



CLIMAtlantic

Boîte à outils d'adaptation côtière

Adaptation aux changements climatiques
dans les collectivités côtières du Canada
atlantique

Partie 1 – Guide de sélection des moyens
d'adaptation

Janvier 2023

Partie 1 – Guide de sélection des moyens d'adaptation

Autrices

Dr. Danika Van Proosdij, Université Saint Mary's; Jenna Miller, Université Saint Mary's & CLIMAtlantic

Remerciements

Merci à tous ceux qui ont contribué par leurs idées et leurs informations à l'outil original, ainsi qu'à cette version actualisée.

Avis de non-responsabilité

La boîte à outils est destinée uniquement à des fins d'information. Les informations fournies ne remplacent pas les conseils professionnels propres à un site, et les informations contenues dans les outils ne remplacent pas non plus la consultation de professionnels de l'ingénierie, de l'aménagement du territoire ou des sciences de la terre. Les informations fournies n'excluent pas la nécessité de s'engager avec les juridictions compétentes dans les processus de réglementation et d'octroi de permis. Les auteurs ne font aucune déclaration quant à son exactitude et aux affirmations des articles dont elle est tirée.

Janvier 2023

This project was undertaken with the financial support of:
Ce projet a été réalisé avec l'appui financier de :



Environment and
Climate Change Canada

Environnement et
Changement climatique Canada

Supporté par le Programme [Renforcer la capacité et l'expertise régionales en matière d'adaptation](#) de Ressources naturelles Canada



Natural Resources
Canada

Ressources naturelles
Canada

Canada



CLIMAtlantic

Partie 1 – Guide de sélection des moyens d'adaptation

Avant-propos

Les provinces atlantiques du Canada ont établi des modes d'utilisation et d'aménagement du territoire durables sur la côte. Toutes les collectivités côtières de la région sont vulnérables aux aléas côtiers et aux impacts des changements climatiques : leur avenir repose sur l'adaptation à ces impacts.

Adaptation aux changements climatiques dans les collectivités côtières du Canada atlantique : guide de sélection des moyens d'adaptation fournit des stratégies et des outils de gestion de l'élévation du niveau de la mer, des inondations côtières et de l'érosion dues aux changements climatiques. Cette série de trois guides complète [l'Outil d'adaptation côtière en ligne \(https://climatatlantic.ca/fr/outil-dadaptation-cotiere-2/\)](https://climatatlantic.ca/fr/outil-dadaptation-cotiere-2/) de CLIMAtlantic. Ensemble, ces ressources aident les décideurs à définir les besoins d'adaptation en zone côtière et à choisir l'aménagement du territoire et les outils techniques les mieux assortis au contexte climatique de leur collectivité.

La **Partie 1 – Guide de sélection des moyens d'adaptation** présente l'adaptation aux changements climatiques en zone côtière dans les provinces de l'Atlantique. Il définit les cinq principaux moyens d'adaptation, décrit les impacts des changements climatiques dans la région de l'Atlantique, caractérise les milieux côtiers, donne des critères pour appuyer la prise de décision et relie les outils et stratégies d'adaptation aux contextes côtiers des provinces de l'Atlantique.

La **Partie 2 – Moyens d'adaptation : outils d'aménagement du territoire** présente plus de 50 outils d'aménagement du territoire pour s'adapter aux changements climatiques en zone côtière. Les outils et exemples qui y sont présentés sont tirés des options d'aménagement du territoire de [l'Outil d'adaptation côtière de CLIMAtlantic en ligne](#). On y donne également un aperçu des cadres de gestion et de la législation en matière d'aménagement du territoire qui pourraient soutenir l'adaptation côtière aux changements climatiques dans chacune des quatre provinces et des Premières Nations de l'Atlantique.

La **Partie 3 – Options d'intervention en zone côtière et considérations techniques** présente plus de vingt mesures d'intervention en gestion des inondations et de l'érosion côtières. On y décrit leur pertinence selon les différents contextes et objectifs d'adaptation aux changements climatiques (à court ou à long terme; coût faible, moyen ou élevé), et on y établit les exigences techniques et facilitantes des différents moyens d'adaptation. Les outils et exemples qui y sont présentés sont tirés des options d'ingénierie de [l'Outil d'adaptation côtière de CLIMAtlantic en ligne](#).

Table des matières

Avant-propos.....	3
Préface.....	5
Chapitre 1 : Processus côtiers.....	6
1.1 Niveau de l'eau.....	7
1.2 Vagues	8
1.3 Courants.....	8
1.4 Transport de sédiments et érosion	9
Chapitre 2 : Changements climatiques et aléas côtiers.....	12
2.1 Changements climatiques et élévation du niveau de la mer.....	12
2.2 Inondations côtières	16
2.3 Érosion côtière	18
Chapitre 3 : Stratégies d'adaptation	21
3.1 Compréhension du risque.....	23
3.2 Évitement.....	26
3.3 Retrait (« déplacement de la ligne »).....	28
3.4 Aménagement adaptatif (« relèvement de la ligne »)	32
3.5 Protection (« avancer ou éviter un recul »).....	36
3.6 Maladaptation.....	40
Chapitre 4 : Choix du bon moyen d'adaptation	42
4.1 Votre collectivité est-elle prête?	44
4.2 Guide étape par étape des choix d'adaptation.....	46
ÉTAPE 1. Identification du problème : preuves, information sur l'exposition et collecte de données.....	46
ÉTAPE 2. Mobilisation de la collectivité et des intervenants : détermination des objectifs... ..	48
ÉTAPE 3. Évaluation et sélection d'un ou de plusieurs moyens d'adaptation	49
ÉTAPE 4. Planification et mise en œuvre d'un ou de plusieurs moyens d'adaptation	51
ÉTAPE 5. Suivi et évaluation.....	52
Chapitre 5 : Systèmes côtiers et compatibilité des moyens d'adaptation	54
5.1 Estuaires.....	54
5.2 Structures sableuses côtières.....	57
5.3 Bas-fond intertidal (sable ou boue).....	61
5.4 Marais salés	64
5.5 Plages de galets.....	67
5.6 Falaises, escarpements et berges (sédiments cohésifs)	69
5.7 Rivages rocheux.....	71
5.8 Côtes aménagées et gérées.....	73
5.8.1 Agglomérations fortement bâties	73
5.8.2 Agglomérations de faible densité	74
5.8.3 Terres agricoles.....	75
5.8.4 Zones gérées.....	76
5.8.5 Cas particulier : marais endigués.....	76



Préface

La Boîte à outils d'adaptation côtière, S'adapter aux changements climatiques en zone côtière au Canada, Partie 1 – Guide de sélection des moyens d'adaptation, fournit l'information essentielle aux collectivités côtières pour choisir les moyens d'adaptation qui conviennent le mieux à leur contexte côtier et climatique.

La Partie 1 s'articule en cinq chapitres :

Chapitre 1 – Processus côtiers. Ce chapitre présente les termes clés et les notions de base des processus à l'œuvre en zone côtière en contexte de changements climatiques, notamment l'élévation du niveau de la mer, les vagues, ainsi que l'érosion, le transport et le dépôt de sédiments. On y relève les principaux enjeux qui touchent les zones côtières des provinces de l'Atlantique.

Chapitre 2 – Changements climatiques et aléas côtiers. Ce chapitre donne une vue d'ensemble des changements climatiques et des risques et vulnérabilités des zones côtières de l'Atlantique.

Chapitre 3 – Stratégies d'adaptation. Ce chapitre décrit ce qu'est l'adaptation et pourquoi elle est nécessaire. Quatre grandes stratégies d'adaptation sont décrites : évitement, retrait, aménagement adaptatif et protection. Des exemples de la région illustrent chacune des stratégies et une liste d'outils d'aménagement et techniques en suit la description. Ces outils sont décrits dans la *Partie 2 – Moyens d'adaptation : outils d'aménagement du territoire* et la *Partie 3 – Options d'intervention en zone côtière et considérations techniques*.

Chapitre 4 – Choix du bon moyen d'adaptation. Ce chapitre décrit les possibles mesures à prendre pour commencer à s'adapter aux changements climatiques en zone côtière. Il définit les principes d'un plan d'adaptation éclairé et efficace, décrit ce dont une collectivité a besoin pour commencer à planifier son adaptation et guide le processus décisionnel étape par étape.

Chapitre 5 – Systèmes côtiers et compatibilité des moyens d'adaptation. Ce chapitre décrit les systèmes côtiers des provinces de l'Atlantique et les moyens d'adaptation compatibles avec ces différents milieux. Les caractéristiques d'un milieu côtier donné ainsi que la nature et l'intensité des processus qui y sont à l'œuvre – le système côtier – influent sur le choix des moyens d'adaptation de la collectivité touchée. Bien comprendre ces caractéristiques et conditions permet de faire des choix d'adaptation éclairés.

Chapitre 1 : Processus côtiers

Les côtes sont des milieux dynamiques : la marée monte et descend, le sol se déplace et se reforme au gré du vent et des vagues. L'interaction terre-mer provoque l'enlèvement, le transport et le redépôt de sédiments dans la zone côtière. Certaines zones côtières sont plus actives que d'autres et plus de sédiments y sont transportés. Les processus côtiers comme les vagues, les courants, les marées et les ondes de tempête sont naturels. C'est lorsqu'ils causent des dommages aux infrastructures côtières (bâtiments, routes, fronts de mer et quais) qu'ils posent problème. Ce chapitre présente les processus côtiers naturels (érosion, transport et dépôt de sédiments), leur interaction avec les constructions côtières et les divers systèmes côtiers qui en résultent au Canada atlantique.

La zone côtière se divise en différentes parties (figure 1.1). L'avant-plage est la zone située entre la pleine mer la plus haute et la basse mer la plus basse. L'avant côte représente la zone de déferlement, où les vagues deviennent plus abruptes et se brisent.

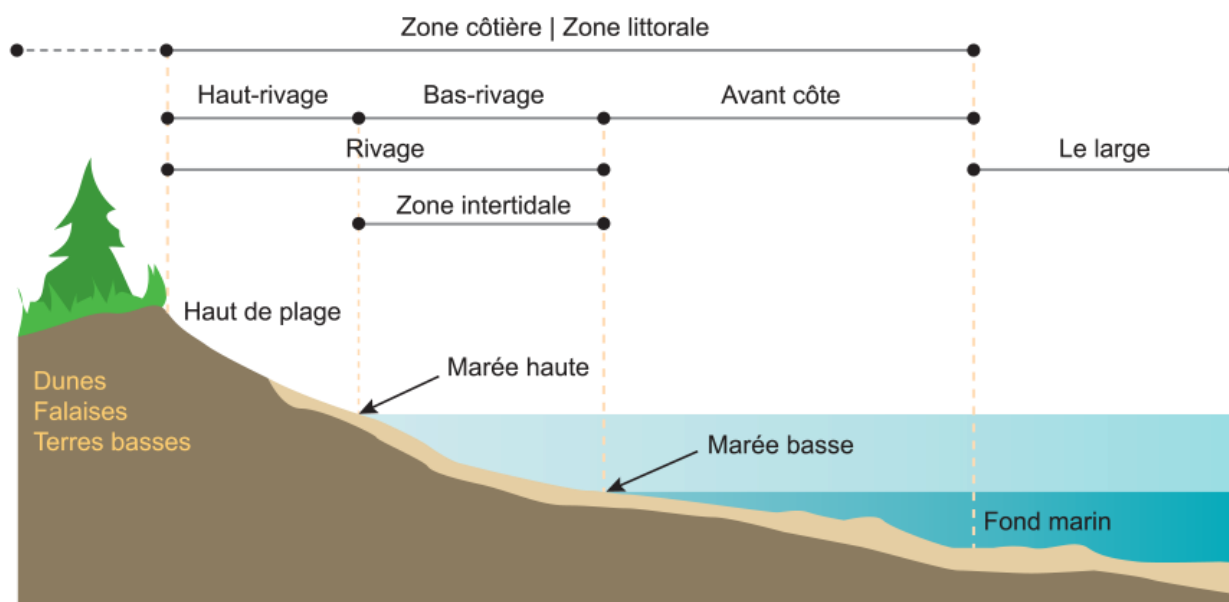


Figure 1.1 Termes clés d'une zone côtière (d'après Davidson-Arnott et coll., 2019¹)

Le niveau de l'eau et les vagues sont les principales caractéristiques de la zone côtière qui déterminent l'évolution des systèmes côtiers. Ces éléments définissent également les processus d'aléas côtiers pour les constructions en zone côtière. La zone littorale comprend la plage et l'avant-côte. C'est la zone où les sédiments peuvent être transportés par les vagues².

Ce chapitre traite des processus côtiers naturels et des divers systèmes côtiers qui en résultent au Canada atlantique. La stratégie d'adaptation qui convient le mieux à chaque système côtier (estuaire, plage de sable, falaise, etc.) sera abordée.

¹ R. Davidson-Arnott, B. Bauer et C. Houser, *Introduction to Coastal Processes and Geomorphology*, 2^e éd., Cambridge (R.-U.), Cambridge University Press, 2019.

² *Ibid.*

1.1 Niveau de l'eau

Le niveau de l'eau désigne la hauteur de l'eau par rapport à la ligne de rivage et sa pénétration à l'intérieur des terres. Les éléments suivants jouent sur le niveau de l'eau :

- **marée haute**;
- **onde de tempête** (hausse du niveau de l'eau provoquée par la tempête);
- **seiche** (influence de la forme de la baie sur la taille des vagues, comme une longue oscillation dans une baie ou un port semi-fermé);
- **élévation du niveau de la mer** et autres répercussions à long terme comme la subsidence (affaissement du sol causé par des changements géologiques);
- **jet de rive** (distance verticale parcourue par une vague sur le rivage au-dessus du niveau de la mer au repos).

Le tableau 1.1 décrit les mesures types et les facteurs d'influence du niveau de l'eau au Canada atlantique³.

Tableau 1.1 Éléments du niveau de l'eau au Canada atlantique^{4,5}

Élément du niveau de l'eau	Échelle de temps type	Amplitude typique au Canada atlantique	Facteurs déterminants
Marée	12,4 heures (semi-diurne) à 24 heures (diurne)	< 2 m (côte atlantique, golfe du Saint Laurent) à 16 m (fond de la baie de Fundy)	Bathymétrie régionale (mesure de la profondeur de l'eau) Phases de la lune et du soleil
Onde de tempête	Heures	Typiquement < 1,5 m; grosses tempêtes > 2 m	Lieu, intensité et durée de la tempête
Seiche (baie ou port)	Heures	Généralement < 1 m	Dimensions de la baie ou du port
Élévation du niveau de la mer	Décennies	75-100 cm d'ici 2100 (par rapport à 1986–2005 selon le RCP 8.5)	Élévation générale du niveau de la mer, mouvement crustal vertical régional
Jet de rive	Heures	Fonction de facteurs particuliers au lieu (régime de vagues littorales, bathymétrie, pente et rugosité de la pente)	

³ R. Davidson-Arnott, B. Bauer et C. Houser, *Introduction to Coastal Processes and Geomorphology*, 2^e éd., Cambridge (R.-U.), Cambridge University Press, 2019.

⁴ *Ibid.*

⁵ S. Dietz et S. Arnold, « Chapitre 1 : Provinces de l'Atlantique », dans F. J. Warren, N. Lulham et D. S. Lemmen, dir., *Le Canada dans un climat en changement : le rapport sur les perspectives régionales*, Ottawa (Ont.), Gouvernement du Canada, 2021.



1.2 Vagues

Les vagues générées par le vent sont limitées par le « fetch », soit la distance sur laquelle le vent peut souffler sans entrave sur l'eau. Des vagues modérées sont générées par le fetch limité d'une zone protégée, comme une baie, tandis que de grosses vagues sont générées en pleine mer.

Une tempête majeure produit toujours de grosses vagues au large. Près de la côte, la crête des vagues en approche s'incurve vers le rivage, devient plus abrupte puis se brise. La hauteur d'une vague déferlante est limitée par la profondeur de l'eau. Les grosses vagues peuvent s'approcher davantage avant de déferler. Plus le relief de la zone sublittorale et de l'avant-plage est abrupt, plus l'eau est profonde près du rivage⁶.

