plus grand assureur en dommages du Canada. Il aide les propriétaires, les collectivités et les entreprises à réduire les risques associés aux changements climatiques et aux phénomènes météorologiques extrêmes. Pour en savoir plus, rendez-vous au www.centreintactadaptationclimat.ca.

L'Université de Waterloo

L'Université de Waterloo est l'université la plus novatrice au Canada. Comptant plus de 42 000 étudiants à temps plein ou partiel (automne 2020), elle accueille le plus vaste système d'enseignement coopératif en son genre au monde. Sa culture entrepreneuriale inégalée, combinée à une mission fortement axée sur la recherche, alimente l'un des meilleurs centres d'innovation qui soit. Pour en savoir plus, rendez-vous au www.uwaterloo.ca.

Le Conseil canadien des normes

Société d'État fédérale établie en 1970, le Conseil canadien des normes (CCN) représente les intérêts du Canada dans les activités de normalisation et d'accréditation nationales et internationales. Il collabore étroitement avec un vaste réseau de partenaires pour encourager l'élaboration de normes efficaces et efficaces qui protègent la santé, la sécurité et le bien-être de la population et favorisent la prospérité des entreprises. Principal organisme d'accréditation du Canada, le CCN renforce la confiance des marchés au pays et à l'étranger en veillant à ce que les organismes d'évaluation de la conformité respectent les normes nationales et internationales les plus rigoureuses. Membre de l'Organisation internationale de normalisation (ISO) et de la Commission électrotechnique internationale (IEC), il défend les intérêts du Canada sur la scène internationale et met en contact des milliers de personnes avec des réseaux et des ressources du monde entier, ouvrant ainsi une multitude de possibilités aux particuliers et aux entreprises. Pour en savoir plus, rendez-vous au : www.scc-ccn.ca.

Le Conseil national de recherches du Canada

Le Conseil national de recherches du Canada (CNRC) est le principal organe de recherche et de développement du gouvernement canadien. Le CNRC s'associe à l'industrie canadienne pour sortir la recherche du laboratoire et lui trouver des applications commerciales dont les retombées bénéficieront à l'ensemble de la population. Cette approche axée sur le marché permettra d'innover plus rapidement, de rehausser les conditions de vie des Canadiens et de trouver une solution à quelques-uns des problèmes les plus pressants qui touchent aujourd'hui la planète. Pour en savoir plus, rendez-vous au : <https://nrc.canada.ca/fr>.

Intact Corporation financière

Intact Corporation financière (TSX : IFC) est le plus important fournisseur d'assurance incendie, accidents et risques divers (IARD) au Canada, l'un des principaux fournisseurs d'assurance spécialisée en Amérique du Nord et, avec RSA, un chef de file au Royaume-Uni et en Irlande. Notre entreprise s'est développée par croissance interne et par acquisitions et nos primes annuelles totalisent maintenant plus de 20 milliards de dollars. Au Canada, Intact distribue ses produits d'assurance sous la marque Intact Assurance grâce à un vaste réseau de courtiers, notamment sa filiale en propriété exclusive, BrokerLink, et directement aux consommateurs par belairdirect. Intact offre également des solutions d'assurance pour les groupes d'affinité sous la marque Johnson. Aux États-Unis, Intact Insurance Specialty Solutions fournit des produits et services d'assurance spécialisée par l'intermédiaire d'agences indépendantes, de courtiers régionaux et nationaux, de grossistes et d'agences générales de gestion. À l'extérieur de l'Amérique du Nord, la compagnie offre des solutions d'assurance pour les particuliers et les entreprises ainsi que des solutions d'assurance spécialisée au Royaume-Uni, en Irlande, en Europe et au Moyen-Orient sous les marques de RSA. Pour en savoir plus, rendez-vous au www.intactfc.com.

Citation du présent document

Eyquem, J. L. 2021. Mers montantes et sables mouvants: Allier les infrastructures naturelles et grises pour protéger les collectivités des côtes est et ouest du Canada. Centre Intact d'adaptation au climat, Université de Waterloo.

Pour en savoir plus sur ce rapport, communiquez avec Joanna Eyquem, à l'adresse joanna.eyquem@uwaterloo.ca.

Avis de non-responsabilité

Les informations contenues dans le présent rapport ont, à notre connaissance, été aussi bien vérifiées que possible. Le Centre Intact ne peut donner aucune garantie de quelque nature que ce soit quant à l'exhaustivité, à l'exactitude, à la pertinence ou à la fiabilité des données fournies. Le rapport a été préparé à titre d'orientation générale sur des questions d'intérêt et ne constitue pas un avis professionnel. Vous ne devriez pas agir sur la base des informations contenues dans cette publication sans avoir obtenu des conseils professionnels précis. Aucune déclaration ou garantie (expresse ou implicite) n'est donnée quant à l'exactitude ou à l'exhaustivité de l'information contenue dans cette publication, et les employés et les sociétés affiliées du Centre Intact n'acceptent ni n'assument aucune responsabilité ou devoir de diligence pour toute conséquence envers vous ou toute autre personne agissant ou s'abstenant d'agir en se fondant sur l'information contenue dans ce rapport, ou pour toute décision fondée sur cette information. Tous les montants sont en dollars canadiens.

Table of Contents

Sommaire	6
1. Effets des changements climatiques sur le littoral canadien	10
1.1 Population côtière du Canada	13
1.2 Effets des changements climatiques sur les dangers côtiers	14
1.3 Écosystèmes côtiers	17
2. Gestion des risques côtiers à travers le monde	20
2.1 Mesures et tendances internationales en adaptation côtière	21
2.2 Études de cas par pays	23
3. Protections côtières du Canada	29
3.1 Catégorisation des mesures	30
3.2 Description des mesures de protection côtière et de leurs avantages et désavantages	31
3.3 Études de cas au Canada	43
4. Intensifier l'utilisation des mesures de protection côtière qui travaillent avec la nature	49
4.1 Prise en compte des solutions fondées sur la nature dans l'évaluation des options	51
4.2 Amélioration du suivi des résultats pour démontrer les avantages des solutions fondées sur la nature	59
4.3 Renforcement de la capacité grâce à la collaboration avec le secteur privé	63
5. Conclusions et prochaines étapes	67
Annexe A : Exemples concrets de mesures de protection côtière utilisées au Canada	70
Annexe B : Ateliers en ligne - résumé et résultats	82

Remerciements

Le Centre Intact d'adaptation au climat remercie les intervenants de tout le pays pour leur contribution et leurs conseils, notamment les personnes suivantes :

Enda Murphy, P.Eng., ingénieur de recherche senior, Génie océanique, côtier et fluvial, Conseil national de recherches Canada

Adrienne Yuen, spécialiste de secteurs, Résilience et durabilité climatiques, Conseil canadien des normes

Scott Adams, P.Eng., gestionnaire des travaux publics, Ville de Charlottetown

Trevor Andrews, spécialiste aquatique, Vancouver Fraser Port Authority

Marianne Armstrong, gestionnaire de l'Initiative sur les immeubles résilients aux changements climatiques et les infrastructures publiques de base, Conseil national de recherches Canada

Matthew Armstrong, P.Eng.; ingénieur côtier, Baird and Associates

Rowland Atkins, P.Geo.; travailleur indépendant (anciennement Golder)

Christopher Benosky, PE., CFM.; vice-président, AECOM

Jason Bernier, P.Eng. PMP.; vice-président, Terre et Environnement, CBCL Limited

DG Blair, directrice générale, Stewardship Centre for British Columbia

Ursule Boyer-Villemaire, cheffe d'équipe et gestionnaire de projets, Analyse en science de l'adaptation aux changements climatiques, Ouranos

Jan Brownridge, vice-présidente, Région de l'ouest, Munich Reinsurance Company of Canada

Alex Brunton, Ph.D.; environnement côtier et fluvial, Baird and Associates

Robert Capozzi, directeur, Adaptation au changement climatique, Secrétariat du changement climatique, ministère de l'Environnement et gouvernements locaux, gouvernement du Nouveau-Brunswick

Bridget Carle, vice-présidente, Solutions pour le secteur public, Swiss Re

Adam Cheeseman, directeur de Conservation, Nature NB

Charmaine Chiu, stagiaire, Planification d'action climatique, Engineers and Geoscientists BC

Angela Danyluk, spécialiste principale en durabilité, Ville de Vancouver

Michael Davies Ph.D., P.Eng.; président, Coldwater Consulting Ltd.

Tjasa Demsar, coordinatrice, Adaptation au climat, Ville de Surrey

Cheryl Evans, directrice, Résilience face aux inondations et aux feux incontrôlés, Centre Intact d'adaptation au climat

Blair Feltmate, Ph.D., président, Centre Intact d'adaptation au climat

Raelene Fewer, directrice de recherche et développement, Helping Nature Heal Inc.

Lisa-Marie Gagnon, urbaniste; chargée de projet, Ville de Percé

Kevin Gallant, P.Eng.; ingénieur / chercheur, Anqotum Resource Management

Shilo Gempton, MCIP., LPP.; urbaniste, Aménagement du territoire et développement, Municipalité régionale d'Halifax

Cherie Gray, responsable mondial, Durabilité de développement de marché, Solutions pour le secteur public, Swiss Re

Frédéric Haché, chargé de projet en développement durable, Valorès

Mitchell Hahn, inspecteur des digues / chef de la section sécurité contre les inondations, gouvernement de la Colombie-Britannique

Robin Hawker, RPP., MCIP.; associée en résilience climatique, Integral Group (anciennement Kerr Wood Leidal Associates Ltd)

Cindie Hébert, Ph.D. P.Eng.; professeure en génie, Université de Moncton

Debra Hickey, ingénieure, Parcs Canada

Thomas James, Ph.D.; chercheur, Ressources naturelles Canada et École des sciences de la terre et de l’océan, Université de Victoria

Amir Ali Khan, Ph.D., P.Eng.; gestionnaire, Section des droits relatifs à l’eau, des enquêtes et de la modélisation, Ressources en eau, ministère des Affaires municipales et de l’Environnement, Terre-Neuve-et-Labrador

Danker Kolijn, P.Eng., ingénieur côtier principal et chargé de projet, DHI (anciennement CBCL Limited)

Vincent Lambert-Song, coordinateur RCERA, Réseau Environnemental du Nouveau-Brunswick

Jeannie Lee, P.Eng., ingénieure en gestion des inondations, Ville de Vancouver

Sean Lee, P.Eng.; directeur-adjoint de l’ingénierie et des opérations, Ville de Fredericton

Taylor Legere, gestionnaire, Centre Intact d’adaptation au climat

Kelly Loch, coordinatrice, Projets Green Shores, Stewardship Centre for British Columbia

Vanessa Lueck, JD, Ph.D.; chercheure en résidence, Adaptation côtière, Vivre avec l’eau, Pacific Institute for Climate Solutions

Tamsin Lyle, P.Eng.; principale, Ebbwater Consulting

Jordan Matthieu, P.Eng.; chargé de projet – génie côtier, WSP

Keyvan Mahluji, P.Eng., ingénieur côtier principal, Golder

Bernard McDonell, spécialiste en inondations, ministre des Forêts, des Terres, des Opérations des Ressources naturelles et du Développement rural, gouvernement de la Colombie-Britannique

Reid McLean, Analyste de données SIG, gouvernement du Nouveau-Brunswick

Caroline Metz, directrice générale, Économie et résilience climatique, Centre Intact d’adaptation au climat

Shannon Miedema, responsable de programme Energie & Environnement, Planification & Développement, Municipalité régionale d’Halifax

Michelle Molnar, directrice technique, Municipal Natural Assets Initiative

Eric Morris, P.Eng.; ingénieur côtier principal, Kerr Wood Leidal Associates Ltd

Natalia Moudrak, directrice générale, responsable de la résilience climatique, Partenariat avec le secteur public, Aon

Marina Moudrak, chercheuse, Centre Intact d’adaptation au climat

Charlotte Olson, P.Geo., PMP.; gestionnaire, Développement d’habitat en lien avec les infrastructures, Vancouver Fraser Port Authority

Phil Osborne, Ph.D., P.Geo.; géomorphologue côtier principal, Golder

Matt Osler, P.Eng.; ingénieur principal, Ville de Surrey

Qi (Vivian) Peng, urbaniste junior, Southwest New Brunswick Service Commission

Harshan Radhakrishnan, P.Eng.; gestionnaire, Initiatives sur le changement climatique et la durabilité, Engineers and Geoscientists BC

Lewnanny Richardson, directeur du programme Espèces en péril, Nature NB

Jean-François Rolland, FCSLA.; directeur de projets, AECOM Consultants Inc.

Sybil Seitzinger, Ph.D.; directrice générale, Pacific Institute for Climate Solutions

Al Soud, Ph.D., PE., CFM.; associé –Ressources en eau, Environnement et infrastructure, Wood

Amir Taleghani, P.Eng.; ingénieur principal en gestion des inondations et des eaux pluviales, Ville de Vancouver (anciennement Kerr Wood Leidal Associates Ltd)

Danika Van Proosdij, Ph.D., chaire en géographie, Faculté des arts, géographie et études environnementales, Saint Mary’s University

Sarah Van Veen, stagiaire, Centre Intact d’adaptation au climat

Derek Williamson, ingénieur côtier, Baird and Associates

Régis Xhardé, Ph.D.; océanographe, Eau, Tetra Tech

Queenie Yip, P.Eng.; ingénieure principale en sécurité contre les inondations, ministre des Forêts, des Terres, des Opérations des Ressources naturelles et du Développement rural, gouvernement de la Colombie-Britannique

Sommaire



Vagues de tempête dans la baie McNeil, Victoria, Colombie-Britannique

L'érosion et les submersions côtières posent une menace directe pour la santé et la sécurité des populations côtières ainsi que pour l'intégrité des infrastructures et des propriétés locales. La majorité des populations côtières du Canada se trouve sur les côtes est (Atlantique) et ouest (Pacifique), où les changements climatiques entraînent une montée essentiellement irréversible du niveau de la mer¹. Il faut agir **dès maintenant** pour limiter les risques croissants qui pèsent sur ces populations.

Le présent rapport explique comment le Canada pourrait protéger ses côtes est et ouest en déployant une combinaison de solutions fondées sur la nature et d'infrastructures grises.

Cependant, en choisissant sa stratégie, le Canada devra porter une plus grande attention aux processus côtiers naturels. En effet, sans planification adéquate, le fait d'intervenir pour réduire les inondations ou l'érosion en un endroit précis risque de créer de l'instabilité ailleurs sur la côte et d'entraîner la dégradation d'écosystèmes dont dépendent les populations.

Le Canada ne dispose pas encore de cadre de planification stratégique ni de système normalisé pour classer les approches de gestion des risques côtiers. Le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) a défini cinq stratégies potentielles : la **protection**, l'**accommodation**, le **recul stratégique**, l'**évitement** et l'**inaction**². Il faudra sopeser de multiples options afin de choisir les plus adaptées aux côtes est et ouest du pays.

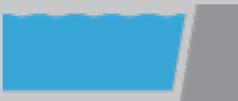
Les mesures de protection côtière se divisent en deux grandes catégories :

- Les **infrastructures grises**, qui sont des ouvrages techniques;
- Les **solutions fondées sur la nature**, qui exploitent ou imitent les systèmes naturels pour gérer les risques d'inondations et d'érosion³ et sont principalement fondées sur les sédiments (ex. : rechargement des plages) ou sur la végétation (ex. : restauration des marais salés).

Le tableau 1 donne un aperçu des mesures de protection côtière utilisées au Canada et les situe dans les catégories ci-dessus. Chaque mesure a ses avantages et ses désavantages, et plusieurs

peuvent être combinées pour remplir différents objectifs dans les collectivités côtières.

Tableau 1 : Aperçu des mesures de protection côtière utilisées au Canada

Infrastructures grises	Solutions fondées sur la nature sous-utilisées	
	Principalement fondées sur les sédiments	Principalement fondées sur la végétation
	<ul style="list-style-type: none"> • Murs de protection • Brise-lames flottants ou en zone côtière • Brise-lames ou promontoires fixes • Brise-lames submergés ou récifs artificiels • Revêtements perméables* • Revêtements imperméables* ou murs de soutènement • Épis • Barrages anti-tempête ou portes à marée • Digue ou levées 	 <ul style="list-style-type: none"> • Revêtements dynamiques* ou bermes de galets • Seuils submergés ou plages perchées • Rechargement des plages • Restauration ou aménagement des îles

* Un revêtement est un traitement côtier incliné servant à protéger le littoral.

Les solutions fondées sur la nature ont un rôle capital à jouer dans la gestion des risques de submersion et d'érosion côtières au Canada. L'expérience internationale démontre qu'elles ont de nombreux autres avantages : elles améliorent la biodiversité, la séquestration et le stockage du carbone, le bien-être des populations et l'offre d'activités récréatives.

Pour déployer des solutions fondées sur la nature à grande échelle et protéger les côtes du Canada, trois stratégies sont proposées :

- 1. Créer des normes nationales pour assurer l'évaluation cohérente des avantages des solutions fondées sur la nature,** notamment en ce qui a trait à la protection des côtes. Ces normes devront prévoir des exigences minimales, des variations régionales et la mise à contribution des peuples autochtones et recommander des méthodes pour mesurer la valeur financière des avantages des solutions fondées sur la nature.
- 2. Créer des normes nationales pour le suivi de la performance des mesures de protection côtière axées sur les solutions fondées sur la nature.** Ces normes devront prévoir des exigences de surveillance minimales et suggérer des façons d'adapter la mesure de l'efficacité aux objectifs des différents

projets. Les exigences minimales pourraient notamment comprendre un financement à long terme pour la surveillance et pour la mise à contribution des peuples autochtones.

- 3. Collaborer avec le secteur privé pour financer et déployer des solutions fondées sur la nature.** Les partenariats public-privé peuvent faciliter le financement, le déploiement, la surveillance et la préservation de ces solutions. Le secteur de l'assurance pourrait aussi contribuer à la gestion des risques liés à la construction et concevoir des produits d'assurance novateurs pour financer la restauration des systèmes naturels protégeant le littoral en cas de catastrophe.

Ces stratégies devraient aider les gouvernements et les autres organisations à prendre des décisions de gestion éclairées concernant l'érosion et les submersions le long des côtes est et ouest du pays.

Devant l'**urgence d'agir**, la passivité du Canada et du monde du monde en général représente un énorme défi pour la préparation aux changements climatiques et à la montée des eaux côtières. Depuis 6 000 ans, le niveau de la mer n'a presque pas changé à l'échelle planétaire⁴, si bien qu'il est difficile de concevoir la récente élévation rapide causée par les changements climatiques anthropiques. Toutefois, il est grand temps que les décideurs du Canada se rendent à l'évidence : l'avenir ne ressemblera pas au passé, et il presse de préparer les collectivités côtières à cette réalité.



Effets des changements climatiques sur le littoral canadien



Tempête au large de la côte nord de l'Île-du-Prince-Édouard

Dynamique et diversifié, le littoral canadien est le plus long du monde⁵. Sa biodiversité, sa beauté et ses ressources sont un atout majeur pour la culture, l'économie, l'identité du pays et les modes de vie traditionnels⁶.

Or, le climat du Canada se réchauffe deux fois plus vite que la moyenne mondiale, et ce, de manière essentiellement irréversible⁷. Les changements climatiques ont des effets généralisés et de plus en plus néfastes sur les systèmes côtiers humains et naturels⁸, si bien que les collectivités côtières représentaient en 2019 l'une des six plus grandes vulnérabilités aux risques climatiques du pays⁹.

Ces collectivités sont exposées à des catastrophes comme l'érosion et les submersions côtières, que les changements climatiques rendront de plus en plus fréquentes et importantes. Ces éléments constituent une menace directe pour la santé et la sécurité des populations ainsi que pour l'intégrité des infrastructures et des propriétés. Ainsi, il est impératif d'instaurer rapidement des solutions adaptées aux processus côtiers naturels pour limiter les risques croissants qui guettent les collectivités locales. Sans planification adéquate, le fait d'intervenir pour réduire les inondations ou l'érosion en un endroit précis risque de créer de l'instabilité ailleurs sur la côte et d'entraîner la dégradation d'écosystèmes dont dépendent les populations.

Plusieurs approches peuvent être employées pour gérer l'érosion et les submersions côtières : protection, accommodation, recul stratégique, évitement et inaction (voir la section 2.1).

Ce rapport présente les différentes mesures concrètes que le Canada pourrait déployer pour protéger les collectivités de ses côtes est et ouest des inondations et de l'érosion. Il y a deux grandes catégories de mesures de protection côtière :

 <p>Les infrastructures grises, qui sont des ouvrages techniques;</p>	<p>a.</p> 	<p>b.</p> 
<p>Les solutions fondées sur la nature, qui exploitent ou imitent les systèmes naturels pour gérer les risques d'inondations et d'érosion¹⁰ et sont a) principalement fondées sur les sédiments ou b) sur la végétation.</p>		

Communautés côtières



Une des six plus grandes vulnérabilités aux risques climatiques au Canada

Le document se divise en quatre grands chapitres : le premier, le présent chapitre, fait état des dangers et des vulnérabilités sur les côtes est et ouest du Canada et des répercussions des changements climatiques; le deuxième résume les approches internationales de gestion des risques côtiers; le troisième décrit les mesures utilisées au Canada pour réduire les inondations et l'érosion dans les collectivités côtières; et le quatrième présente une stratégie pour déployer à grande échelle des solutions de protection adaptées aux systèmes côtiers naturels et comportant de multiples avantages.

À noter que ce rapport n'aborde pas expressément les problèmes particuliers à la région côtière du Nord, très différents des enjeux des côtes est et ouest.

Il vise à informer les collectivités et les intervenants concernés par le financement, la conception, le déploiement, la gestion et l'assurance des mesures de protection côtière, notamment les parties suivantes :

- Collectivités côtières, y compris les communautés autochtones;
- Différents ordres de gouvernement;
- Concepteurs, propriétaires et responsables des infrastructures;
- Associations publiques et privées;
- Investisseurs institutionnels, caisses de retraite, banques et autres entités finançant des projets;
- Assureurs (assurance de dommages et de personnes, assurance maritime et réassurance);
- Agences de notation;
- Propriétaires fonciers, gestionnaires immobiliers, promoteurs et constructeurs des secteurs commercial et résidentiel;
- Organisations non gouvernementales;
- Établissements universitaires.



Figure 1 : Régions côtières ouest, nord et est du Canada (adaptée de Lemmen et coll., 2016)¹¹

1.1 Population côtière du Canada

En 2016, près de 4,8 millions de résidents du Canada (13,5 % de la population) vivaient à 10 km ou moins de son littoral¹². La plupart d'entre eux habitaient sur les côtes est et ouest, qui font l'objet du présent rapport (figure 1). La concentration de population dans une bande de 10 km des côtes est et ouest est particulièrement importante en Colombie-Britannique, en Nouvelle-Écosse, à Terre-Neuve-et-Labrador et à l'Île-du-Prince-Édouard (tableau 2).

L'océan et ses ressources sont profitables pour les collectivités côtières; à la source de multiples emplois et activités récréatives, il leur procure, avec les écosystèmes côtiers, ce qu'on appelle souvent des services écosystémiques : le commerce du poisson et des fruits de mer, le tourisme et les loisirs, et des avantages sociétaux généralisés comme la régulation du climat et le stockage du carbone¹³. Aujourd'hui, les changements climatiques menacent ces services importants et, dès lors, la qualité de vie des populations côtières.

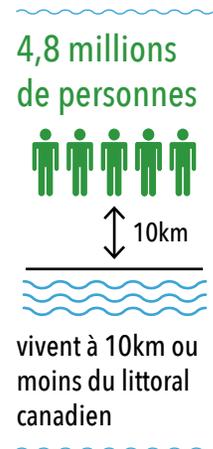


Tableau 2 : Littoral et population côtière du Canada, 2016 (Statistique Canada, 2021)¹⁴

	Littoral (km)	Population totale	Nombre de personnes habitant à 10 km ou moins des côtes	Pourcentage de la population provinciale habitant à 10 km ou moins des côtes (%)	Pourcentage de la population canadienne habitant à 10 km ou moins des côtes par province (%)
Canada	247 007	35 151 728	4 755 541	13,5	-
Colombie-Britannique	26 507	4 648 055	2 981 321	64,1	62,7
Nouvelle-Écosse	8 122	923 598	754 012	81,6	15,9
Terre-Neuve-et-Labrador	25 940	519 716	454 093	87,4	9,5
Nouveau-Brunswick	2 732	747 101	242 035	32,4	5,1
Île-du-Prince-Édouard	1 371	142 907	138 142	96,7	2,9
Québec	15 699	8 164 361	147 138	1,8	3,1
Autres provinces et territoires	166 635	20 005 990	38 799	-	0,8

1.2 Effets des changements climatiques sur les dangers côtiers

Le littoral est un environnement dynamique constamment façonné par des processus naturels comme l'érosion et le dépôt de sédiments, qui peuvent être accentués par des phénomènes météorologiques extrêmes tels que les tempêtes. À plus long terme, la variation relative du niveau de la mer et des terres entraîne aussi des changements.

Les inondations et l'érosion sont des processus naturels indispensables au fonctionnement des écosystèmes côtiers. Cependant, elles peuvent aussi être des *risques*, lorsqu'elles représentent un *danger* pour des personnes, des infrastructures ou des écosystèmes *exposés* ou *vulnérables* (voir les définitions dans l'encadré 1).

Encadré 1 : Définitions : risque, danger, exposition et vulnérabilité



Risque : Conséquence néfaste potentielle pour les systèmes humains ou écologiques. Dans le contexte des changements climatiques, les risques découlent d'interactions dynamiques entre les dangers climatiques, et l'exposition et la vulnérabilité des systèmes touchés.

Danger : Événement physique potentiel d'origine naturelle ou humaine qui pourrait entraîner des décès, des blessures ou des problèmes de santé, ainsi que des pertes ou des dommages touchant les biens matériels, les infrastructures, les moyens de subsistance, la prestation de services, les écosystèmes ou les ressources environnementales.

Exposition : Présence de personnes; de moyens de subsistance; d'espèces ou d'écosystèmes; de fonctions, de ressources et de services environnementaux; d'infrastructures; ou d'actifs économiques, sociaux ou culturels dans des endroits qui pourraient subir des conséquences négatives.

Vulnérabilité : Prédilection aux conséquences négatives. Comprend la sensibilité et la susceptibilité aux dommages et les lacunes dans les capacités de gestion et d'adaptabilité.

(GIEC, 2021)¹⁵

Le présent chapitre explique comment les changements climatiques augmentent la gravité et la fréquence de l'érosion et des submersions côtières dans une grande partie du littoral maritime canadien, plus précisément sur les côtes ouest et est.