Les tsunamis sont de grands déplacements d'eau causés par les séismes, les éruptions volcaniques, le glissement du plancher océanique, le vêlage des glaciers et les avalanches⁷. Ils sont rares dans la région de l'Atlantique; le plus notable a déferlé sur la péninsule de Burin, à Terre-Neuve, en novembre 1929, à la suite d'un glissement de terrain sous-marin dans les Grands Bancs, déclenché par un séisme⁸.

1.3 Courants

Un courant est un mouvement horizontal continu orienté de l'eau de mer. Les courants se produisent à échelle très diverse, des grands courants océaniques comme le Gulf Stream dans l'océan Atlantique Nord jusqu'aux courants côtiers locaux influencés par le régime des vagues, des marées et des vents. Nombre de processus peuvent générer des courants côtiers. Le tableau 1.2 en résume les principaux.

Tableau 1.2 Courants côtiers⁹

Type		Caractéristiques
Courant entraîné par les vagues	Courant de dérive littorale	Courant entraîné par les vagues obliques se brisant sur le rivage et qui transporte des sédiments dans l'estran.
	Courant d'arrachement	Courant généré par des différences localisées du niveau de l'eau causées par le déferlement des vagues sur des bancs de sable irréguliers le long des plages.
	Flot de fond	Courant de fond qui renvoie l'eau des vagues brisées vers la mer.
Courant de marée		Courant généré par la pente de la surface de l'eau due à la marée et qui peut être fort dans les zones étroites comme les chenaux et les passes de marée.
Courant dû au vent ou induit par les seiches		Courant qui peut être important lors de grosses tempêtes.

⁶ R. Davidson-Arnott, B. Bauer et C. Houser, *Introduction to Coastal Processes and Geomorphology*, 2e éd., Cambridge (R.-U.), Cambridge University Press, 2019.

⁷ R. Davidson-Arnott, B. Bauer et C. Houser, *Introduction to Coastal Processes and Geomorphology*, 2e éd., Cambridge (R.-U.), Cambridge University Press, 2019.

⁸ J. Higgins, « The Tsunami of 1929 », *Heritage Newfoundland and Labrador* (en ligne), 2007, <https://www.heritage.nf.ca/articles/politics/tsunami-1929.php>.

⁹ Ibid.



1.4 Transport de sédiments et érosion

L'énergie libérée par les vagues dans la zone sublittorale provoque le déplacement (ou transport) de sédiments perpendiculairement et parallèlement au rivage. Le transport de sédiments parallèlement au rivage (figure 1.2), appelé dérive littorale, est causé par des courants le long de la côte. La dérive littorale est cruciale au transport de sédiments des « sources » (escarpements, falaises, embouchure des cours d'eau) aux « puits », comme les systèmes de plages et de dunes ou les structures de déposition (îles-barrières, flèches littorales). L'apport et la perte de sédiments se traduisent par un « bilan sédimentaire ». Une zone qui accuse une perte nette de sédiments (bilan sédimentaire négatif) est en érosion, tandis qu'une zone au bilan sédimentaire positif est en « accréation » (accumulation nette de sédiments). Les sédiments se déplacent des sources aux puits dans un circuit appelé « cellule sédimentaire », qui peut compter plus d'une source ou d'un puits, reliés entre eux.

Le mode de transport des sédiments dépend de leur granulométrie (de l'argile et du silt très fin au sable puis au gravier et aux galets). Les grains très fins sont de nature cohésive et collent les uns aux autres, contrairement aux grains plus gros. L'argile et le silt voyagent plutôt « en suspension » dans la colonne d'eau (ils y flottent) et se déposent dans les eaux calmes de la zone sublittorale éloignée ou du large, ou dans les vasières et les marais salés des estuaires et des lagunes. Les sédiments non cohésifs (sable, gravier et galets) sont mus par les vagues et les courants. Plus les grains sont gros, plus il faut d'énergie pour les déplacer; le déplacement des galets exige donc des vagues très fortes. Les petits grains légers (sable) peuvent également être transportés par le vent lorsqu'ils sont secs (transport éolien), ce qui est nécessaire à la formation de dunes¹⁰.

L'érosion est due aux processus côtiers naturels suivants :

- changement de la taille, de la force ou de la direction (orientation) des vagues ou changement du relief sous la surface de l'eau (bathymétrie) entraînant le transport d'une plus grande quantité de sédiments ailleurs le long de la côte;
- transport de sable au large;
- perte de sable sur la côte causée par la rupture d'une dune (l'érosion d'une dune permettant le passage de l'eau);
- diminution ou arrêt de l'apport en sable des rivières ou des falaises, empêchant le remplacement du matériel qui s'érode;
- instabilités du plancher océanique, comme les glissements de terrain et les ruptures de versant, dues à l'action combinée du ruissellement pluvial et des vagues, l'érosion se produisant sous la ligne de marée basse (cette érosion provoquée par les vagues à la base d'un escarpement est irréversible et les sédiments fins s'échappent en eaux profondes);
- retrait de la ligne de rivage dû à l'élévation du niveau de la mer (le trait suit généralement la hausse du niveau de l'eau). Le taux d'érosion est déterminé par l'élévation du niveau de la mer et de nombreux facteurs locaux comme la géologie et l'apport naturel de sédiments.

¹⁰ Ibid.





Figure 1.2 Dérive littorale (image Google Earth modifiée)¹¹

Le peuplement des zones côtières est motivé par l'accès à l'océan et à ses ressources, les loisirs côtiers et la beauté du paysage. Certaines activités et infrastructures de peuplement interfèrent avec les processus côtiers, ces derniers pouvant devenir une menace pour les premières. L'élévation du niveau de la mer et la force des vagues peuvent endommager ou détruire les structures et entraver l'utilisation du territoire en zone côtière. On s'efforce de maîtriser les processus côtiers, soit pour les mettre à profit (p. ex., installation d'un épi visant à créer une plage devant une propriété où le sable ne s'accumule normalement pas), soit pour les ralentir ou les arrêter (p. ex., construction d'un ouvrage longitudinal contre l'érosion ou d'une digue contre les inondations dues aux marées). Nombre de ces ouvrages exacerbent les processus qu'elles sont censées endiguer, sur place ou plus loin sur la côte. Elles interfèrent avec le cycle de transport des sédiments (érosion, dérive littorale, dépôt). La construction d'un ouvrage sur une propriété risque donc d'affecter les propriétés voisines qui font partie du même système, ou « cellule sédimentaire », car elles dépendent des mêmes sources de sédiments.

L'érosion résulte des interférences humaines suivantes avec les processus côtiers naturels :

- Les ouvrages imperméables perpendiculaires au rivage (épis, brise-lames) bloquent le mouvement du sable le long d'une plage (dérive littorale). Lorsque la dérive littorale se fait principalement dans une direction, il y aura érosion du côté opposé à l'impact des vagues (côté sous le vent) puisque l'ouvrage bloque l'apport de sédiment en aval (figure 1.3). La longueur d'un ouvrage, son angle par rapport à la direction prédominante des vagues et sa position par rapport à la zone sublittorale sont les principaux facteurs qui modulent son effet sur la morphologie de la ligne de rivage.
- Les ports piègent le sable et en réduisent l'apport en aval.
- Les structures parallèles au rivage (comme les ouvrages longitudinaux) bloquent le transport du sable de l'arrière-plage vers les barres de sable au large pendant les

¹¹ Google Earth, Image d'une plage pour illustrer le transport des sédiments au large (image), s.d., <https://www.google.com/earth/>.

tempêtes; l'érosion, causée par le flux d'eau, se produit au pied de la structure (affouillement).

- Il faut enlever le sable par extraction ou dragage.



Figure 1.3 Accrétion (sable piégé) et érosion près des ouvrages perpendiculaires au rivage. Les structures artificielles peuvent interférer avec les processus naturels d'écoulement et de sédimentation et avoir des conséquences inattendues plus loin sur la côte (Google Earth, 2022)

Chapitre 2 : Changements climatiques et aléas côtiers

2.1 Changements climatiques et élévation du niveau de la mer

La majorité des quelque 2,4 millions d'habitants des provinces de l'Atlantique (2021¹²) vit dans les villes et villages situés le long de la côte (tableau 2.1). Toutes les collectivités côtières de la région sont, à divers degrés, vulnérables aux effets des changements climatiques.

L'élévation du niveau de la mer et les ondes de tempête sources d'inondations côtières sont les principaux impacts des changements climatiques sur les collectivités côtières. Au Canada atlantique, l'élévation du niveau de la mer a de nombreuses répercussions : inondations côtières, érosion, perte d'habitat intertidal, migration des marais salés, infrastructures endommagées par les ondes de tempête et perte de glace hivernale accentuant l'affouillement du rivage par endroit^{13,14,15}. Les côtes des provinces de l'Atlantique sont particulièrement vulnérables à l'érosion et aux inondations côtières.

Tableau 2.1 Population côtière, longueur de la côte et écosystèmes côtiers par province atlantique^{16,17,18}

Nouveau-Brunswick	Population : 775 610 (recensement 2021) Pourcentage de la population vivant à moins de 10 km de la côte : 32 % Longueur de la côte : 2 700 km Écosystèmes côtiers : estuaires, structures sableuses, bas-fonds intertidaux, marais salés, plages de galets, berges, escarpements/falaises et rivages rocheux
Nouvelle-Écosse	Population : 969 383 (recensement 2021) Pourcentage de la population vivant à moins de 10 km de la côte : 82 % Longueur de la côte : 13 000 km Écosystèmes côtiers : estuaires, structures sableuses, bas-fonds intertidaux, marais salés, plages de galets, berges, escarpements/falaises et rivages rocheux
Île-du-Prince-Édouard	Population : 154 331 (recensement 2021) Pourcentage de la population vivant à moins de 10 km de la côte : 97 % Longueur de la côte : 1 400 km Écosystèmes côtiers : estuaires, structures sableuses, bas-fonds intertidaux, marais salés, berges et escarpements/falaises

¹² Statistique Canada, *Tableau 98-10-0001 Chiffres de population et des logements : Canada, provinces et territoires* (en ligne), 2022, https://www150.statcan.gc.ca/t1/tbl1/fr/tv.action?pid=9810000101&request_locale=fr, consulté en avril 2022.

¹³ M. Davies, *Geomorphic Shoreline Classification of Prince Edward Island*, rapport rédigé par la Coldwater Consulting Ltd à l'intention de l'association Solutions d'adaptation aux changements climatiques pour l'Atlantique (SACCA), 2011, 66 p.

¹⁴ Arlington Group, *Sea Level Rise Adaptation Primer: A Toolkit to Build Adaptive Capacity on Canada's South Coasts*, rapport préparé pour le ministère de l'Environnement de la Colombie-Britannique, 2013, 150 p.

¹⁵ Table ronde nationale sur l'environnement et l'économie (TRNEE), *Le prix à payer : répercussions économiques du changement climatique pour le Canada*, Ottawa (Ont.), TRNEE, 2011, 176 p.

¹⁶ Arlington Group, *Sea Level Rise Adaptation Primer: A Toolkit to Build Adaptive Capacity on Canada's South Coasts*, rapport préparé pour le ministère de l'Environnement de la Colombie-Britannique, 2013, 150 p.

¹⁷ S. Ganter, T. Crawford, C. Irwin, V. Robichaud, A. DeMaio-Sukic, J. Wang, J. Andrews et H. Larocque, *Océans du Canada et contribution économique des secteurs maritimes* (en ligne), n° 16-002-X au catalogue de Statistique Canada, 2021, <https://www150.statcan.gc.ca/n1/en/pub/16-002-x/2021001/article/00001-fra.pdf?st=FLI64jG7>, consulté en mai 2022.

¹⁸ Statistique Canada, *Tableau 98-10-0001 Chiffres de population et des logements : Canada, provinces et territoires* (en ligne), 2022, https://www150.statcan.gc.ca/t1/tbl1/fr/tv.action?pid=9810000101&request_locale=fr, consulté en avril 2022.



Terre-Neuve-et-Labrador	Population : 510 550 (recensement 2021) Pourcentage de la population vivant à moins de 10 km de la côte : 87 % Longueur de la côte : 25 900 km Écosystèmes côtiers : estuaires, structures sableuses, bas-fonds intertidaux, marais salés, plages de galets, berges, escarpements/falaises et rivages rocheux
--------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

L'élévation générale du niveau de la mer est attribuée à la dilatation thermique de l'eau qui se réchauffe dans les océans et à la fonte des glaciers continentaux et des calottes glaciaires de l'Antarctique et du Groenland. L'élévation du niveau de la mer varie grandement en fonction des conditions locales. L'élévation relative du niveau de la mer dépend du changement du niveau de la mer et du changement du niveau de la terre par rapport à son niveau actuel¹⁹.

La masse continentale des provinces de l'Atlantique réagit encore au retrait des glaciers survenu il y a quinze à dix mille ans. Au retrait de la glace qui recouvrait la région (fonte), la croûte terrestre s'est ajustée : la terre émergeant devant les glaces s'est relevée en réaction au relâchement de la pression sur la région alors que cette pression se maintenait sur les terres adjacentes. Au fil de la déglaciation, la masse continentale de la région de l'Atlantique s'est remise à descendre. On appelle ajustement isostatique ce relèvement ou cette subsidence postglaciaire, et son rythme est inégal dans la région. La côte peuplée des provinces maritimes est majoritairement en subsidence (elle s'enfoncé), malgré certaines zones de relèvement, en particulier dans le nord et l'ouest du Nouveau-Brunswick et une partie de Terre-Neuve-et-Labrador (figure 1.4)²⁰. Cette variation signifie que le rythme de l'élévation relative du niveau de la mer n'est pas uniforme dans la région : l'élévation relative est plus grande dans les zones de subsidence plus prononcée (figure 1.5)²¹.

¹⁹ T. S. James, C. Robin, J. A. Henton et M. Craymer, *Relative Sea-Level Projections for Canada Based on the IPCC Fifth Assessment Report and the NAD83v70VG National Crustal Velocity Model* (en ligne), s.l., Commission géologique du Canada, Dossier public 8764, 2021, <https://doi.org/10.4095/327878>.

²⁰ Arlington Group, *Sea Level Rise Adaptation Primer: A Toolkit to Build Adaptive Capacity on Canada's South Coasts*, rapport préparé pour le ministère de l'Environnement de la Colombie-Britannique, 2013, 150 p.

²¹ T. S. James, C. Robin, J. A. Henton et M. Craymer, *Relative Sea-Level Projections for Canada Based on the IPCC Fifth Assessment Report and the NAD83v70VG National Crustal Velocity Model* (en ligne), s.l., Commission géologique du Canada, Dossier public 8764, 2021, <https://doi.org/10.4095/327878>.



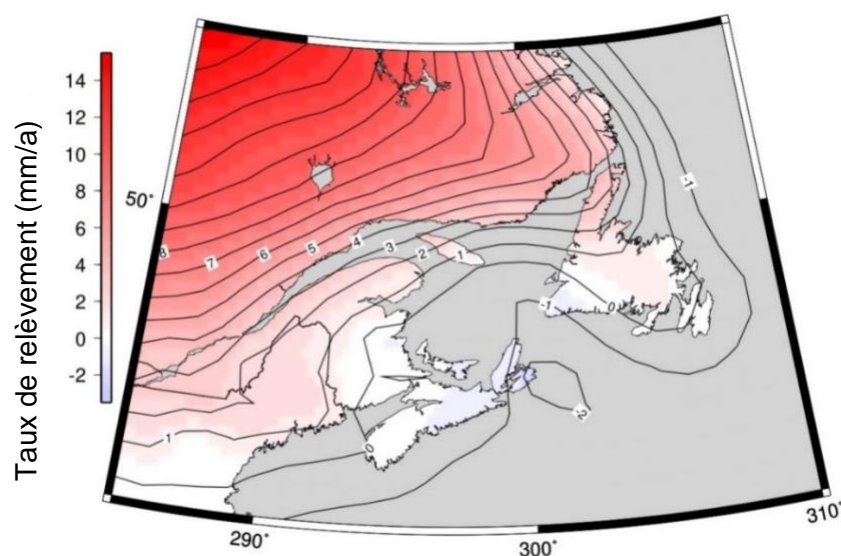


Figure 1.4 Ajustement isostatique au Canada atlantique; taux de relèvement et de subsidence (d'après Robin et coll.)²²

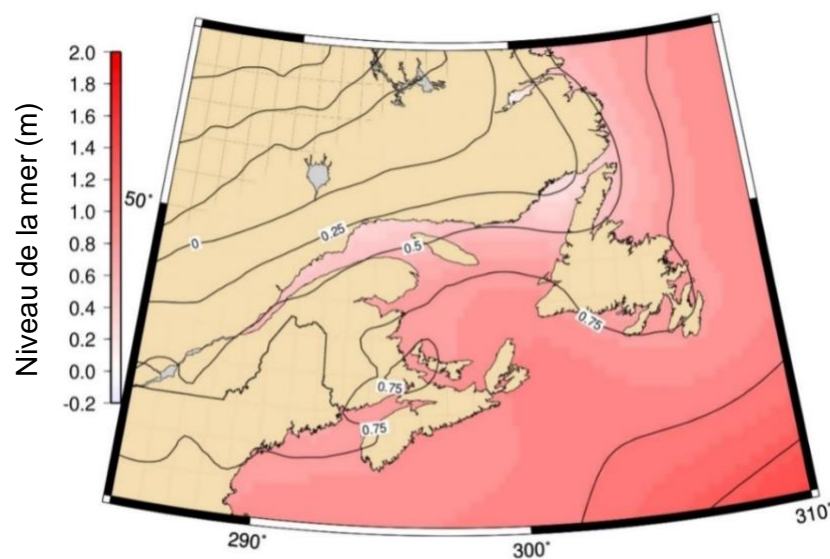


Figure 1.5 Projections de l'élévation relative du niveau de la mer d'ici 2100 selon le RCP 8.5 (d'après James et coll.)²³

Au Canada atlantique, les zones les plus sensibles à l'élévation du niveau de la mer et à ses effets sont situées le long du golfe du Saint-Laurent au Nouveau-Brunswick, sur la côte nord de l'Île-du-Prince-Édouard, sur la côte sud et dans les zones basses de la Nouvelle-Écosse et

²² C. M. I. Robin, M. Craymer, R. Ferland, T. S. James, E. Lapelle, M. Piraszewski et Y. Zhao, *NAD83v70VG: A New National Crustal Velocity Model for Canada* (en ligne), s.l., Géomatique Canada, Dossier public 0062, 2020, <https://doi.org/10.4095/327592>.

²³ T. S. James, C. Robin, J. A. Henton et M. Craymer, *Relative Sea-Level Projections for Canada Based on the IPCC Fifth Assessment Report and the NAD83v70VG National Crustal Velocity Model* (en ligne), s.l., Commission géologique du Canada, Dossier public 8764, 2021, <https://doi.org/10.4095/327878>.



dans la haute baie de Fundy^{24, 25, 26}. L'amplitude des marées de la baie de Fundy va jusqu'à 16 m et l'intensification des marées due à l'élévation du niveau de la mer ne fera qu'accroître ce marnage déjà grand²⁷. Même sans compter l'effet des changements climatiques, l'expansion des marées ajoutera 0,3 m au niveau de la marée haute dans la baie de Fundy au cours du prochain siècle²⁸.

Les effets des changements climatiques sur les vagues et les niveaux d'eau au Canada atlantique accroîtront les risques d'inondation et d'érosion (figure 1.6).

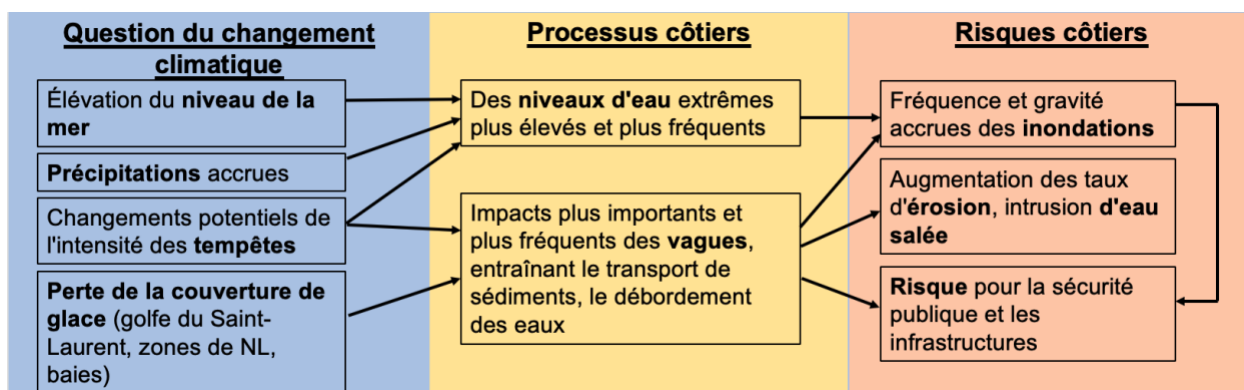


Figure 1.6 Impacts des changements climatiques sur les aléas côtiers (d'après Vincent Leys, CBCL Limited)

²⁴ R. J. Daigle, *Coastal Flooding Issues*, rapport présenté à l'association Solutions d'adaptation aux changements climatiques pour l'Atlantique (SACCA), 2011, 12 p.

²⁵ R. Davidson-Arnott et J. Ollerhead, *Coastal Erosion and Climate Change*, rapport préparé par le ministère de l'Environnement, du Travail et de la Justice de l'Île-du-Prince-Édouard à l'intention de l'association Solutions d'adaptation aux changements climatiques pour l'Atlantique (SACCA), 2011, 41 p.

²⁶ Arlington Group, *Sea Level Rise Adaptation Primer: A Toolkit to Build Adaptive Capacity on Canada's South Coasts*, rapport préparé pour le ministère de l'Environnement de la Colombie-Britannique, 2013, 150 p.

²⁷ F. M. Schauffler, *Municipal Climate Change Adaptation around the Bay of Fundy: Status and Needs*, rapport préparé à l'intention du Gulf of Maine Council on the Marine Environment, 2014, 42 p.

²⁸ D. A. Greenberg, W. Blanchard, B. Smith et E. Barrow, « Climate Change, Mean Sea Level and High Tides in the Bay of Fundy », *Atmosphere-Ocean* (en ligne), 2012, vol. 50, n° 3, p. 261-276, DOI:10.1080/07055900.2012.668670.

2.2 Inondations côtières

L'élévation du niveau de la mer inondera les terres côtières de faible altitude; par ailleurs, le risque d'inondation augmente avec l'intensité croissante des tempêtes²⁹. Lorsque les tempêtes remontent le long de la côte atlantique, les basses pressions, les vents forts, un long fetch (distance parcourue par le vent sans obstruction), les marées et l'orientation de la côte favorisent le développement d'une onde de tempête qui risque de provoquer des inondations importantes. Celles-ci menacent les écosystèmes côtiers, les infrastructures et les collectivités à portée de l'onde de tempête³⁰. Les inondations dues aux ondes de tempête sont toujours problématiques. Cependant, l'élévation du niveau de la mer fera en sorte que des zones auparavant épargnées par les ondes de tempête se retrouveront menacées d'inondation, et l'intensification des tempêtes poussera les ondes de tempête plus loin à l'intérieur des terres. Ces inondations sont les plus importantes lorsque l'onde de tempête frappe à marée haute (figures 1.7; figure 1.8).



Figure 1.7 Étendue de l'inondation due à l'onde de tempête à North Rustico (Î.-P.-É.), les 21 et 22 décembre 2010 (Don Jardine)



Figure 1.8 Ondes de tempête à Louisbourg, N-É pendant le cyclone Fiona, le 24 septembre 2022 (Paul Daroux)

²⁹ R. J. Daigle, *Coastal Flooding Issues*, rapport présenté à l'association Solutions d'adaptation aux changements climatiques pour l'Atlantique (SACCA), 2011, 12 p.

³⁰ K. Woth, R. Weisse et H. von Storch, *Dynamical Modelling of North Sea Storm Surge Extremes under Climate Change Conditions – An Ensemble Study*, Geesthacht (Allemagne), GKSS – Forschungszentrum Geesthacht GmbH, 2005, 31 p., rapport n° 2005/1.



En réponse à l'élévation du niveau des eaux, les systèmes côtiers (marais salés, dunes et plages) migrent naturellement vers l'intérieur des terres. La « compression côtière » survient lorsque ces milieux côtiers naturels ne peuvent migrer^{31, 32, 33, 34} en raison d'une barrière artificielle (digue, route, ouvrage longitudinal) ou naturelle (falaise) qui bloque le passage (figure 1.9). La multiplication des constructions rigides comme les bâtiments, les quais et les routes le long de la côte, a amplifié le phénomène de compression côtière. Les systèmes naturels ainsi piégés ne peuvent migrer au rythme de l'élévation du niveau de la mer et commencent à s'éroder (plages, dunes) ou à être submergés (marais salés). La superficie de précieux écosystèmes côtiers s'en trouve alors réduite^{35, 36, 37, 38}.

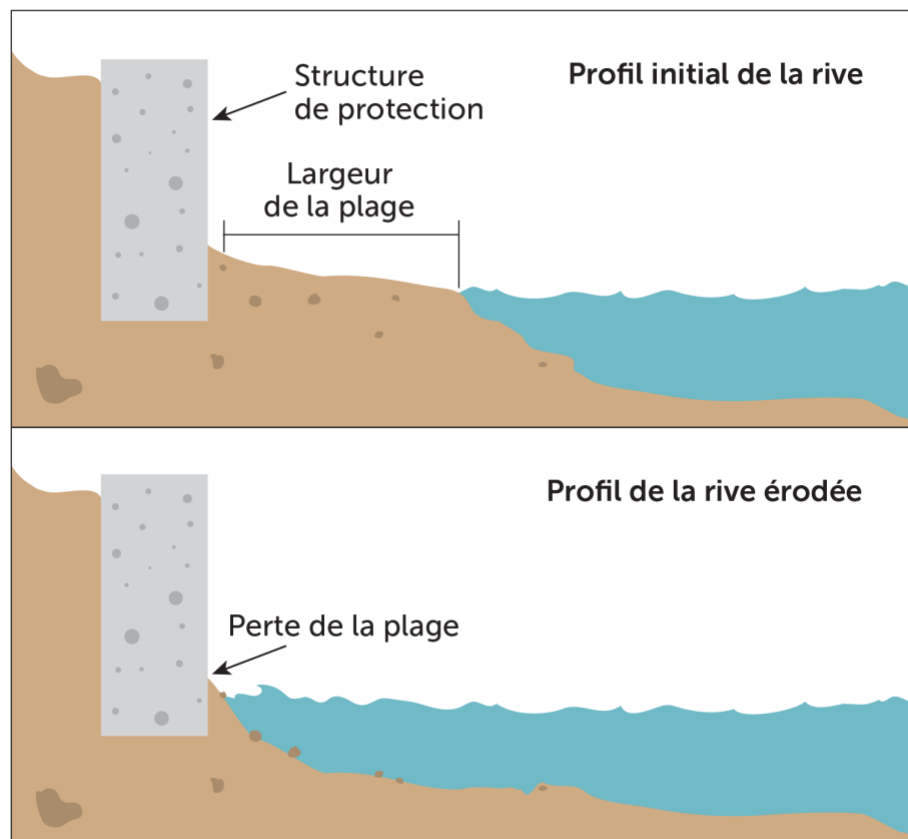


Figure 1.9 Compression côtière contre un ouvrage de protection (modifié d'après Tait et Griggs)³⁹

³¹ J. Doody, « Coastal Squeeze and Managed Realignment in Southeast England, Does It Tell Us Anything about the Future? », *Ocean & Coastal Management*, vol. 79 (2013), p. 34-41.

³² D. D. Torio et G. L. Chmura, « Assessing Coastal Squeeze of Tidal Wetlands », *Journal of Coastal Research*, vol. 29, n° 5 (2013), p. 1049-1061.

³³ P. Bernatchez et C. Fraser, « Evolution of Coastal Defence Structures and Consequences for Beach Width Trends, Québec, Canada », *Journal of Coastal Research*, vol. 28, n° 6 (2012), p. 1550-1566.

³⁴ S. Jolicoeur et S. O'Carroll, « Sandy Barriers, Climate Change and Long-Term Planning of Strategic Coastal Infrastructures, Îles-de-la-Madeleine, Gulf of St. Lawrence (Québec, Canada) », *Landscape and Urban Planning*, vol. 81 (2007), p. 287-298.

³⁵ J. Doody, « Coastal Squeeze and Managed Realignment in Southeast England, Does It Tell Us Anything about the Future? », *Ocean & Coastal Management*, vol. 79 (2013), p. 34-41.

³⁶ D. D. Torio et G. L. Chmura, « Assessing Coastal Squeeze of Tidal Wetlands », *Journal of Coastal Research*, vol. 29, n° 5 (2013), p. 1049-1061.

³⁷ P. Bernatchez et C. Fraser, « Evolution of Coastal Defence Structures and Consequences for Beach Width Trends, Québec, Canada », *Journal of Coastal Research*, vol. 28, n° 6 (2012), p. 1550-1566.

³⁸ S. Jolicoeur et S. O'Carroll, « Sandy Barriers, Climate Change and Long-Term Planning of Strategic Coastal Infrastructures, Îles-de-la-Madeleine, Gulf of St. Lawrence (Québec, Canada) », *Landscape and Urban Planning*, vol. 81 (2007), p. 287-298.

³⁹ J. F. Tait et G. B. Griggs, *Beach Response to the Presence of a Seawall; Comparison of Field Observations*, préparé pour le U.S. Army Corps of Engineers, Department of the Army, 1991, p. 61-62.

2.3 Érosion côtière

La région est également à haut risque d'érosion côtière, l'élévation du niveau de la mer entraînant l'incursion plus profonde de l'action des vagues et des marées dans les terres. La vulnérabilité à l'érosion dépend principalement de la composition géologique du littoral, certains matériaux résistant mieux que d'autres (par exemple, granit contre sol meuble). L'exposition aux vagues, la formation de glace en hiver, l'alternance gel et dégel en hiver et au printemps, ainsi que le drainage des eaux intérieures sont autant de facteurs qui ont une incidence sur l'érosion. Des pans entiers de la côte atlantique de la Nouvelle-Écosse (en particulier le Cap-Breton) et de Terre-Neuve-et-Labrador sont constitués d'un substrat rocheux résistant qui s'érode très lentement sur des décennies, mais il accentue le ruissellement et peut aggraver les inondations intérieures. En revanche, l'Île-du-Prince-Édouard est principalement constituée de grès très sensible à l'érosion⁴⁰. La côte du golfe du Saint-Laurent au Nouveau-Brunswick et plusieurs zones de la côte de la Nouvelle-Écosse (en particulier celle du détroit de Northumberland, de la baie de Fundy et de la côte Est) sont également susceptibles à l'érosion.