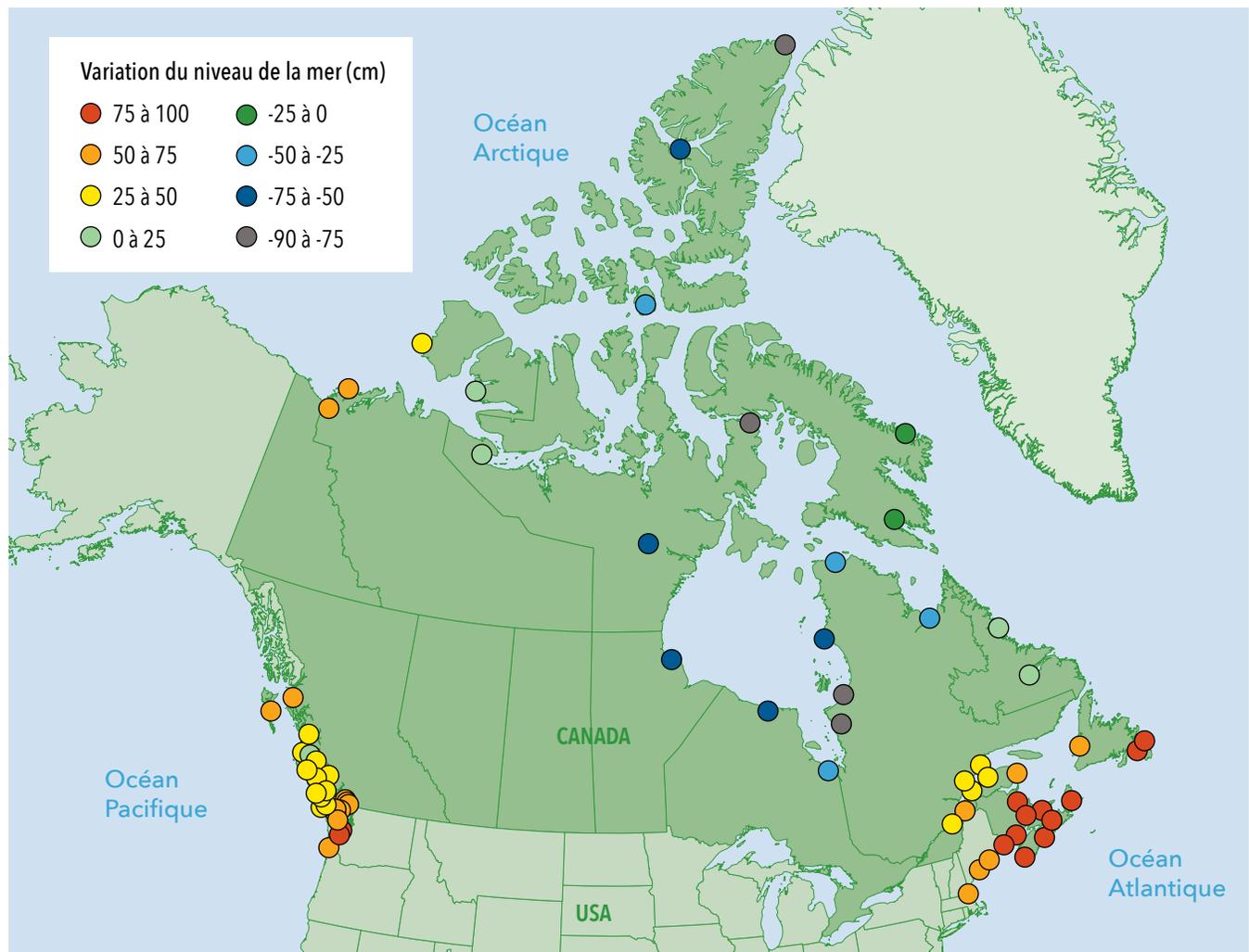
1.2.1 Niveaux d'eau extrêmes et submersions côtières

Les niveaux d'eau extrêmes le long des côtes maritimes résultent d'une combinaison de facteurs, dont les ondes de tempête, les marées et les vagues de l'océan. D'après les projections, la montée des eaux et le recul des glaces à l'échelle planétaire continueront d'accroître la fréquence et l'ampleur des niveaux d'eau extrêmes, au détriment du littoral canadien¹⁶.

Variation relative du niveau de la mer

Partout dans le monde, l'expansion thermique des océans et la fonte des glaciers continentaux, des calottes glaciaires et des inlandsis entraînent une montée des eaux. Au Canada, la variation du niveau de la mer relativement au littoral est également liée au mouvement vertical des terres (« soulèvement » vers le haut et « subsidence » vers le bas) provoqué par le recul du dernier inlandsis glaciaire¹⁷.

Figure 2 illustre la variation relative du niveau de la mer le long des côtes du Canada d'ici la fin du XXI^e siècle, selon un scénario d'émissions de gaz à effet de serre pessimiste (RCP 8.5). Une élévation est à prévoir sur la plupart des terres des côtes est et ouest.



Variation relative projetée du niveau de la mer d'ici 2100 selon la médiane du scénario d'émissions élevées (RCP 8.5) pour 69 zones côtières du Canada et du nord des États-Unis.

Figure 2 : Variation relative projetée du niveau de la mer le long des côtes du Canada d'ici la fin du siècle (James et coll., 2014¹⁸, 2015¹⁹; Lemmen et coll., 2016²⁰)

D'après les projections, les plus grandes augmentations relatives du Canada se produiront le long de la côte est (Atlantique), aux endroits où les terres subissent actuellement une subsidence

(points rouges sur la figure 2), soit la côte du Nouveau-Brunswick, l'Île-du-Prince-Édouard, la côte sud de la Nouvelle-Écosse et la partie supérieure de la baie de Fundy²¹. Selon le scénario à haute teneur en carbone (RCP 8.5), le niveau de la mer connaîtra une hausse relative de plus de 50 cm au Québec et à l'est de Terre-Neuve-et-Labrador (points orange sur la figure 2).

À l'ouest, la fourchette de mouvement vertical s'étend d'un changement négligeable près de Vancouver à un soulèvement de presque 4 mm par année au centre de l'île de Vancouver, avec un soulèvement moindre plus loin au nord²². Les plus grandes hausses relatives projetées d'ici 2100 pour cette région se produiront le long des basses-terres du Fraser, dans la partie sud de l'île de Vancouver et au nord de la côte²³.

Dans les endroits où l'on prévoit une élévation relative du niveau de la mer, la fréquence et l'ampleur des niveaux d'eau extrêmes augmenteront. Les inondations accrues et le potentiel d'érosion côtière qui en résulteront risquent d'accroître la vulnérabilité des collectivités locales.

Pour en savoir plus sur les niveaux d'eau extrêmes, voir l'Outil canadien d'adaptation aux niveaux d'eau extrêmes (OCANEE)²⁴.

Ondes de tempête

Une onde de tempête est une hausse ou une baisse du niveau de l'eau directement causée par le vent et la variation de la pression atmosphérique pendant une tempête²⁵. La basse pression et les vents rapides des systèmes de tempête intenses entraînent généralement des ondes de tempête positives (hausse du niveau de la mer). Ces dernières peuvent alors causer des submersions côtières, lorsqu'elles atteignent une certaine hauteur à marée haute, et provoquer d'autres phénomènes comme des vagues de tempête.

Dans certaines régions côtières, les ondes de tempête extrêmes peuvent s'élever à plus d'un mètre au-dessus des marées et occasionner des inondations à marée haute. Ces inondations peuvent ensuite être exacerbées par les vagues et la rupture ou le débordement des ouvrages de protection et des éléments topographiques côtiers. Aux endroits où l'on prévoit une élévation relative du niveau de la mer, les niveaux d'eau extrêmes risquent de gagner en hauteur et en fréquence²⁶.



Meet Cove, Nouvelle-Écosse

Évolution des glaces de mer au Canada atlantique

Les risques de submersion côtière associés aux vagues et aux ondes de tempête varient selon les glaces de mer. En concentration faible à modérée, elles augmentent la violence de ces phénomènes (par rapport aux conditions en eau libre), tandis qu'en concentration élevée ou sous la forme de banquises côtières elles la diminuent, réduisant les répercussions sur le littoral.

Au Canada atlantique, certaines projections indiquent que toutes les glaces de mer hivernales du golfe du Saint-Laurent pourraient disparaître d'ici la fin du siècle. Le rétrécissement de la couverture de glace de mer aura pour effet d'allonger les fetchs d'eau libre et d'accroître la hauteur des vagues et des ondes de tempête en hiver²⁷. En outre, le prolongement de la saison d'eau libre fera augmenter l'exposition du littoral aux effets des vagues et aux niveaux d'eau extrêmes, ce qui accentuera l'érosion dans certaines régions.

1.2.2 Érosion côtière

L'érosion côtière est un processus naturel qui s'observe lorsque le vent, les vagues ou le courant détachent des sédiments et les emportent le long de la côte ou au large. Comme expliqué dans la section précédente, les changements climatiques transforment la dynamique des systèmes côtiers. Selon les caractéristiques du littoral, la montée des eaux et le rétrécissement de la couverture de glace de mer saisonnière risquent aussi d'exacerber l'érosion côtière et les inondations²⁸.

L'activité humaine est un autre facteur susceptible d'accroître ou d'accélérer l'érosion. Par exemple, l'installation d'ouvrages de protection côtière ou anti-érosion en un endroit peut réduire l'apport sédimentaire en aval, provoquant ou accélérant ainsi l'érosion du littoral adjacent. Il est impératif d'adopter une approche systémique de gestion du littoral pour éviter les répercussions indésirables en d'autres endroits.

1.3 Écosystèmes côtiers

Les côtes est et ouest du Canada comptent au moins sept types d'écosystèmes : estuaires, sables côtiers, platiers intertidaux, marais salés, plages de galets, falaises et écores, et rivages rocheux.

Les formes de relief et les habitats côtiers se sont adaptés aux montées précédentes des eaux en reculant sur des terres plus hautes (selon le type de littoral, la dynamique des vagues et l'apport sédimentaire). Le problème, c'est que les infrastructures et les collectivités sont généralement fixes, ce qui limite la migration des écosystèmes côtiers vers l'intérieur des terres. Cette situation peut donner lieu à un coincement côtier, c'est-à-dire la prise au piège des habitats de la zone intertidale entre les eaux montantes et une infrastructure comme un ouvrage longitudinal. Puisque les écosystèmes côtiers offrent souvent une protection naturelle en stockant l'eau et en dissipant l'énergie des vagues, leur destruction peut aggraver l'érosion et les submersions côtières dans les collectivités locales.

Tableau 3 illustre les caractéristiques de ces écosystèmes et décrit les répercussions potentielles des changements climatiques sur l'érosion et les submersions côtières.

Tableau 3 : Répercussions des inondations et de l'érosion dans les sept principaux types d'écosystèmes des côtes est et ouest du Canada (Adapting to Climate Change in Coastal Communities of the Atlantic Provinces, Canada, 2016²⁹)

Écosystèmes	Exemples	Répercussions des changements climatiques
<p>Estuaires</p> <p>Endroits où un cours d'eau douce se jette dans l'océan³⁰.</p> <p>Estuaire de Courtenay, île de Vancouver, Colombie-Britannique</p>		<ul style="list-style-type: none"> • Ces écosystèmes se composent de basses terres hautement vulnérables aux inondations. • L'élévation du niveau de la mer accroîtra la portée et la hauteur des submersions dans les zones déjà vulnérables. • Les ondes de tempêtes frapperont de plus en plus loin et fort sur la côte. • Les écosystèmes sont diversifiés et sensibles aux changements, notamment à la variation des proportions d'eau salée et douce. • De nombreuses communautés urbaines côtières se situent près d'un estuaire.
<p>Sables côtiers</p> <p>Portion terrestre des plages, des flèches, des îles-barrières et des dunes où le substrat est majoritairement composé de sable³¹.</p> <p>Dunes de sable, Île-du-Prince-Édouard</p>		<ul style="list-style-type: none"> • L'élévation du niveau de la mer exacerbera les inondations et l'érosion dans des régions qui n'étaient précédemment pas exposées à l'eau. • Les courants des ondes de tempête déplacent les sédiments sur la côte ou les emportent au large, contribuant à l'aplanissement et au débordement des éléments topographiques côtiers. • Ces écosystèmes sont sensibles aux perturbations des mouvements sédimentaires naturels.
<p>Platiers intertidaux</p> <p>Étendues généralement non végétalisées de boue, de sable ou de roche entre la laisse de haute mer et la laisse de basse mer³².</p> <p>Platiers intertidaux, plaines intertidales, parc national Fundy, Nouveau-Brunswick</p>		<ul style="list-style-type: none"> • Ces écosystèmes se composent de basses terres hautement vulnérables aux inondations. • L'élévation du niveau de la mer accroîtra la portée et la hauteur des submersions dans les zones déjà vulnérables. • Les vagues générées par une onde de tempête peuvent déplacer d'importantes quantités de matière. • Ces écosystèmes sont sensibles aux perturbations des mouvements sédimentaires naturels.

Écosystèmes	Exemples	Répercussions des changements climatiques
<p>Marais salés</p> <p>Milieus humides côtiers qui sont inondés d'eau salée au rythme des marées et dont le sol se compose généralement de boue et de tourbe profonde³³.</p> <p>Parc provincial Rissers Beach, Nouvelle-Écosse</p>		<ul style="list-style-type: none"> • Ces écosystèmes comprennent des habitats diversifiés sensibles aux changements. • L'élévation du niveau de la mer peut causer des dépôts de sédiments excessifs qui entrent et étouffent la végétation. • La végétation peut aussi se noyer si elle demeure sous l'eau à marée basse. • Sans végétation, les habitats risquent de se dégrader et de perdre leur capacité de séquestration et de stockage de carbone.
<p>Plages de galets</p> <p>Plage de till et d'autres matières rocheuses composées de sédiments s'étant accumulés le long des côtes avec le recul des glaciers.</p> <p>Qualicum Beach sur l'île de Vancouver, Colombie-Britannique</p>		<ul style="list-style-type: none"> • La montée des eaux risque de pousser les galets plus loin sur la côte. • Les vagues puissantes des ondes de tempête peuvent déplacer les galets vers l'intérieur des terres, ce qui menace l'intégrité des infrastructures.
<p>Falaises et écores</p> <p>Affleurements rocheux verticaux ou quasi verticaux (falaises), ou larges escarpements arrondis (écores)³⁴.</p> <p>Falaises érodées, cap Enragé, Nouveau-Brunswick</p>		<ul style="list-style-type: none"> • La montée des eaux pourrait provoquer la submersion des falaises et des écores et l'inondation des arrière-plages. • Les vagues puissantes des ondes de tempête peuvent exacerber l'érosion au haut et au bas des falaises et des écores. • Un affouillement trop important pourrait causer un éboulement de la falaise ou de l'écore.
<p>Rivages rocheux</p> <p>Littoraux de roche solide</p> <p>Blanc-Sablon, golfe du Saint-Laurent, Québec</p>		<ul style="list-style-type: none"> • La montée des eaux pourrait provoquer l'inondation des rivages rocheux et des arrière-plages. • Les ondes de tempête font pénétrer l'eau plus loin dans les terres. • L'affouillement causé par les vagues pourrait endommager les rivages rocheux.

Gestion des risques côtiers à travers le monde



Érosion sur un sentier côtier, St Andrews, Nouveau-Brunswick

Selon le rapport spécial du GIEC *L'océan et la cryosphère dans le contexte du changement climatique*, la plupart des mesures internationales d'adaptation aux risques côtiers ont été implantées de manière réactive³⁵.

Ce chapitre résume les mesures et les tendances en adaptation côtière à l'international et examine la situation de différents pays pour illustrer l'évolution des approches de gestion des risques côtiers.

2.1 Mesures et tendances internationales en adaptation côtière

Les approches adoptées se divisent en six grandes catégories : inaction, avancée sur la mer, protection, recul stratégique, et adaptation fondée sur les écosystèmes (figure 3).

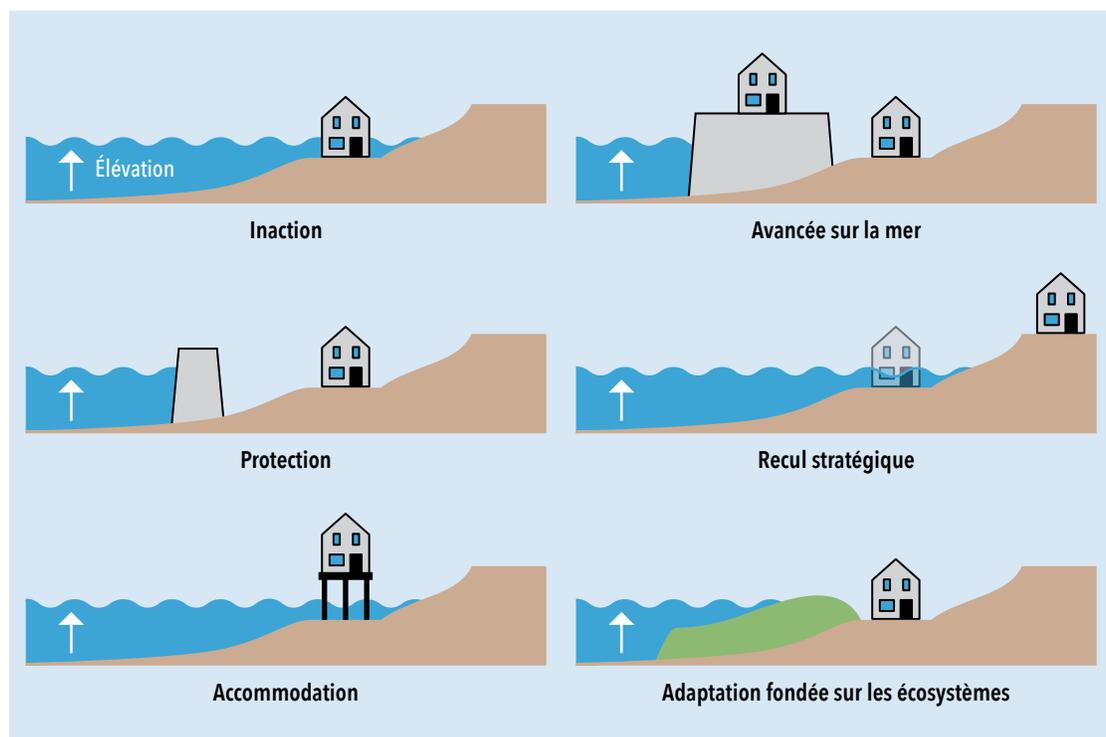


Figure 3 : Catégories d'approches pour combattre les risques côtiers et l'élévation du niveau de la mer (Oppenheimer et coll., 2019)³⁶

Le rapport du GIEC apporte les précisions suivantes sur les différents types d'approches³⁷ :

- Les **ouvrages de protection côtière** (digues, ouvrages longitudinaux et barrages anti-tempête) sont répandus, surtout dans le nord-ouest de l'Europe, en Asie de l'Est et près de plusieurs villes côtières et deltas. **Les mesures de protection fondées sur les sédiments** sont utilisées depuis longtemps.
- **Les mesures d'accommodation**, comme les systèmes d'alerte précoce en cas de niveaux d'eau extrêmes, sont aussi répandues.
- **L'avancée sur la mer**, soit le fait de prolonger la côte en bâtissant dans l'eau (réhabilitation des terrains), est une méthode depuis longtemps utilisée dans la plupart des régions côtières à forte densité de population.
- Le **recul stratégique** est généralement réservé aux interventions dans les petites collectivités et à l'aménagement de milieux humides.
- **L'adaptation fondée sur les écosystèmes**, qui apporte de multiples avantages, est de plus en plus populaire à l'international. Cependant, ses coûts et son efficacité à long terme continuent de faire l'objet de moult débats.

Dans son rapport, le GIEC affirme avec conviction que « les mesures de protection côtière réfléchies sont très efficaces pour limiter les dommages et constituent un investissement rentable dans les régions urbaines et à forte densité de population »³⁸.

En 2018, une étude sur la viabilité économique des mesures de protection contre la montée des eaux au XXI^e siècle a conclu qu'il serait avantageux de protéger 13 % du littoral mondial, une proportion qui englobe 90 % de la population des plaines inondables³⁹. Il convient de noter que cette étude ne tenait pas compte des coûts et des avantages sociaux et environnementaux, un aspect globalement positif dont les décideurs devraient pourtant tenir compte dans la valeur des interventions considérées.

Les infrastructures grises et les mesures de protection fondées sur les sédiments sont utilisées depuis longtemps, mais depuis environ l'an 2000, les mesures de protection fondées sur la végétation gagnent du terrain à l'international. En 2021, des experts du monde entier se sont réunis pour mettre en commun leur expérience de conception, de déploiement et de gestion de ces ouvrages de protection et élaborer des lignes directrices internationales pour la gestion naturelle des risques d'inondations (*International Guidelines on Natural and Nature-Based Features for Flood Risk Management*). Ont contribué le Corps des ingénieurs de l'Armée américaine, le Rijkswaterstaat du ministère des Infrastructures et de la Gestion des eaux des Pays-Bas, le ministère de l'Environnement du Royaume-Uni et bien d'autres, dont des organisations canadiennes⁴⁰. Ces lignes directrices encadrent l'utilisation de solutions fondées sur la nature pour protéger les côtes des inondations, y compris les plages, les dunes, les milieux humides côtiers, les îles, les récifs et la végétation aquatique submergée. Les études de cas par pays ci-après révèlent un intérêt croissant pour les solutions axées sur les processus naturels.



2.2 Études de cas par pays

Les sections suivantes dissèquent les approches de gestion des risques côtiers des Pays-Bas, de l'Angleterre, du Japon, des États-Unis et de l'Australie.

Deux thèmes reviennent souvent : la reconnaissance croissante de l'importance des processus naturels dans la protection des côtes, et la priorisation des mesures offrant de multiples avantages en plus de la protection contre l'érosion et les submersions côtières.

2.2.1 Pays-Bas : tirer parti des processus sédimentaires naturels

Situés dans un delta, les Pays-Bas se composent de terres basses vulnérables aux inondations. Ils abritent 350 km de littoral, neuf millions de résidents en zone côtière et de vastes régions sous le niveau moyen de la mer; aussi bien dire que le pays est lourdement exposé aux risques côtiers. Cependant, il représente également une riche source d'expertise et d'innovation en matière de protection côtière.

Aux Pays-Bas, la protection contre l'érosion et les submersions côtières est l'affaire du commissaire du programme Delta⁴¹. Suivant la désastreuse onde de tempête de 1953, le premier comité Delta a été formé pour diriger des travaux d'ingénierie et protéger les zones touchées. Le deuxième a été créé de façon plus proactive, pour préparer les Pays-Bas aux répercussions des changements climatiques comme l'élévation du niveau de la mer. Les recommandations de 2008, *Working together with water*, ont mené à la création de la loi, du programme et du fonds Delta, qui visent à protéger le pays des submersions côtières et des inondations fluviales et à assurer sa résilience au climat⁴².

S'articulant autour des processus sédimentaires naturels, le programme Delta utilise quelques grandes stratégies pour protéger les côtes, notamment la gestion du bilan sédimentaire du littoral sableux et l'installation de digues plus loin sur les terres⁴³. Depuis 1990, le pays emploie des stratégies de rechargement en sable pour maintenir ses dunes et ses plages – la zone de fondation côtière – dans leur état de 1990. Il recharge environ 12 millions de mètres cubes par année, les effets de chaque rechargement durant environ cinq ans⁴⁴.

En 2011, le projet pilote de moteur de sable (Zandmotor) a été lancé sur la côte du Delfland pour y assurer la présence de sable à long terme. Au total, 21,5 millions de mètres cubes de

sable ont été extraits de l'eau à dix kilomètres de la côte, puis déposés le long de la côte en une seule intervention pour former une péninsule crochue de 128 hectares comprenant un lac dunaire et une lagune⁴⁵. Selon les résultats des 10 dernières années, la protection côtière à long terme ainsi formée répondrait largement aux attentes et aurait une durée de vie plus longue que prévu⁴⁶.

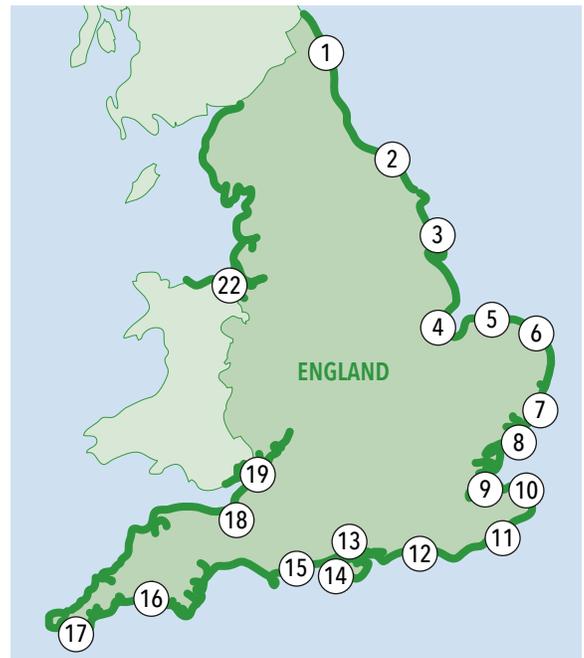


Jeunes dunes et kitesurfteurs, Zandmotor, Pays-Bas

2.2.2 Angleterre : planifier la gestion du littoral

En Angleterre, la planification stratégique des protections côtières est encadrée par des plans de gestion du littoral (*shoreline management plans*) qui divisent la côte en cellules selon les processus sédimentaires qui s'y produisent. À ce jour, le pays a réalisé deux cycles de planification et compte 22 plans en vigueur⁴⁷. Ces derniers ont été préparés par des « groupes côtiers » dirigés par des conseils locaux ou le ministère de l'Environnement. Ils définissent les orientations stratégiques pour la gestion du littoral et présentent les approches les plus durables pour atténuer les risques à court, à moyen et à long terme (0 à 20 ans; 20 à 50 ans; et 50 à 100 ans). Ils proposent quatre grandes orientations⁴⁸ :

- **Maintien de la ligne de côte** : Construction ou entretien d'ouvrages de protection artificiels pour préserver la ligne de côte actuelle, en maintenant ou en modifiant les normes de protection des ouvrages anciennes.
- **Avancée sur la mer** : Construction de nouveaux ouvrages de protection du côté mer des anciennes défenses naturelles – stratégie rarement utilisée.
- **Réalignement contrôlé** : Gestion des processus naturels d'avancée et de recul de la ligne de côte pour guider les ajustements dans certaines zones.
- **Aucune intervention active** : Absence d'investissements planifiés dans les ouvrages de protection ou les interventions côtières, qu'il ait précédemment existé des ouvrages de protection artificiels ou non.



SMPs en Angleterre

L'Angleterre dispose également d'une carte nationale des risques d'érosion côtière qui permet aux citoyens de voir les politiques en place dans les différentes zones⁴⁹.

Le pays employait autrefois des ouvrages techniques pour protéger ses côtes; selon les estimations de 2009, la moitié du littoral de l'Angleterre était doté d'ouvrages de protection en dur⁵⁰. Toutefois, le réalignement contrôlé et les autres approches tirant parti des processus naturels sont devenus plus populaires ces 30 dernières années. Les projets de réalignement contrôlé prévoient généralement la rupture délibérée des ouvrages de protection ou leur non-entretien après leur durée de vie prévue pour permettre à la ligne de côte de reculer sur les terres. Le premier projet officiel de ce genre au pays a été réalisé en 1991 sur l'île Northey, dans la partie supérieure de l'estuaire Blackwater dans l'Essex⁵¹. Depuis, 75 autres projets de réalignement contrôlé ont été menés à bien⁵².

Une étroite concertation entre l'Angleterre et les Pays-Bas a permis la réalisation d'un projet d'aménagement des plages calqué sur le projet néerlandais de moteur de sable à Walcott, dans le Norfolk⁵³. Dans le cadre de ce projet, 1,8 million de mètres cubes de sable ont été versés sur le littoral du terminal gazier de Bacton et des villages avoisinants, exposés à l'érosion côtière et aux inondations marines.

2.2.3 Japon : gérer la menace constante des risques côtiers catastrophiques

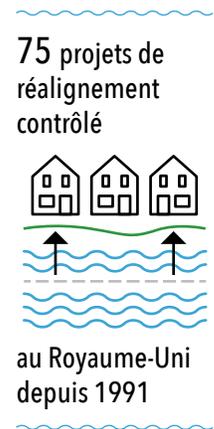
Le Japon est sujet aux catastrophes naturelles côtières comme les inondations et les vagues hautes des ouragans ainsi que les tsunamis. Cependant, même si ces phénomènes causent d'énormes ravages en peu de temps, l'érosion côtière continue est sans doute le phénomène le plus destructeur à long terme⁵⁴.

Après la guerre, dans les années 1950, le pays a érigé d'importants ouvrages de protection sur ses côtes, qu'il a renforcés après le tremblement de terre et le tsunami de 2011. Plus récemment, ces ouvrages de protection ont été solidifiés et surélevés en préparation à la montée projetée des eaux. Notamment, Tokyo est désormais protégée contre les ondes de tempête, les marées hautes et les tsunamis par un système de vannes d'écluse et un ouvrage longitudinal de 54 km s'élevant à plus de 7 m au-dessus du niveau de l'eau⁵⁵. Mais bien que ces ouvrages de protection protègent les zones urbaines contre les catastrophes naturelles, ils ne font rien pour arrêter l'érosion côtière.