Chaque site a sa géologie et ses processus côtiers propres, mais on dégage les tendances suivantes en ce qui trait aux impacts côtiers des changements climatiques dans la région de l'Atlantique :

- Les plus fortes ondes de tempête surviennent dans le détroit de Northumberland, où l'amplitude des marées est relativement limitée. Par conséquent, une forte onde de tempête entraîne des impacts à la plupart des stades de la marée. Il en est ainsi pour la côte Nord de la Nouvelle-Écosse, l'Île-du-Prince-Édouard et l'Est du Nouveau-Brunswick, qui continueront à subir les ondes de tempête avec l'élévation du niveau de la mer.
- Le gigantesque marnage de la baie de Fundy réduit en quelque sorte la probabilité qu'une onde de tempête frappe à marée haute et cause des dommages. Toutefois, dans les rares cas où une onde de tempête frapperait à marée extrêmement haute, les impacts risquent d'être particulièrement forts.
- Le golfe du Saint-Laurent sera touché par la perte de la couverture de glace de mer et l'augmentation correspondante de l'effet des vagues et de l'érosion en hiver.
- De récentes prévisions indiquent que les conditions météorologiques extrêmes, pourtant coutumières au Canada atlantique, augmenteront en force et en fréquence. Au cours des vingt dernières années, trois saisons des ouragans sur quatre étaient plus actives que la moyenne. Au contact des eaux froides au large de la région, les ouragans perdent généralement de la force et sont déclassés. Le réchauffement des océans permettra toutefois aux ouragans de conserver leur force⁴¹. En 2010-2011, des ouragans ont touché terre à Terre-Neuve-et-Labrador deux années de suite pour la première fois dans l'histoire de la province. En 2022, l'ouragan Fiona a touché terre en Nouvelle-Écosse en qualité de cyclone extratropical avec des vents soutenus

⁴⁰ R. Davidson-Arnott et J. Ollerhead, *Coastal Erosion and Climate Change*, rapport préparé par le ministère de l'Environnement, du Travail et de la Justice de l'Île-du-Prince-Édouard à l'intention de l'association Solutions d'adaptation aux changements climatiques pour l'Atlantique (SACCA), 2011, 41 p.

⁴¹ Province de Terre-Neuve-et-Labrador, *Turn Back the Tide: Impacts of Climate Change* (en ligne), site Web de l'Office of Climate Change and Energy Efficiency, 2013, <http://www.turnbackthetide.ca/understanding/impacts-of-climate-change.shtml#.VJLPnvv3Gf4>, consulté en décembre 2014.

comparables à ceux d'un ouragan de catégorie 2, ce qui en fait vraisemblablement la plus forte tempête de l'histoire du Canada eut égard à la pression barométrique⁴².

Le « sapement » est un type d'érosion qui se produit lorsque les vagues frappent le bas (pied) d'une falaise, d'un escarpement ou d'une berge (figure 6.14). La perte de sédiments occasionnée affaiblit le pied de la falaise ou de l'escarpement, qui risquent ainsi de s'affaisser ou de s'effondrer sous son propre poids. L'érosion

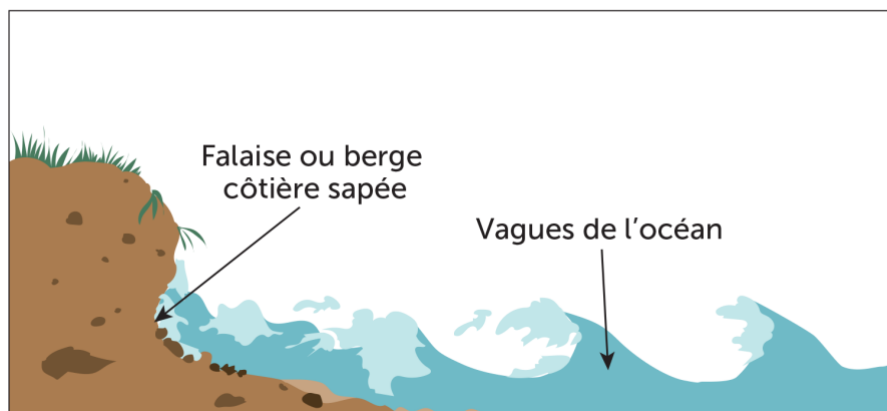


Figure 1.10 Érosion par sapement dû aux vagues (modifié d'après Nelson)

peut également se produire lorsque l'eau s'infiltré et s'écoule dans la paroi des falaises et escarpements à partir du sol situé au-dessus, en particulier lors de pluies fortes. L'eau s'accumulant au-dessus commence à s'infiltrer et à creuser, créant ainsi des réseaux de drainage naturel à travers le sol. Ces rigoles et ravines peuvent causer des dommages considérables aux formations côtières érosives (figure 1.11). Un effet de renard (dû à l'infiltration d'eau souterraine) peut survenir dans la paroi exposée là où l'eau souterraine suinte de la paroi de l'escarpement.

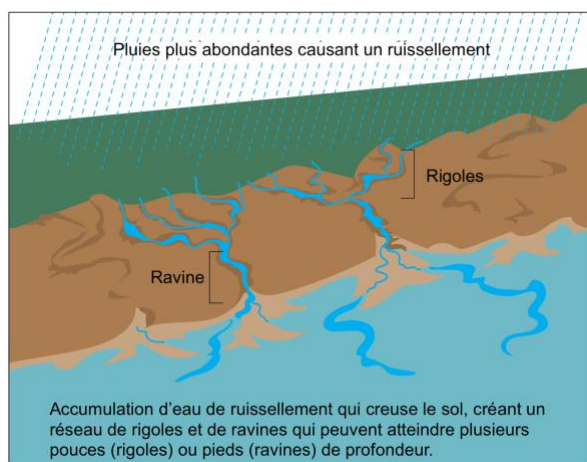


Figure 1.11a Érosion par ravinement (modifié d'après Northern Virginia Soil and Water Conservation District) et 1.11b exemple de ravinement à l'Î.-P.-É. (Samantha Page)

⁴² C. Fogarty, R. Mercer et J.-M. Couturier, « Bulletin d'information sur les cyclones tropicaux pour l'Est du Canada mis à jour par Environnement Canada à 18h43 HAA le dimanche 25 septembre 2022 », *Environnement Canada* (en ligne), consulté le 10 octobre 2022.

L'élévation du niveau de la mer due aux changements climatiques risque d'accroître le sapement en permettant à des vagues plus nombreuses et plus grandes d'atteindre plus souvent le pied des falaises et escarpements. Les hautes falaises de roche dure verront simplement l'érosion s'accroître dans la partie érosive, tandis que le sapement des escarpements et falaises de roche plus friable provoquera une augmentation générale de leur taux d'érosion. Cette situation touche particulièrement les propriétés et les infrastructures situées aux abords de leur sommet. Les restrictions, les marges de recul et le retrait sont autant de mesures d'adaptation de l'aménagement du territoire pour assurer la sécurité des personnes⁴³.

⁴³ R. Davidson-Arnott, B. Bauer et C. Houser, *Introduction to Coastal Processes and Geomorphology*, 2^e éd., Cambridge (R.-U.), Cambridge University Press, 2019.



Chapitre 3 : Stratégies d'adaptation

Les habitants des collectivités côtières du Canada atlantique en ont vu d'autres lorsqu'il s'agit de faire face aux ondes de tempête, aux inondations et à l'érosion. L'élévation du niveau de la mer due aux changements climatiques aggravera ces problèmes (inondations, érosion) en modifiant les processus côtiers (vagues, niveaux d'eau) et en intensifiant les tempêtes et les risques pour les collectivités côtières^{44,45,46}. Afin de réduire le risque d'aléas côtiers, les collectivités doivent accroître leur capacité à répondre aux sinistres, à se rétablir et à s'adapter aux changements à venir. Cette capacité de réponse, de rétablissement et d'adaptation est appelée résilience. L'information sur les stratégies de gestion des côtes contribue à renforcer la résilience.

Des études montrent que la prévention des aléas côtiers comme les inondations et l'érosion ou la planification de l'adaptation à leurs effets permettent aux collectivités de réduire les coûts liés à ces problèmes^{47,48,49,50}. Il vaut la peine de démarrer le processus dès que possible, car la mise en œuvre d'une stratégie d'adaptation exige du temps et des efforts considérables de la part des décideurs et des intervenants dans la collectivité.

Quatre stratégies principales s'offrent pour l'adaptation aux changements climatiques en zone côtière : **évitement, retrait, aménagement adaptatif et protection**. Pour chacune de ces stratégies, on utilisera divers outils techniques et d'aménagement du territoire, qui se divisent en différentes catégories : renforcement des capacités, cadre d'aménagement, réglementation et changement d'utilisation des terres – y compris les outils d'aménagement de site pour la planification de l'utilisation des terres –, gestion de l'érosion, gestion des inondations et outils hybrides d'intervention de génie côtier. Le tableau 3.1 résume les catégories d'outils. Ces mêmes catégories d'outils se retrouvent dans les compléments d'orientation, *Partie 2 – Moyens d'adaptation : outils d'aménagement du territoire* et *Partie 3 – Options d'intervention en zone côtière et considérations techniques*.

Adaptation : dans les systèmes humains, processus d'ajustement au climat réel ou prévu et à ses effets pour atténuer les dommages ou exploiter les occasions favorables; dans les systèmes naturels, processus d'ajustement au climat réel et à ses effets, un processus qui peut être facilité par l'intervention humaine.⁴⁴

⁴⁴ IPCC, 2022: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Pörtner, H.-O.; Roberts, D.C.; Tignor, M.; Poloczanska, E.S.; Mintenbeck, K.; Alegria, A.; Craig, M.; Langsdorf, S.; Löschke, S.; Möller, V.; Okem, A.; and Rama, B. (eds.)]. Cambridge University Press. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 3056 pp

⁴⁵ O. D. Cardona, M. K. van Aalst, J. Birkmann, M. Fordham, G. McGregor, R. Perez, R. S. Pulwarty, E. L. F. Schipper et B. T. Sinh, « Determinants of Risk: Exposure and Vulnerability » dans C. B. Field, V. Barros, T. F. Stocker, D. Qin, D. J. Dokken, K. L. Ebi, M. D. Mastrandrea, K. J. Mach, G.-K. Plattner, S. K. Allen, M. Tignor et P. M. Midgley, dir., *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*, Cambridge (R.-U.), 2012, p. 65-108.

⁴⁶ A. Magnan, « Avoiding Maladaptation to Climate Change: Towards Guiding Principles », *S.A.P.I.E.N.S* (en ligne), 2014, vol. 7, n° 1, <https://sapiens.revues.org/1680>.

⁴⁷ Table ronde nationale sur l'environnement et l'économie (TRNEE), *Le prix à payer : répercussions économiques du changement climatique pour le Canada*, Ottawa (Ont.), TRNEE, 2011, 176 p.

⁴⁸ A. Brown, M. Gawith, K. Lonsdale et P. Pringle, *Managing Adaptation: Linking Theory and Practice*, Oxford (R.-U.), UK Climate Impacts Programme, 2011.

⁴⁹ M. M. Linham et R. J. Nicholls, *Les technologies pour l'adaptation au changement climatique : l'érosion et l'inondation des côtes*, Roskilde (Danemark), Centre Risoe du PNUE sur le climat, l'énergie et le développement durable, 2010, 184 p.

⁵⁰ R. J. Nicholls, P. P. Wong, V. R. Burkett, J. Codignotto, J. Hay, R. McLean, S. Ragoonaden et C. D. Woodroffe, « Coastal Systems and Low-Lying Areas », dans M. L. Parry, O. F. Canziani, J. P. Palutikof, P. J. van der Linden et C. E. Hanson, dir., *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge (R.-U.), Cambridge University Press, 2007, p. 315-356.

Les sections qui suivent insistent sur l'importance de bien comprendre les risques et décrivent les quatre stratégies d'adaptation, avec des exemples illustrés pour chacune. On décrit également les outils à l'appui des stratégies. Un outil peut faire partie de plusieurs stratégies. On peut par exemple jumeler les rondins de fibres de coco, les seuils, les épis ou les brise-lames à du sable ou à d'autres matériaux naturels, ou encore aux plantes des marais – véritable défense côtière vivante – en guise d'« aménagement adaptatif » et de « protection » des terres côtières et de leurs utilisations par la stabilisation de la ligne de rivage et la réduction de la force des vagues qui l'atteignent.

Les outils d'intervention et d'aménagement peuvent s'employer seuls ou en association en vue d'accroître l'efficacité de chacun. Par exemple, un ouvrage longitudinal offrira une protection temporaire le temps qu'un programme d'acquisition foncière permette de déménager les structures sur des terres plus élevées et plus sûres. Le plan d'adaptation aux changements climatiques d'une collectivité donnée comprendra des stratégies et des outils variés pour relever différents défis^{51, 52}. Les solutions dépendent du site en question et requièrent l'association de plusieurs méthodes.

Tableau 3.1 Outils d'aménagement du territoire et moyens techniques d'adaptation aux changements climatiques sur la côte

Outils d'aménagement du territoire (consulter la Partie 2 – Moyens d'adaptation : outils d'aménagement du territoire)
Renforcement des capacités : améliorer la connaissance et la compréhension personnelles et collectives du milieu côtier environnant, y compris les habitats côtiers, les impacts des changements climatiques, la vulnérabilité et les risques, ainsi que les actifs de la collectivité et son habileté à prendre de bonnes décisions et à bien réagir aux dangers et aux occasions que créent les changements climatiques.
Cadres d'aménagement : permettre aux gouvernements locaux et régionaux d'orienter, de mettre en œuvre et d'administrer les plans d'aménagement du territoire et d'urgence.
Réglementation et changement d'utilisation des terres : permettre aux collectivités de réglementer l'utilisation et la subdivision des terres ou d'en modifier l'utilisation ou la propriété.
Aménagement de site : permettre aux collectivités d'intégrer les caractéristiques du site dans leurs plans.
Interventions de génie côtier (consulter la Partie 3 – Options d'intervention en zone côtière et considérations techniques)
Gestion de l'érosion : réduire ou prévenir l'érosion dans la zone côtière.
Gestion des inondations : réduire ou prévenir les effets des inondations dans la zone côtière.
Gestion de l'érosion et des inondations : réduire ou prévenir à la fois l'érosion et les inondations.

⁵¹ V. Leys, S. v. d. Heuvel et A. Kaji, *Boîte à outils d'adaptation côtière, S'adapter aux changements climatiques pour les communautés côtières des Provinces de l'Atlantique, Canada. Partie 3. Options d'intervention en zone côtière et considérations techniques*, Halifax (N.-É.), CLIMAtlantic, 2023, <https://climatatlantic.ca/fr/outil-dadaptation-cotiere-2/>

⁵² P. Manuel et M. DeVidi, *Boîte à outils d'adaptation côtière, S'adapter aux changements climatiques pour les communautés côtières des Provinces de l'Atlantique, Canada. Partie 2. Options d'outils d'aménagement du territoire pour s'adapter*, Halifax (N.-É.), CLIMAtlantic, 2023, <https://climatatlantic.ca/fr/outil-dadaptation-cotiere-2/>

3.1 Compréhension du risque

L'amélioration de la compréhension du risque passe par des projets et des activités visant à éduquer la population sur les changements climatiques et leurs impacts sur les collectivités et les milieux côtiers; à collecter des données locales et climatiques sur la côte afin d'orienter les choix de mesures d'adaptation locale; à rendre l'information disponible et facile à comprendre (sous forme de cartes, par exemple); à informer les collectivités pour fortifier leur résilience face aux changements climatiques au moyen de politiques d'utilisation des terres et de plans d'aménagement du territoire et des collectivités. Ces activités peuvent être réalisées de façon indépendante (un programme d'éducation, par exemple), mais elles viennent généralement appuyer les autres stratégies ou encadrer la planification de l'adaptation.

Cette stratégie fait intervenir les outils d'adaptation suivants : renforcement des capacités, cadre d'aménagement, réglementation et changement d'utilisation des terres, aménagement de site. Ces mêmes catégories d'outils interviennent également dans l'aménagement adaptatif, le retrait et l'évitement.