Tétrapods

Depuis les années 1970, l'érosion des plages s'accélère au Japon en raison d'aménagements



artificiels. L'aménagement de brise-lames portuaires, de cordons littoraux et d'ouvrages de protection en dur a perturbé les mouvements de sédiments le long des côtes, et la construction de ports et de barrages a affaibli l'apport sédimentaire des rivières. Cet apport réduit a précipité l'érosion des plages⁵⁶. Des ouvrages de protection comme des tétrapodes ont été mis en place pour stabiliser ces dernières, mais ils ne règlent pas la question des sédiments⁵⁷. Les changements climatiques risquent d'exacerber considérablement l'érosion des plages⁵⁸, d'où l'importance de tenir compte des processus naturels dans la conception des mesures de protection côtière.

2.2.4 États-Unis : vers des littoraux vivants

Aux États-Unis, les dangers côtiers menacent des biens immobiliers totalisant approximativement un billion de dollars⁵⁹. C'est pourquoi il existe un programme national de gestion des zones côtières, qui consiste en un partenariat volontaire entre le gouvernement fédéral et les États et territoires adjacents à la mer et aux Grands Lacs. Autorisé par la loi de 1972 sur la gestion des zones côtières, ce programme jette les bases de la protection, de la restauration et du développement durable des collectivités côtières⁶⁰.

Par le passé, les États-Unis ont surtout eu recours aux infrastructures grises et aux mesures fondées sur les sédiments pour protéger le littoral. En 1956, le Corps des ingénieurs de l'Armée américaine a été chargé de voir au rechargement des plages aux fins de protection des côtes. Depuis, il a procédé au rechargement d'environ 560 kilomètres de littoral, principalement sur les côtes de l'Atlantique et du golfe du Mexique. Néanmoins, les bénéfices ne sont que temporaires, et le rechargement est une tâche continue.

Selon la trousse d'outils pour la résilience climatique américaine, les répercussions négatives des infrastructures grises sur les processus côtiers naturels sont de plus en plus reconnues⁶¹. Puisque ces infrastructures ont aussi des coûts



Après plantation



Après la saison de végétation

Exemple de littoral vivant

de construction et d'entretien élevés, plusieurs États se tournent maintenant vers le concept de littoral « vivant ». Dans un sondage récent sur les solutions réglementaires à la montée des eaux et aux enjeux de protection des côtes, 21 des 22 États interrogés avaient adopté des lois, des règlements, des politiques ou des lignes directrices en faveur des littoraux vivants ou d'autres approches plus naturelles de résilience côtière. Bon nombre d'entre eux avaient aussi établi des cadres beaucoup plus stricts pour la gestion des ouvrages de protection côtière.

Quelques États et collectivités locales avaient même banni la construction de nouveaux ouvrages de protection en dur (dont la Caroline du Nord, en 2003, et la Ville de Nantucket, au Massachusetts).⁶²

Par ailleurs, la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) privilégie activement l'aménagement de littoraux vivants plutôt que la construction d'ouvrages de protection, lorsque possible, surtout le long des côtes abritées (côtes qui ne sont pas directement exposées à l'énergie des vagues). Elle a publié en 2015 des lignes directrices nationales sur l'emploi de littoraux vivants⁶³ et continue de préparer diverses ressources sur les nombreux avantages de cette approche⁶⁴.

2.2.5 Australie : émergence d'approches naturelles de protection côtière

Jouissant de solides liens historiques avec le Royaume-Uni, l'Australie s'est inspirée des plans de gestion du littoral de ce pays pour créer son propre cadre stratégique axé sur les compartiments sédimentaires côtiers. Ce cadre intégré définit des compartiments primaires, secondaires et tertiaires pour faciliter la gestion de projets à diverses échelles de temps et d'espace (figure 4)⁶⁵. Or, ces balises sont flexibles, et les approches exactes varient d'un État ou d'un territoire à l'autre. La Nouvelle-Galles du Sud se fait notamment particulièrement proactive dans l'élaboration de programmes stratégiques de gestion du littoral.

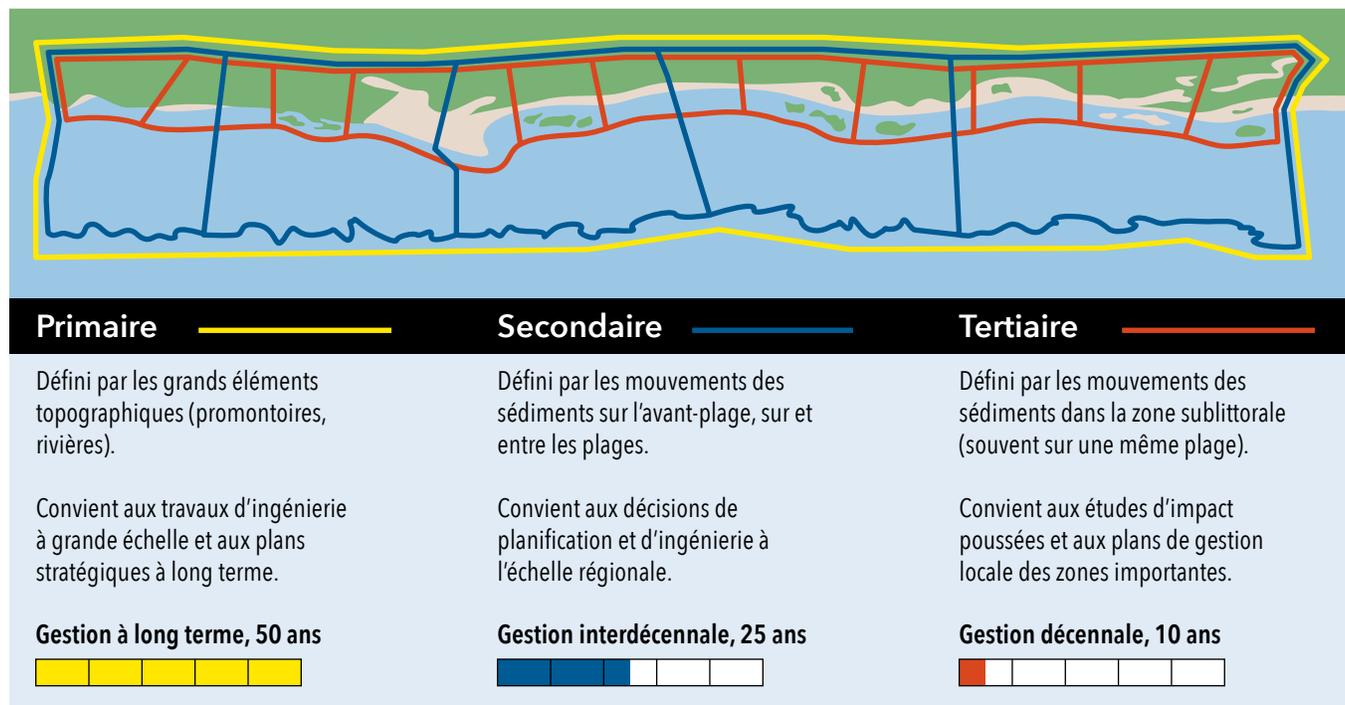


Figure 4 : Compartiments primaires, secondaires et tertiaires utilisés pour gérer les côtes de l'Australie (Thom, 2014⁶⁶)

Le portail CoastAdapt, alimenté par la National Climate Change Adaptation Research Facility et financé par le gouvernement de l'Australie, est une source majeure d'information publique sur l'adaptation du littoral aux changements climatiques⁶⁷. Son outil d'exploration permet de consulter rapidement les données des 359 compartiments sédimentaires secondaires du pays, par exemple leurs caractéristiques naturelles et leur sensibilité aux changements climatiques⁶⁸.

Pour ce qui est des mesures de protection côtière, le guide *Climate Change Adaptation Guidelines in Coastal Management and Planning*, préparé en 2012 par Engineers Australia, décrit les solutions techniques (protections intra et extracôtières, mesures de gestion des estuaires et des entrées) et définit les solutions fondées sur la nature comme des technologies émergentes et novatrices⁶⁹. À l'heure actuelle, aucune directive nationale n'encadre le déploiement de solutions naturelles de protection côtière pour remplacer les mesures de protection traditionnelles en Australie. Certains projets pilotes de littoral vivant ont été réalisés depuis 2016, mais la plupart des initiatives provenaient d'organisations non gouvernementales comme OceanWatch et l'Estuary Care Foundation. Le manque d'information des collectivités locales, d'accréditations sectorielles et de lignes directrices est un obstacle qu'il faudra surmonter pour accroître l'adoption des solutions fondées sur la nature⁷⁰.

Protections côtières du Canada



Photo 117598054 ©
Modfos | Dreamstime.com

Réparation du mur de protection au parc Stanley, mai 2018

Ce chapitre résume les différents types de protections côtières utilisées au Canada ainsi que leurs avantages et désavantages, et donne des exemples de leur application.

3.1 Catégorisation des mesures

Le Canada ne dispose pas encore de cadre de planification stratégique ni de système normalisé pour classer les approches de gestion des risques côtiers.

Les catégories « protection », « accommodation », « recul stratégique » et « évitement » ont toutefois été proposées (figure 5)⁷¹. Ce sont là quatre des six types de stratégies définies par le GIEC en 2019 pour la gestion du littoral (voir la figure 3 plus haut). Par ailleurs, le GIEC considère les mesures fondées sur les écosystèmes comme des approches émergentes (voir la section 2.1). Néanmoins, les solutions fondées sur la nature peuvent s'avérer utiles aussi bien dans les stratégies de protection et que dans celles de recul stratégique, comme l'illustre le cadre modifié de la figure 5.

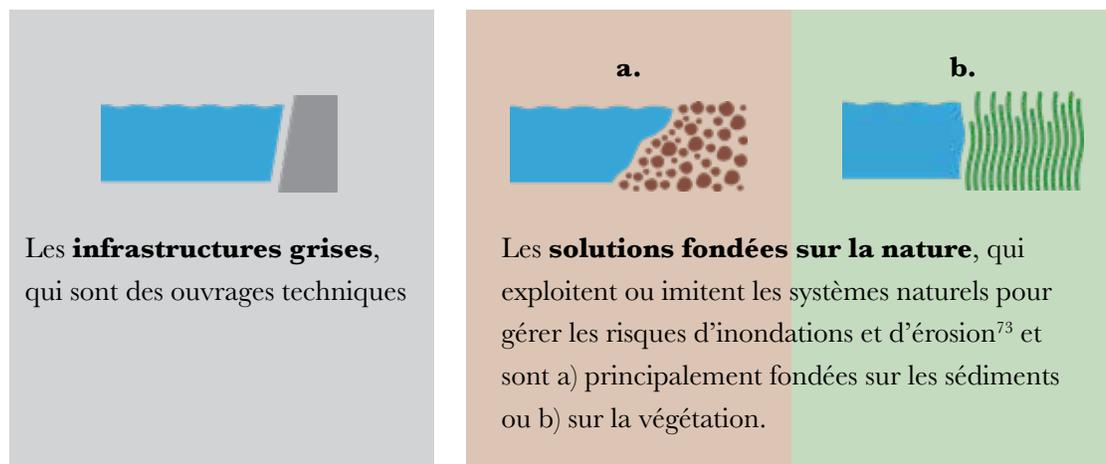


Figure 5 : Cadre de protection, d'accommodation, de recul stratégique et d'évitement (Doberstein et coll., 2019), modifié pour illustrer le rôle des solutions fondées sur la nature dans la protection et le recul stratégique

Selon les lignes directrices de 2021 (*International Guidelines on Natural and Nature-Based Features for Flood Risk Management*), les solutions fondées sur la nature offrent plusieurs avantages dans la lutte contre l'érosion et les submersions côtières⁷² :

- Atténuation de l'énergie et de la hauteur des vagues;
- Atténuation du niveau de l'eau près des côtes pendant les ondes de tempête;
- Stockage des eaux de crue dans les bassins de marée haute des estuaires;
- Réduction de l'érosion des sédiments et des sols;
- Attraction et stabilisation des sédiments;
- Attraction et préservation des espèces végétales et animales (stabilisation des digues et des autres structures).

Le présent rapport divise les mesures de protection côtières en deux grandes catégories :



Outre la protection accrue contre les inondations et l'érosion, les solutions fondées sur la nature offrent toutes sortes d'avantages environnementaux et sociétaux⁷⁴. À noter que ces solutions sont synonymes des approches fondées sur les infrastructures naturelles ou les actifs naturels. Les solutions de génie biologique qui combinent des infrastructures techniques à la végétation sont comptées comme des mesures de protection fondées sur la végétation.

3.2 Description des mesures de protection côtière et de leurs avantages et désavantages

Le Tableau 4 résume les mesures de protection côtières utilisées au Canada ainsi que leurs avantages et désavantages généraux, selon la littérature et les spécialistes du domaine. Les infrastructures grises sont en gris, les solutions naturelles principalement fondées sur les sédiments, en doré, et les solutions naturelles principalement fondées sur la végétation, en vert.

En plus des mesures présentées dans le tableau 4, le Canada travaille actuellement à établir des lignes directrices sur les solutions fondées sur la nature. Par exemple, l'ancrage de bois de

grève (« débris ligneux grossier »), une technique utilisée pour stabiliser les plages côtières de la Colombie-Britannique depuis le milieu du XX^e siècle, aurait le potentiel de remplacer les infrastructures grises dans certains contextes de protection côtière. Cependant, en l'absence de lignes directrices, cette stratégie est encore considérée comme expérimentale⁷⁵.

Tableau 4 : Mesures de protection côtière : descriptions, objectifs, avantages et désavantages

INFRASTRUCTURES GRISES			
Murs de protection			
 <p>Mur de protection du parc Stanley, Vancouver, Colombie-Britannique</p>			
Description et fonction	Objectifs	Principaux avantages	Principaux désavantages
<p>Structures terrestres imperméables autoportantes, souvent en béton ou en maçonnerie, construites parallèlement à la côte pour intercepter l'énergie des vagues et renforcer le profil de plage.</p> <p>Il n'est pas recommandé d'utiliser d'acier (gabions, palplanches), car ce matériau se détériore vite dans l'eau salée.</p>	<p>Protéger des inondations et de l'érosion les biens et les infrastructures situés immédiatement derrière.</p>	<p>Offrent une bonne protection localisée contre les inondations et l'érosion dans les zones côtières où les vagues sont fortes.</p> <p>Occupent moins d'espace que les autres ouvrages de protection côtière.</p> <p>Peuvent être construits dans des zones bâties où l'espace est restreint.</p>	<p>Présentent un grand risque de décès et de dommages matériels en cas de bris.</p> <p>Peuvent s'éroder plus vite sur leur face avant et en aval du courant dans les zones érodables.</p> <p>Peuvent gêner le recul naturel des systèmes côtiers sur les terres en cas de montée des eaux et ainsi causer le coincement côtier des habitats intertidaux.</p> <p>Hausent les coûts du cycle de vie (conception, construction et entretien).</p> <p>Sont vulnérables aux défaillances géotechniques et à l'érosion. Si le drainage derrière un ouvrage longitudinal n'est pas suffisant, la structure peut s'affaisser, se déplacer ou s'effondrer.</p> <p>Doivent être surélevés fréquemment pour conserver leur efficacité dans les zones où le niveau de la mer augmente.</p> <p>Peuvent rendre les environs moins attrayants et compliquer l'accès à la plage.</p>

Brise-lames ou récifs flottants ou en zone côtière



Brise-lames détaché, Cowes, Royaume-Uni

Description et fonction	Objectifs	Principaux avantages	Principaux désavantages
Structures extracôtières, généralement en béton ou en pierre, construites parallèlement à la côte pour dissiper l'énergie des vagues sur leur face sous le vent.	Ralentir l'érosion des plages.	<p>Offrent une bonne protection dans les zones côtières où les vagues sont fortes.</p> <p>Prolongent la durée de vie des projets de rechargement des plages et créent des modèles de vagues propices à l'aménagement de milieux humides.</p> <p>S'accompagnent souvent d'activités récréatives procurant des avantages sociaux et économiques.</p>	<p>Hausent les coûts du cycle de vie (conception, construction et entretien).</p> <p>Doivent parfois être jumelés à un rechargement des plages pour contrôler l'érosion dans les zones faibles en sédiments.</p> <p>Peuvent nuire à la dérive littorale et accroître l'érosion côtière en aval en piégeant les sédiments près de la côte.</p> <p>Sont vulnérables aux défaillances géotechniques et à l'érosion côtière.</p>

Brise-lames ou promontoires fixes



Souris Harbour, Île-du-Prince-Édouard

Structures rattachées à la côte s'étendant vers le large, construites pour dissiper ou renvoyer l'énergie des vagues.	Ralentir l'érosion des plages.	<p>Offrent une bonne protection dans les zones côtières où les vagues sont fortes.</p> <p>Prolongent la durée de vie des projets de rechargement des plages.</p> <p>Interceptent et retiennent les sédiments dérivant le long de la côte.</p> <p>Peuvent remplacer les épis traditionnels.</p> <p>Améliorent la faune et la flore marines dans certaines zones.</p>	<p>Occasionnent des coûts élevés de conception, de construction et d'entretien.</p> <p>Peuvent nuire à la dérive littorale et accroître l'érosion côtière en aval en piégeant les sédiments près de la côte.</p> <p>La face sous le vent peut s'éroder plus vite advenant une montée des eaux.</p>
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Brise-lames submergés ou récifs artificiels



Récifs artificiels, Stratford, Connecticut, États-Unis. Source de la photo : Scott Kruitbosch/RTPPI

Description et fonction	Objectifs	Principaux avantages	Principaux désavantages
Structures extracôtières dont la crête se trouve sous la surface de l'eau, construites parallèlement à la côte pour dissiper l'énergie des vagues avant qu'elle n'atteigne la côte.	Atténuer les vagues. Ralentir l'érosion des plages.	Renforcent efficacement les autres mesures de protection, par exemple en prolongeant la durée de vie des rechargements et en contribuant à la stabilisation des plages. Améliorent la faune et la flore marines dans certaines zones. Augmentent les avantages économiques et sociaux des activités côtières récréatives.	N'offrent qu'une protection limitée contre les inondations dans les zones à grande amplitude de marée (plus de 4 m), qui sont nombreuses au Canada. Certaines espèces envahissantes peuvent se servir des récifs artificiels comme habitats. Peuvent nuire à la dérive littorale et accroître l'érosion côtière en aval en piégeant les sédiments près de la côte. Les brise-lames submergés peuvent perdre en efficacité avec la montée des eaux. Peuvent constituer un risque pour la navigation à marée haute et pendant les ondes de tempête.

Revêtements perméables



Structures terrestres construites pour dissiper l'énergie des vagues et réduire leur force érosive. La conception et le matériau des revêtements doivent être adaptés à l'énergie des vagues. Les perrés ou les carapaces en béton de grande taille sont à privilégier dans les zones les plus exposées.	Ralentir l'érosion des côtes.	Protègent les zones côtières qui subissent une forte érosion continue.	Occupent beaucoup d'espace, ce qui peut engendrer des coûts plus élevés. Réduisent l'apport sédimentaire de la dérive littorale, ce qui peut augmenter l'érosion côtière en aval. Peuvent gêner le recul naturel des systèmes côtiers sur les terres en cas de montée des eaux et ainsi causer le coincement côtier des habitats intertidaux. Peuvent requérir un entretien fréquent advenant le tassement, l'affouillement ou la déstabilisation de la pente revêtue. Peuvent rendre la plage moins attrayante.
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------	------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Revêtements imperméables ou murs de soutènement



Mur de soutènement de North Beach, Swanage, Royaume-Uni

Description et fonction	Objectifs	Principaux avantages	Principaux désavantages
<p>Structures terrestres continues, verticales ou en pente, qui protègent des effets des vagues et de l'érosion.</p> <p>Il n'est pas recommandé d'utiliser d'acier (gabions, palplanches), car ce matériau se détériore vite dans l'eau salée.</p>	<p>Stabiliser l'inclinaison des terres adjacentes.</p> <p>Ralentir l'érosion des côtes.</p>	<p>Forment une ligne de défense fixe pour les biens de grande valeur exposés à l'érosion causée par les vagues.</p>	<p>Nuisent aux processus sédimentaires et ne doivent pas être utilisés dans les systèmes plage-dune.</p> <p>S'érodent plus vite sur leur face avant et en aval du courant dans les zones érodables.</p> <p>Réduisent l'apport sédimentaire de la dérive littorale, ce qui peut augmenter l'érosion côtière en aval.</p>

Épis



Épis à marée basse

<p>Structures généralement en pierre ou en bois, construites perpendiculairement à la côte et s'étendant sur les plages, qui réduisent la dérive littorale et piègent les sédiments.</p>	<p>Réduire l'érosion des plages en amont.</p>	<p>Interceptent et retiennent les sédiments pour protéger la plage environnante.</p> <p>Peuvent prolonger la durée de vie des projets de rechargement des plages ou de restauration des îles.</p>	<p>Peuvent nuire à la dérive littorale et accroître l'érosion côtière en aval en piégeant les sédiments près de la côte.</p> <p>La face sous le vent peut s'éroder plus vite advenant une montée des eaux.</p> <p>Peuvent limiter la circulation le long de la plage et son accessibilité.</p>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Barrages anti-tempête ou portes à marée



Description et fonction	Objectifs	Principaux avantages	Principaux désavantages
<p>Barrages mobiles construits près de l'entrée d'un estuaire fluvial ou d'un goulet de marée pour prévenir les inondations pendant les ondes de tempête.</p> <p>Petites barrières ou portes fréquemment appelées « aboiteaux » qui permettent aux eaux de ruissellement intérieures de s'écouler des terres à marée basse et qui empêchent l'eau de mer d'entrer à marée haute.</p>	<p>Réduire les inondations et les intrusions salines dans les estuaires pendant les ondes de tempête.</p>	<p>N'entravent pas la circulation maritime ni les mouvements naturels de l'eau.</p> <p>Empêchent l'eau de mer de pénétrer sur les terres à marée haute.</p>	<p>Haussent les coûts du cycle de vie (conception, construction et entretien).</p> <p>Doivent être entretenus fréquemment pour demeurer efficaces.</p> <p>Perturbent les échanges naturels de courants et de sédiments dans les estuaires et les habitats intertidaux.</p> <p>Augmentent l'érosion des hauts-fonds et la sédimentation des canaux d'amenée.</p>

Digues ou levées



<p>Structures terrestres souvent remplies de terre, construites parallèlement aux zones côtières de faible élévation pour séparer la ligne de côte de l'arrière-pays.</p>	<p>Protéger les zones côtières de faible élévation des inondations.</p>	<p>Offrent une bonne protection dans les zones côtières où les vagues sont faibles à modérées.</p> <p>Peuvent résister aux effets des vagues, lorsqu'enrochées.</p>	<p>Présentent un grand risque de décès et de dommages matériels en cas de bris.</p> <p>Doivent souvent être dotées d'un ponceau à sens unique (aboiteau) pour que l'eau puisse s'écouler des basses terres à marée basse, mais que l'eau de mer ne puisse pas entrer à marée haute.</p> <p>Doivent être entretenues fréquemment et surélevés à mesure que les eaux montent pour demeurer efficaces.</p> <p>Occasionnent des coûts élevés de conception, de construction et d'entretien.</p> <p>Perturbent les échanges naturels de courants et de sédiments entre la mer et les habitats intertidaux.</p> <p>Peuvent gêner le recul naturel des systèmes côtiers sur les terres en cas de montée des eaux.</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

SOLUTIONS NATURELLES PRINCIPALEMENT FONDÉES SUR LES SÉDIMENTS

Revêtements dynamiques ou bermes de galets



Revêtement dynamique aux falaises de Point Grey. (Crédit photo : Enda Murphy)

Description et fonction	Objectifs	Principaux avantages	Principaux désavantages
Utilisation de gravier ou de galets pour imiter une plage de galets naturelle, généralement au niveau de la laisse de haute mer ou plus haut.	Dissiper l'énergie des vagues. Ralentir l'érosion des côtes.	Imitent l'apparence et la fonction d'une plage naturelle. Peuvent améliorer les habitats des poissons et être combinées à des débris ligneux grossiers.	Peuvent se dégrader excessivement ou se défaire en cas de tempête violente. Doivent souvent être entretenus régulièrement ou réalimentés en matériaux après un certain temps ou suivant une tempête violente. Pour cette raison, il est recommandé de surveiller ces ouvrages de protection après leur aménagement. Lignes directrices pour l'instant limitées. Peuvent restreindre l'apport sédimentaire en aval.

Seuils submergés ou plages perchées



Photo du Center Center for Coastal Resources Management (ccrm.vims.edu/livingshorelines/photo_gallery.html), Virginia Institute of Marine Science.

Structures semi-continues en zone côtière, généralement en pierre, qui dissipent l'énergie des vagues et retardent la dérive des sédiments pour renforcer la plage adjacente.	Réduire l'érosion des plages.	Peuvent faire augmenter la valeur écologique des plages en favorisant le dépôt de sédiments et la croissance de la végétation. Peuvent rendre la plage plus attrayante.	Ne conviennent pas aux plages où les vagues sont fortes. Certains matériaux utilisés sur les plages perchées peuvent nuire à la circulation entre l'arrière-plage et la mer. Réduisent l'apport sédimentaire de la dérive littorale, ce qui peut augmenter l'érosion côtière en aval. Peuvent gêner le recul naturel des systèmes côtiers sur les terres en cas de montée des eaux et ainsi causer le coincement côtier des habitats intertidaux.
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Rechargement des plages



Fort Lauderdale, Floride, États-Unis

Description et fonction	Objectifs	Principaux avantages	Principaux désavantages
Disposition répétée de sédiments sur le littoral pour réduire la force érosive des vagues.	Réduire l'érosion des plages et les inondations causées par les ondes de tempête.	<p>Constitue une option rentable pour se débarrasser des sédiments dragués dans le cadre d'autres projets.</p> <p>Alimente la dérive littorale, ce qui contribue à la préservation des plages en aval.</p> <p>Peut faire augmenter la valeur écologique, récréative et touristique des plages et des zones côtières en aval.</p>	<p>A une durée de vie imprévisible.</p> <p>Doit parfois être répété, mais les approches de rechargement massif semblent permettre des interventions moins fréquentes.</p> <p>Doit parfois être combiné à des ouvrages techniques comme des épis et des brise-lames pour que le sable demeure en place.</p>

Restauration ou aménagement des îles



Île Sandy, Colombie-Britannique

<p>Utilisation de sédiments pour aménager ou, plus souvent, restaurer des îles.</p> <p>Peut s'appliquer aux îles-barrières, aux îles deltaïques et aux îles de baies.</p>	<p>Réduire les inondations causées par les ondes de tempête sur la côte adjacente.</p> <p>Réduire les effets des vagues et de l'érosion côtière sur la côte adjacente.</p>	<p>Constitue une option rentable pour se débarrasser des sédiments dragués dans le cadre d'autres projets.</p> <p>Augmente l'apport sédimentaire, ce qui peut avoir des effets positifs sur les plages avoisinantes.</p> <p>Peut créer de nouveaux habitats ou de nouvelles possibilités récréatives.</p>	<p>Ne fonctionne qu'aux endroits où la topographie et les processus physiques sont propices à la formation d'îles.</p> <p>Doit parfois être répété, mais les approches de rechargement massif semblent permettre des interventions moins fréquentes.</p> <p>Doit parfois être combiné à des ouvrages techniques pour que les sédiments demeurent en place.</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

SOLUTIONS NATURELLES PRINCIPALEMENT FONDÉES SUR LA VÉGÉTATION

Restauration ou stabilisation des dunes



Restauration des dunes de sable, Île-du-Prince-Édouard

Description et fonction	Objectifs	Principaux avantages	Principaux désavantages
Plantation d'espèces indigènes résistantes au sel et aménagement de systèmes protecteurs pour piéger le sable et encourager la formation de dunes.	Réduire l'érosion des dunes et protéger les terres des inondations causées par les ondes de tempête.	Fournit un habitat aux espèces aquatiques et améliore la qualité de l'eau. Protège les terres de l'érosion et des inondations causées par les ondes de tempête.	La stabilisation peut réduire l'apport sédimentaire de la dérive littorale et augmenter l'érosion côtière en aval. Peut gêner le recul naturel des systèmes côtiers sur les terres en cas de montée des eaux.

Stabilisation ou revégétalisation des falaises



Stabilisation des falaises, Newquay, Royaume-Uni

Gestion de la végétation existante ou plantation de nouvelle végétation à croissance rapide enracinée en profondeur pour créer une couche protectrice réduisant l'instabilité et l'érosion des falaises.	Ralentir l'érosion des falaises.	Réduit les risques de glissements de terrain, d'effondrements et d'éboulements. Encourage la préservation des habitats naturels sur les falaises.	Requiert des études géotechniques approfondies pour déterminer la cause de l'instabilité des falaises. La stabilisation des falaises s'érodant naturellement peut réduire l'apport sédimentaire de la dérive littorale et augmenter l'érosion côtière en aval.
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Restauration des marais salés et des milieux humides côtiers



Marais salé, près de Waterside, Nouveau-Brunswick

Description et fonction	Objectifs	Principaux avantages	Principaux désavantages
Rétablissement des marais salés et des milieux humides côtiers grâce à la plantation d'espèces indigènes non envahissantes pour dissiper l'énergie des vagues.	<p>Réduire l'érosion côtière.</p> <p>Protéger les terres des inondations causées par les ondes de tempête.</p> <p>Accroître l'infiltration des eaux de ruissellement.</p>	<p>Permet d'atténuer les vagues même dans les petits milieux humides étroits.</p> <p>Fournit des habitats essentiels aux poissons, améliore la qualité de l'eau et permet le stockage de carbone.</p> <p>Permet le recul naturel des systèmes côtiers sur les terres en cas de montée des eaux (si l'espace le permet) – pas de coincement côtier.</p> <p>Permet aux systèmes de se rétablir par eux-mêmes après une onde de tempête modérée.</p>	<p>Ne fonctionne qu'aux endroits où la topographie et les processus physiques sont propices à la croissance de la végétation.</p> <p>Doit parfois être combinée à d'autres solutions pour dissiper suffisamment l'énergie des vagues.</p> <p>Dans les zones où les vagues sont fortes, la végétation a besoin d'espace, de sédiments et d'une protection contre l'érosion pour prendre racine.</p>

Végétation aquatique submergée



Zostères

Restauration ou expansion des herbiers marins (ex. : herbiers de zostères), surtout ceux qui ont été endommagés par l'activité humaine.	<p>Absorber l'énergie des vagues et ralentir le courant.</p> <p>Réduire l'érosion côtière et stabiliser les sédiments.</p>	<p>Convient bien aux petits projets.</p> <p>Fournit des habitats, améliore la qualité de l'eau et stocke le carbone bleu.</p> <p>Peut s'avérer une ressource importante pour les communautés autochtones.</p>	<p>Ne fonctionne qu'aux endroits où la topographie et les processus physiques sont propices à la croissance naturelle de la végétation.</p> <p>Ne convient pas aux milieux où les vagues sont fortes.</p> <p>S'utilise rarement seule.</p>
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Génie biologique et rouleaux de coir



Rouleaux de coir

Description and Function	Objective(s)	Main Advantage(s)	Main Disadvantage(s)
Combinaison de plantes profondément enracinées et de produits anti-érosion en matériaux naturels et biodégradables (rouleaux de coir) qui stabilise les sols et protège le littoral des vagues, des marées et du courant.	Réduire l'érosion côtière et les inondations causées par les ondes de tempête.	Les rouleaux de coir absorbent davantage l'énergie des vagues que les ouvrages longitudinaux, les revêtements en pierre et les autres structures de stabilisation du littoral. Contribuent à la préservation du caractère naturel du milieu et crée de nouveaux habitats côtiers.	En se dégradant, les rouleaux de coir laissent derrière des filets synthétiques et métalliques qui posent un danger pour la faune, les bateaux et les usagers récréatifs des plages. Réduisent l'apport sédimentaire de la dérive littorale, ce qui peut augmenter l'érosion côtière en aval. Peuvent gêner le recul naturel des systèmes côtiers sur les terres en cas de montée des eaux et ainsi causer le coincement côtier des habitats intertidaux.

Génie biologique et nappes en fibres naturelles



Couverture anti-érosion, San Francisco, États-Unis.

Combinaison de plantes profondément enracinées et de produits anti-érosion en matériaux naturels et biodégradables qui stabilise les sols et protège le littoral des vagues, des marées et du courant.	Réduire l'érosion côtière.	Les nappes en fibres naturelles absorbent davantage l'énergie des vagues que les ouvrages longitudinaux, les revêtements en pierre et les autres structures de stabilisation du littoral. Contribue à la préservation du caractère naturel du milieu côtier et de sa valeur en tant qu'habitat.	Ne convient pas aux zones côtières où les vagues sont fortes. Réduisent l'apport sédimentaire de la dérive littorale, ce qui peut augmenter l'érosion côtière en aval. Peuvent gêner le recul naturel des systèmes côtiers sur les terres en cas de montée des eaux et ainsi causer le coincement côtier des habitats intertidaux.
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

3.3 Études de cas au Canada

Constats par site

Les 10 études de cas présentées au **tableau 5** illustrent les applications et les résultats de différentes mesures de protection côtière (voir l'annexe A pour en savoir plus sur chaque étude). Les infrastructures grises sont en gris, les solutions naturelles principalement fondées sur les sédiments, en doré, et les solutions naturelles principalement fondées sur la végétation, en vert.

Tableau 5 : Aperçu des études de cas sur les mesures de protection côtière du Canada

Mesure de protection	Résumé de l'étude de cas	Risques	Points à retenir
<p>Ouvrage longitudinal</p> <p>(Lien vers l'étude de cas n° 1 dans l'annexe A)</p> <p>Google Map</p>	<p>Restauration de l'ouvrage longitudinal du bras Northwest dans le parc Sir Sandford Fleming Municipalité régionale d'Halifax, Nouvelle-Écosse</p>  <p>Photo : M. Davies</p>	<p>Dangers : Submersion et défaillance de l'ouvrage longitudinal.</p> <p>Zone exposée : Site et sentiers du parc public Sir Sandford Fleming, qui ajoute au charme naturel, au patrimoine et à l'offre récréative de la région.</p>	<p>Les ouvrages longitudinaux ont généralement un coût en capital et des coûts d'entretien élevés.</p> <p>Le caractère esthétique est un élément important dans les zones d'une grande valeur sociale.</p>
<p>Brise-lames ou récifs en zone côtière</p> <p>(Lien vers l'étude de cas n° 2 dans l'annexe A)</p> <p>Google Map</p>	<p>Aménagement de récifs intertidaux pour protéger la route Transcanadienne (route 2) Ville de Souris, Île-du-Prince-Édouard</p>  <p>Photo : M. Davies</p>	<p>Dangers : Érosion et submersion côtières.</p> <p>Zone exposée : Segment de la route 2 le long de la plage de Souris. Il s'agit d'un lien vital entre la ville de Souris et le traversier interprovincial des Îles de la Madeleine. La plage est également une attraction touristique et récréative locale.</p>	<p>Les infrastructures grises peuvent cohabiter avec les processus naturels, voire imiter les habitats naturels.</p> <p>D'après les résultats du suivi, les récifs répondent aux attentes (améliorer la plage et les dunes).</p>

Mesure de protection	Résumé de l'étude de cas	Risques	Points à retenir
<p>Revêtement perméable</p> <p>(Lien vers l'étude de cas n° 3 dans l'annexe A)</p> <p>Google Map</p>	<p>Reconstruction du revêtement en pierres de carapace le long de la route en remblai de Cow Bay Cole Harbour, Nouvelle-Écosse</p>  <p>Photo : M. Davies</p>	<p>Dangers : Submersion et défaillance de la route en remblai.</p> <p>Zone exposée : Segment en remblai de 350 mètres de la route de Cow Bay. Avant les travaux, cette route devait fréquemment être renouvelée.</p>	<p>Les infrastructures grises constituent une option rentable pour protéger la route sur l'horizon temporel défini (30 ans).</p>
<p>Digues marines</p> <p>(Lien vers l'étude de cas n° 4 dans l'annexe A)</p> <p>Google Map</p>	<p>Gestion des inondations intégrée des East Fraser Lands Vancouver, Colombie-Britannique</p>  <p>Photo : Space2place Design Inc</p>	<p>Dangers : Submersion.</p> <p>Zone exposée : Nouveau lotissement durable en cours de construction (résidences, services et espaces verts).</p>	<p>Les mesures de protection contre les inondations peuvent se combiner à un redéveloppement.</p> <p>Les plans comprennent des super-digues, c.-à-d. des digues en terre dont les sols adjacents sont surélevés.</p> <p>La conception permettra de surélever les digues au besoin (le site se trouve dans une plaine inondable côtière).</p>
<p>Rechargement de la plage</p> <p>(Lien vers l'étude de cas n° 5 dans l'annexe A)</p> <p>Google Map</p>	<p>Protection et réhabilitation de l'Anse du Sud Ville de Percé, Québec</p>  <p>Photo : AECOM</p>	<p>Dangers : Érosion et submersion côtières.</p> <p>Zone exposée : Espaces touristiques, propriétés commerciales, résidences saisonnières et infrastructures (égout, routes, exutoires, quai, promenade).</p>	<p>Les mesures de protection côtière peuvent se combiner à une réhabilitation urbaine.</p> <p>Les analyses coût-avantage sont un outil précieux pour comparer différentes options au scénario de non-intervention.</p> <p>Le tourisme peut représenter un gain économique de taille (estimé à 68 millions de dollars sur 50 ans).</p>

Mesure de protection	Résumé de l'étude de cas	Risques	Points à retenir
<p>Rechargement de la plage</p> <p>(Lien vers l'étude de cas n° 6 dans l'annexe A)</p> <p>Google Map</p>	<p>Protection du tertre du parc Portage contre l'érosion View Royal, Colombie-Britannique</p>  <p>Photo : R. Atkins</p>	<p>Dangers : Érosion côtière pendant les tempêtes.</p> <p>Zone exposée : Tertre des Premières Nations vieux de 6 000 à 9 000 ans qui présente un intérêt culturel et archéologique.</p>	<p>Certains sites culturels et archéologiques en zone littorale doivent être protégés de l'eau.</p> <p>D'après les suivis réalisés de 2007 à 2019, le rechargement de la plage a été efficace.</p>
<p>Stabilisation et restauration des dunes</p> <p>(Lien vers l'étude de cas n° 7 dans l'annexe A)</p> <p>Google Map</p>	<p>Stabilisation et restauration des dunes de Le Goulet Le Goulet, Nouveau-Brunswick</p>  <p>Photo : L. Richardson</p>	<p>Dangers : Érosion et submersion côtières causées par un débordement ou une défaillance des dunes.</p> <p>Zone exposée : Habitats de la plage et des dunes et résidences derrière les dunes.</p>	<p>L'apport en sable est une composante essentielle de la restauration des dunes et de la stabilisation des plages.</p> <p>Les collectivités locales doivent participer activement au choix des mesures de protection.</p>
<p>Restauration du marais salé ou milieu humide côtier</p> <p>(Lien vers l'étude de cas n° 8 dans l'annexe A)</p> <p>Google Map</p>	<p>Restauration des habitats riverains du parc New Brighton Vancouver, Colombie-Britannique</p>  <p>(Photo : Administration portuaire Vancouver-Fraser)</p>	<p>Dangers : Submersion côtière, débordement des égouts pluviaux ou du réseau d'assainissement, et érosion causée par le trafic maritime.</p> <p>Zone exposée : Espaces verts du parc New Brighton (y compris le milieu humide côtier dégradé).</p>	<p>Les habitats dégradés par le remblai historique et la stabilisation peuvent être restaurés.</p> <p>Ce projet est un exemple d'aménagement du littoral respectant la norme « or » de Green Shores (voir l'encadré 4).</p> <p>Il est crucial de surveiller le marais salé jusqu'à ce qu'il soit bien établi pour assurer sa bonne gestion postconstruction.</p>

Mesure de protection	Résumé de l'étude de cas	Risques	Points à retenir
<p>Mesures combinées</p> <p>(Lien vers l'étude de cas n° 9 dans l'annexe A)</p> <p>Google Map</p>	<p>Combinaison d'infrastructures grises et naturelles à Alma Parc national du Canada Fundy, Nouveau-Brunswick</p>  <p>Photo : CBCL Limited</p>	<p>Dangers : Érosion et submersion côtières, surtout celles causées par les tempêtes.</p> <p>Zone exposée : Route 114, qui relie le parc national du Canada Fundy à Alma, et installations de Parcs Canada.</p>	<p>Les solutions naturelles peuvent se combiner efficacement aux infrastructures grises.</p> <p>Le rechargement de la plage et l'amélioration des habitats offraient de multiples avantages et constituaient une solution plus rentable que la disposition de pierres sur toute la côte.</p>
<p>Mesures combinées</p> <p>(Lien vers l'étude de cas n° 10 dans l'annexe A)</p> <p>Google Map</p>	<p>Troisième poste à quai de Deltaport – réhabilitation des habitats de la route en remblai est Ville de Delta, Colombie-Britannique</p>  <p>Photo : T. Andrews</p>	<p>Dangers : Ondes de tempête et apport sédimentaire insuffisant.</p> <p>Zone exposée : Site du projet de compensation des habitats (marais salés et plages) le long de la route en remblai est de Deltaport, qui n'a pas eu les résultats escomptés.</p>	<p>Les solutions naturelles peuvent compléter les infrastructures grises.</p> <p>La création et la restauration d'habitats doivent tenir compte des processus naturels.</p> <p>Les infrastructures grises peuvent servir à recréer artificiellement les conditions favorisant la formation d'habitats dans les zones où les processus naturels ont été modifiés.</p>

3.3.2 Résumé des constats

En examinant ces études de cas, on peut faire les constats suivants :

- Les objectifs de protection côtière varient grandement d'un endroit à l'autre et doivent être adaptés aux conditions du milieu, à ses vulnérabilités et aux valeurs de la collectivité locale.
- Les projets comprennent de multiples étapes d'évaluation, de conception et d'aménagement s'étendant sur plusieurs années, et les infrastructures bâties doivent être entretenues pendant toute leur vie utile.
- Il est difficile de déterminer les coûts réels des projets de protection côtière en raison du grand nombre d'étapes ponctuant leur réalisation. En outre, ces étapes impliquent souvent plusieurs organisations et acteurs différents (plus particulièrement des consultants techniques).
- Certains renseignements techniques importants liés aux différents sites et projets appartiennent à des entreprises privées et ne sont pas affichés publiquement.

- Lorsque le suivi des résultats n'est pas obligatoire pour obtenir un permis, de nombreux projets omettent cette étape ou ne font qu'un suivi ponctuel. Il est donc difficile de déterminer si un projet a eu ou non les effets escomptés.
- Il existe peu d'exemples de solutions fondées sur la nature utilisées dans les stratégies de protection côtière au Canada.

Ces constats sont explorés davantage dans la section 4 du présent rapport, qui porte sur le déploiement à grande échelle des solutions fondées sur la nature.

3.3.3 Évaluation des options et combinaison des mesures de gestion du littoral

Chaque collectivité côtière est confrontée à des problèmes uniques d'inondations et d'érosion. Aussi la stratégie de gestion du littoral doit-elle être adaptée à ses processus et écosystèmes côtiers, à ses valeurs et aux risques qui lui sont propres. Tous ces éléments orientent la sélection et l'évaluation des solutions potentielles.

Afin d'obtenir les meilleurs résultats possibles, les décideurs évaluent les options selon des critères prédéfinis. Dans un contexte de gestion du littoral, les solutions potentielles sont généralement comparées au scénario d'inaction, qui sert de point de référence.

L'évaluation des options doit tenir compte des processus côtiers naturels. En effet, sans planification adéquate, le fait d'intervenir pour réduire les inondations ou l'érosion en un endroit précis risque de créer de l'instabilité ailleurs sur la côte et d'entraîner la dégradation d'écosystèmes dont dépendent les populations. Le Canada ne dispose pas encore de cadre de planification stratégique ni de système normalisé pour classer les approches de gestion des risques côtiers. Néanmoins, les collectivités locales et les autres organisations peuvent unir leurs forces pour s'assurer que les processus côtiers hors de leurs compétences respectives sont préservés, comme l'illustre la stratégie d'adaptation aux submersions côtières de la Ville de Surrey, en Colombie-Britannique (encadré 2).

Parfois, l'évaluation des options révèle que la protection côtière n'est pas la meilleure stratégie pour une région donnée. Comme l'indique le cadre de gestion présenté plus haut⁷⁶, l'accommodation, le recul stratégique et l'évitement sont parfois des options plus avantageuses, seules ou en conjonction avec des mesures de protection côtière.

Il n'est pas rare qu'une combinaison de mesures complémentaires s'avère la meilleure façon de protéger les collectivités côtières. Les infrastructures grises et les solutions fondées sur la nature ne sont pas mutuellement exclusives et peuvent être utilisées en tandem dans une même collectivité (voir l'encadré 2).

L'exemple de la Ville de Surrey démontre aussi le rôle central que peuvent jouer les critères de financement dans l'adoption de solutions innovatrices et collaboratives offrant des avantages à

long terme. En 2018, le Canada a créé le Fonds d'atténuation et d'adaptation en matière de catastrophes (FAAC) pour financer les projets d'infrastructures grises et naturelles et accroître la résilience des collectivités exposées aux catastrophes engendrées par les changements climatiques⁷⁷. Un financement supplémentaire a été annoncé en 2021.

Encadré 2 : Stratégie et approches d'adaptation aux submersions côtières de la Ville de Surrey, en Colombie-Britannique

La Ville de Surrey se situe dans la région du Grand Vancouver, entre le fleuve Fraser et la frontière américaine. Environ 20 % de son territoire se compose de plaines inondables côtières. Selon les projections, la montée des eaux et les pluies de plus en plus fréquentes et torrentielles dans ces zones hautement vulnérables aux submersions côtières pourraient menacer 125 000 résidents, ainsi que des infrastructures municipales et la Première nation Semiahmoo, d'ici 2100. Afin de se

préparer à cette éventualité, la Ville a élaboré une stratégie d'adaptation de 2016 à 2019. Cette stratégie propose des orientations de gestion à long terme pour trois zones du littoral ainsi que 46 mesures à prendre à court, à moyen et à long terme⁷⁸.

En 2019, la Ville de Surrey a obtenu une subvention de 76,6 millions de dollars du FAAC, qu'elle utilise en partenariat avec la Ville de Delta et la Première Nation Semiahmoo pour instaurer une combinaison de mesures fondées sur les écosystèmes, d'ouvrages de protection et de solutions techniques⁷⁹ :

Solutions fondées sur la nature :

- Aménagement le long de la rivière Nicomekl d'un parc riverain conçu pour atténuer naturellement les risques d'inondations;
- Amélioration de la zone intertidale de la baie Boundary;
- Inclusion de solutions naturelles pour protéger les écosystèmes du parc Mud Bay du coinement côtier.

Infrastructures grises :

- Mise à niveau de plus de 10 kilomètres de digues;
- Remplacement des barrages marins vieillissants des rivières Nicomekl et Serpentine;
- Mise à niveau de trois stations de pompage;
- Remplacement des ponts des rivières Nicomekl, Serpentine et Campbell;
- Installation de 1,5 kilomètre d'égout pluvial.

Le personnel de la Ville de Surrey a expliqué comment les critères du FAAC avaient orienté la sélection des approches :

« Le seuil de financement minimal de 20 millions de dollars du FAAC nous a poussés à explorer des approches combinées et de nouveaux partenariats. Nous avons notamment intégré la modernisation critique des voies ferrées à la mise à niveau des mesures anti-inondation, et nous avons travaillé avec la Ville de Delta et la Première Nation Semiahmoo pour évaluer d'autres façons d'atténuer les submersions côtières dans la zone intertidale commune de la baie Boundary. L'admissibilité des solutions naturelles nous a aussi encouragés à faire avancer de nouvelles initiatives. Enfin, le FAAC nous a amenés à considérer le long terme – tous les dommages évités pendant la durée de vie des infrastructures –, ce qui a confirmé la rentabilité d'une action rapide pour renforcer la résilience et réduire les inondations. »

– Tjasa Demsar et Matt Osler, Ville de Surrey, Colombie-Britannique



Nicomekl River, Surrey, BC

Intensifier l'utilisation des mesures de protection côtière qui travaillent avec la nature



Restauration des dunes de sable, l'Île-du-Prince-Édouard

Les solutions fondées sur la nature ont de multiples bienfaits et pourraient jouer un plus grand rôle dans la gestion des risques de submersion et d'érosion côtière au Canada. Dans le présent rapport, sont considérées des mesures d'adaptation fondées sur les sédiments comme celles fondées sur la végétation. Ces mesures qui exploitent ou imitent les systèmes naturels pour gérer les risques de submersion et d'érosion procurent une foule d'avantages collatéraux⁸⁰.

Les solutions fondées sur la nature offrent plusieurs avantages dans la lutte contre les submersions et l'érosion côtière⁸¹ :

- Atténuation de l'énergie et de la hauteur des vagues;
- Atténuation du niveau de l'eau près des côtes pendant les ondes de tempête;
- Stockage des eaux de crue dans les bassins de marée haute des estuaires;
- Réduction de l'érosion des sédiments et des sols;
- Attraction et stabilisation des sédiments;
- Attraction et préservation d'espèces végétales et animales (stabilisation des digues et des autres structures).

Outre ces avantages, les solutions fondées sur la nature en milieu côtier produisent aussi toutes sortes de biens et services écosystémiques, comme :

- de la nourriture (poissons, fruits de mer);
- une régulation du climat (séquestration et stockage du carbone);
- une amélioration de la qualité de l'air;
- une amélioration de la qualité de l'eau;
- un habitat propice à la biodiversité;
- des espaces de loisir;
- une valeur esthétique;
- de l'inspiration culturelle, artistique et conceptuelle.

En dépit de leur utilité, une recherche menée en 2021 indique que les solutions fondées sur la nature demeurent sous-utilisées⁸². Ces deux facteurs, entre autres, freinent leur application à grande échelle⁸³ :

- la sous-estimation des avantages de ces solutions dans l'évaluation des options et la prise de décision;
- le manque de données confirmant l'efficacité de ces solutions dans le temps au Canada.

Ce chapitre examine les façons de surmonter ces obstacles. Il s'appuie sur les conclusions de deux ateliers en ligne tenus en juin 2021, qui ont réuni plus de 35 experts d'un océan à l'autre. Les données ont été recueillies au moyen de sondages en ligne et de discussions en petits groupes (voir annexe B).

De plus, les chercheurs ont pointé la nécessité de se donner les moyens de déployer des solutions naturelles au Canada, notamment en expliquant leurs avantages aux décideurs, en se dotant de la capacité institutionnelle de superviser et de mettre en œuvre de telles solutions et en disposant d'une expertise technique et multidisciplinaire en matière de conception, de construction et d'entretien^{84,85}. Ce chapitre fait état des possibilités de renforcement des capacités qui font appel au secteur privé.

4.1 Prise en compte des solutions fondées sur la nature dans l'évaluation des options

Présentement, les avantages des solutions fondées sur la nature n'occupent pas la place qui leur revient dans les méthodes d'évaluation des options au Canada.

Le premier des deux ateliers, « Upgrading Options Appraisal to include Ecosystem Good and Services », a eu lieu le 17 juin 2021. Cette section en résume les conclusions – on trouvera plus de précisions à l'annexe B.

4.1.1 Méthodes et outils d'évaluation des options au Canada

Au Canada, de nombreux outils différents servent à soupeser les options de gestion du littoral. À l'heure actuelle, il n'existe ni approche normalisée ni cadre de planification stratégique comme les plans de gestion du littoral (*shoreline management plans*) de l'Angleterre (voir le chapitre 2.2.2.). Voici quelques approches couramment utilisées :

- Analyse multicritères (évaluation qualitative);
- Évaluation selon des critères d'efficacité;
- Analyse coûts-avantages (évaluation quantitative des coûts et avantages récupérables et irrécupérables);
- Étude d'impact sur l'environnement (examen des options possibles).

Habituellement, les utilisateurs adaptent des approches génériques à leurs projets, souvent mis en œuvre par des collectivités locales. Une prise de décision structurée fait également partie

de l'arsenal des approches facilitant l'intégration des avantages des solutions fondées sur la nature. Cette méthode demande de cerner les valeurs importantes à l'échelle locale, de définir des objectifs et des mesures (comme une hiérarchie des biens et services écosystémiques) et de comparer les mesures à d'autres options. Cette approche peut également servir à comparer les compromis à faire pour différentes options de manière transparente et à cibler une série d'options complémentaires pour atteindre les objectifs définis.

Il existe d'autres protocoles d'évaluation des options de gestion du littoral :

- l'Optique des changements climatiques d'Infrastructure Canada (évaluation de l'atténuation des gaz à effet de serre et évaluation de la résilience aux changements climatiques)⁸⁶;
- l'évaluation en fonction des critères d'admissibilité au Fonds d'atténuation et d'adaptation en matière de catastrophes⁸⁷;
- les procédures relatives aux études d'impact sur l'environnement (qui varient selon la province ou le territoire).

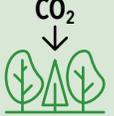
4.1.2 Prise en compte des avantages des solutions fondées sur la nature dans l'évaluation des options

Les solutions fondées sur la nature ont de multiples avantages qui manquent aux ouvrages de protection des infrastructures « grises »⁸⁸. Couramment appelées « biens et services écosystémiques », ces retombées profitent à la population. Souvent, comme ces biens et services n'ont pas de valeur marchande directe, ils sont plus difficiles à intégrer, sur le plan financier, à une évaluation des options.

Les conclusions de l'atelier indiquent que les biens et services écosystémiques ne sont pas systématiquement intégrés aux évaluations des options de gestion du littoral au Canada. Lorsqu'ils le sont, le recours à des méthodes qualitatives et semi-quantitatives (classement, cotation, etc.), ainsi qu'à une évaluation économique, est la norme. Un spécialiste a mentionné que, selon son expérience, l'intégration des biens et services écosystémiques s'y faisait « d'une manière ponctuelle et désorganisée qui gagnerait à être normalisée. »

Les avantages que procure la protection côtière pour le contrôle des submersions et des inondations sont généralement quantifiés en calculant le coût des dommages évités avec le temps^{89,90}. D'autres biens et services, comme la qualité de l'eau et de l'air, la séquestration et le stockage du carbone et les produits de la pêche sont également jugés faciles à quantifier. Les approches semi-quantitatives ou qualitatives pourraient servir à refléter les services écosystémiques jugés moins faciles à quantifier, comme les loisirs ou l'esthétique. Les approches quantitatives comme qualitatives peuvent servir à évaluer les changements dans la biodiversité et les habitats. Les méthodes utilisées par les spécialistes pour évaluer les coûts et avantages rattachés à certains biens et services écosystémiques sont résumées au tableau 6, de même que les leçons à retenir communiquées lors de l'atelier.