Tableau 3.2 Outils permettant de comprendre le risque

Outils d' aménagement du territoire	Renforcement des capacités	Collecte de données et cartographie
		Partenariats
		Comités locaux
		Évaluation de la vulnérabilité
		Cartographie des biens publics
		Éducation
		Projection dans l'avenir
		Engagement communautaire
	Cadre d' aménagement	Préparation aux situations d'urgence
		Plan régional (non prévu par la loi), politique d'utilisation des terres
		Plan intégré de viabilité communautaire
		Plan d'action et d'adaptation face aux changements climatiques
		Plan de gestion des côtes et du littoral
		Plan de gestion des bassins hydrographiques
		Acquisition de territoires stratégiques (réserve foncière)
		Politique sur les milieux humides
	Réglementati on et changement d' utilisation des terres	Réglementation des milieux humides
		Plan d'urbanisme prévu par la loi
		Incitatifs fiscaux ou subventions au développement
		Location de l'avant-plage
Aménageme nt de site	Système de cotation pour l'aménagement côtier	
	Surveillance du site	



Exemple du lac Bras d'Or, au Cap-Breton (Nouvelle-Écosse)

Des scientifiques de la Commission géologique du Canada ont étudié et cartographié les structures géographiques et géologiques côtières, y compris celles submergées de la baie est du lac Bras d'Or. Ils ont présenté leurs travaux dans *Sensitivity of the Coasts of the Bras d'Or Lakes to Sea Level Rise*⁵³. La collecte de données, la cartographie et les études scientifiques sont des outils de renforcement des capacités qui appuient la planification de l'adaptation. L'étude décrit les tendances passées et futures du niveau de la mer et propose une classification des côtes en systèmes de falaises, de plages, d'affleurements, de végétation et de barrières. On décrit les impacts potentiels de l'élévation du niveau de la mer sur chacun, en accordant une attention particulière aux systèmes de barrières vu la complexité de leur formation, de leur dégradation et de leur reformation. On propose d'étudier les stratégies de retrait, d'aménagement adaptatif et de protection du milieu côtier de la baie est en tenant compte des caractéristiques et des processus de chaque système côtier⁵⁴.

Exemple des Îles-de-la-Madeleine

Les Îles-de-la-Madeleine sont vulnérables aux aléas côtiers, notamment à l'érosion. La géomorphologie côtière de ces îles ressemble beaucoup à celle des côtes du Nouveau-Brunswick, de la Nouvelle-Écosse et de l'Île-du-Prince-Édouard, qui sont menacées par des aléas comparables. Le recul du trait de côte menace les infrastructures en plusieurs endroits. Citons à ce titre le principal réseau routier de l'archipel (route 199), (figure 1.12) et les bassins d'épuration des eaux usées de la collectivité principale. Dans son *Plan directeur*, la municipalité des Îles-de-la-Madeleine relève 23 zones d'érosion où l'on juge nécessaire d'intervenir⁵⁵. Afin de tenir compte des changements futurs du climat, Bernatchez et coll.⁵⁶ proposent trois projections de la position du trait de côte (horizon 2050), basées sur les taux d'érosion historiques et calculées à partir de photographies aériennes. La cartographie des trois hypothèses du trait de côte a permis aux intervenants, aux scientifiques et aux groupes de travail de choisir les moyens d'adaptation pour les sites prioritaires ciblés.

Il en est ressorti que l'érosion côtière exacerbée par les changements climatiques est un problème chronique et grave aux Îles-de-la-Madeleine.

⁵³ J. Shaw, R. B. Taylor, E. Patton, D. P. Potter, G. Parkes et S. Hayward, *Sensitivity of the Coasts of the Bras d'Or Lakes to Sea-Level Rise*, rapport préparé pour la Commission géologique du Canada (Atlantique) par l'Institut océanographique de Bedford, 2006, 99 p.

⁵⁴ *Ibid.*

⁵⁵ Municipalité des Îles-de-la-Madeleine, *Plan d'urbanisme : Règlement n° 2010-24* (en ligne), Municipalité des Îles-de-la-Madeleine, 2010, 60 p., <https://www.muniles.ca/wp-content/uploads/2021/10/2010-24-Plan-durbanisme.pdf>.

⁵⁶ P. Bernatchez, C. Fraser, S. Friesinger, Y. Jolivet, S. Dugas, S. Drezja et A. Morissette, *Sensibilité des côtes et vulnérabilité des communautés du golfe de Saint-Laurent aux impacts des changements climatiques*, Rimouski (Qué.), Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières, Université du Québec à Rimouski, 2008.





Figure 1.12 Île du Havre-aux-Maisons, îles de la Madeleine, 2012 (Philip Giles, Université Saint Mary's)

En 2016, la municipalité des Îles-de-la-Madeleine a créé une commission permanente sur l'érosion des berges⁵⁷. Cette commission a défini six sites prioritaires sur l'archipel pour y contrôler l'érosion : le site historique de La Grave, le centre-ville de Cap-aux-Meules, l'île d'Entrée, le chemin de Gros-Cap, le parc de Gros-Cap et l'ancien dépotoir du village de Fatima⁵⁸. En 2022, les mesures de gestion de l'érosion avaient été financées pour quatre des six sites⁵⁹. Le site historique de La Grave a fait l'objet d'une recharge en gravier en 2022, grâce au financement combiné du ministère de la Sécurité publique, du ministère des Transports et de la Mobilité durable du Québec et de la municipalité⁶⁰. Le ministère du Tourisme a annoncé le financement de mesures de protection au parc de Gros-Cap. Le ministère des Transports et de la Mobilité durable du Québec finance les mesures de protection (et la recharge de gravier) au centre-ville de Cap-aux-Meules et le long du chemin du Gros-Cap⁶¹. Il a également annoncé le financement de projets au-delà des sites prioritaires définis par la commission, notamment la protection de la route 199⁶², seule route reliant les principales îles de l'archipel entre elles, ce qui en fait une infrastructure essentielle.

⁵⁷ Municipalité des Îles-de-la-Madeleine, « Érosion des berges : Une commission permanente sera bientôt créée », *Ilesdelamadeleine.com* (en ligne), 2016, <https://www.ilesdelamadeleine.com/2016/06/erosion-des-berges-une-commission-permanente-sera-bientot-creee/>.

⁵⁸ P. Grenier, « Érosion aux Îles-de-la-Madeleine : "un éternel recommencement" », *Radio-Canada* (en ligne), 2018, <https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/1085665/berges-cap-aux-meules-la-grave-changement-climatique-havre-aubert>.

⁵⁹ H. Fautaux, « Érosion : les Îles-de-la-Madeleine ont perdu plus de 8 mètres depuis 2005 », *Le Journal de Montréal* (en ligne), 2022, <https://www.journaldemontreal.com/2022/06/12/erosion-les-iles-de-la-madeleine-ont-perdu-plus-de-8-metres-depuis-2005>.

⁶⁰ Municipalité des Îles-de-la-Madeleine, « Site historique de La Grave : Les travaux de recharge de plage sont terminés », *Ilesdelamadeleine.com* (en ligne), 2022, <https://www.ilesdelamadeleine.com/2022/06/site-historique-de-la-grave-les-travaux-de-recharge-de-plage-sont-termines/>.

⁶¹ I. Larose, « Québec finance un autre projet de lutte contre l'érosion aux Îles-de-la-Madeleine », *Radio Canada* (en ligne), 2022, <https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/1855518/erosion-iles-de-la-madeleine-chantier-grop-cap-report-echeancier-falaises-ca-meules>.

⁶² I. Larose, « Plus de 50 M\$ investis pour contrer l'érosion des îles de la Madeleine depuis 2018 », *Radio Canada* (en ligne), 2022, <https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/1868049/chantier-protection-erosion-iles-madeleine-mtq-50-millions-municipalite-la-grave-falaise-cap-meules>.



3.2 Évitement

L'évitement est une stratégie visant à décourager ou à empêcher l'aménagement de lieux dangereux ou appelés à le devenir. Cette stratégie exige de repérer de telles zones et d'évaluer le risque qu'elles présentent pour l'aménagement futur. Cet évitement peut avoir des bénéfices collatéraux comme protéger les milieux et faciliter l'accès public à la côte.

Tableau 3.3 Outils d'évitement

Outils d'aménagement du territoire	Cadre d'aménagement	Plan régional (non prévu par la loi), politique d'utilisation des terres
		Plan intégré de viabilité communautaire
		Plan d'action et d'adaptation face aux changements climatiques
		Plan de gestion des côtes et du littoral
		Plan de gestion des bassins hydrographiques
		Acquisition de territoires stratégiques (réserve foncière)
		Politique sur les milieux humides
	Réglementation et changement d'utilisation des terres	Réglementation des milieux humides
		Plan d'urbanisme prévu par la loi
		Incitatifs fiscaux ou subventions au développement
		Zonage
		Marges de recul
		Règlements ou arrêtés sur le lotissement
		Transfert de crédits au développement
		Échange de terres
		Normes d'aménagement
		Ententes relatives à l'aménagement
		Conversion et réaménagement du territoire
		Fiducie foncière
		Servitudes révisables
		Servitudes de conservation
		Lois de conservation
	Aménagement de site	Normes d'urbanisme
		Gestion des eaux pluviales
		Aménagement de lotissements de conservation

Exemple de la Nouvelle-Écosse

Certaines municipalités de la Nouvelle-Écosse ont fixé des marges de recul afin d'éviter l'aménagement de sites jouxtant les cours d'eau et les milieux humides côtiers. Les marges établies vont de la restriction totale du développement (Yarmouth, Argyle) à aucune restriction (Digby, comté de Colchester). Les marges sont typiquement de 10 à 30 mètres des cours d'eau ou des milieux humides côtiers et dans certains cas, on impose des marges verticales prescrivant la hauteur des bâtiments au-dessus du niveau de la mer⁶³.

À l'échelle provinciale, la loi sur la protection du littoral, adoptée en 2019, crée une zone côtière protégée où des marges de recul verticales et horizontales propres à chaque site s'appliquent avec un horizon de planification de 80 ans. La marge de recul verticale, ou élévation minimale des bâtiments au-dessus du niveau moyen de la mer, vise à réduire les risques d'inondation. Elle s'ajuste aux marées locales et à l'élévation relative prévue du niveau de la mer et laisse un jeu pour les ondes de tempête. La marge de recul horizontale vise à réduire les risques d'érosion et fixe une distance horizontale minimale vers l'intérieur des terres au-delà de la laisse de haute mer. Elle dépend du site et des conditions locales déterminées par un expert désigné – érodabilité, stabilité des pentes et élévation du niveau de la mer – et ne peut dépasser la limite fixée pour la zone côtière protégée. En outre, sur une distance horizontale de 80 à 100 mètres à partir de la laisse de haute mer, on exigera l'évaluation de toute nouvelle construction et, possiblement, de toute modification substantielle à une construction existante; le permis de construction dans cette zone ne sera délivré qu'après l'évaluation⁶⁴.

⁶³ E. Tipton, *Coastal Management Strategy: The Municipality of the District of Shelburne Integrated Community Sustainability Plan*, 2012, 42 p.

⁶⁴ Nouvelle-Écosse, Ministère de l'Environnement et du Changement climatique, *Partie 2 : Guide détaillé du règlement proposé de la loi sur la protection du littoral (Coastal Protection Act)* (en ligne), 2021, <https://novascotia.ca/coast/docs/part-2-detailed-guide-to-proposed-Coastal-Protection-Act-Regulations-fr.pdf>.



3.3 Retrait (« déplacement de la ligne »)

Le retrait est une stratégie qui consiste à déplacer résidents et infrastructures des zones côtières dangereuses vers des zones plus sûres. Il s'agit d'une stratégie d'adaptation à long terme. Elle accroît la sécurité publique et permet d'éviter de remplacer les mesures de protection coûteuses au fil du temps.

Le retrait peut être délibéré et planifié, mais il peut résulter de l'abandon ou du « laisser aller » d'une propriété, d'une structure ou d'un usage de manière non planifiée, possiblement délibérée. Le retrait planifié peut supposer le déplacement d'une partie de l'infrastructure ou de l'aménagement menacé en un autre point de la même propriété. On peut laisser les terres « abandonnées » évoluer naturellement vers un état d'équilibre; ou encore intervenir pour favoriser la restauration des habitats et des écosystèmes côtiers naturels (restauration des marais salés ou des dunes).

Le retrait à l'échelle locale peut toucher des infrastructures publiques (usines de traitement des eaux, routes, espaces publics) ou des propriétés privées (maisons, chalets, granges, etc.). On peut aussi avoir à déplacer des collectivités entières ou en partie en raison du risque futur d'érosion ou d'inondation. Ce retrait à grande échelle est plus complexe. Il est souvent de nature politique et nécessite l'accord de multiples intervenants. On doit en l'occurrence disposer d'espace de relocalisation, ce qui n'est pas le cas dans certaines régions.

Tableau 3.4 Outils de relocalisation

Outils d'aménagement du territoire	Outils d'aménagement du territoire	Plan régional/rural (non prévu par la loi), politique d'utilisation des terres
		Plan intégré de viabilité communautaire
		Plan d'action et d'adaptation face aux changements climatiques
		Plan de gestion des côtes et du littoral
		Plan de gestion des bassins hydrographiques
		Acquisition de territoires stratégiques (réserve foncière)
		Politique sur les milieux humides
	Réglementation et changement d'utilisation des terres	Réglementation des milieux humides
		Plan d'urbanisme prévu par la loi
		Zonage
		Marges de recul
		Échange de terres
		Conversion et réaménagement du territoire
		Fiducie foncière
		Servitudes révisables
		Servitudes de conservation
		Retrait planifié
		Abandon

Interventions de génie côtier	Relocalisation et abandon permettant au système côtier naturel de se réajuster moyennant une intervention minimale
	Relocalisation avec restauration de l'habitat (marais salés, dunes) ou solutions douces ou hybrides

Exemple de Le Goulet (Nouveau-Brunswick)

Le Goulet est un village de pêche côtière du nord-est du Nouveau-Brunswick. Il se situe en terrain plat et de faible altitude, ce qui rend la collectivité très vulnérable à l'élévation du niveau de la mer, à l'intensification des ondes de tempête et aux inondations (figure 1.13). Ces dernières années, la collectivité a enclenché des processus de planification de l'adaptation aux changements climatiques pour faire face à leurs impacts.



Figure 1.13 Restauration de dunes à Le Goulet (N.-B.) (Jenna Miller)

Premier processus de planification de l'adaptation

Le premier de trois cycles de planification de l'adaptation a débuté en 2007, guidé par des experts des changements climatiques de l'Université de Moncton⁶⁵. Au moyen de présentations publiques et de groupes de discussion, la collectivité a identifié deux grands moyens d'adaptation : un retrait volontaire planifié doublé d'une restauration des dunes et de la modification du règlement de zonage municipal ou la construction d'un ouvrage longitudinal de 3,8 kilomètres de long⁶⁶. Bien que plus compliqué et contesté par certains résidents, le retrait a été jugé plus rentable et avantageux en raison de doutes quant à l'efficacité d'un ouvrage longitudinal pour prévenir les inondations et la contamination des puits d'eau potable des

⁶⁵ G. R. A. Richardson, *S'adapter aux changements climatiques : une introduction à l'intention des municipalités canadiennes* (en ligne), Ottawa (Ont.), Ressources naturelles Canada, 2010, https://www.nrcan.gc.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/files/earthsciences/pdf/mun/pdf/mun_f.pdf, consulté le 21 décembre 2015.

⁶⁶ *Ibid.*

maisons à faible altitude⁶⁷. Les discussions communautaires ont également permis d'identifier les ressources essentielles à une prise de décision éclairée. Les délibérations ont permis de cerner des besoins immédiats : « (1) la conception d'une carte numérique des risques selon l'élévation superposant les scénarios d'impacts des changements climatiques (inondations et érosion), les caractéristiques topographiques et les infrastructures existantes; (2) une étude modélisant les impacts d'un ouvrage longitudinal ou d'une digue sur l'érosion côtière et l'incursion d'eau salée; et (3) une analyse de coûts détaillée des différentes mesures d'adaptation. »⁶⁸ Le partenariat université-collectivité a réussi à lancer un débat important sur l'avenir du village et à mobiliser ses habitants.

Règlement de zonage novateur

En 2009, à la suite du premier cycle de planification de l'adaptation, le règlement de zonage du village a été modifié par la Commission du district d'aménagement de la Péninsule acadienne (commission locale d'aménagement) afin d'empêcher tout aménagement inadapté dans les zones inondables, où les impacts des changements climatiques sont considérés comme un risque majeur dont les promoteurs doivent tenir compte dans leurs plans^{69, 70}.

Deuxième processus de planification de l'adaptation

En 2010, Le Goulet a participé au projet de la Péninsule acadienne de l'Association pour les solutions d'adaptation aux changements climatiques pour l'Atlantique (ASACCA), qui fait partie de l'Initiative de collaboration pour l'adaptation régionale pour l'Atlantique (IRAC). Ce projet a conduit à la création de différents outils pour aider les décideurs à gérer les problèmes d'érosion et d'inondation côtière, notamment : des projections localisées de l'élévation du niveau de la mer et des ondes de tempête⁷¹, une base de données des infrastructures identifiant les zones menacées en fonction de divers scénarios d'érosion et d'inondation⁷², un modèle d'élévation basé sur des données lidar, et des cartes représentant les scénarios d'inondation, d'érosion de la ligne de rivage et d'accrétion (accumulation progressive) sur celle-ci⁷³. Ces outils et cartes ont ensuite été validés et utilisés par différents groupes de travail pour émettre des recommandations de zonage en vue de la création de zones de retrait et

⁶⁷ Capozzi, R. Communication personnelle de la part de M. Aubé de l'Institute of Coastal Zone Management, Université de Moncton, Shippagan, 21 décembre 2015. (en anglais)

⁶⁸ G. R. A. Richardson, *S'adapter aux changements climatiques : une introduction à l'intention des municipalités canadiennes* (en ligne), Ottawa (Ont.), Ressources naturelles Canada, 2010, https://www.nrcan.gc.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/files/earthsciences/pdf/mun/pdf/mun_f.pdf, consulté le 21 décembre 2015.

⁶⁹ *Ibid.*

⁷⁰ Ressources naturelles Canada, *Plan d'adaptation aux changements climatiques de Le Goulet* (en ligne), 2014, <https://www.nrcan.gc.ca/changements-climatiques/impacts-adaptation/plan-dadaptation-aux-changements-climatiques-de-le-goulet/16300>.

⁷¹ R. Daigle, *Sea-Level Rise Estimates for New-Brunswick Municipalities: Le Goulet, Saint John, Richibucto, Sackville, Shippagan, Caraquet* (en ligne), rapport préparé pour l'association Solutions d'adaptation aux changements climatiques pour l'Atlantique, 2011, 18 p., <https://atlanticadaptation.ca/en/islandora/object/acasa%3A696>.

⁷² A. Robichaud, I. Simard, A. Doiron et M. Chelbi, *Infrastructures à risque dans trois municipalités de la Péninsule acadienne* (en ligne), rapport préparé pour l'association Solutions d'adaptation aux changements climatiques pour l'Atlantique, 2011, 56 p., https://adaptationpa.ca/images/PDF_-_Progression/R-Infrastructures_%C3%A0_risque_%C3%A0_Le_Goulet_Shippagan_et_Bas-Caraquet.pdf.

⁷³ S. Jolicoeur et S. O'Carroll, *Projet de la Péninsule acadienne : Rapport de recherche technique Équipe « Photogrammétrie et cartographie »* (en ligne), rapport présenté à l'association Solutions d'adaptation aux changements climatiques pour l'Atlantique, 2012, 65 p., https://www.csrpa.ca/wp-content/uploads/2017/11/rapport-photogrammetrie-et-cartographie_pa.pdf.



d'aménagement adaptatif en 2012⁷⁴ et pour recenser et hiérarchiser les zones menacées et les stratégies d'adaptation particulières à chacune⁷⁵.

Restauration des dunes et recharge des plages

Dans le but de protéger et de restaurer les dunes, on a érigé, entre 2013 et 2019, des structures faites d'arbres, de buissons et de casiers à homards sur deux kilomètres de rivage à Le Goulet pour piéger le sable soufflé par le vent. On a également entrepris, en 2013, en 2018 et en 2019, de recharger les plages sur plus d'un kilomètre de côte avec des sédiments recueillis lors du dragage du port local, et on a planté des graminées de 2015 à 2017 afin de mieux stabiliser les dunes et de retenir la recharge de sable⁷⁶. Chaque année, de 2014 à 2019, Valorès (connu avant 2018 sous le nom d'Institut de recherche sur les zones côtières) a surveillé l'efficacité des efforts de restauration et constaté un gain total net de sédiments dans les zones rechargées et munies de structures, contre une perte nette de sédiments dans les zones qui en sont exemptes⁷⁷. Une campagne de sensibilisation de la population locale aux efforts de restauration des dunes a vu le jour en 2017⁷⁸.

Troisième et plus récent processus de planification de l'adaptation

En 2019, un comité interne a examiné l'information recueillie au cours du processus de planification de l'adaptation de 2013-2014, première étape de la création d'un nouveau plan d'adaptation aux changements climatiques⁷⁹. Il y a eu consultation publique lors d'une réunion de discussion sur les questions, priorités et mesures à prendre en matière de planification de l'adaptation; les opinions recueillies à cette occasion ont été intégrées au plan définitif, achevé en 2020, avec l'ajout de quatre mesures supplémentaires⁸⁰. Peu de changements ont été apportés aux mesures proposées précédentes, les résidents étant largement en faveur.

⁷⁴ M. Aubé et B. Kocyla, *Adaptation aux changements climatiques : planification de l'utilisation du territoire à Shippagan, Le Goulet et Bas-Caraquet* (en ligne), 2012, 65 p., « Projet ASACCA-Péninsule acadienne », https://adaptationpa.ca/images/PDF_-_Progression/R-Planification_de_l'utilisation_du_territoire_%C3%A0_Shippagan_Le_Goulet_et_Bas-Caraquet.pdf.

⁷⁵ M. Aubé, C. Hébert et A. Doiron, *Accompagnement de communautés de la Péninsule acadienne dans la planification de l'adaptation aux changements climatiques : année 3. Exercices de planification stratégique à Shippagan, Bas-Caraquet, Le Goulet et Sainte-Marie-Saint-Raphaël, Cap-Bateau et Pigeon Hill* (en ligne), 2014, https://adaptationpa.ca/images/PDF_-_Progression/R-Planification_strat%C3%A9gique_%C3%A0_Shippagan_Bas-Caraquet_Le_Goulet_et_Sainte-Marie-Saint-Rapha%C3%ABl_Cap-Bateau_Pigeon_Hill.pdf.

⁷⁶ M. Aubé, C. Hébert et S. Jean, *Suivi de la restauration des dunes à Le Goulet : année 4* (en ligne), s.l., Institut de recherche sur les zones côtières inc., 2018, 42 p., « Projet Adaptation PA », https://adaptationpa.ca/images/R-IRZC-2018-Suivi_plage_Le_Goulet_ann%C3%A9e_4.pdf, consulté le 18 mai 2022.

⁷⁷ B. St-Hilaire, M. Tétégan Simon et C. Hébert, *Suivi de la restauration des dunes à Le Goulet : année 6* (en ligne), s.l., Valorès, 2020, 41 p., « Projet Adaptation PA », https://adaptationpa.ca/images/PDF_-_Progression/R-IRZC-2020-Suivi_plage_Le_Goulet_ann%C3%A9e_6-VuM.pdf, consulté le 18 mai 2022.

⁷⁸ M. Aubé, C. Hébert et S. Jean, *Suivi de la restauration des dunes à Le Goulet : année 4* (en ligne), s.l., Institut de recherche sur les zones côtières inc., 2018, 42 p., « Projet Adaptation PA », https://adaptationpa.ca/images/R-IRZC-2018-Suivi_plage_Le_Goulet_ann%C3%A9e_4.pdf, consulté le 18 mai 2022.

⁷⁹ M. Cess, M. Pirllet, T. Grandprez et M. Tétégan Simon, *Plan d'adaptation aux changements climatiques du Village de Le Goulet* (en ligne), s.l., Valorès, 2020, 16 p., « Projet Adaptation PA », https://adaptationpa.ca/images/R-IRZC-Plan_dadaptation_aux_changements_climatiques_Le_Goulet_2022-05-31-m%C3%A0j.pdf.

⁸⁰ *Ibid.*



3.4 Aménagement adaptatif (« relèvement de la ligne »)

L'aménagement adaptatif pérennise l'utilisation des terres côtières au moyen de modifications apportées soit à l'utilisation des terres, soit aux infrastructures existantes de façon à s'accommoder de l'érosion ou des inondations. On peut par exemple passer d'une utilisation des terres qui ne nécessite pas d'accès à l'eau à une utilisation qui l'exige ou concevoir des infrastructures à l'épreuve des inondations, surélevées ou flottantes.

Tableau 3.5 Outils d'aménagement adaptatif

Outils d'aménagement du territoire	Cadre d'aménagement	Plan régional (non prévu par la loi), politique d'utilisation des terres
		Plan intégré de viabilité communautaire
		Plan d'action et d'adaptation face aux changements climatiques
		Plan de gestion des côtes et du littoral
	Réglementation	Plan d'urbanisme prévu par la loi
		Incidatifs fiscaux ou subventions au développement
		Zonage
		Normes d'aménagement
		Renonciation
		Dérogation
	Aménagement de site	Normes d'urbanisme
		Gestion des eaux pluviales
		Système de cotation pour l'aménagement côtier
Interventions de génie côtier	Érosion	Récif artificiel
		Plage perchée (seuil)
		Recharge des plages
		Stabilisation par la végétation
	Inondations et érosion	Littoral vivant/milieu humide
		Construction de dunes
	Inondations	Fossé de drainage
		Dragage
		Bassins de rétention
		Jardin pluvial/milieu humide artificiel
		Gestion des eaux pluviales
		Protection contre les inondations par voie humide
		Structure surélevée
		Structure flottante

Exemple de Wolfville (Nouvelle-Écosse)

En 2021, CBCL Limited a élaboré un plan d'atténuation des risques d'inondation pour la ville de Wolfville. Le plan détermine les risques actuels et futurs d'inondations sur la côte et à l'intérieur des terres en tenant compte des impacts des changements climatiques et évalue les mesures proposées pour atténuer les risques d'inondation. Les inondations côtières et intérieures à Wolfville peuvent résulter de la capacité insuffisante des infrastructures de gestion des eaux pluviales, du ruissellement dû aux pluies extrêmes et des niveaux d'eau côtiers extrêmes (marées et ondes de tempête) provoquant un refoulement dans le réseau d'égouts pluvial, un débordement ou l'incursion d'eau vers l'intérieur des terres entre les digues ou autour d'elles. Selon le scénario RCP 8.5 (95^e percentile), on prévoit une augmentation de 61 % de l'intensité d'un épisode de précipitation se produisant tous les 100 ans (de 174 mm/h à 280 mm/h) ainsi qu'une élévation du niveau d'eau côtier maximal de 1,59 m (de 7,76 à 9,35 m selon le CGVD2013 en tenant compte de l'élévation du niveau de la mer, des ondes de tempête et de l'amplification des marées) d'ici 2100⁸¹.

Dans le plan de mise en œuvre du plan d'atténuation des risques d'inondation, CBCL Limited décrit les mesures prioritaires à prendre par la ville de Wolfville d'ici 1 à 5 ans. Parmi les aménagements adaptatifs, on préconise la modernisation de 17 tuyaux d'égouts pluviaux, dont l'extension des émissaires d'évacuation, afin d'augmenter la capacité du système. (À noter que la capacité du système restera nulle à marée haute.) La capacité accrue permettra au système actuel de gestion des eaux pluviales d'absorber l'augmentation du ruissellement.

Le plan de mise en œuvre préconise d'autres mesures d'adaptation qui ne consistent pas nécessairement en des « aménagements adaptatifs » :

- liaison des deux systèmes de digues existants en construisant une nouvelle digue et en intégrant des littoraux vivants;
- coordination du rehaussement des digues existantes avec le ministère de l'Agriculture;
- surélévation du terrain autour des 6 stations de pompage des eaux usées (qui pompent les eaux usées du bas vers le haut, vers les installations de traitement des eaux usées);
- conception d'une nouvelle berme autour des installations de traitement des eaux usées;
- création d'un système de prévision des inondations et d'alerte en collaboration avec l'organisation régionale de gestion des urgences;
- éducation et communication communautaires.

⁸¹ CBCL Limited, *Town of Wolfville Flood Risk Mitigation Plan: Final Report* (en ligne), 2021, https://wolfville.ca/sites/default/files/2022-10/Wolfville_Flood_Risk_Mitigation_Plan_FINAL_CBCL_2021.pdf.



Exemple de Cheverie (Nouvelle-Écosse)

En 2005 est né le premier projet de restauration d'un marais salé actif entièrement surveillé au Canada atlantique⁸². En 1960, le flux de marée le long du ruisseau Cheverie était considérablement restreint par une route en remblai et un petit ponceau en bois, ce qui a fait rétrécir l'habitat marécageux côtier du côté terre de la chaussée. On a rétabli le flux en remplaçant le ponceau de bois sous-dimensionné par un grand ponceau en aluminium (figure 1.14). CB Wetlands and Environmental Specialists (CBWES Inc.) et l'Université Saint Mary's ont conçu et surveillé le rétablissement du marais salé de Cheverie, un projet de compensation de l'habitat pour le ministère des Transports et du Renouvellement des infrastructures de la Nouvelle-Écosse. Maintenant rétabli, l'écosystème sain est devenu un point de mire de la collectivité, incitant les résidents, écoliers, groupes communautaires, étudiants universitaires et chercheurs à y bâtir des sentiers et à installer des panneaux d'interprétation et une chambre noire d'observation du marais⁸³.



Figure 1.14 Ponceau du ruisseau Cheverie, Cheverie (N.-É.) (Tony Bowron, CBWES Inc.).

Il est prouvé que les marais salés et leur végétation réduisent la force et la hauteur des vagues, agissant ainsi comme un tampon naturel contre les effets de l'élévation du niveau de la mer^{84, 85}. Si le projet de Cheverie n'était pas initialement prévu comme un aménagement adaptatif, il en suit néanmoins les principes en augmentant la zone inondable en amont, ce qui diminue le potentiel d'inondation le long de la route (qui peut donc garder son tracé actuel). À partir de ce point, on laisse le ruisseau Cheverie réagir naturellement aux nouvelles conditions (figure 1.15) tout en permettant la visite du marais et la circulation sur la chaussée.

⁸² T. M. Bowron, N. Neatt, D. van Proosdij, J. Lundholm et J. Graham, « Macro-Tidal Salt Marsh Ecosystem Response to Culvert Expansion », *Restoration Ecology*, vol. 19 (2011), p. 307-322.

⁸³ *Ibid.*

⁸⁴ D. van Proosdij, J. Graham, T. Bowron, N. Neatt, B. MacIsaac et C. Wrathall, *Development and Application of Managed Realignment to Maximize Ecosystem Services and Climate Change Adaptation*, rapport final préparé pour l'initiative du golfe du Maine, Environnement Canada, 2014, 101 p.

⁸⁵ T. M. Bowron, N. Neatt, D. van Proosdij, J. Lundholm et J. Graham, « Macro-Tidal Salt Marsh Ecosystem Response to Culvert Expansion », *Restoration Ecology*, vol. 19 (2011), p. 307-322.





Figure 1.15 Marais salé de Cheverie à marée haute (1.15a, 2018) et à marée basse (1.15b, 2021)
(Tony Bowron, CBWES Inc.)

3.5 Protection (« avancer ou éviter un recul »)

La protection se fait souvent en réaction à l'érosion côtière ou aux inondations. Forme d'adaptation la plus utilisée dans les zones côtières dans le monde, elle suppose presque toujours l'intervention de l'ingénierie et vise à permettre la poursuite des utilisations actuelles des terres sans altération. Les moyens de protection sont généralement des solutions à court terme aux problèmes côtiers, et il faut les renouveler au fil du temps. À long terme, la protection s'avère habituellement coûteuse et risque de le devenir encore plus à mesure que s'élèvera le niveau de la mer au cours du siècle prochain en raison des changements climatiques.