Tableau 6 : Méthodes, indicateurs et leçons à retenir – évaluation des coûts et avantages rattachés aux biens et services écosystémiques des solutions fondées sur la nature

Impact	Méthodes, indicateurs et valeurs utilisés	Leçons à retenir
Qualité de l'eau 	<ul style="list-style-type: none"> • Modélisation utilisant des logiciels sur mesure (InVEST) • Prévission des changements selon les principaux indicateurs de qualité de l'eau (par rapport aux normes établies) • Prévission des changements dans les coûts de traitement • Indicateurs visuels de la qualité de l'eau (turbidité, prolifération d'algues), décelables au moyen de détecteurs aériens 	<ul style="list-style-type: none"> • Protocoles normalisés bien établis • Difficulté de réduire la variabilité dans le temps et l'espace
Séquestration et stockage du carbone 	<ul style="list-style-type: none"> • Modélisation utilisant des logiciels sur mesure (InVEST) • Prévission des changements dans la végétation et le sol, et effet sur les flux de carbone et le stockage du carbone • Calcul de l'empreinte carbone des ouvrages de protection • Valeur sociale du carbone 	<ul style="list-style-type: none"> • Absence de méthode normalisée • Importance de baser les calculs sur les données locales • Nécessité de tenir compte du délai dans la séquestration du carbone
Biodiversité et habitats 	<ul style="list-style-type: none"> • Modélisation utilisant des logiciels sur mesure (InVEST, iTree) • Prévission des changements dans les territoires exploités de divers habitats (avec un SIG) • Prévission des changements dans la diversité des espèces, les espèces en péril ou les espèces envahissantes • Utilisation de connaissances écologiques traditionnelles ou de cartographies participatives comme point de référence 	<ul style="list-style-type: none"> • Utilité des drones pour obtenir des cartes en haute définition • Difficulté de bien refléter la valeur de la connectivité des habitats • Possibilité d'avoir à utiliser différents outils selon l'habitat
Esthétique 	<ul style="list-style-type: none"> • Cartographie participative • Analyse des médias sociaux (Instagram, Flickr) • Évaluation indirecte (ex. : supplément pour chambre avec vue sur la mer) • Consultations publiques sur des représentations visuelles d'autres options 	<ul style="list-style-type: none"> • Difficulté de quantifier et d'éviter les préjugés • Perceptions de l'esthétique très variable selon le parcours et la situation d'une personne • Difficulté de tenir compte des changements dans le temps
Loisirs 	<ul style="list-style-type: none"> • Changements de type d'installations de loisirs ou de leur durée d'utilisation • Mesures indirectes – nombre de visiteurs, fréquence d'utilisation, coûts de transport, revenus du tourisme local • Coûts de soins de santé (y compris de santé mentale) évités grâce aux activités liées à l'amélioration de la santé 	<ul style="list-style-type: none"> • Possibilité de découvrir divers points de vue • Souvent examiné du point de vue qualitatif : sous-estimation possible

4.1.3 Études de cas sur l'évaluation des options au Canada

Cette section fait état de l'intégration des avantages des solutions fondées sur la nature aux évaluations des options pour quelques cas au Canada.

Analyse coûts-avantages des options d'adaptation dans cinq régions du Québec

En 2016, Ouranos a mené une analyse coûts-avantages des options d'adaptation dans cinq régions côtières du Québec, portant aussi bien sur les ouvrages de protection que sur les mesures fondées sur les sédiments, de même que d'autres options sans structures côtières (comme la relocalisation stratégique et l'immunisation⁹¹). Les effets positifs et négatifs qui sont ressortis de cette analyse sont présentés dans le tableau 7, et vont au-delà de l'évitement des dommages causés par les submersions et l'érosion. Toutefois, l'ampleur des retombées positives examinées n'est pas représentative de l'ensemble des avantages à tirer de mesures de protection fondées sur l'écosystème.

Tableau 7 : Répercussions prévues intégrées à l'analyse coûts-avantages des options d'adaptation dans cinq régions côtières au Québec (source : Circé et coll., 2016)⁹²

Type de répercussions	Répercussions négatives	Répercussions positives
Liées à l'érosion	<ul style="list-style-type: none"> • Perte de terres • Perte complète ou partielle de bâtiments résidentiels ou commerciaux • Perte ou détérioration d'infrastructures publiques 	
Liées aux inondations	<ul style="list-style-type: none"> • Dommages aux terres • Dommages aux bâtiments résidentiels ou commerciaux • Dommages aux infrastructures publiques • Évacuations d'urgence • Accumulations de débris • Congestion ou détours routiers 	
Économiques	<ul style="list-style-type: none"> • Diminution de la valeur des terres • Perte de biens et de revenus commerciaux • Perte de revenus touristiques 	<ul style="list-style-type: none"> • Gain de revenus touristiques
Environnementales	<ul style="list-style-type: none"> • Perte d'habitats naturels • Perte de frayères à poissons 	<ul style="list-style-type: none"> • Amélioration des frayères à poissons
Sociales	<ul style="list-style-type: none"> • Perte de la vue sur la mer • Perte de l'accès à la mer • Déclin de l'usage récréatif du littoral • Déclin de la qualité de vie (anxiété, insécurité, etc.) • Détérioration du paysage • Détérioration du patrimoine historique et culturel 	<ul style="list-style-type: none"> • Croissance de l'usage récréatif du littoral • Hausse de la qualité de vie (sécurité) • Embellissement du paysage

Plateforme pour l'analyse avantages-coûts en érosion et submersion (PANACÉES)

Fort de cette expérience, l'organisme a créé une plateforme pour mener ce genre d'analyses sur l'érosion et la submersion (la « plateforme pour l'analyse avantages-coûts en érosion et submersion » ou PANACÉES⁹³). Cette dernière intègre des mesures de protection fondées sur l'écosystème, combinées à des mesures de protection fondées sur les sédiments et à des ouvrages de protection. Toutefois, l'analyse évalue les avantages en fonction des dommages évités et ne tient pas compte de l'amélioration des biens et services écosystémiques qui découlerait de mesures de protection fondées sur l'écosystème.

Évaluation intégrée des services écosystémiques et des compromis (InVEST)

On utilise de plus en plus des outils de modélisation pour évaluer les changements dans les biens et services écosystémiques rattachés aux options de gestion du littoral. La suite d'outils en source libre Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs (InVEST), conçue par Natural Capital Project, permet aux utilisateurs d'explorer les probabilités que les modifications des écosystèmes mènent à des changements dans les avantages dont bénéficie la population⁹⁴. Le logiciel comporte plusieurs modules, dont certains qui touchent la protection côtière, la qualité de l'habitat et le carbone bleu du littoral⁹⁵.

Outil sur la protection côtière et ses avantages

En 2021, une équipe multidisciplinaire dirigée par la Municipal Natural Asset Initiative (MNAI) a créé le « Coastal Protection and Benefit Tool », un outil basé sur la suite InVEST sur la protection côtière⁹⁶. Conçu pour produire des projections de haut niveau, il a fait l'objet de deux études préliminaires : une dans la ville de Gibsons en Colombie-Britannique⁹⁷ et l'autre à Pointe-du-Chêne au Nouveau-Brunswick⁹⁸. Pour chaque cas, une liste d'options a été présélectionnée à l'aide d'une analyse multicritères basée sur une consultation des parties prenantes, comme la protection des herbiers de zostères, les plantations sur le littoral, le rechargement des plages et l'amélioration des dunes⁹⁹. Si cet outil a permis le calcul de la valeur économique du contrôle des submersions et de l'érosion rattachée à ces solutions fondées sur la nature, il ne tient pas compte de leurs multiples avantages collatéraux¹⁰⁰.

Processus de demande du Fonds d'atténuation et d'adaptation en matière de catastrophes (2021)

Comme mentionné plus tôt, le Fonds d'atténuation et d'adaptation en matière de catastrophes finance des projets d'infrastructures structurelles et naturelles qui renforcent la résilience des communautés touchées par les catastrophes naturelles provoquées par les changements climatiques. Le processus de demande évalue les avantages économiques en fonction du rendement du capital investi (RCI), basé sur un ratio entre les pertes estimées et les coûts d'un projet. Les avantages collatéraux prévus des projets, comme la valeur environnementale et la réduction des gaz à effet de serre, font l'objet d'un critère de mérite distinct et sont exclus du calcul de RCI¹⁰¹.

4.1.4 Évaluation normalisée des biens et services écosystémiques : exemple de financement de partenariat destiné à des projets de gestion des risques de submersion et d'érosion côtière en Angleterre

La section suivante résume un exemple d'évaluation des options normalisées à l'échelle nationale pour la gestion des risques côtiers présenté lors de l'atelier. Ces projets de financement de gestion des risques de submersion et d'érosion côtière (Funding for Flood and Coastal Erosion Risk Management ou FCERM) menés en Angleterre sont sélectionnés selon des protocoles normalisés établis par l'État¹⁰². Des subventions de partenariats sont attribuées à des projets menés par des autorités de gestion des risques, en fonction de critères d'évaluation précis (tableau 8). Les autorités de gestion des risques se voient fournir une feuille de calcul sur mesure pour calculer la valeur économique rattachée à chacun de ces critères¹⁰³.

Tableau 8 : Critères de sélection des projets qui recevront du financement de partenariat en Angleterre

Critère d'évaluation		Description
OM1 - Avantages économiques	OM1A	Avantages économiques globaux (selon les coûts et avantages actuels)
	OM1B	Avantages rattachés à la population : réduction risque pour la vie, avantages liés au stress et à la santé, répercussions sur la santé mentale, diminution des dommages aux véhicules et évitement de coûts d'évacuation des résidences
OM2 - Résidences exposées aux inondations	OM2A	Résidences actuellement exposées mieux protégées contre les inondations grâce à cet investissement
	OM2B	Résidences exposées selon des projections allant jusqu'à 2040 mieux protégées contre les inondations grâce à cet investissement
OM3		Résidences mieux protégées de l'érosion côtière
OM4 - Améliorations environnementales	OM4A	Création ou amélioration d'habitats
	OM4B	Restauration et amélioration des habitats et processus naturels des cours d'eau

Les avantages et coûts économiques répondant au critère d'évaluation OM1 comprennent des avantages en capital naturel qui pourraient provenir de solutions fondées sur la nature (encadré 3).

Encadré 3 : Avantages de la gestion des submersions et de l'érosion côtière répondant au critère OM1

- Propriétés résidentielles et commerciales
- Transport (routes, chemins de fer, air et ports)
- Services (eau, gaz, électricité et déchets)
- Santé*
- Hébergement temporaire
- Services d'urgence
- Réparation de dispositif de protection contre les inondations
- Agriculture
- Installation de loisirs
- **Environnement****
- Patrimoine bâti
- Éducation
- Tourisme
- Répercussions du rétablissement, de la réparation et du nettoyage

* Inclut les répercussions sociales et psychologiques des inondations et la santé publique, les dommages aux hôpitaux et aux centres de santé, les décès et la détresse.

** Tout le capital naturel, y compris la faune et le patrimoine.

Les directives d'évaluation des questions environnementales qui entrent dans le critère OM4 font l'objet d'un document de lignes directrices à part entière¹⁰⁴. Selon ce critère, des versements sont offerts soit pour la création d'un habitat, soit pour l'amélioration des conditions d'un habitat existant. Divers habitats sont admissibles :

- Milieu humide intertidal;
- Zone boisée;
- Zone boisée humide;
- Milieu humide et prairies humides;
- Prairies;
- Lande;
- Étangs et lacs;
- Terre arable.

Selon le critère d'évaluation OM4B, les versements sont établis en fonction de la longueur du cours d'eau créé ou amélioré. Ils entrent dans l'une des trois catégories suivantes :

- restauration complète des processus naturels et des habitats et retrait des modifications physiques;
- restauration partielle des processus naturels et des habitats, et retrait partiel des modifications physiques;
- grand projet d'aménagement physique ou de l'habitat.

L'évaluation des résultats environnementaux des mesures OM4A et OM4B doit être basée sur les valeurs de transfert génériques déjà intégrées à la feuille de calcul du programme. Selon les lignes directrices, il s'agirait d'un moyen d'assurer une cohérence entre les programmes du FCERM et d'améliorer l'efficacité en réduisant le recours à des études sur mesure¹⁰⁵. Les

valeurs indiquées pour les habitats visent à tenir compte des services écosystémiques suivants :

- Approvisionnement en eau potable;
- Approvisionnement en nourriture (cueillette seulement);
- Approvisionnement en carburant, en bois ou en ressources;
- Valeur esthétique;
- Amélioration de la qualité de l'air;
- Amélioration de la qualité de l'eau;
- Inspiration culturelle, artistique et conceptuelle;
- Régulation du climat (séquestration du carbone);
- Espaces de loisir;
- Habitat propice à la biodiversité.

Pour les aménagements des cours d'eau, les valeurs sont tirées d'une enquête nationale sur les bienfaits de l'eau (NWEBS) qui portait sur la volonté de la population de payer pour les services écosystémiques de cours d'eau¹⁰⁶.

Pour chaque critère d'évaluation, la valeur nette actuelle des avantages est calculée (dans la feuille de calcul) en appliquant des taux d'actualisation normalisés à la période d'évaluation, qui est habituellement de 100 ans.

Cet exemple illustre en quoi une approche proportionnelle permet de calculer la valeur économique des biens et services écosystémiques de manière constante à l'échelle nationale. Si les valeurs calculées sont moins représentatives de conditions propres à certaines régions ou certains endroits, la méthode facilite l'intégration de valeurs jugées assez fiables pour mériter du financement.

4.1.5 Occasions de normalisation

Dans le cadre de l'atelier du 17 juin 2021, on a demandé aux participants s'il fallait exiger l'inclusion des biens et services écologiques dans l'évaluation des options des projets d'infrastructure au Canada, y compris la protection côtière. La majorité a répondu oui et personne n'a répondu non. Les participants ont expliqué que pour que les biens et services écologiques soient pris au sérieux, il faut se doter de normes et protocoles universels.

Ils ont souligné la nécessité d'une collaboration entre le fédéral et le provincial pour parvenir à la normalisation. Si les protocoles fédéraux sont utiles, il faut aussi pouvoir refléter les grandes disparités régionales d'un océan à l'autre. On a suggéré que les exigences minimales soient définies par le fédéral et que chaque région puisse disposer de normes et de critères propres à son contexte.

Parmi les possibilités de normalisation applicables à l'échelle locale, il y a les systèmes de certification des mesures de protection côtière adaptées aux systèmes naturels. Plusieurs programmes nord-américains font déjà activement la promotion de la mise en œuvre de solutions fondées sur la nature en zones aménagées, notamment le programme Living Shorelines de la NOAA ¹⁰⁷ (voir la section 2.2.4.), le programme Shore Friendly Grant à

Puget Sound, dans l'État de Washington¹⁰⁸, et, au Canada, le programme Green Shores® du Stewardship Centre en Colombie-Britannique (voir l'encadré 4)¹⁰⁹.

Encadré 4 : Normes de Green Shores®

Green Shores est un programme incitatif à participation volontaire lancé par le Stewardship Centre de la Colombie-Britannique en 2010. Semblable à des programmes d'évaluation écologiques comme Built Green^{MC} et LEED^{MC} il consiste en deux systèmes de crédits et d'évaluation : 1) l'un pour l'aménagement du littoral (commerces, résidences multifamiliales, subdivisions, parcs et berges des institutions)¹¹⁰ et 2) l'autre pour celui des résidences (propriétés résidentielles)¹¹¹.

Le programme Green Shores encourage des méthodes d'aménagement du littoral (environnement marin comme lacustre) qui protègent le territoire des submersions et de l'érosion, améliorent l'accessibilité aux berges pour les loisirs, et protègent et restaurent les habitats naturels. Le programme fournit du soutien et des outils de renforcement des capacités, ainsi que des normes de pratique exemplaires pour les professionnels de la planification, de la conception et de la construction, le personnel des collectivités locales et les propriétaires.

Le programme repose sur l'application par des équipes multidisciplinaires de ses normes aux projets côtiers et facilite la formation et l'encadrement de la planification pour un public cible de professionnels du littoral, de propriétaires et de gestionnaires des berges, d'administrateurs et de décideurs. Conçue à la base pour les régions côtières de la Colombie-Britannique, l'approche est maintenant applicable aux systèmes côtiers et lacustres de tout le pays. Green Shores a actuellement des projets en Colombie-Britannique et dans l'État de Washington, et travaille avec des parties prenantes sur des projets en Nouvelle-Écosse et à l'Île-du-Prince-Édouard.



Projet "Or" Green Shores : Restauration des habitats riverains du parc New Brighton, Vancouver, Colombie-Britannique.

(Photo: Vancouver Fraser Port Authority)

4.2 Amélioration du suivi des résultats pour démontrer les avantages des solutions fondées sur la nature

On observe actuellement un manque de confiance envers les solutions fondées sur la nature au Canada. En effet, l'absence de données prouvant leurs résultats décourage leur adoption, mais il faut les utiliser pour pouvoir recueillir des données; c'est un cercle vicieux.

Le deuxième atelier, intitulé *Performance Monitoring of Natural Infrastructure Solutions*, s'est déroulé le 29 juin 2021. Il portait sur les façons d'améliorer le suivi des résultats au Canada. Cette section en résume les conclusions (voir l'annexe B pour en savoir plus).

4.2.1 Suivi des approches utilisées au Canada

À l'heure actuelle, ni les solutions fondées sur la nature ni les autres protections côtières ne font l'objet de normes de suivi des résultats au Canada. Les participants ont mentionné quelques approches de suivi utilisées au pays :

- Le *Guide sur la gestion axée sur les résultats* du gouvernement du Québec¹¹²;
- La comparaison avec les critères de succès des plans d'adaptation au climat;
- Une version modifiée du *Global Programme of Action Coalition for the Gulf of Maine* (GPAC), visant à évaluer les résultats des projets locaux et régionaux de restauration des marées¹¹³;
- Des protocoles normalisés encadrant certains points techniques, dont l'évaluation de l'établissement de la végétation et de la qualité de l'eau;
- Des levés topographiques répétés (lidar aéroporté et terrestre);
- L'imagerie ou la photographie aériennes répétées de points de vue établis;
- Des protocoles internes ou propres aux différents projets.

Les participants ont souligné le besoin pressant de définir des données de référence reflétant les variations naturelles et saisonnières pour faciliter l'évaluation des résultats dans le contexte des changements naturels. Ils ont aussi mentionné la possibilité de travailler plus étroitement avec les Premières Nations; un groupe travaille notamment à l'élaboration d'un protocole de valeurs communes pour le suivi des solutions fondées sur la nature. Un participant a signalé que, aucun de ses projets n'ayant encore reçu de financement aux fins du suivi, l'évaluation des résultats se faisait de manière réactive, dans une optique de gestion des défaillances et d'inspection de garantie.

Les participants se sont fortement prononcés en faveur d'une approche améliorée et plus constante pour le suivi des solutions fondées sur la nature de protection côtière. Par ailleurs, ils croient percevoir une certaine faiblesse dans la capacité actuelle à faire le suivi des répercussions sociales par rapport aux répercussions physiques et biologiques.

4.2.2 Norme minimale de suivi des protections côtières

Dans l'ensemble, les participants étaient en faveur d'une norme minimale de suivi des protections côtières. Ils ont aussi suggéré d'autres façons d'améliorer le suivi des résultats, par exemple :

- des exigences réglementaires;
- la prise en compte du suivi à long terme dans le budget initial;
- des recommandations techniques.

En outre, ils se sont inquiétés du fait que la création d'une norme minimale, bien que positive pour la constance, pourrait décourager les suivis plus en profondeur.

Les participants ont été appelés à déterminer en petits groupes les éléments qui devaient être régis par une telle norme. Les propositions différaient d'un groupe à l'autre, mais les régimes hydrauliques et sédimentaires, la biodiversité et les habitats, et la séquestration et le stockage du carbone revenaient plus souvent que les autres éléments du tableau 9.

Tableau 9 : Éléments à inclure dans une éventuelle norme minimale de suivi des protections côtières relativement à différents résultats physiques, biologiques et sociaux

Élément	Arguments pour l'inclusion dans la norme minimale
Régime hydraulique (protection contre les inondations)	<ul style="list-style-type: none"> Le maintien et la restauration des processus côtiers devraient être une priorité. Les régimes hydrauliques ont une grande influence sur les inondations et la biodiversité. Le suivi pourrait être nécessaire au versement d'une indemnité d'assurance paramétrique. De multiples variables doivent être prises en compte (niveau de l'eau, hauteur des vagues, conditions extrêmes pendant les tempêtes).
Régime sédimentaire (protection contre l'érosion)	<ul style="list-style-type: none"> Le maintien et la restauration des processus côtiers devraient être une priorité. Les processus sédimentaires sous-tendent la résilience côtière. Le suivi pourrait être nécessaire au versement d'une indemnité d'assurance paramétrique. La norme minimale pourrait comprendre une évaluation géomorphologique qualitative et une caractérisation des sédiments.
Biodiversité et habitats	<ul style="list-style-type: none"> Les exigences minimales peuvent varier selon les critères d'attribution de permis et les règlements, particulièrement pour les projets de compensation des habitats des poissons. La fonction d'habitat et la diversité sont importantes. La présence de végétation indigène pourrait être une exigence minimale.
Séquestration et stockage du carbone	<ul style="list-style-type: none"> Il est de plus en plus important d'atténuer les répercussions des changements climatiques, et de stimuler les marchés du carbone ou d'attirer des investissements privés. Bien que cet élément ne constitue pas un avantage direct pour le site du projet, certains groupes de participants considéraient qu'il devrait faire partie de la norme minimale. Il serait pertinent de mesurer la variation de la couverture végétale et l'abondance du carbone dans les sols. Il s'agit d'un domaine émergent qui doit être mieux encadré.
Qualité de l'eau	<ul style="list-style-type: none"> Il existe déjà des normes bien établies. Cet élément est assujéti à la réglementation. La qualité de l'eau n'est pas toujours couverte par la portée d'un projet. De multiples variables doivent être prises en compte (oxygène dissous, pH, solides en suspension et demande biochimique en oxygène).
Pêcheries	<ul style="list-style-type: none"> Les pêcheries pourraient être intégrées aux exigences minimales d'autres variables, comme les habitats, la qualité de l'eau et le régime sédimentaire. Cet élément ne s'applique pas à tous les projets.
Esthétique	<ul style="list-style-type: none"> L'esthétique est un facteur important de l'appui du public. Cet élément ne s'applique pas à tous les projets.
Récréation	<ul style="list-style-type: none"> La récréation est un facteur important de l'appui du public. Cet élément ne s'applique pas à tous les projets.

Durant l'atelier, les discussions de groupe ont insisté sur le fait qu'il n'existe pas d'approche universelle pour le suivi des résultats. En effet, les exigences techniques du suivi sont étroitement liées aux objectifs de chaque projet. Ainsi, la norme minimale pourrait être plus générale ou servir de cadre global, et ses modalités d'application dépendraient des résultats attendus pour chaque projet. Les participants ont aussi suggéré de prévoir des exigences différentes selon la portée d'un projet, afin que le suivi soit proportionnel à l'ampleur de ce dernier. Il pourrait aussi être bon que la norme reflète les différences régionales considérables entre la côte est et la côte ouest.

De multiples participants ont également fait valoir l'importance de mobiliser les peuples autochtones dans l'élaboration d'une norme de suivi, pour tirer parti des connaissances écologiques traditionnelles et tenir compte des valeurs communes. Plusieurs groupes ont d'ailleurs suggéré que cette mobilisation devrait être une exigence minimale.

4.2.3 Innovation dans le suivi des résultats

Les participants à l'atelier ont soulevé des possibilités d'innovation de taille, qui se divisent en deux grandes catégories : les avancées technologiques, et le potentiel de la science citoyenne.

Avancées technologiques

Les véhicules aériens sans pilote (drones) à capacité de télédétection constituent un outil prometteur pour le suivi des mesures de protection côtière et des changements physiques et écologiques. Il s'agit d'une technologie flexible, rentable et facile à déployer, par laquelle plusieurs ensembles de données peuvent être collectés au fil du temps pour mesurer les résultats à différents moments et illustrer leur évolution. Les participants ont suggéré les applications suivantes :

- Utilisation du lidar terrestre pour dresser une topographie en haute résolution de la zone côtière;
- Utilisation de l'imagerie et de la topographie des drones pour contrôler l'évolution de variables comme la topographie côtière, les indicateurs visibles de la qualité de l'eau, la couverture végétale et l'esthétique;
- Utilisation de Google Earth et de l'imagerie satellite en libre accès pour faire le suivi des variations dans les couvertures végétale, aqueuse et terrestre;
- Utilisation de données commerciales d'observation terrestre à plus haute résolution pour le suivi quantitatif de l'évolution;
- Utilisation de l'apprentissage machine et de l'intelligence artificielle pour analyser de grandes quantités de données et d'images.

Potentiel de la science citoyenne

Plusieurs participants ont évoqué la possibilité d'impliquer les communautés locales, comme les peuples autochtones, dans le suivi des mesures de protection côtière. Ils ont notamment

suggéré de créer une base de données commune alimentée par les photos des citoyens (ex. : l'initiative Coastie de Parcs Canada¹¹⁴), ou de former et d'équiper différents groupes pour assurer le suivi de la qualité de l'eau. Une telle collaboration contribuerait à sensibiliser la population aux avantages des solutions fondées sur la nature et favoriserait la prise en charge locale.

Les données générées par les téléphones cellulaires et les réseaux sociaux pourraient aussi servir au suivi des protections côtières, particulièrement dans les cas où les résultats attendus influent sur l'activité humaine. Par exemple, les réseaux sociaux pourraient être utilisés pour analyser l'opinion du public sur certains endroits, tandis que les données cellulaires pourraient fournir des renseignements sur la fréquentation de ces endroits¹¹⁵.

4.3 Renforcement de la capacité grâce à la collaboration avec le secteur privé

Les dettes publiques atteignant des montants sans précédent, le financement du secteur privé est de plus en plus crucial pour la protection des côtes, d'où la pertinence des partenariats public-privé (PPP), qui allient les gouvernements et les entreprises privées pour financer, construire et exploiter des infrastructures. Le Conseil canadien pour les partenariats public-privé définit un PPP comme suit :

« **Projet de coopération entre les secteurs public et privé mettant à profit l'expertise des différents partenaires pour assurer une gestion des ressources, des risques et des avantages qui répond le mieux possible aux besoins clairement définis du public¹¹⁶.** »

Plusieurs modèles de PPP sont utilisés au Canada :

- **Contrat d'exploitation et de maintenance :** Un exploitant privé sous contrat gère une infrastructure publique (ex. : usine de traitement de l'eau ou des eaux usées) pour une durée prédéterminée. L'infrastructure demeure sous propriété publique.
- **Contrat de construction-financement :** Le secteur privé construit une infrastructure, et ne couvre que le coût en capital, pendant la période de construction.
- **Contrat de conception-construction-financement-entretien :** Le secteur privé conçoit, construit et finance une infrastructure et assure la gestion ou l'entretien des installations matérielles à long terme.

- **Contrat de conception-construction-financement-entretien-exploitation :**

Le secteur privé conçoit, construit et finance une infrastructure et assure la gestion ou l'entretien des installations matérielles à long terme. Il s'occupe aussi de l'exploitation dans le cas d'infrastructures telles qu'un pont, une route ou une usine de traitement de l'eau.

- **Accord de concession :** Un concessionnaire du secteur privé investit dans une infrastructure et en assure l'exploitation pour une période prédéterminée, après quoi l'infrastructure redevient une propriété publique¹¹⁷.

Les modèles de PPP impliquent un transfert de risques entre les partenaires. Dans le contexte d'un projet d'infrastructure naturelle (souvent considéré comme plus risqué qu'un projet traditionnel d'infrastructure grise, en raison de la complexité de construction et de l'incertitude des résultats), il est critique que les partenaires soient assurés contre les risques associés à la construction et aux résultats du projet.

À l'international, plusieurs projets de résilience côtière axés sur les solutions fondées sur la nature ont été réalisés selon un modèle de PPP; il pourrait s'agir d'une source précieuse d'information pour le Canada. L'encadré 5 présente l'un de ces projets : l'utilisation d'une solution d'assurance à caractère indemnitaire standard pour ériger une digue de sable novatrice sur l'île de Texel, aux Pays-Bas.

Encadré 5 : Digue de sable Prins Hendrik : assurance d'une protection naturelle contre la montée des eaux (île de Texel, Pays-Bas)¹¹⁸



L'île de Texel se situe à l'ouest de la mer des Wadden, site du patrimoine mondial de l'UNESCO et plus grand système de replats de marée du monde¹¹⁹. L'île, qui abrite plusieurs villes et villages, est protégée des eaux par une série de dunes et de digues, dont la digue de sable Prins Hendrik, qui couvre trois kilomètres de la côte de la mer des Wadden. Ses plages et ses réserves naturelles présentent une grande valeur écologique et économique et en font une destination touristique prisée; elle accueille environ un million de visiteurs chaque année.