Figure 1.16 Carapace en pierre dans le parc national Fundy (N.-B.) (Vincent Leys, CBCL Limited)

Les stratégies de protection mobilisent des techniques d'ingénierie et s'utilisent pour gérer les inondations et l'érosion en zone côtière. Il peut s'agir de petits projets propres à un site ou de vastes projets de planification de la protection et de la gestion de l'industrie ou de la collectivité. Les interventions peuvent se faire par contrôle structural ou non. Les figures 1.16, 1.17 et 1.18 illustrent des stratégies de protection.



Figure 1.17 Stabilisation de la plage (avant-plage) à Fortune, T.-N.-L. (Kimberly Bittermann)

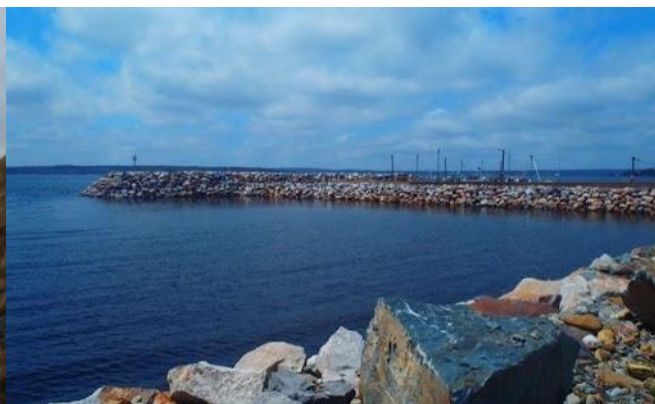


Figure 1.18 Premier brise-lames à Lower Sandy Point (N.-É.) (Samantha Page)

Tableau 3.6 Outils de protection

Outils d'aménagement du territoire	Cadre d'aménagement	Plan régional (non prévu par la loi), politique d'utilisation des terres
		Plan intégré de viabilité communautaire
		Plan d'action et d'adaptation face aux changements climatiques
	Réglementation	Plan d'urbanisme prévu par la loi
Interventions de génie côtier	Érosion	Protection contre l'affouillement
		Revêtement artificiel
		Perré
		Épis
		Brise-lames perpendiculaire au rivage
		Brise-lames sublittoral
		Mur de soutènement
		Récif artificiel
		Plage perchée (seuil)
		Recharge des plages
	Stabilisation par la végétation	
	Inondations et érosion	Ouvrage longitudinal
		Revêtement enfoui
		Littoral vivant/milieu humide
		Relocalisation
		Construction de dunes
	Inondations	Digue
		Jardin pluvial/milieu humide artificiel
		Gestion des eaux pluviales
		Aboiteau ou barrière à la marée
Protection contre les inondations à sec		

La protection des côtes peut passer par des interventions non structurales (« douces ») qui reposent sur le maintien des processus naturels tout en renforçant la résilience des côtes à l'aide de techniques d'ingénierie. La recharge des plages, la restauration des dunes, les récifs artificiels, la (re)création de milieux humides et de littoraux vivants en sont des exemples. La protection non structurale laisse les processus côtiers se poursuivre et peut, si elle est bien conçue et réalisée, concourir à stabiliser l'érosion et à protéger l'intérieur des terres contre les inondations et les ondes de tempête.

L'intervention douce en zone côtière accompagne souvent les moyens structuraux. On parle alors d'interventions hybrides. L'intervention douce offre une certaine protection contre les effets négatifs de l'utilisation exclusive d'interventions structurales. Par exemple, un ouvrage longitudinal seul risque d'accentuer l'érosion le long des bords de la structure et d'avoir des

effets négatifs en aval. À noter que les méthodes douces, comme les méthodes dures, s'adaptent mieux à certaines situations qu'à d'autres selon le risque pour l'utilisation du territoire à protéger ou le type de milieu côtier. Contrairement à la côte est des États-Unis, il y a très peu de littoraux vivants aménagés dans les provinces de l'Atlantique et encore moins qui soient associés à un programme de surveillance. Des sites modèles gérés par des ONG et des sociétés d'ingénierie répondent à l'intérêt croissant du public pour des solutions écologiquement durables de lutte contre l'érosion côtière (p. ex., le projet de CBCL Limited à Mahone Bay, en N.-É.).

Exemple du parc Tea Hill, à Stratford (Île-du-Prince-Édouard)

En 2021, quatre sites modèles de littoraux vivants ont vu le jour à l'Île-du-Prince-Édouard grâce à une collaboration entre la PEI Watershed Alliance (PEIWA), les villes de Charlottetown et de Stratford, CreativePEI et la Mi'kmaq Confederacy of PEI (et d'autres partenaires de soutien technique) visant à promouvoir l'action communautaire en matière de climat, sur financement du Fonds d'action et de sensibilisation pour le climat d'Environnement et Changement climatique Canada (ECCC)⁸⁶. Les nouveaux littoraux vivants sont situés près de l'hôpital Queen Elizabeth à Charlottetown, dans le secteur riverain et au parc Tea Hill à Stratford, et sur l'île Lennox.

Le littoral vivant de Tea Hill a été conçu par CBWES Inc, qui en a également supervisé la mise en œuvre. On a planté des espèces indigènes d'arbres, d'arbustes et de graminées le long de la berge et du sentier menant à la plage. Ces végétaux, en prenant racine et en poussant, contribueront à réduire l'érosion et à absorber les eaux de ruissellement provenant des hautes terres. On a recouvert le chemin d'accès à la plage de copeaux de bois afin de réduire l'impact du piétinement et placé des bottes de foin et des rondins afin de protéger la berge érodable (figure 1.19). Comme il s'agit d'un parc public sans infrastructure essentielle située directement sur la côte, on a à l'exemple parfait d'un site se prêtant à l'intervention douce qu'est le littoral vivant. C'est également le site idéal pour exhiber le littoral vivant, le parc étant public et très fréquenté.



Figure 1.19 Littoral vivant de Tea Hill (PEIWA, source : Maddy Crowell)

⁸⁶ « City Completes Living Shoreline Demonstration », *City of Charlottetown* (en ligne), 2021, https://www.charlottetown.ca/news/current_news/city_completes_living_shoreline_demonstration, consulté le 18 mai 2022.

Les littoraux vivants de Charlottetown et de Stratford s'accompagnent chacun d'œuvres d'art public dans le cadre de l'initiative Riverworks de CreativePEI et du River Clyde Pageant^{87, 88, 89}.

Exemple de Ferryland (Terre-Neuve-et-Labrador)

Norm Catto, géomorphologue côtier de l'Université Memorial de Terre-Neuve, a évalué la vulnérabilité du littoral de Ferryland, à T.-N.-L., en calculant les indices d'érosion côtière, de sensibilité et de vulnérabilité au pétrole de la ligne de rivage des côtés nord et sud, de la pointe et de la plage dans le cadre d'un projet de l'ASACCA achevé en 2013⁹⁰.

L'étude a conclu que le secteur de la plage et du tombolo de Ferryland était le plus vulnérable à l'érosion côtière en raison de son exposition à une forte activité des vagues et des tempêtes. Une combinaison d'ouvrages longitudinaux et de perrés (figure 1.20) a réduit l'exposition de la zone à la force des vagues, protégeant ainsi des infrastructures essentielles comme les routes. On a observé les effets de tels ouvrages de protection, comme l'obstruction et l'altération du flux de sédiments entraînant une perte de pente de la plage et l'accrétion, l'érosion ou l'ennoisement des zones sans ouvrage longitudinal ni perré.



Figure 1.20 Perré mis en place en octobre 2011 le long du secteur ouest de la plage est de Ferryland, Terre-Neuve-et-Labrador (Catto¹)

Sans ouvrage de protection, ce secteur de Ferryland est donc encore plus vulnérable aux éléments, ce qui accroît le risque pour les maisons et les routes⁹¹. Étant donné la forte intensité des vagues et la grande exposition du site à celles-ci ainsi que la nature essentielle des infrastructures à protéger, les interventions douces comme les littoraux vivants conviennent moins bien que les mesures structurales employées ici.

⁸⁷ « Riverworks », CreativePEI (en ligne), s.d., <https://creativepei.ca/riverworks/>, consulté le 18 mai 2022.

⁸⁸ « Riverworks », The River Clyde Pageant (en ligne), 2022, <https://www.riverclydepageant.com/riverworks>, consulté le 18 mai 2022.

⁸⁹ « New Shoreline Installations in Stratford Raise Awareness about Erosion and Climate Change », CBC News (en ligne), 2021, <https://www.cbc.ca/news/canada/prince-edward-island/pei-shoreline-installations-stratford-climate-change-1.6111485>, consulté le 18 mai 2022.

⁹⁰ N. Catto, *Coastal Erosion in Newfoundland: Town of Ferryland Community Report*, rapport présenté à l'association Solutions d'adaptation aux changements climatiques pour l'Atlantique (SACCA), mars 2012, 12 p.

⁹¹ *Ibid.*



3.6 Maladaptation

Même les ouvrages durs construits en toute bonne foi pour protéger la côte et empêcher ou ralentir l'érosion (en particulier les ouvrages parallèles au rivage comme les digues et les perrés) contribuent fortement à la dégradation des éléments et des écosystèmes côtiers qui jouent le rôle d'outils d'adaptation naturels (dunes, marais salés). En outre, on confère souvent aux ouvrages de protection un degré de sécurité rarement associé à d'autres moyens d'adaptation, ce qui risque d'induire un faux sentiment de sécurité chez les résidents qui vivent à proximité de ces structures, surtout avec l'augmentation de l'élévation du niveau de la mer et l'intensification des ondes de tempête à venir. Cette perception a conduit à un développement accru derrière les ouvrages de protection à certains endroits. Par exemple, la ville de Truro, en Nouvelle-Écosse, se situe à l'embouchure de la rivière Salmon dans la baie de Cobequid, à l'extrême-est du bassin des Mines, dans la baie de Fundy. La ville dépend fortement de l'entretien des digues et est vulnérable aux inondations lors des tempêtes saisonnières.

Lorsqu'une telle mesure d'adaptation crée au final plus de mal que de bien, on parle alors de « maladaptation ». Le rôle des ouvrages durs et de la compression côtière étant de mieux en mieux compris, on s'efforce de réduire leur effet négatif et de limiter la maladaptation par des interventions « douces » ou « hybrides » (figure 1.21).

Le rôle positif que jouent les systèmes naturels comme les dunes et les marais salés dans l'adaptation est de plus en plus reconnu, et les efforts visant à les restaurer ont augmenté ces dernières années, tout comme l'utilisation de « littoraux vivants » et d'autres moyens « naturels » (interventions douces) comme substituts aux ouvrages durs. Par exemple, la restauration des marais salés et le réalignement géré (figure 1.22) constituent des mesures d'adaptation viables et efficaces (p. ex., zones endiguées autour de la baie de Fundy). Il reste qu'en général, la meilleure stratégie d'adaptation aux impacts des changements climatiques partout sur la côte est le retrait planifié ou la relocalisation dans la mesure du possible. Inévitable en plusieurs endroits, cette stratégie peut s'avérer plus rentable à long terme que l'entretien constant des ouvrages de protection côtière et la réparation des dommages causés par les tempêtes^{92,93,94,95,96,97}.

⁹² S. Dietz et S. Arnold, « Chapitre 1 : Provinces de l'Atlantique », dans F. J. Warren, N. Lulham et D. S. Lemmen, dir., *Le Canada dans un climat en changement : le rapport sur les perspectives régionales*, Ottawa (Ont.), Gouvernement du Canada, 2021.

⁹³ D. van Proosdij, P. Manuel, K. Sherren, E. Rapaport, C. McFadden, T. Rahman et Y. Reeves, *Making Room for Movement: A Framework for Implementing Nature-Based Coastal Adaptation Strategies in Nova Scotia*, Halifax (N.-É.), TransCoastal Adaptations Centre for Nature-Based Solutions, Université Saint Mary's, 2021, document préparé pour Ressources naturelles Canada.

⁹⁴ Q. Lodder, C. Jeuken, R. Reinen-Hamill, O. Burns, R. Ramsdell, III, J. de Vries, B. McFall, S. IJff, C. Maglio et R. Wilmink, « Chapter 9: Beaches and Dunes », dans T. S. Bridges, J. K. King, J. D. Simm, M. W. Beck, G. Collins, Q. Lodder et R. K. Mohan, dir., *Natural and Nature-Based Features Guidelines*, Vicksburg (Miss.), U.S. Army Engineer Research and Development Center, 2021.

⁹⁵ C. D. Piercy, N. Pontee, S. Narayan, J. Davis et T. Meckley, « Chapter 10: Coastal Wetlands and Tidal Flats », dans T. S. Bridges, J. K. King, J. D. Simm, M. W. Beck, G. Collins, Q. Lodder et R. K. Mohan, dir., *International Guidelines on Natural and Nature-Based Features for Flood Risk Management*, Vicksburg (Miss.), U.S. Army Engineer Research and Development Center, 2021.

⁹⁶ D. D. Torio et G. L. Chmura, « Assessing Coastal Squeeze of Tidal Wetlands », *Journal of Coastal Research*, vol. 29, no 5 (2013), p. 1049-1061.

⁹⁷ J. Doody, « Coastal Squeeze and Managed Realignment in Southeast England, Does It Tell Us Anything about the Future? », *Ocean & Coastal Management*, vol. 79 (2013), p. 34-41.



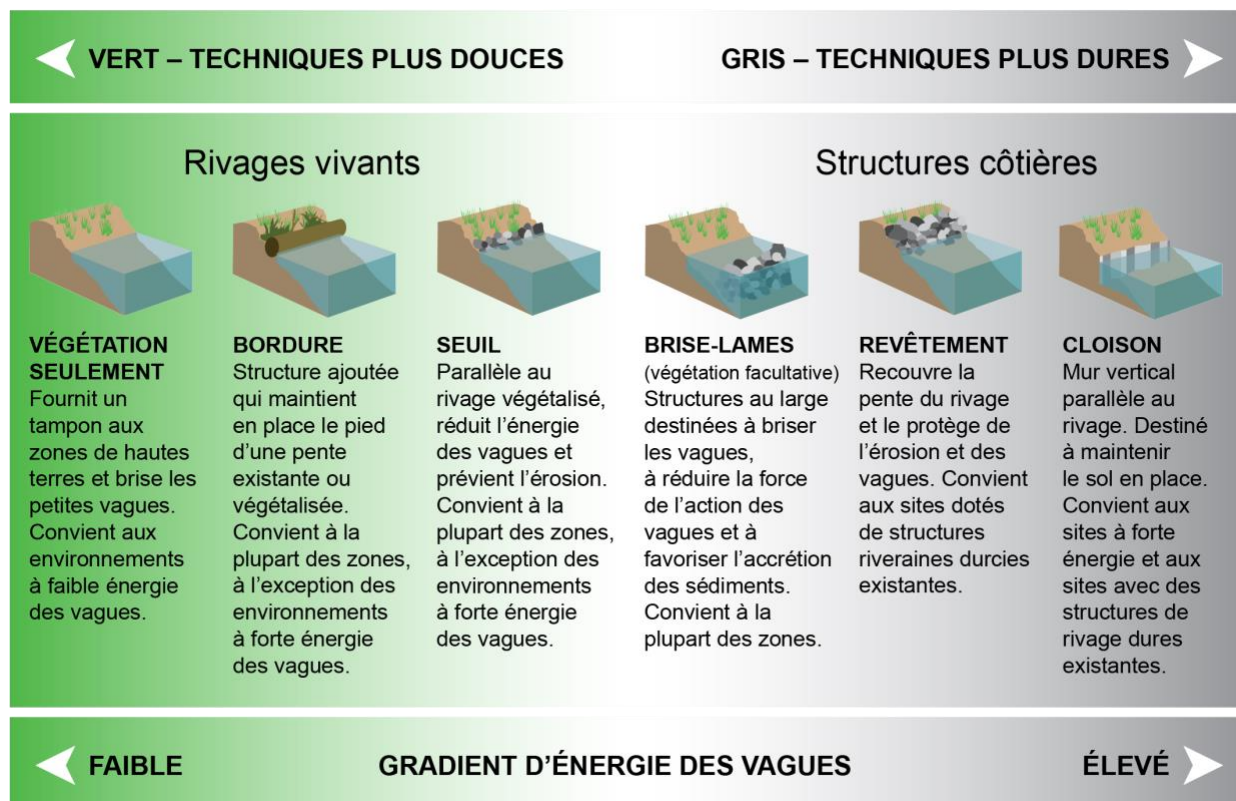


Figure 1.21 Continuum des moyens de protection de la ligne de rivage du vert (interventions douces) au gris (interventions dures) (modifié à partir de *Guidance for Considering the Use of living shorelines*, NOAA⁹⁸)

Figure 1.22 Réalignement géré, retrait planifié : marais Converse (N.-É.), 25 juillet 2021, 3 ans après le réalignement (*TransCoastal Adaptations: Centre for Nature-Based Solutions*)



⁹⁸ NOAA, *Guidance for Considering the Use of Living Shorelines* (en ligne), 2015, https://www.habitatblueprint.noaa.gov/wp-content/uploads/2018/01/NOAA-Guidance-for-Considering-the-Use-of-Living-Shorelines_2015.pdf, D'après Sage. *Natural and Structural Measures for Shoreline Stabilization* (en ligne), 2015. Sur Internet : <http://sagecoast.org/docs/SAGE_LivingShorelineBrochure_Print.pdf>. (en anglais)

Chapitre 4 : Choix du bon moyen d'adaptation

Les stratégies ne conviennent pas toutes à une zone ou à collectivité donnée. Un certain nombre de facteurs, présentés au tableau 4.1, jouent sur le choix du bon moyen d'adaptation côtière. Les questions trouvent leur réponse au fil des différentes étapes de la planification de l'adaptation et fournissent un point de départ aux collectivités côtières selon leur propre situation.