Projet : Plusieurs sections de la digue longeant la mer des Wadden avaient besoin de renforcement en 2006. Une entreprise de dragage a subséquemment présenté une solution naturelle innovatrice pour renforcer la digue Prins Hendrik : placer cinq millions de mètres cubes de sable et planter deux millions d'ammophiles à ligule courte devant la digue en pierre et en béton existante pour la protéger de l'érosion et améliorer l'habitat naturel. Réalisée en 2019, cette intervention est devenue l'un des plus grands projets de renforcement d'une digue aux Pays-Bas.

Promoteurs : Office des eaux Hollands Noorderkwartier (mandant), Jan De Nul NV (entrepreneur) et Swiss Re (assureur). Swiss Re a contribué à la digue de sable en assurant le projet contre tous les risques liés à la construction.

Avantages de l'assurance : Compte tenu des risques du projet, l'assurance a joué un rôle central dans l'obtention du financement et du feu vert. L'assurance standard fournie couvrait tous les risques liés à la construction, notamment :

- les dommages matériels au projet causés par un phénomène météorologique, la conception ou une erreur dans l'exécution;
- la responsabilité pour dommage à des tiers pendant ou après la construction;
- les dommages à la propriété ou aux biens du mandant (dommages à la digue existante pendant la construction).

C'est l'entreprise de dragage responsable de la conception et de l'exécution qui a souscrit la police d'assurance, mais cette dernière protégeait toutes les parties concernées, soit la Municipalité, l'organisation de gestion de l'eau, les ingénieurs et les entrepreneurs.

Source : Cherie Gray, Solutions pour le secteur public, Swiss Re

L'encadré 6 présente un autre exemple international, dans lequel une entité publique (l'État du Quintana Roo au Mexique) a eu recours à un produit d'assurance pour protéger une solution naturelle de résilience côtière (récif de corail).

L'assurance paramétrique au cœur de ce projet constituait une entente selon laquelle l'entité assumant les risques (l'assureur) s'engageait à payer une indemnité fixe à l'entité assurée advenant un événement donné (ex. : tremblement de terre ou ouragan) d'une intensité prédéterminée. L'événement, dit le « paramètre », est souvent défini en fonction d'un indice faisant office d'autorité, par exemple l'échelle de Richter pour les tremblements de terre et l'échelle de Saffir-Simpson pour les ouragans. C'est pourquoi l'assurance paramétrique est parfois aussi appelée « assurance indicielle ». Les paramètres peuvent aussi être définis selon

d'autres facteurs objectifs, comme l'ampleur des dommages physiques, et se limitent généralement à une période et une aire géographique précises¹²⁰.

Une fois le paramètre établi atteint, l'entité assurée reçoit un montant prédéterminé. Puisque cette façon de procéder ne requiert pas d'évaluation des pertes, l'indemnité peut être versée beaucoup plus rapidement.

Encadré 6 : Récif de corail du Quintana Roo, au Mexique : assurance paramétrique

La première assurance paramétrique couvrant le récif de corail du Quintana Roo, au Mexique, a été souscrite en 2017. Plus long récif barrière de l'hémisphère ouest, ce récif de corail protège les collectivités locales des répercussions destructrices des ondes de tempête et de l'érosion des plages. Advenant des dommages empêchant le récif de remplir ses fonctions, la principale source de revenus de la région, le tourisme, serait menacée.

Afin de pallier à cette vulnérabilité, Swiss Re a collaboré avec l'organisme The Nature Conservancy et les gouvernements régionaux du Mexique pour placer le récif de corail, dont dépend l'industrie locale du tourisme, sous assurance paramétrique. Il était prévu qu'une indemnité soit versée si un ouragan de catégorie 4 – considéré comme assez violent pour endommager le récif – frappait la région. Ces fonds devaient permettre à des citoyens formés à cette fin d'entreprendre des travaux de restauration rapidement et d'ainsi réduire au minimum les dommages après un tel événement.

Après le passage de l'ouragan Delta au Quintana Roo en octobre 2020, l'assureur a versé de l'argent pour la stabilisation des colonies coralliennes déracinées et la collecte et la replantation des fragments de corail brisés, le tout dans les huit jours suivant l'événement.

L'intérêt élevé du marché pour ce produit d'assurance a entraîné le développement de projets supplémentaires et l'entrée de plus de ré/assureurs dans cet espace.



Source : Cherie Gray, Swiss Re, Solutions pour le secteur public

Conclusions et prochaines étapes

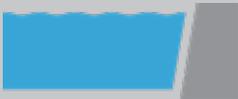


D'énormes vagues déferlent sur le rivage à Victoria, en Colombie-Britannique

Avec les changements climatiques, les collectivités des côtes est et ouest seront exposées à une érosion et à des submersions de plus en plus fréquentes et importantes. **Heureusement, le Canada peut employer une combinaison de solutions et sur les pas d'infrastructures grises pour protéger les collectivités qui s'y trouvent.**

Les options pour protéger le littoral du pays sont nombreuses (tableau 10). Chaque mesure a ses avantages et ses désavantages, et plusieurs peuvent être combinées pour remplir différents objectifs dans les collectivités côtières.

Tableau 10 : Aperçu des mesures de protection côtière utilisées au Canada

Infrastructures grises	Solutions fondées sur la nature sous-utilisées	
	Principalement fondées sur les sédiments	Principalement fondées sur la végétation
<ul style="list-style-type: none"> • Murs de protection • Brise-lames flottants ou en zone côtière • Brise-lames ou promontoires fixes • Brise-lames submergés ou récifs artificiels • Revêtements perméables* • Revêtements imperméables* ou murs de soutènement • Épis • Barrages anti-tempête ou portes à marées • Dignes ou levées 	 <ul style="list-style-type: none"> • Revêtements dynamiques* ou bermes de galets • Seuils submergés ou plages perchées • Rechargement des plages • Restauration ou aménagement des îles 	 <ul style="list-style-type: none"> • Restauration ou stabilisation des dunes • Stabilisation ou revégétalisation des falaises • Restauration des marais salés et des milieux humides côtiers • Végétation aquatique submergée • Génie biologique et rouleaux de coir (fibre de coco) • Génie biologique et nappes en fibres naturelles

* Un revêtement est un traitement côtier incliné servant à protéger le littoral.

Les solutions fondées sur la nature demeurent à ce jour sous-utilisées. Pourtant, elles offrent de nombreux avantages en plus de la protection contre l'érosion et les submersions côtières :

- Apport de nourriture (poisson et fruits de mer);
- Régulation du climat (séquestration et stockage de carbone);
- Régulation de la qualité de l'air;
- Régulation de la qualité de l'eau;
- Création d'habitats favorisant la biodiversité;
- Diversification de l'offre récréative;
- Augmentation de la valeur esthétique;
- Sources d'inspiration pour la culture, l'art et le design.



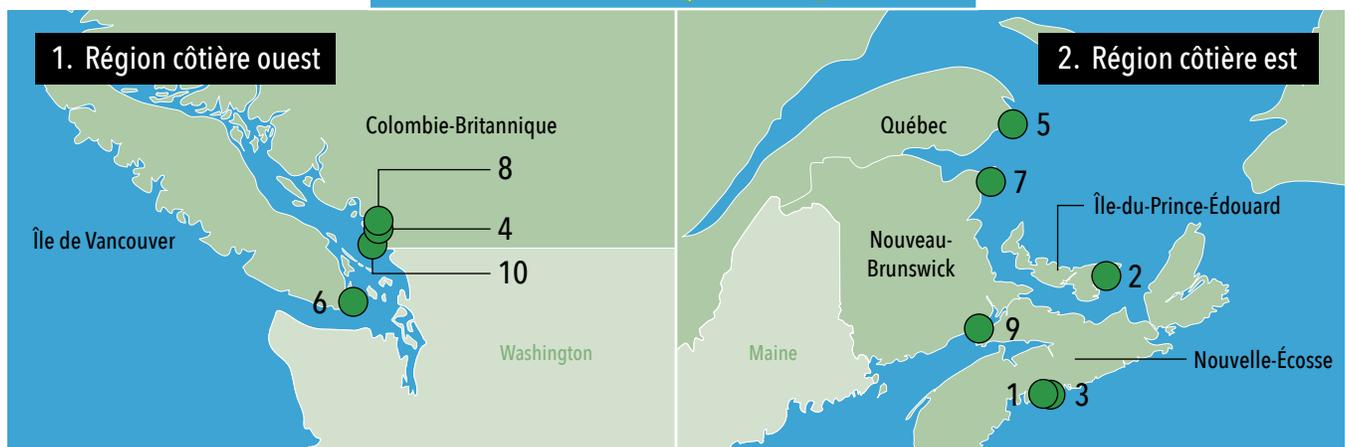
Pour déployer des solutions fondées sur la nature à grande échelle et protéger les côtes du Canada, trois stratégies sont proposées :

- 1. Créer des normes nationales pour assurer l'évaluation cohérente des avantages des solutions fondées sur la nature**, notamment en ce qui a trait à la protection des côtes. Ces normes devront prévoir des exigences minimales, des variations régionales et la mise à contribution des peuples autochtones, et recommander des méthodes pour mesurer la valeur financière des avantages des solutions fondées sur la nature.
- 2. Créer des normes nationales pour le suivi de la performance des mesures de protection côtière axées sur les solutions fondées sur la nature**. Ces normes devront prévoir des exigences de surveillance minimales et suggérer des façons d'adapter les mesures de l'efficacité aux objectifs des différents projets. Les exigences minimales pourraient notamment comprendre un financement à long terme pour la surveillance et pour la mise à contribution des peuples autochtones.
- 3. Collaborer avec le secteur privé pour financer et déployer des solutions fondées sur la nature**. Les partenariats public-privé peuvent faciliter le financement, le déploiement, la surveillance et la préservation de ces solutions. Le secteur de l'assurance pourrait aussi contribuer à la gestion des risques liés à la construction et concevoir des produits d'assurance novateurs pour financer la restauration des systèmes naturels protégeant le littoral en cas de catastrophe.

Ces stratégies devraient aider les gouvernements et les autres organisations à prendre des décisions de gestion éclairées concernant l'érosion et les submersions le long des côtes est et ouest du pays. Elles aideront également le Canada à se positionner comme chef de file mondial dans le déploiement de solutions fondées sur la nature, qui entraîneront de multiples avantages pour les collectivités côtières et bien au-delà.

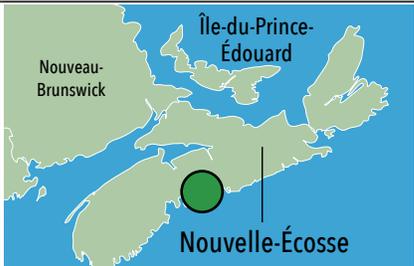
Annexe A : Exemples concrets de mesures de protection côtière utilisées au Canada

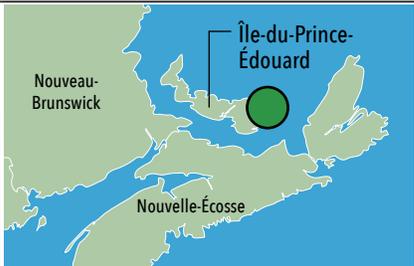
Cette annexe explore plus en profondeur les études de cas résumées au tableau 5 du présent rapport (section 3.3).

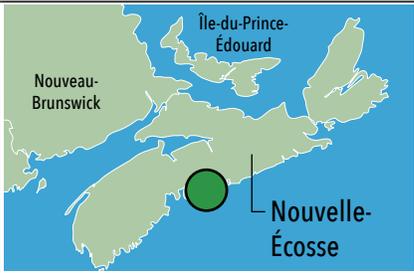


Merci à tous les intervenants qui ont contribué à la réalisation de ces études.

Étude de cas	Titre	Remerciements
1	Restauration de l'ouvrage longitudinal du bras Northwest dans le parc Sir Sandford Fleming Municipalité régionale d'Halifax, Nouvelle-Écosse	Shannon Miedema, Municipalité régionale d'Halifax Shilo Gempton, Municipalité régionale d'Halifax Michael Davies, Coldwater Consulting Ltd.
2	Aménagement de récifs intertidaux pour protéger la route Transcanadienne (route 2) Ville de Souris, Île-du-Prince-Édouard	Michael Davies, Coldwater Consulting Ltd.
3	Reconstruction du revêtement en pierres de carapace le long de la route en remblai de Cow Bay Cole Harbour, Nouvelle-Écosse	Shannon Miedema, Municipalité régionale d'Halifax Shilo Gempton, Municipalité régionale d'Halifax Michael Davies, Coldwater Consulting Ltd.
4	Gestion des inondations intégrée des East Fraser Lands Vancouver, Colombie-Britannique	Angela Danyluk, Ville de Vancouver Jeannie Lee, Ville de Vancouver Amir Taleghani, Ville de Vancouver (anciennement Kerr Wood Leidal Associates Ltd.) Robin Hawker, Integral Group (anciennement Kerr Wood Leidal Associates Ltd.) Eric Morris, Kerr Wood Leidal Associates Ltd.
5	Protection et réhabilitation de l'Anse du Sud Ville de Percé, Québec	Lisa-Marie Gagnon, Ville de Percé Ursule Boyer-Villemare, Ouranos Régis Xhardé, Tetra Tech Jean-François Rolland, AECOM
6	Protection du tertre du parc Portage contre l'érosion View Royal, Colombie-Britannique	Rowland Atkins, à son compte (anciennement Golder) Phil Osborne, Golder
7	Stabilisation et restauration des dunes de Le Goulet Le Goulet, Nouveau-Brunswick	Robert Capozzi, gouvernement du Nouveau-Brunswick Reid McLean, gouvernement du Nouveau-Brunswick Lewnanny Richardson, Nature NB Cindie Hébert, Université de Moncton
8	Restauration des habitats riverains du parc New Brighton Vancouver, Colombie-Britannique	Charlotte Olson, Administration portuaire Vancouver-Fraser D. G. Blair, Stewardship Centre for British Columbia Kelly Loch, Stewardship Centre for British Columbia
9	Combinaison d'infrastructures grises et naturelles à Alma Parc national du Canada Fundy, Nouveau-Brunswick	Debra Hickey, Parcs Canada Danker Kolijn, DHI (anciennement CBCL) Jason Bernier, CBCL
10	Réhabilitation des habitats de la route en remblai est de Deltaport Ville de Delta, Colombie-Britannique	Trevor Andrews, Administration portuaire Vancouver-Fraser Phil Osborne, Golder

Étude de cas n° 1	Restauration de l'ouvrage longitudinal du bras Northwest dans le parc Sir Sandford Fleming Municipalité régionale d'Halifax, Nouvelle-Écosse	
	 <p data-bbox="1279 373 1403 436">Côte est Google Map</p>	<p data-bbox="867 548 1419 611">Débordement de l'ouvrage longitudinal à la tour Dingle, en 2010, avant les travaux de restauration (Photo : M. Davies)</p>
Durée	Enquête et conception : 2010 à 2011 Exécution : 2011 à 2017 (quatre phases; 2 523 000 \$)	
Érosion et submersions côtières	Les submersions et les vagues dégradaient l'ouvrage de protection côtière existant. En 2010, suivant des débordements, un drainage insuffisant et un remblayage inadéquat, l'ouvrage longitudinal en pierre sèche de 800 m était en piètre état.	
Vulnérabilités côtières	Le parc Sir Sandford Fleming (parc de la tour Dingle) se trouve sur la côte ouest du bras Northwest, dans le secteur riverain élargi d'Halifax. Les sentiers pédestres et le parc sont des lieux très prisés. Avec ses murs en pierre sèche appareillée, l'ouvrage longitudinal existant donnait un caractère esthétique distinctif à la région.	
Objectifs du projet	Principaux objectifs des travaux de restauration : <ul style="list-style-type: none"> • Réduire au minimum la fréquence et la gravité des débordements. • Préserver et accroître la circulation sur les sentiers de l'ouvrage longitudinal et les terres adjacentes. • Préserver et accroître l'attrait esthétique du rivage. 	
Choix des mesures de protection côtière	<ul style="list-style-type: none"> • Trois solutions ont été examinées : 1) un ouvrage longitudinal en pierre sèche; 2) un ouvrage longitudinal en blocs de béton manufacturés; et 3) un ouvrage longitudinal combiné à une plage de sable. • Les options ont été évaluées selon cinq critères pondérés : esthétique (30 %), durabilité (20 %), rendement technique (20 %), constructibilité (20 %) et coût (10 %). • Les résultats à long terme des différentes solutions ont été projetés à l'aide d'une modélisation mathématique tenant compte de la montée des eaux. Les coûts du cycle de vie de 50 ans de l'ouvrage (y compris la réparation du sentier) ont été estimés pour optimiser la conception. • La décision s'est arrêtée sur un mur en blocs de granite appareillé de 665 m de long et d'une hauteur adaptée à l'élévation projetée du niveau de la mer, accompagné d'un sentier asphalté. 	
Résultats	Les dépenses réelles ont été inférieures au budget. Aucun suivi postconstruction n'est encore disponible.	
Renseignements supplémentaires	Conseil régional d'Halifax (2016). <i>Tender No. 16-253 Northwest Arm Seawall Phase 4, Sir Sandford Fleming Park - West Region</i> . Sur Internet : https://www.halifax.ca/sites/default/files/documents/city-hall/regional-council/161213rc1411.pdf	

Étude de cas n° 2	Aménagement de récifs intertidaux pour protéger la route Transcanadienne (route 2) Ville de Souris, Île-du-Prince-Édouard	
		<p>Côte est Google Map</p> <p>Accumulation de sédiments sur la face sous le vent des récifs intertidaux à marée basse, en août 2018 (Photo : M. Davies)</p>
Durée	<p>Enquête et conception : 2011 à 2012 Exécution : 2012 à 2018 (construction des récifs intertidaux au début de 2018, 115 000 \$)</p>	
Érosion et submersions côtières	<p>La hausse relative du niveau de la mer, le rétrécissement de la couverture de glace et la variation des systèmes de tempête augmentaient les risques d'inondation et d'érosion le long de la route 2. En 2016, des ondes de tempête, des marées et des vents tempétueux ont érodé une grande partie du petit système dunaire longeant la plage, ce qui a permis aux eaux de crue de pénétrer jusqu'au bord de la route.</p>	
Vulnérabilités côtières	<p>Le segment de la route 2 qui longe la plage de Souris est un lien vital entre la ville de Souris et le traversier interprovincial des Îles de la Madeleine. La plage est également une attraction touristique et récréative locale.</p>	
Objectifs du projet	<p>Principaux objectifs des récifs intertidaux :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Réduire les effets des vagues et des ondes de tempête sur la plage et l'infrastructure routière. • Favoriser la croissance de la plage de Souris en créant une étendue d'eau plus calme pour stimuler le mouvement et le dépôt naturels du sable sur le rivage. <p>Les récifs ont été construits en grès d'origine locale de l'Île-du-Prince-Édouard afin de fournir un substrat naturel à la flore côtière et à l'habitat de la bêche intertidale. Parfait exemple de construction naturelle, le projet a démontré l'utilité des récifs intertidaux.</p>	
Choix des mesures de protection côtière	<p>Le modèle GENESIS du Corps des ingénieurs de l'Armée américaine (un modèle de projection généralisée des modifications de la ligne de côte) a été utilisé pour prédire les effets des récifs intertidaux. Il a ainsi été déterminé que le projet ne causerait qu'une érosion minimale en aval et offrirait une bonne protection côtière. Les récifs ont été combinés à un ouvrage longitudinal en bois, construit parallèlement à la route 2, et à des travaux de restauration des dunes.</p>	
Résultats	<p>Un suivi postconstruction comprenant des levés par drones est en cours. La superficie de la plage sèche a augmenté, ce qui a entraîné l'expansion et la végétalisation des dunes continentales. Il serait possible d'adapter les récifs sur place, mais cela n'a pas été nécessaire jusqu'à présent. Sur le plan du tourisme et de la récréation, les personnes fréquentant la plage de Souris ont émis des commentaires positifs quant au projet.</p>	
Renseignements supplémentaires	<p>Davies, M. H., et B. F. Thompson (2019). <i>Protecting the Trans-Canada Highway at Souris with Inter-tidal Reefs</i>, préparé pour le congrès conjoint de l'Association des transports du Canada, Halifax, Nouvelle-Écosse. Sur Internet : https://www.tac-atc.ca/sites/default/files/conf_papers/daviesm_protecting_the_trans-canada_highway_at_souris_with_inter-tidal_reefs_v1.pdf</p>	

Étude de cas n° 3	Reconstruction du revêtement en pierres de carapace le long de la route en remblai de Cow Bay Cole Harbour, Nouvelle-Écosse	
		Côte est Google Map
Durée	Enquête et conception : 2009 à 2010 Exécution : Phase 1 en 2012, phase 2 en 2013 (1 209 500 \$).	
Érosion et submersions côtières	Avec l'élévation relative du niveau de la mer et les tempêtes plus violentes, la route en remblai a subi des déversements et des dommages causés par les vagues. Ce fut notamment le cas lors de l'ouragan Juan en 2003, de la tempête post-tropicale Noel en 2007, et d'une tempête en janvier 2010.	
Vulnérabilités côtières	Le segment en remblai de la route de Cow Bay mesure 350 mètres et longe une plage de galets et de roches. Sa faible hauteur en certains endroits le rendait vulnérable aux déversements de vagues. La plupart des pierres de carapace existantes n'étaient pas assez grosses pour résister aux vagues pendant les tempêtes majeures, et l'espace entre les pierres laissait pénétrer les algues et les petits cailloux sur la route, qui devait conséquemment être réparée tous les trois à cinq ans.	
Objectifs du projet	Le principal objectif était de réparer et d'améliorer la route en remblai pour qu'elle résiste à la montée des eaux et à l'intensification des vagues pendant les tempêtes. Plusieurs options ont été examinées pour limiter autant que possible les répercussions environnementales du projet, particulièrement sur les poissons et leur habitat.	
Choix des mesures de protection côtière	<ul style="list-style-type: none"> • Quatre solutions potentielles ont été examinées : 1) la protection de la route en remblai contre l'érosion; 2) la protection de la route contre l'érosion, plus la surélévation de la plate-forme pour réduire les risques de déversement; 3) la reconstruction complète du revêtement (avec des technologies imperméables); et 4) la reconstruction du revêtement comme au point 3), échelonnée par phases prioritaires. • L'analyse des coûts du cycle de vie et l'évaluation des risques ont établi que l'approche la plus rentable sur un horizon de 30 ans consistait à reconstruire le revêtement en deux phases pour qu'il résiste à la montée des eaux et à l'intensification des vagues. • À long terme, il pourrait être nécessaire d'abandonner la route en remblai et de dévier la route vers l'intérieur des terres. 	
Résultats	Aucun suivi postconstruction n'est encore disponible. Selon le personnel de la Municipalité régionale d'Halifax, la route en remblai tient bien le coup, avec une érosion légère à l'extrémité est. Elle requiert aussi moins d'entretien qu'avant.	
Renseignements supplémentaires	Rapaport, E., et D. Hubley (2017). « Étude de cas 2 : adaptation défensive à Cow Bay (Halifax, en Nouvelle-Écosse) », Risques climatiques et pratiques en matière d'adaptation pour le secteur canadien des transports : chapitre 8 : Canada Atlantique, gouvernement du Canada, p. 234-235. Sur Internet : https://www.nrcan.gc.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/files/earthsciences/pdf/assess/2016/Chapter-8e.pdf	

Étude de cas n° 4	Gestion des inondations intégrée des East Fraser Lands Vancouver, Colombie-Britannique	
	 <p>Colombie-Britannique Île de Vancouver Washington Côte ouest Google Map</p>	<p>Visualisation du lotissement et du parc riverain à venir, auxquels seront intégrées des mesures de protection contre les inondations (la ligne rouge pleine représente des digues, et la ligne pointillée, un mur d'endiguement) (Photo : Space2place Design Inc.)</p>
Durée	<p>Enquête et conception : Stratégie d'adaptation aux changements climatiques, 2011; phase 1 de l'évaluation des risques de submersions côtières, 2012 à 2014; planification et conception de la zone 2, 2016 à 2020 Exécution : Travaux d'amélioration des sols de la zone 2 et construction des digues en terre et du mur d'endiguement, 2019 à 2020 (environ 7 millions de dollars)</p>	
Érosion et submersions côtières	<p>La montée du niveau de la mer causait la submersion de la plaine inondable côtière longeant l'estuaire.</p>	
Vulnérabilités côtières	<p>Anciennement occupé par une scierie, l'espace est actuellement aménagé en un lotissement durable comprenant des résidences, des services et des espaces verts. Les quatre bâtiments existants (et les quelque 30 autres proposés) sont vulnérables aux inondations. Deux bâtiments datent d'avant 2014 et ont été construits selon un niveau des crues inférieur à celui d'aujourd'hui, ce qui expose particulièrement leur rez-de-chaussée.</p>	
Objectifs du projet	<p>Principaux objectifs des mesures de protection contre les inondations :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Protéger le site contre les inondations à récurrence de 500 ans, en tenant compte de l'élévation du niveau de la mer projetée pour l'an 2100 (1 m) et du tassement de terrain associé (0,2 m). • Intégrer les mesures de protection contre les inondations au plan existant de développement communautaire polyvalent, y compris un grand parc riverain. • Éviter la dégradation de l'habitat des poissons du fleuve Fraser, y compris dans la portion du rivage catégorisée comme habitat de haute qualité (vasière et marais salé, et arbres riverains à proximité). 	
Choix des mesures de protection côtière	<ul style="list-style-type: none"> • Trois options ont été examinées : 1) la protection des nouveaux bâtiments par la conception (construction au-dessus du niveau des crues); 2) l'érection de digues conventionnelles sur le rivage; et 3) l'intégration de mesures variées de protection contre les inondations aux plans du lotissement et du parc riverain. • C'est la troisième option qui a été retenue. La conception prévoit des super-digues, c'est-à-dire des digues en terre dont les sols adjacents sont surélevés à la hauteur de la crête. • La conception permet de surélever les digues à une date ultérieure au besoin. • L'espace entre la ligne de côte et les ouvrages de protection permet à l'habitat (vasière et marais salé) de prospérer. • Le parc riverain offre de multiples avantages à la collectivité. 	
Résultats	<p>Aucun suivi postconstruction n'est encore disponible.</p>	
Renseignements supplémentaires	<p>Ville de Vancouver (2021). East Fraser Lands (River District). Sur Internet : https://vancouver.ca/home-property-development/east-fraser-lands-river-district.aspx Ville de Vancouver (2021). East Fraser Lands (River District) Shoreline Resilience Upgrades. Sur Internet : https://vancouver.ca/streets-transportation/east-fraser-lands-shoreline-resilience-upgrades.aspx</p>	

Étude de cas n° 5	Protection et réhabilitation de l'Anse du Sud Ville de Percé, Québec	
		Côte est Google Map
Durée	Enquête et conception : 2008 à 2018. Exécution : 2017 à 2019 (environ 17,6 millions de dollars) Suivi : 2019 à 2024	
Érosion et submersions côtières	Le rétrécissement de la couverture de glace du golfe du Saint-Laurent et l'évolution des systèmes de tempêtes exacerbent l'érosion et les submersions côtières. Puisqu'une grande partie des tempêtes se produisent l'hiver, l'altération de la banquise côtière et de la glace de mer influe sur les risques d'inondations causées par les ondes de tempête et aggrave l'érosion côtière.	
Vulnérabilités côtières	Plusieurs propriétés industrielles et commerciales étaient exposées, dont des commerces, des résidences saisonnières, des bâtiments patrimoniaux et un club nautique, de même que des infrastructures municipales, dont un égout, des routes, des exutoires, une station de pompage et un quai fédéral. Les pertes financières totales (dommages matériels et baisse des revenus touristiques) de l'absence d'intervention ont été estimées à 705 millions de dollars sur 50 ans.	
Objectifs du projet	Principaux objectifs du projet : <ul style="list-style-type: none"> • Stabiliser le rivage et réduire autant que possible les risques d'inondations. • Créer un système de sentiers riverains continus le long de la côte. • Favoriser les investissements publics et privés, le tourisme et les loisirs. • Préserver et améliorer les particularités du secteur riverain. Une étude d'impact a été réalisée pour déterminer comment réduire au minimum les répercussions du projet sur l'environnement existant. Des récifs artificiels ont ensuite été construits pour compenser une perte d'habitat pour le homard.	
Choix des mesures de protection côtière	<ul style="list-style-type: none"> • Cinq options ont fait l'objet d'une analyse coûts-avantages : 1) le rechargement de la plage; 2) le rechargement de la plage et la construction d'épis; 3) un ouvrage longitudinal déflecteur en béton; 4) un revêtement de talus; et 5) des enrochements de protection. • Le rechargement de la plage était la solution la plus rentable sur un horizon de 50 ans. • La conception comprenait la réhabilitation du secteur riverain et du trottoir de bois, dont les revenus touristiques ont été estimés à 79,4 millions de dollars sur 50 ans. • Un rechargement partiel est prévu tous les 10 ans, et un suivi sera réalisé pour anticiper les travaux d'entretien nécessaires. 	
Résultats	Aucun suivi postconstruction n'est encore disponible.	
Renseignements supplémentaires	Circé, M., et coll. (2016). Analyse coûts-avantages des options d'adaptation en zone côtière à Percé. Sur Internet : https://www.ouranos.ca/wp-content/uploads/Report-CBA-Perce.pdf Tetra Tech (2019). Protection et réhabilitation de l'Anse du Sud. Sur Internet : https://afg.quebec/uploads/grandsprix2019/laureats/PrixVisionnaire_TetraTech_Perce.pdf	

Étude de cas n° 6	Protection du tertre du parc Portage contre l'érosion View Royal, Colombie-Britannique	
	 <p>Colombie-Britannique Île de Vancouver Washington Côte ouest Google Map</p>	<p>Site d'un tertre des Premières Nations au parc Portage, 12 ans après le rechargement de la plage (Photo : R. Atkins)</p>
Durée	Enquête et conception : 2004 à 2006 Exécution : 2006 à 2007 (96 000 \$)	
Érosion et submersions côtières	La montée des eaux et les vagues des tempêtes provoquaient une érosion côtière qui menaçait de s'aggraver avec l'élévation du niveau de la mer.	
Vulnérabilités côtières	Le parc Portage abrite un tertre des Premières Nations qui présente un intérêt culturel et archéologique. Ce tertre a été endommagé par les tempêtes de l'hiver 2006-2007. Vieux de 6 000 à 9 000 ans, il comprend des coquilles et des ossements.	
Objectifs du projet	Principaux objectifs du projet : <ul style="list-style-type: none"> • Offrir une protection d'une durée de vie utile de 25 ans contre un événement catastrophique à récurrence de 100 ans (combinaison d'une onde de tempête et d'une montée des eaux). • Préserver l'accès public à la zone intertidale et à la plage. • Préserver l'habitat de la plage et les processus sédimentaires interrives. 	
Choix des mesures de protection côtière	<ul style="list-style-type: none"> • Quatre solutions ont été envisagées : 1) un mur-caisson en rondins; 2) un ouvrage longitudinal; 3) un enrochement de protection; et 4) le rechargement de la plage. • Les options ont été classées selon leurs effets positifs (perturbation minimale du tertre, préservation de la circulation sur la plage, maintien de l'apport sédimentaire sur la plage, esthétique, charge d'entretien). • Les estimations du projet sans les travaux archéologiques variaient entre 80 000 \$ et 120 000 \$. • Le rechargement de la plage était à la fois la solution la moins dispendieuse et la plus avantageuse. • Une berme temporaire composée des mêmes matériaux que le rechargement a été aménagée sur la moitié du site pendant l'hiver, en 2006. La moitié couverte a résisté aux tempêtes hivernales, tandis que l'autre s'est érodée. • Réalisé en 2007, le rechargement de la plage visait simultanément à protéger la plage et à améliorer l'habitat des poissons. 	
Résultats	D'après le suivi effectué de 2007 à 2013 et l'examen ponctuel de 2019, le projet a été efficace. Le site culturel est protégé, et aucune érosion n'a été observée dans les 12 années suivant les travaux. L'accès à la plage et les habitats ont été préservés.	
Renseignements supplémentaires	Gouvernement de la Colombie-Britannique. <i>Province funds protection for Portage Park midden</i> , communiqué de presse, 1 ^{er} mars 2007. Sur Internet : https://archive.news.gov.bc.ca/releases/news_releases_2005-2009/2007tsa0014-000193.htm	

Étude de cas n° 7	Stabilisation et restauration des dunes de Le Goulet Le Goulet, Nouveau-Brunswick	
		Côte est Google Map
Durée	Enquête et conception : Évaluation des risques d'érosion et de submersion côtières, 2009 à 2011; recommandations sur l'adaptation climatique du zonage, 2012; analyse coûts-avantages, 2016 Exécution : Restauration annuelle des dunes, 2013 à 2019 Suivi annuel : 2014 à 2020	
Érosion et submersions côtières	Le site était menacé par l'élévation du niveau de la mer, les inondations causées par les tempêtes, et l'érosion continue des dunes et de la plage devant le village de Le Goulet. Il semble probable que le quai du goulet de Shippagan en amont du village modifie le mouvement des sédiments le long de la côte, les éloignant du rivage et de la section des dunes qui s'érode. Les véhicules tout-terrain qui circulent sur les dunes aggravent l'érosion.	
Vulnérabilités côtières	Les habitats de la plage et des dunes devant le village de Le Goulet s'érodent activement. En cas de débordement ou de défaillance des dunes, les résidences situées derrière risquent d'être inondées.	
Objectifs du projet	Le projet avait comme objectif principal de préserver le système plage-dune, qui offre une protection naturelle au village de Le Goulet, et de ralentir son érosion.	
Choix des mesures de protection côtière	<ul style="list-style-type: none"> • La protection des dunes, et plusieurs autres mesures d'adaptation ont été identifiées en étroite collaboration avec des représentants de la collectivité locale. • Des casiers à homard et des arbres de Noël recyclés ont été placés sur les dunes en 2013 pour retenir le sable. Leur efficacité fait l'objet d'un suivi. L'équipe du projet a aussi tenté de planter des ammophiles à ligule courte pour stabiliser les dunes. • L'analyse coûts-avantages a comparé deux options : 1) la construction de digues; et 2) le rechargement de la plage. La seconde s'est révélée plus efficace que la première, même en cas de défaillance du système. • Le rechargement d'une plage requiert un bon apport en sable. Les sédiments dragués dans les ports pour petits bateaux à proximité ont été jugés trop silteux pour servir à la restauration des habitats des dunes, où l'on trouve le pluvier siffleur (oiseau en voie de disparition au Canada). • Le plan d'adaptation au climat de Le Goulet comprend aussi plusieurs façons d'atténuer les risques d'inondations dans le village. 	
Résultats	Il existe beaucoup d'information publique sur l'efficacité des mesures de restauration. Bien qu'une grande partie des dunes rechargées et des structures de rétention du sable aient été gravement endommagées par l'ouragan Dorian en septembre 2019, elles continuent potentiellement de contribuer à l'accumulation des sédiments et à la colonisation végétale dans certaines zones.	
Renseignements supplémentaires	Institut de recherche sur les zones côtières VALORÉS (2021). Centre Péninsule et Shippagan : Le Goulet, Projet Adaptation PA (Péninsule acadienne). Sur Internet : https://adaptationpa.ca/en/secteur-centre-peninsule-et-shippagan/le-goulet	

Étude de cas n° 8	Restauration des habitats riverains du parc New Brighton Vancouver, Colombie-Britannique	
	 <p>Colombie-Britannique</p> <p>Île de Vancouver</p> <p>Washington</p> <p>Côte ouest Google Map</p>	<p>Marais du parc New Brighton, en mai 2018 (Photo : Administration portuaire Vancouver-Fraser)</p>
<p>Durée</p>	<p>Enquête et conception : 2015 à 2016 Exécution : 2016 à 2017 (côte de construction d'environ 2 millions de dollars) Suivi annuel : À compter de 2018</p>	
<p>Érosion et submersions côtières</p>	<p>Le débordement des égouts pluviaux et du réseau d'assainissement causait des submersions côtières et des inondations. Une grande partie du parc est construite sur un remblai datant des années 1960. Avec le temps, les éléments naturels le long de la côte (vasières, marais salé) se sont dégradés, aggravant les effets de l'érosion causée par les vagues dans la portion est du parc (en raison du trafic maritime accru et de l'érosion naturelle).</p>	
<p>Vulnérabilités côtières</p>	<p>La Ville de Vancouver a entrepris de stabiliser le rivage en 2006 et 2007.</p>	
<p>Objectifs du projet</p>	<p>S'intégrant au Programme d'amélioration des habitats de l'Administration portuaire Vancouver-Fraser, le projet avait pour but de renverser la dégradation des précieux habitats de l'inlet Burrard. En voici les principaux objectifs :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Améliorer les habitats des poissons et de la faune. • Faciliter l'accès du public à la nature. <p>Il visait également à réduire l'érosion et les submersions côtières et à protéger la qualité de l'eau en filtrant le ruissellement.</p> <p>Le projet a également été conçu et mis en œuvre en collaboration avec les nations Musqueam, Squamish et Tseil-Waututh.</p>	
<p>Choix des mesures de protection côtière</p>	<ul style="list-style-type: none"> • La conception était davantage axée sur les habitats des poissons et de la faune et sur l'utilité publique du site que sur la protection côtière. • Selon l'analyse coûts-avantages, les avantages nets annualisés s'élevaient à environ 0,7 million de dollars, et le projet aurait un ratio coûts-avantages approximatif de 2,5. • Les avantages équivalents annualisés étaient estimés à 1 198 000 \$. Ce montant tient compte des avantages procurés par les habitats, les services culturels, la régulation du climat, le traitement des déchets, le cycle nutritif et la régulation des perturbations. 	
<p>Résultats</p>	<p>Jusqu'à présent, le projet répond aux attentes, avec quelques travaux post-construction de gestion adaptative (érection d'une clôture pour empêcher les bernaches du Canada et le public d'accéder au marais salé en cours d'établissement, plantation de végétation supplémentaire, irrigation).</p>	
<p>Renseignements supplémentaires</p>	<p>Administration portuaire Vancouver-Fraser (2021). New Brighton Park Shoreline Habitat Restoration Project. Sur Internet : https://www.portvancouver.com/new-brighton-park-shoreline-habitat-restoration-project/</p>	

Étude de cas n° 9	<p align="center">Combinaison d'infrastructures grises et naturelles à Alma Parc national du Canada Fundy, Nouveau-Brunswick</p>	
		<p>Côte est Google Map</p>
<p>Durée</p>	<p>Enquête et conception : 2017 Exécution : 2017 à 2018 (environ 3,5 millions de dollars)</p>	
<p>Érosion et submersions côtières</p>	<p>Le site subissait de l'érosion et des submersions côtières, surtout pendant les tempêtes, lorsque les vagues et les vents forts coïncidaient avec la marée haute. Les tempêtes hivernales du 30 décembre 2016 et du 11 janvier 2017 ont causé des dommages importants à l'ouvrage de protection côtière existant.</p>	
<p>Vulnérabilités côtières</p>	<p>Le site compte deux sources de vulnérabilité : la route 114 (propriété fédérale), qui relie le parc national du Canada Fundy à Alma; et les installations et infrastructures de soutien de Parcs Canada.</p>	
<p>Objectifs du projet</p>	<p>Principaux objectifs du projet :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Protéger la liaison routière et les infrastructures de Parcs Canada. • Réduire au minimum les coûts de l'atténuation des dommages cumulatifs dus aux tempêtes. • Préserver la beauté naturelle du parc pour que les visiteurs puissent continuer d'en profiter. • Conserver la facilité d'accès à la plage. • Préserver ou améliorer les habitats, y compris les milieux humides d'importance provinciale. 	
<p>Choix des mesures de protection côtière</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Trois options ont été envisagées : 1) la disposition de pierres de carapace conventionnelles sur la côte de 1 km, ce qui détruirait la plage et le marais salé; 2) la relocalisation de la route loin du rivage pour laisser la nature reprendre le dessus; et 3) l'utilisation de solutions naturelles et d'un minimum d'infrastructures grises. • L'intégration de solutions naturelles s'est avérée plus rentable que la disposition de pierres sur toute la côte. • La conception prévoyait la construction d'un revêtement le long de la route en remblai, le rechargement de la plage et la plantation d'herbes au nord-est du revêtement, et la protection et l'amélioration du marais salé existant au sud-ouest du revêtement. • Le prolongement du trottoir de bois existant a amélioré l'accès à la plage. 	
<p>Résultats</p>	<p>Aucun suivi officiel n'a été réalisé après la construction. Toutefois, à l'été 2020, le revêtement et le marais salé semblaient toujours stables, et des sédiments s'étaient accumulés sur la plage de poche à l'est du revêtement.</p>	
<p>Renseignements supplémentaires</p>	<p>Parks Canada. 2017. "Alma Shoreline Protection-Fundy National Park: Parks Canada Basic Impact Analysis." Accessed at: https://buyandsell.gc.ca/cds/public/2017/11/15/45b96dfb90a055888fbeb476b7164fab/appendix_a_-_bia.pdf</p>	

Étude de cas n° 10	Troisième poste à quai de Deltaport – réhabilitation des habitats de la route en remblai est Ville de Delta, Colombie-Britannique	
	 <p>Colombie-Britannique Île de Vancouver Washington Côte ouest Google Map</p>	<p>Marais de lagune 9 et cordon littoral adjacent, en août 2019 (Photo : T. Andrews)</p>
Durée	Enquête et conception : 2016. Exécution : 2017 (environ 2,4 millions de dollars); exploitation et entretien suivis. Suivi : 2017 à 2021	
Érosion et submersions côtières	Les vagues et le vent auxquels le site est exposé nuisent à l'établissement d'habitats le long de la route en remblai, dont la présence entrave aussi les processus sédimentaires naturels, réduisant l'apport sédimentaire nécessaire à la préservation des plages qui la longent.	
Vulnérabilités côtières	Le premier projet de compensation des habitats, réalisé en 2010, visait à aménager des marais salés de lagunes, des marais enclavés, et des habitats de frai pour les poissons sur la plage. Le suivi a révélé que les résultats n'étaient pas à la hauteur des attentes.	
Objectifs du projet	<ul style="list-style-type: none"> • La réhabilitation avait comme objectif principal de modifier les mesures originales pour améliorer les habitats côtiers (maximiser la fonction écologique des cordons littoraux et des marais enclavés le long de la route en remblai). • Les mesures relatives aux habitats devaient aussi réduire l'exposition des rideaux de palplanches verticaux qui protègent la route en remblai de Roberts Bank du contact direct avec les vagues. 	
Choix des mesures de protection côtière	<ul style="list-style-type: none"> • Les mesures de réhabilitation devaient s'harmoniser avec les processus naturels modifiés. • Des infrastructures grises ont été utilisées pour aménager des promontoires artificiels et ainsi recréer les conditions favorisant la formation d'habitats. • Les promontoires artificiels mettent à l'abri les habitats des marais salés et des cordons littoraux et assurent la rétention des sédiments déposés par le rechargement des plages (pour compenser l'absence d'apport en sable). • La conception se fondait sur des analogues naturels, c'est-à-dire d'autres plages locales recevant des vagues similaires. 	
Résultats	D'après le suivi, les cordons littoraux ont généralement conservé leur forme et leurs sédiments; les marais salés sont encore en cours d'établissement; les sécheresses et les espèces envahissantes nuisent à la croissance de la végétation; et le bord du marais s'est légèrement érodé.	
Renseignements supplémentaires	Black, S. (2018). Deltaport East Causeway Intertidal Habitat Enhancement: Saltmarshes, Mother Nature and Coastal Engineering, conférence de 2018 de la Society for Ecological Restoration – Western Canada. Sur Internet : https://6zv1w1i9d632in9ii1izgap9-wpengine.netdna-ssl.com/westerncanada/files/2018/03/BlackScott_SERWC2018_ConferenceProceedings.pdf	

Annexe B : Ateliers en ligne - résumé et résultats

Cette annexe résume les deux ateliers tenus en juin 2021, qui ont chacun réuni plus de 35 experts d'un océan à l'autre. Les participants sont énumérés dans la liste de remerciements au début du présent rapport.

Atelier en ligne n° 1 : Prise en compte des biens et services écosystémiques dans l'évaluation des options (Upgrading Options Appraisal to include Ecosystem Good and Services)	
Date	Jeudi 17 juin 2021, de 13 h à 16 h (HE)
Objectifs	<ul style="list-style-type: none">• Recenser les outils d'évaluation des options actuellement utilisés au Canada pour planifier et concevoir des infrastructures de gestion de l'érosion et des submersions côtières.• Solliciter l'avis des experts sur les façons d'améliorer l'analyse coûts-avantages des biens et services écosystémiques dans l'évaluation des options.• Élaborer des lignes directrices sur l'évaluation des options qui tiennent expressément compte des avantages des solutions fondées sur la nature.
Contenu	<p>Questionnaire préatelier Activités de sondage</p> <p>Présentations :</p> <ul style="list-style-type: none">• Solutions fondées sur la nature de gestion des risques d'érosion et de submersion côtières (Enda Murphy, Conseil national de recherches Canada)• Résilience côtière : infrastructures naturelles et Fonds d'atténuation et d'adaptation en matière de catastrophes (Tjaša Demšar, Ville de Surrey)• Décisions d'adaptation côtière : éviter les éléphants blancs (étude de cas sur les processus décisionnels structurés de la Ville de Vancouver; Tamsin Lyle, Ebbwater Consulting Inc.)• Royaume-Uni : compter les biens et services écosystémiques dans la mesure des résultats (Joanna Eyquem, Centre Intact d'adaptation au climat) <p>Concertations virtuelles en petits groupes :</p> <ul style="list-style-type: none">• Infrastructures naturelles et outils traditionnels d'évaluation des options• Façons de tenir compte des biens et services écosystémiques au Canada <p>Analyse et assemblée plénière structurée :</p> <ul style="list-style-type: none">• Évolution des technologies• Contexte et fonctions économiques

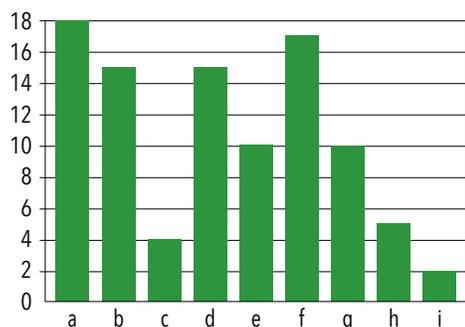
Résultats

Les principaux points soulevés pendant l'atelier sont résumés à la section 4.1 du rapport.

Réponses au questionnaire préatelier en ligne (25 répondants)

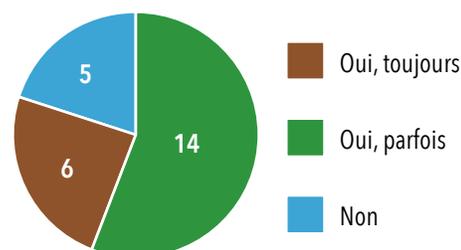
Voici un résumé des réponses au questionnaire préatelier en ligne :

Question : Quelles approches et quels outils traditionnels avez-vous déjà utilisés pour comparer différentes solutions de résilience côtière lors d'une évaluation des options?

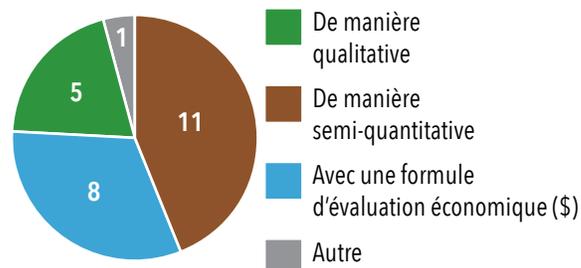


- Analyse multivariable (qualitative)
- Évaluation selon les objectifs de rendement
- Rendement du capital investi (quantitatif - gains et coûts financiers récupérables)
- Analyse coûts-avantages (quantitative - coûts et avantages récupérables et irrécupérables)
- Optique des changements climatiques : évaluation de l'atténuation des émissions de gaz à effet de serre et de la résilience aux changements climatiques
- Étude d'impact (examen d'autres options)
- Évaluation selon les critères d'admissibilité au Fonds d'atténuation et d'adaptation en matière de catastrophes
- Évaluation selon les critères d'admissibilité d'autres programmes de financement
- Procédure interne d'évaluation des options (préciser dans la case « autre »)

Question : Lorsque vous évaluez des mesures de résilience côtière, tenez-vous généralement compte, sous une forme ou une autre, des coûts et des avantages propres aux infrastructures naturelles (biens et services écosystémiques ne découlant pas d'infrastructures grises)?



Question : Le plus souvent, de quelle façon incorporez-vous les coûts et les avantages des répercussions sur les actifs naturels (biens et services écosystémiques) à l'évaluation des options dans les projets de résilience côtière?



Résultats

Réponses aux sondages en ligne

Voici un résumé des réponses aux sondages en ligne remplis pendant l'atelier :

Question : Veuillez classer les biens et services écosystémiques suivants en ordre d'importance dans les projets de résilience côtière. (17 réponses)



Question : Selon vous, de quelle manière convient-il de représenter les différents biens et services dans les évaluations des options (1 = de manière entièrement qualitative; 5 = de manière entièrement quantitative)? (19 réponses)



Atelier en ligne n° 2 : Suivi des résultats des solutions d'infrastructures naturelles (*Performance Monitoring of Natural Infrastructure Solutions*)

Date	Mardi 29 juin 2021, de 13 h à 16 h (HE)
Objectifs	<ul style="list-style-type: none"> • Recenser les approches de suivi actuellement utilisées au Canada pour évaluer l'efficacité des mesures de résilience côtière par rapport aux objectifs de départ. • Solliciter l'avis des experts sur les façons d'améliorer les protocoles de suivi, particulièrement en ce qui a trait aux solutions fondées sur la nature. • Élaborer des lignes directrices sur le suivi des résultats des projets de résilience côtière qui tiennent expressément compte des avantages des infrastructures et des solutions fondées sur la nature.
Contenu	<p>Questionnaire préatelier Activités de sondage</p> <p>Présentations :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Principales difficultés relatives au suivi des solutions fondées sur la nature de protection côtière au Canada (Phil Osbourne, Golder, et Danika van Proosdij, Université Saint Mary's) • Programme d'amélioration des habitats – projet de restauration de l'habitat riverain du parc New Brighton (Charlotte Olson, Administration portuaire Vancouver-Fraser). • Suivi des résultats des solutions d'infrastructures fondées sur la nature à Baird (Matthew Armstrong, Baird) <p>Concertations virtuelles en petits groupes :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Priorités pour le suivi des solutions naturelles de protection côtière – conception • Priorités pour le suivi des solutions naturelles de protection côtière – méthodes <p>Analyse et assemblée plénière structurée :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Potentiel d'une norme minimale pour le suivi des projets d'infrastructures côtières • Recommandations immédiates et objectifs à long terme

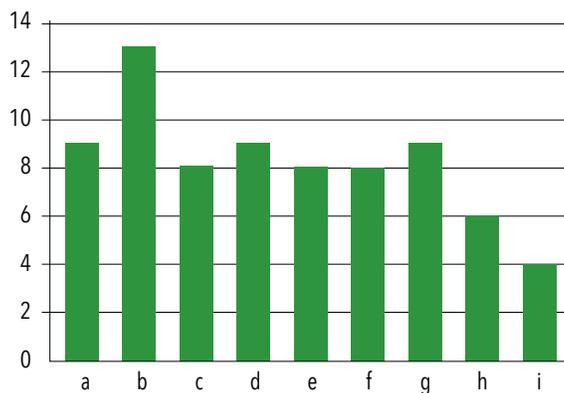
Résultats

Les principaux points apportés pendant l'atelier sont résumés à la section 4.2 du rapport.

Réponses au questionnaire préatelier en ligne (15 répondants)

Voici un résumé des réponses au questionnaire préatelier en ligne :

Question : Selon vous, que manque-t-il au Canada pour assurer un meilleur suivi des solutions fondées sur la nature de protection côtière? Vous pouvez cocher plus d'une réponse.



- a) Exigences réglementaires
- b) Recommandations techniques
- c) Répertoire centralisé pour le suivi des résultats
- d) Financement à long terme du suivi prévu dès le début des projets
- e) Protocoles nationaux de suivi
- f) Protocoles provinciaux de suivi
- g) Norme minimale de suivi
- h) Programme national de suivi
- i) Autre

Les répondants ayant sélectionné « autre » ont proposé les éléments suivants :

- Crédit (feuille de pointage) accordé en fonction de la qualité des mesures de suivi et pouvant être utilisé de diverses façons (autres projets subventionnés, économie d'impôts, etc.)
- Protocole ou approche normalisée de participation des groupes autochtones au suivi
- Soutien financier aux municipalités et aux collectivités pour les coûts ultérieurs
- Suivi des solutions fondées sur la nature après les tempêtes

Réponses aux sondages en ligne

Voici un résumé des réponses aux sondages en ligne remplis pendant l'atelier :

Question : Qu'évoque actuellement pour vous le suivi des mesures côtières au Canada? (17 réponses)

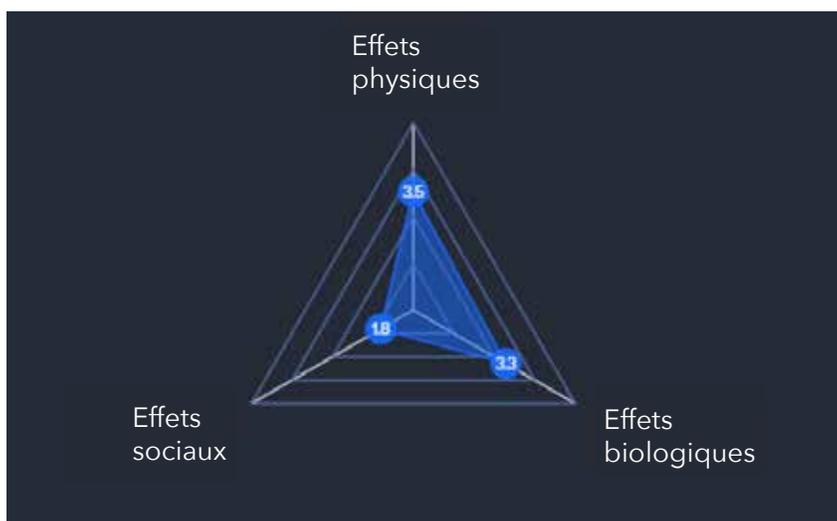


Résultats

Question : Comment évaluez-vous l'aptitude du Canada à faire le suivi des effets physiques, biologiques et sociaux des projets (1 = faible; 5 = forte)?



Question: How strong do you think we are at monitoring physical, biological and social outcomes. (respondents were asked to indicate their perception of strength in monitoring from 1 (weak) to 5 (strong) for each type of outcomes)



Références

Tous les ressources ont été consulté le 24 novembre 2021.

Références

Toutes les ressources ont été consultées le 24 novembre 2021.

Sommaire

- 1 Greenan, B. J. W., et coll. 2019. « Chapitre 7 : Changements touchant les océans qui bordent le Canada », *Rapport sur le climat changeant du Canada*, Gouvernement du Canada, Ottawa (Ontario). Sur Internet : <https://changingclimate.ca/CCCR2019/fr/chapitre/7-0/>
- 2 Oppenheimer, M., et coll. 2019. « Chapter 4 : Sea Level Rise and Implications for Low-Lying Islands, Coasts and Communities », *L'océan et la cryosphère dans le contexte du changement climatique*, rapport spécial du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC). Sur Internet : <https://www.ipcc.ch/srocc/chapter/chapter-4-sea-level-rise-and-implications-for-low-lying-islands-coasts-and-communities/>
- 3 Vouk, I., et coll. 2021. « Nature-Based Solutions for Coastal and Riverine Flood and Erosion Risk Management », Association canadienne de normalisation. Sur Internet : <https://www.csagroup.org/wp-content/uploads/CSA-Group-Research-Nature-Based-Solutions-for-Coastal-and-Riverine-Flood-and-Erosion-Risk-Management.pdf>
- 4 Englander, J. 2014. *High Tide On Main Street: Rising Sea Level and the Coming Coastal Crisis*, Boca Raton, Floride (États-Unis), The Science Bookshelf

Chapitre 1 : Introduction : effets des changements climatiques sur le littoral canadien

- 5 Statistique Canada. 2021. « Océans du Canada et contribution économique des secteurs maritimes ». Sur Internet : <https://www150.statcan.gc.ca/n1/pub/16-002-x/2021001/article/00001-fra.htm>
- 6 Lemmen, D. S., et coll., éditeurs. 2016. *Le littoral maritime du Canada face à l'évolution du climat*, Gouvernement du Canada, Ottawa (Ontario). Sur Internet : https://www.nrcan.gc.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/files/earthsciences/pdf/assess/2016/Coastal_Assessment_Rapport_complet.pdf
- 7 Bush, E. et D. S. Lemmen, éditeurs. 2019. *Rapport sur le climat changeant du Canada*, Gouvernement du Canada. Sur Internet : <https://changingclimate.ca/CCCR2019/fr/>
- 8 Lemmen, D. S., et coll., éditeurs. 2016. *Le littoral maritime du Canada face à l'évolution du climat*, Gouvernement du Canada, Ottawa (Ontario). Sur Internet : https://www.nrcan.gc.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/files/earthsciences/pdf/assess/2016/Coastal_Assessment_Rapport_complet.pdf
- 9 Conseil des académies canadiennes. 2019. *Les principaux risques des changements climatiques pour le Canada*, Comité d'experts sur les risques posés par les changements climatiques et les possibilités d'adaptation. Sur Internet : <https://www.rapports-cac.ca/wp-content/uploads/2019/07/Rapport-Les-principaux-risques-des-changements-climatiques-pour-le-Canada.pdf>
- 10 Vouk, I., et coll. 2021. « Nature-Based Solutions for Coastal and Riverine Flood and Erosion Risk Management », Association canadienne de normalisation. Sur Internet : <https://www.csagroup.org/wp-content/uploads/CSA-Group-Research-Nature-Based-Solutions-for-Coastal-and-Riverine-Flood-and-Erosion-Risk-Management.pdf>

1.1. Population côtière du Canada

11 Lemmen, D. S., et coll., éditeurs. 2016. *Le littoral maritime du Canada face à l'évolution du climat*, Gouvernement du Canada, Ottawa (Ontario). Sur Internet : https://www.rncan.gc.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/files/earthsciences/pdf/assess/2016/Coastal_Assessment_Rapport_complet.pdf

12 Statistique Canada. 2021. « Océans du Canada et contribution économique des secteurs maritimes ». Sur Internet : <https://www150.statcan.gc.ca/n1/pub/16-002-x/2021001/article/00001-fra.htm>

13 Ibid

14 Statistique Canada. 2021. « Océans du Canada et contribution économique des secteurs maritimes ». Sur Internet : <https://www150.statcan.gc.ca/n1/pub/16-002-x/2021001/article/00001-fra.htm>

1.2. Effets des changements climatiques sur les risques côtiers

15 GIEC. 2021. « Annex VII: Glossary », *Changement climatique 2021 : les éléments scientifiques. Contribution du Groupe de travail I au sixième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat*, sous presse. Sur Internet : https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_Annex_VII.pdf

16 Institut océanique de Bedford. 2021. « Outil canadien d'adaptation aux niveaux d'eau extrêmes (OCANEE) ». Sur Internet : <https://www.bio.gc.ca/science/data-donnees/can-ewlat/index-fr.php>

17 Greenan, B. J. W., et coll. 2019. « Chapitre 7 : Changements touchant les océans qui bordent le Canada », *Rapport sur le climat changeant du Canada*, Gouvernement du Canada, Ottawa (Ontario). Sur Internet : <https://changingclimate.ca/CCCR2019/fr/chapitre/7-0/>

18 James, T. S., et coll. 2014. *Relative sea level rise projections for Canada and the adjacent mainland United States*, Commission géologique du Canada, dossier public 7737, 67 p. Sur Internet : https://publications.gc.ca/collections/collection_2016/rncan-nrcan/M183-2-7737-eng.pdf

19 J James, T. S., et coll. 2015. *Relative sea level rise projections for Canada and the adjacent mainland United States*, Commission géologique du Canada, dossier public 7942, 81 p. DOI : <https://doi.org/10.4095/297048>

20 Lemmen, D. S., et coll., éditeurs. 2016. *Le littoral maritime du Canada face à l'évolution du climat*, Gouvernement du Canada, Ottawa (Ontario). Sur Internet : https://www.rncan.gc.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/files/earthsciences/pdf/assess/2016/Coastal_Assessment_Rapport_complet.pdf

21 Ibid

22 Ibid

23 Ibid

24 Institut océanique de Bedford. 2021. « Outil canadien d'adaptation aux niveaux d'eau extrêmes (OCANEE) ». Sur Internet : <https://www.bio.gc.ca/science/data-donnees/can-ewlat/index-fr.php>

25 Gouvernement du Canada. 2019. « Préparez-vous – Les ondes de tempête ». Sur Internet : <https://www.preparez-vous.gc.ca/cnt/hzd/strmsrgs-fr.aspx>

26 Ibid

27 Lemmen, D. S., et coll., éditeurs. 2016. *Le littoral maritime du Canada face à l'évolution du climat*, Gouvernement du Canada, Ottawa (Ontario). Sur Internet : https://www.rncan.gc.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/files/earthsciences/pdf/assess/2016/Coastal_Assessment_Rapport_complet.pdf

28 Greenan, B. J. W., et coll. 2019. « Chapitre 7 : Changements touchant les océans qui bordent le Canada », *Rapport sur le climat changeant du Canada*, Gouvernement du Canada, Ottawa (Ontario). Sur Internet : <https://changingclimate.ca/CCCR2019/fr/chapitre/7-0/>

1.3. Écosystèmes côtiers

29 Leys, V., et D. Bryce. 2016. *Adapting to Climate Change in Coastal Communities of the Atlantic Provinces, Canada: Land Use Planning and Engineering and Natural Approaches - Part 3 Engineering Tools Adaptation Options*, Solutions d'adaptation aux changements climatiques pour l'Atlantique. Sur Internet : <https://atlanticadaptation.ca/fr/islandora/object/acasa%3A789>

30 National Geographic. 2021. « Estuary », article d'encyclopédie. Sur Internet : <https://www.nationalgeographic.org/encyclopedia/estuary/>

31 South Coast Conservation Program. 2017. “Coastal Sand Ecosystems.” Accessed at: <http://www.sccp.ca/species-habitat/coastal-sand-ecosystems>

32 Copernicus Land Monitoring Service. 2021. “4.2.3 Intertidal flats.” Accessed at: <https://land.copernicus.eu/user-corner/technical-library/corine-land-cover-nomenclature-guidelines/html/index-clc-423.html>

33 National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). 2021. “What is a salt marsh?” Accessed at: <https://oceanservice.noaa.gov/facts/saltmarsh.html>

34 National Geographic. 2021. “Encyclopedic Entry: Bluff.” Accessed at: <https://www.nationalgeographic.org/encyclopedia/bluff/>

Chapitre 2 : Gestion des risques côtiers à travers le monde

2.1. Mesures et tendances internationales d'adaptation côtière

35 Oppenheimer, M. et coll. 2019. « Chapter 4 : Sea Level Rise and Implications for Low-Lying Islands, Coasts and Communities », L'océan et la cryosphère dans le contexte du changement climatique, rapport spécial du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC). Sur Internet : <https://www.ipcc.ch/srocc/chapter/chapter-4-sea-level-rise-and-implications-for-low-lying-islands-coasts-and-communities/>

36 Ibid

37 Ibid

38 Ibid

39 Lincke, D. et J. Hinkel. 2018. « Economically robust protection against 21st century sea level rise », *Global Environmental Change*, vol. 51, p. 67-73. DOI : <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2018.05.003>

40 Bridges, T. S., et coll., éditeurs. 2021. « Overview: International Guidelines on Natural and Nature-Based Features for Flood Risk Management », U.S. Army Engineer Research and Development Center. Sur Internet : https://ewn.erd.c.dren.mil/?page_id=4351

2.2. Étude de cas par pays

2.2.1. Pays-Bas : tirer parti des processus sédimentaires naturels

41 Gouvernement des Pays-Bas. 2020. « Delta Programme ». Sur Internet : <https://www.government.nl/topics/delta-programme>

42 Deltacommissie. 2008. « Working together with water: A living land builds for its future ». Sur Internet : http://www.deltacommissie.com/doc/deltareport_full.pdf

43 Ibid

44 Climate-ADAPT. 2020. « Sand Motor – building with nature solution to improve coastal protection along

Delfland coast (the Netherlands) ». Sur Internet : <https://climate-adapt.eea.europa.eu/metadata/case-studies/sand-motor-2013-building-with-nature-solution-to-improve-coastal-protection-along-delfland-coast-the-netherlands/#websites>

45 De Zandmotor. 2021. « The Sand Motor – Driver of innovative coastal maintenance ». Sur Internet : <https://www.dezandmotor.nl/en/home/>

46 Rijkswaterstaat. 2021. « The Sand Motor – 10 years of Building with Nature ». Sur Internet : https://dezandmotor.nl/app/uploads/2021/06/Publiekssamenvatting-Zandmotor_ENG_digi.pdf

2.2.2. Angleterre : planifier la gestion du littoral

47 Agence de l'Environnement. 2019. Policy paper: Shoreline management plans (SMPs), Gouvernement du Royaume-Uni. Sur Internet : <https://www.gov.uk/government/publications/shoreline-management-plans-smps/shoreline-management-plans-smps>

48 Ibid

49 Agence de l'Environnement. 2019. National Coastal Erosion Risk Mapping, Gouvernement du Royaume-Uni. Sur Internet : <https://environment.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=9cef4a084bbb4954b970cd35b099d94c>

50 The Parliamentary Office of Science and Technology. 2009. « Coastal Management », Postnote, no 342. Sur Internet : <https://www.parliament.uk/documents/post/postpn342.pdf>

51 English Nature. 1994. Northey Island managed retreat, Report 4. Overview to February 1994, ENRR103. Sur Internet : <http://publications.naturalengland.org.uk/publication/62067>

52 ABPmer. 2021. « Welcome to OMREG: A database of completed coastal habitat creation schemes and other adaptation projects ». Sur Internet : <https://www.omreg.net/>

53 North Norfolk District Council. 2021. « Bacton to Walcott Coastal Management ». Sur Internet : <https://www.north-norfolk.gov.uk/tasks/coastal-management/bacton-to-walcott-coastal-management/>

2.2.3. Japon : gérer la menace constante des risques côtiers catastrophiques

54 Masahiko, I. 1998. « Toward Integrated Coastal Management in Japan », atelier d'ESENA, 11 juillet 1998. Sur Internet : <https://nautilus.org/esena/toward-integrated-coastal-management-in-japan/>

55 Agglomération métropolitaine de Toyko. 2018. « Protecting Tokyo from Storm Surges and Tsunamis —Port of Tokyo Coastal Protection Facilities ». Sur Internet : <https://www.youtube.com/watch?v=MiwSQah546c>

56 Uda, T. 2010. « Japan's Beach Erosion: Reality and Future Measures », Advanced Series on Ocean Engineering, vol. 31, World Scientific. DOI : <https://doi.org/10.1142/7332>

57 Figal, G. 2019. « Life with Tetrapods: The Nature of Concrete in Okinawa », Cross-Currents: East Asian History and Culture Review, vol. 30, p. 150-170. Sur Internet : <https://cross-currents.berkeley.edu/e-journal/issue-30/figal>

58 Udo, K. et Y. Takeda. 2017. « Projections of Future Beach Loss in Japan Due to Sea-Level Rise and Uncertainties in Projected Beach Loss », Coastal Engineering Journal, vol. 59, no 2, p. 1740006-1-1740006-16. DOI : <https://doi.org/10.1142/S057856341740006X>

2.2.4. États-Unis : vers des littoraux vivants

59 NOAA Climate Program Office. 2021. « U.S. Climate Resilience Toolkit – Coasts ». Sur Internet :

<https://toolkit.climate.gov/topics/coastal-flood-risk>

60 NOAA Office for Coastal Management. 2021. « The National Coastal Zone Management Program ». Sur Internet : <https://coast.noaa.gov/czm/>

61 NOAA Climate Program Office. 2021. « Coasts », U.S. Climate Resilience Toolkit. Sur Internet : <https://toolkit.climate.gov/topics/coastal-flood-risk>

62 Moorman, E., et coll. « INSIGHT: States Shift From Seawalls to Living Shorelines », Bloomberg Law. 10 juillet 2019. Sur Internet : <https://news.bloomberglaw.com/environment-and-energy/insight-states-shift-from-seawalls-to-living-shorelines>

63 NOAA Living Shorelines Workgroup. 2015. « Guidance for Considering the Use of Living Shorelines ». Sur Internet : https://www.habitatblueprint.noaa.gov/wp-content/uploads/2018/01/NOAA-Guidance-for-Considering-the-Use-of-Living-Shorelines_2015.pdf

64 NOAA National Ocean Service. 2021. « What is a living shoreline? » Sur Internet : <https://oceanservice.noaa.gov/facts/living-shoreline.html>

2.2.5. Australie : émergence d'approches naturelles de protection côtière

65 Département de l'Agriculture, de l'Eau et de l'Environnement. 2021. « Coastal compartments for Australia or Improving coastal erosion assessments », Gouvernement de l'Australie. Sur Internet : <https://www.awe.gov.au/science-research/climate-change/adaptation/australias-coasts/coastal-compartments>

66 Thom, B. 2014. Coastal Compartments Project: Summary for Policy Makers. Sur Internet : <https://www.awe.gov.au/sites/default/files/documents/coastal-compartments-project.pdf>

67 National Climate Change Adaptation Research Facility (NCCARF). 2021. « CoastAdapt: A changing climate in coastal Australia: Build knowledge, take action ». Sur Internet : <https://coastadapt.com.au/>

68 National Climate Change Adaptation Research Facility (NCCARF). 2021. « CoastAdapt Shoreline Explorer ». Sur Internet : <https://coastadapt.com.au/coastadapt-interactive-map>

69 Engineers Australia. 2012. Climate Change Adaptation Guidelines in Coastal Management and Planning, National Committee on Coastal and Ocean Engineering, Engineers Australia. Sur Internet : https://www.engineersaustralia.org.au/sites/default/files/content-files/2016-12/climate_change_adaptation_guidelines.pdf

70 Morris, R. L., et coll. 2019. « Developing a nature-based coastal defence strategy for Australia », Australian Journal of Civil Engineering, vol. 17, no 2, p. 167-176. DOI : <https://doi.org/10.1080/14488353.2019.1661062>

Chapitre 3 : Protection côtière au Canada

71 Doberstein, B., et coll. 2019. « Protect, accommodate, retreat or avoid (PARA): Canadian community options for flood disaster risk reduction and flood resilience », Natural Hazards, vol. 98, p. 31-50. DOI : <https://doi.org/10.1007/s11069-018-3529-z>

72 Bridges, T. S., et coll., éditeurs. 2021. « Overview: International Guidelines on Natural and Nature-Based Features for Flood Risk Management », U.S. Army Engineer Research and Development Center. Sur Internet : https://ewn.erdc.dren.mil/?page_id=4351

73 Vouk, I., et coll. 2021. « Nature-Based Solutions for Coastal and Riverine Flood and Erosion Risk Management », Association canadienne de normalisation. Sur Internet : <https://www.csagroup.org/wp-content/uploads/CSA-Group-Research-Nature-Based-Solutions-for-Coastal-and-Riverine-Flood-and-Erosion-Risk-Management.pdf>

74 Ibid

- 75 Wilson, J. 2020. *The Efficacy and Design of Coastal Protection Using Large Woody Debris*, mémoire de maîtrise, Université d'Ottawa (Ontario). Sur Internet : https://ruor.uottawa.ca/bitstream/10393/41573/3/Wilson_Jessica_2020_thesis.pdf
- 76 Doberstein, B., et coll. 2019. « Protect, accommodate, retreat or avoid (PARA): Canadian community options for flood disaster risk reduction and flood resilience », *Natural Hazards*, vol. 98, p. 31-50. DOI : <https://doi.org/10.1007/s11069-018-3529-z>
- 77 Gouvernement du Canada. 2021. « Fonds d'atténuation et d'adaptation en matière de catastrophes : Aperçu ». Sur Internet : <https://www.infrastructure.gc.ca/dmaf-faac/index-fra.html>
- 78 Fédération canadienne des municipalités. 2021. « Améliorer les approches d'adaptation aux crues côtières : Surrey (C.-B.) ». Sur Internet : <https://fcm.ca/fr/etude-de-cas/mic/ameliorer-les-approches-dadaptation-aux-crues-cotieres>
- 79 Infrastructure Canada. « Le Canada protège Surrey contre les répercussions [sic] désastreuses des inondations » *Cision*, communiqué de presse. 24 mai 2019. Sur Internet : <https://www.newswire.ca/fr/news-releases/le-canada-protège-surrey-contre-les-repercussions-desastreuses-des-inondations-889495059.html>

Chapitre 4 : Généralisation des mesures de protection adaptées aux systèmes côtiers naturels

- 80 Vouk, I., et coll. 2021. « Nature-Based Solutions for Coastal and Riverine Flood and Erosion Risk Management », Association canadienne de normalisation. Sur Internet : <https://www.csagroup.org/wp-content/uploads/CSA-Group-Research-Nature-Based-Solutions-for-Coastal-and-Riverine-Flood-and-Erosion-Risk-Management.pdf>
- 81 Bridges, T. S., et coll., éditeurs. 2021. « Overview: International Guidelines on Natural and Nature-Based Features for Flood Risk Management », U.S. Army Engineer Research and Development Center. Sur Internet : https://ewn.erd.c.dren.mil/?page_id=4351
- 82 Vouk, I., et coll. 2021. « Nature-Based Solutions for Coastal and Riverine Flood and Erosion Risk Management », Association canadienne de normalisation. Sur Internet : <https://www.csagroup.org/wp-content/uploads/CSA-Group-Research-Nature-Based-Solutions-for-Coastal-and-Riverine-Flood-and-Erosion-Risk-Management.pdf>
- 83 Ibid
- 84 Conseil canadien des ministres de l'environnement (CCME). 2018. *Pratiques exemplaires et ressources relatives à l'infrastructure naturelle résistante au climat*. Sur Internet : https://ccme.ca/fr/res/natural_infrastructure_report_fr.pdf
- 85 Vouk, I., et coll. 2021. « Nature-Based Solutions for Coastal and Riverine Flood and Erosion Risk Management », Association canadienne de normalisation. Sur Internet : <https://www.csagroup.org/wp-content/uploads/CSA-Group-Research-Nature-Based-Solutions-for-Coastal-and-Riverine-Flood-and-Erosion-Risk-Management.pdf>

4.1. Prise en compte des solutions naturelles dans l'évaluation des options

- 86 Infrastructure Canada. 2021. *Optique des changements climatiques – Lignes directrices générales*. Sur Internet : <https://www.infrastructure.gc.ca/pub/other-autre/cl-occ-fra.html>
- 87 Infrastructure Canada. 2021. *Fonds d'atténuation et d'adaptation en matière de catastrophes : guide du demandeur*. Sur Internet : <https://www.infrastructure.gc.ca/alt-format/pdf/dmaf-faac/dmaf-faac-applicant-guide-demandeur-fr.pdf>
- 88 Moudrak, N., et coll. 2018. *Lutter contre la hausse des coûts des inondations au Canada : l'infrastructure naturelle est*

- une option sous-utilisée. Université de Waterloo. Sur Internet : https://www.centreintactadaptationclimat.ca/wp-content/uploads//2019/01/IBC_Wetlands-Report-2018_FR.pdf
- 89 Infrastructure Canada. 2021. *Fonds d'atténuation et d'adaptation en matière de catastrophes : guide du demandeur*. Sur Internet : <https://www.infrastructure.gc.ca/alt-format/pdf/dmaf-faac/dmaf-faac-applicant-guide-demandeur-fr.pdf>
- 90 Parnham, H., et coll, éditeurs. 2016. *Using Cost-Benefit Analysis to Evaluate Climate Change Adaptation Options in Atlantic Canada*, Solutions d'adaptation aux changements climatiques pour l'Atlantique. Sur Internet : <https://atlanticadaptation.ca/fr/islandora/object/acasa%253A779>
- 91 Circé, M., et coll. 2016. *Analyse coûts-avantages d'options d'adaptation en zone côtière au Québec – Rapport synthèse*, Ouranos. Sur Internet : https://www.ouranos.ca/wp-content/uploads/Rapport-Synth%oc3%a8se_Qc.pdf
- 92 Ibid
- 93 Ouranos. 2018. *Plateforme pour l'analyse avantages-coûts en érosion et submersion (PANACÉES)*. Sur Internet : <https://www.ouranos.ca/en/program/built-environment/>
- 94 Sharp, R., et coll, éditeurs. 2020. *InVEST 3.9.2 User's Guide*, The Natural Capital Project, Université de Stanford, Université du Minnesota, The Nature Conservancy et Fonds mondial pour la nature. Sur Internet : <http://releases.naturalcapitalproject.org/invest-userguide/latest/index.html>
- 95 Université Stanford. 2021. « InVEST ». Sur Internet : <https://naturalcapitalproject.stanford.edu/software/invest>
- 96 Municipal Natural Asset Initiative. 2021. « The Municipal Natural Asset Initiative Coastal Protection and Benefit Tool ». Sur Internet : <https://github.com/essatech/MNAI.CPBT#readme>
- 97 Municipal Natural Asset Initiative. 2021. *Managing Natural Assets to Increase Coastal Resilience, Gibsons Pilot Study, British Columbia*. Sur Internet : <https://david Suzuki.org/wp-content/uploads/2021/09/MNAI-Pilot-Coastal-Resilience-Gibsons-2021.pdf>
- 98 Municipal Natural Asset Initiative. 2021. *Managing Natural Assets to Increase Coastal Resilience, Pointe-du-Chêne Pilot Study, New Brunswick, Pilot Study*. Sur Internet : <https://david Suzuki.org/wp-content/uploads/2021/09/MNAI-Pilot-Coastal-Resilience-Pointe-du-Chene-2021.pdf>
- 99 Ibid
- 100 Ibid
- 101 Infrastructure Canada. 2021. *Fonds d'atténuation et d'adaptation en matière de catastrophes : guide du demandeur*. Sur Internet : <https://www.infrastructure.gc.ca/alt-format/pdf/dmaf-faac/dmaf-faac-applicant-guide-demandeur-fr.pdf>
- 102 Département de l'Environnement, de l'Alimentation et des Affaires rurales. 2021. *Flood and Coastal Erosion Risk Management appraisal guidance manual*, Gouvernement du Royaume-Uni. Sur Internet : <https://www.gov.uk/guidance/flood-and-coastal-erosion-risk-management-appraisal-guidance>
- 103 Agence de l'Environnement. 2021. *Operational principles to follow when setting up funding partnerships to tackle flood and coastal erosion*, version 1.1, Gouvernement du Royaume-Uni Sur Internet : https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/1021917/02 - Operational principles for FCERM funding partnerships v1.1.pdf
- 104 Agence de l'Environnement. 2020. *Partnership funding: Supporting guidance for Outcome Measure 4*, version 2.0, Gouvernement du Royaume-Uni. Sur Internet : https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/1026844/Partnership_funding_supporting_guidance_for_OM4.pdf
- 105 Ibid
- 106 Agence de l'Environnement. 2013. *Valuing Environmental Benefits*, notes de synthèse externes. Sur Internet : <http://www.thames21.org.uk/wp-content/uploads/2013/12/NWEB-Briefing-Notes.pdf>
- 107 NOAA Restoration Center. 2019. « Building Coastal Resilience through Living Shorelines ». Sur Internet : <https://www.habitatblueprint.noaa.gov/wp-content/uploads/2019/10/Fact-Sheet-2019-Living-Shorelines.pdf>

- 108 Département des Pêches et de la Faune de Washington. 2021. « Shore Friendly Grant Program ». Sur Internet : <https://wdfw.wa.gov/species-habitats/habitat-recovery/nearshore/conservation/programs/shore-friendly>
- 109 Stewardship Centre for British Columbia. 2021. « Green Shores – About the Program ». Sur Internet : <https://stewardshipcentrebc.ca/green-shores-home/gs-about/>
- 110 Stewardship Centre for British Columbia. 2021. « Green Shores Shoreline Development Program ». Sur Internet : <https://stewardshipcentrebc.ca/green-shores-home/gs-programs/gssd/>
- 111 Stewardship Centre for British Columbia. 2021. « Green Shores for Homes ». Sur Internet : <https://stewardshipcentrebc.ca/green-shores-home/gs-programs/green-shores-for-homes/>

4.2. Amélioration du suivi des résultats pour démontrer les avantages des solutions naturelles

- 112 Gouvernement du Québec. 2014. *Guide sur la gestion axée sur les résultats*, Secrétariat du Conseil du trésor. Sur Internet : <https://www.tresor.gouv.qc.ca/fileadmin/PDF/publications/GuideGestionAxeResultat.pdf>
- 113 Dionne, M. et coll. 2002. « A Monitoring Protocol to Assess Tidal Restoration of Salt Marshes on Local and Regional Scales » *Restoration Ecology*, vol. 10, n° 3, p. 556-563. DOI : <https://doi.org/10.1046/j.1526-100X.2002.02033.x>
- 114 Parcs Canada. « Grâce à la nouvelle initiative Coastie de Parcs Canada, prenez-vous en photo avec la science », *Cision*, communiqué de presse, 15 octobre 2021. Sur Internet : <https://www.newswire.ca/fr/news-releases/grace-a-la-nouvelle-initiative-coastie-de-parcs-canada-prenez-vous-en-photo-avec-la-science-812526101.html>
- 115 Nantucket Data Platform. 2019. « Visualizations - A Saturday in July ». Sur Internet : <https://nantucketdataplatfrom.com/visualizations/>

4.3. Renforcement de la capacité grâce à la collaboration avec le secteur privé

- 116 Conseil canadien pour les partenariats public-privé. 2016. « Definitions & Models ». Sur Internet : https://www.pppcouncil.ca/web/P3_Knowledge_Centre/About_P3s/Definitions_Models.aspx
- 117 Ibid
- 118 Swiss Re Group. 2021. « World Heritage Site nature-based solution leads the way in reducing the risk of rising sea levels ». Sur Internet : <https://www.swissre.com/our-business/public-sector-solutions/our-solutions/nature-based-solutions/world-heritage-site-nature-based-solution-leads-way-reducing-risk-rising-sea-levels.html>
- 119 Centre du patrimoine mondial de l'Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture (UNESCO). 2021. « La mer des Wadden ». Sur Internet : <https://whc.unesco.org/fr/list/1314/>
- 120 International Risk Management Institute, Inc. (IRMI). 2021. « Parametric Insurance ». Sur Internet : <https://www.irmi.com/term/insurance-definitions/parametric-insurance>



Pour en savoir plus :

Joanna Eyquem PGeo. ENV SP. CWEM. CEnv.

Directrice générale - Infrastructures résilientes au climat

Centre Intact d'adaptation au climat

Faculté de l'environnement, Université de Waterloo

514-268-0873 | joanna.eyquem@uwaterloo.ca

www.intactcentre.ca | Twitter [@ICCA_Canada](https://twitter.com/ICCA_Canada)



UNIVERSITY OF
WATERLOO

CENTRE INTACT
D'ADAPTATION AU CLIMAT