Tableau 4.1 Facteurs qui influencent le choix du bon moyen d'adaptation côtière

Pertinence des moyens d'adaptation côtière	
Aléa côtier	Que se passe-t-il?
Contexte géographique et environnemental	Où cela se produit-il?
Ampleur	Problèmes locaux ou régionaux propres au site?
Capacité locale	Sur quelles ressources et compétences compte-t-on pour résoudre le problème?
Objectifs de planification locaux	Quels objectifs cherche-t-on à atteindre face au problème?
Horizon de planification	Vise-t-on un objectif à court ou à long terme? Quelle est l'urgence de la situation?

La pertinence des moyens d'adaptation variera selon la nature ce qui se passe sur la côte : l'aléa côtier, le milieu concerné, l'échéancier d'adaptation, l'étendue de la zone touchée, la capacité de résolution locale, les objectifs de planification locaux et l'horizon fixé pour mettre en œuvre les solutions. Il est important de définir une stratégie d'adaptation et des outils adéquats.

Le simple fait de tenir compte de ces facteurs ne garantit toutefois pas la réussite de l'adaptation, qui dépendra également de la capacité de la stratégie à réduire la vulnérabilité à un aléa côtier donné de façon rentable et à apporter des avantages économiques, environnementaux ou sociaux à la collectivité ou au propriétaire foncier⁹⁹. Le succès de l'adaptation est difficile à définir, car de nombreux facteurs entrent en jeu. On doit considérer l'efficacité actuelle et future de l'adaptation. Pour compliquer les choses, l'efficacité future s'évalue à partir d'un milieu changeant, et les scénarios projetés des changements climatiques comportent une part d'incertitude¹⁰⁰. Le tableau 4.2 présente des processus qui mènent à une adaptation réussie, tirés de différents guides et rapports nationaux et internationaux sur la question.

Il n'est pas toujours possible d'intégrer tous les principes du tableau 4.2. Des points de vue socioculturels, économiques et politiques contradictoires peuvent compliquer le choix des priorités au moment de planifier l'adaptation. Cette liste de contrôle peut toutefois orienter le processus. L'essentiel est de cibler les objectifs et de choisir l'option la plus bénéfique et la moins risquée pour la collectivité. En se basant sur ces principes, la collectivité est moins

⁹⁹ A. Brown, M. Gawith, K. Lonsdale et P. Pringle, *Managing Adaptation: Linking Theory and Practice*, Oxford (R.-U.), UK Climate Impacts Programme, 2011.

¹⁰⁰ S. Moser et M. Boykoff, dir., *Successful Adaptation to Climate Change: Linking Science and Policy in a Rapidly Changing World*, New York (N.Y.), Routledge, 2013.



susceptible de choisir des options mal adaptées, aux effets inadéquats ou qui risquent d'accroître la vulnérabilité future^{101,102}.

Tableau 4.2 Principes menant à une adaptation efficace

<p>Enrichissement des connaissances</p> <ul style="list-style-type: none"> • Collecte de données et suivi des impacts techniques et quantitatifs liés aux aléas côtiers, définition de scénarios et évaluation de la vulnérabilité. • Intégration des compétences locales, formation et acquisition de nouvelles compétences au sein de la collectivité. • Partenariats visant à garantir que les décisions sont prises par un public bien informé. • Modification ou élaboration de règlements, normes, codes, plans, politiques ou programmes. • Sensibilisation aux questions liées au climat.
<p>Justice environnementale et sociale</p> <ul style="list-style-type: none"> • Appui à l'utilisation des fonctions naturelles de l'écosystème comme moyen de protection contre les aléas côtiers futurs. • Évitement des mesures qui entraînent le déplacement des impacts vers une autre zone. • Intégration des caractéristiques, des croyances et des valeurs sociales des collectivités à la planification de l'adaptation. • Diversification de l'utilisation du territoire et des activités économiques. • Augmentation des mesures incitant la communauté à adopter des pratiques d'adaptation. • Assurance que les mesures d'adaptation n'accroissent pas les inégalités au sein de la communauté, mais favorisent les initiatives équitables.
<p>Action concertée</p> <ul style="list-style-type: none"> • Compréhension des risques et gestion concertée des priorités. • Ciblage d'objectifs précis et réalisables dans un délai déterminé. Par exemple, le programme de gestion des impacts des changements climatiques du Royaume-Uni (UK Climate Impacts Programme – UKCIP) s'est doté d'objectifs « SMART » : spécifiques, mesurables, atteignables, réalistes, temporels.
<p>Flexibilité</p> <ul style="list-style-type: none"> • Intégration de l'incertitude inhérente aux risques et aux changements climatiques. • Évitement des actions qui limitent l'adaptation future et qui peuvent être réversibles en cas de problème. • Prise en compte des conflits entre les stratégies. • Promotion de mesures d'adaptation avantageuses tant sur le plan climatique que non climatique.
<p>Durabilité</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mesures d'adaptation réduisant la vulnérabilité pendant longtemps.

¹⁰¹ J. Barnett et S. O'Neill, « Maladaptation », *Global Environmental Change—Human and Policy Dimensions*, vol. 20 (2010), p. 211-213.

¹⁰² S. Moser et M. Boykoff, dir., *Successful Adaptation to Climate Change: Linking Science and Policy in a Rapidly Changing World*, New York (N.Y.), Routledge, 2013.



4.1 Votre collectivité est-elle prête?

La capacité d'adaptation d'une collectivité dépend de la disponibilité de ressources de toutes sortes, que ce soit la cohésion sociale, la disponibilité et les compétences de la main-d'œuvre, les conditions environnementales ou encore les partenariats existants. Ces ressources sont détaillées au tableau 4.3. En général, plus une collectivité dispose de ressources, plus son adaptation aux aléas côtiers est probable.

Tableau 4.3 Ressources qui ont une incidence sur la capacité d'une collectivité à faire face aux aléas côtiers^{103,104}

<p>Ressources humaines</p> <ul style="list-style-type: none"> • Une collectivité profite d'une main-d'œuvre qualifiée dans une variété de domaines. • La volonté politique d'une collectivité dépend des perceptions et attitudes individuelles à l'égard des aléas côtiers et de ce qui devrait être fait pour en atténuer les effets. • Les connaissances traditionnelles indigènes peuvent soutenir une communauté.
<p>Ressources sociales</p> <ul style="list-style-type: none"> • La volonté des membres de la collectivité de collaborer améliore leur capacité à faire face aux changements climatiques. • La présence, au sein d'une collectivité côtière, d'un leadership fort, d'un sens de la communauté et de filets de sûreté facilite l'établissement de stratégies collectives de lutte contre les impacts des changements climatiques.
<p>Ressources institutionnelles</p> <ul style="list-style-type: none"> • La collaboration avec les organisations et les universités permet d'établir des relations mutuellement bénéfiques et de sensibiliser la collectivité à l'adaptation en zone côtière. • Ces relations facilitent le choix de solutions d'adaptation grâce à des outils de renforcement des capacités.
<p>Ressources naturelles</p> <ul style="list-style-type: none"> • Quelles sont les particularités du milieu? • Les zones qui comptent moins d'infrastructures humaines ont une plus grande capacité à absorber les changements dus à l'érosion et aux inondations côtières. • Des matériaux de construction sont-ils disponibles à proximité?
<p>Ressources technologiques</p> <ul style="list-style-type: none"> • Certaines technologies augmentent la capacité à faire face à l'érosion et aux inondations dues aux changements climatiques. • Elles comprennent des programmes d'évaluation de la vulnérabilité du littoral, la formation à la gestion des côtes et la planification des urgences et de l'aménagement du territoire.

¹⁰³ E. Wall et K. Marzall, « Adaptive Capacity for Climate Change in Canadian Rural Communities », *Local Environment*, vol. 11, n° 4 (2006), p. 373-397.

¹⁰⁴ A. Dolan et I. Walker, « Understanding Vulnerability of Coastal Communities to Climate Change Related Risks », *Journal of Coastal Research*, vol. 39, n° spécial (2004), p. 1317-1324.



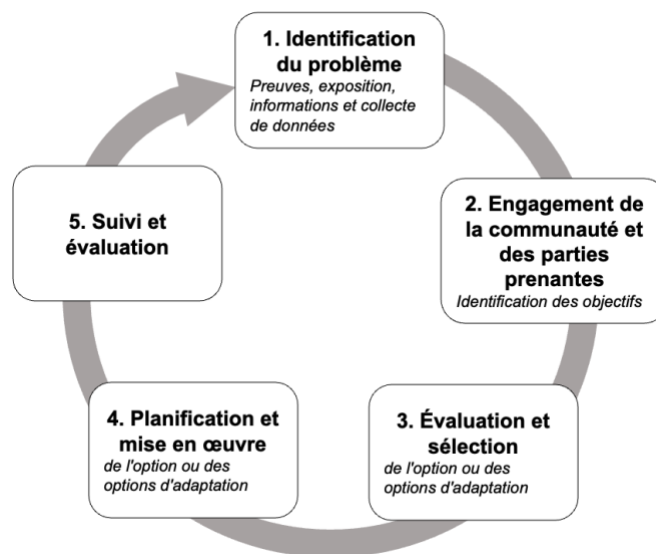
Ressources financières

- L'investissement dans des stratégies proactives de gestion des côtes permettra de réduire la pression financière sur la collectivité en cas de tempête occasionnant des dommages.
- Le soutien financier peut également entraîner davantage de promesses d'investissement dans la planification communautaire concernant l'élévation future du niveau de la mer.

Une collectivité ne disposant pas des capacités adéquates pour faire face aux impacts des changements climatiques peinera à s'adapter. Il est donc crucial de se doter d'outils de renforcement des capacités (tableau 4.4) afin d'augmenter la résilience pour l'avenir. La plupart des outils de renforcement des capacités conviennent à toutes les phases de la planification de l'adaptation (figure 1.24). Largement utilisés en aménagement du territoire, ils encouragent une forte collaboration entre les utilisateurs des côtes et une responsabilisation collective. Les outils de renforcement des capacités recoupent certains aspects de l'enrichissement des connaissances du tableau 4.2, soulignant leur importance comme premiers pas vers une planification de l'adaptation éclairée et efficace.

Tableau 4.4 Outils de renforcement des capacités en matière d'aménagement du territoire

Outils de renforcement des capacités
Partenariats
Comités locaux
Éducation
Engagement communautaire
Cartographie des biens publics
Évaluation de la vulnérabilité
Planification de scénarios
Collecte de données et cartographie
Surveillance
Projection dans l'avenir et consultation publique

Figure 1.24 Étapes vers l'adaptation^{105,106,107}

¹⁰⁵ Arlington Group, *Sea Level Rise Adaptation Primer: A Toolkit to Build Adaptive Capacity on Canada's South Coasts*, rapport préparé pour le ministère de l'Environnement de la Colombie-Britannique, 2013, 150 p.

¹⁰⁶ A. Brown, M. Gawith, K. Lonsdale et P. Pringle, *Managing Adaptation: Linking Theory and Practice*, Oxford (R.-U.), UK Climate Impacts Programme, 2011.

¹⁰⁷ B. Bowron et G. Davidson, *Climate Change Adaptation Planning: A Handbook for Small Canadian Communities*, rapport préparé pour l'Institut canadien des urbanistes, 2011, 59 p.

4.2 Guide étape par étape des choix d'adaptation

La procédure choisie par une collectivité s'accordera à ses besoins particuliers et ses objectifs dépendront des ressources disponibles.

ÉTAPE 1. Identification du problème : preuves, information sur l'exposition et collecte de données

Avant d'élaborer et de mettre en œuvre un plan d'adaptation, la collectivité doit recueillir de l'information sur son contexte physique et socioculturel, ainsi que sur les droits et les traditions des autochtones de la région. L'information recueillie signale les zones vulnérables et les différents risques associés aux conditions climatiques actuelles et à venir : elle décrit l'exposition aux aléas et les risques.

La collecte de données suppose une recherche à la fois scientifique et sociale, cernant les lacunes dans les connaissances sur l'environnement humain (processus sociaux, économiques et politiques) et le milieu naturel (processus côtiers physiques et biologiques). Les données sur les marées et les inondations, ainsi que les projections de l'élévation locale du niveau de la mer, aident à déterminer les futures zones menacées. On peut également évaluer la vulnérabilité des endroits qui revêtent une importance sociale et culturelle pour la collectivité. Les incidences sur les droits et les traditions des autochtones doivent également être évaluées. La collecte d'information est une partie importante dans le choix des options qui conviennent le mieux à une zone côtière donnée.

La population du Canada atlantique a accès à de nombreuses études qui expliquent le travail effectué dans la région pour répertorier les vulnérabilités côtières aux changements climatiques. Des travaux réalisés par l'Association pour les solutions d'adaptation aux changements climatiques pour l'Atlantique (ASACCA) donnent des exemples et des renseignements sur l'élévation du niveau de la mer, qui peuvent servir à l'évaluation de la situation propre à une collectivité donnée. On peut accéder à ces ressources et à bien d'autres par le biais de CLIMAtlantic, le centre de services climatiques de l'Atlantique (www.climatlantic.ca)¹⁰⁸. Les provinces produisent également des guides afin d'aider les collectivités à organiser la collecte de données et les évaluations, puis à intégrer l'information au processus de planification. Citons par exemple *7 Steps to Assess Climate*

Questions à se poser

- Y a-t-il des données disponibles sur l'élévation du niveau de la mer pour ma collectivité ou ma région?
- L'érosion ou les inondations côtières ont-elles fait l'objet de recherches par le passé?
- Ai-je accès à ces renseignements?
- Les résidents ont-ils des photos ou des histoires sur l'évolution du milieu?

Il s'agit habituellement de travaux d'organismes gouvernementaux, de groupes environnementalistes régionaux, d'organisations non gouvernementales ou d'établissements d'enseignement (écoles primaires et secondaires, collèges et universités). Informez-vous d'abord auprès des résidents et des représentants locaux sur l'existence de travaux de recherche existants, puis communiquez avec les responsables de projet pour en savoir plus.

¹⁰⁸ CLIMAtlantic. *Ressources* (en ligne). Sur Internet : <<https://climatlantic.ca/fr/>>.



*Vulnerability in Your Community*¹⁰⁹ (Terre-Neuve-et-Labrador, en anglais) et *Climate Change Adaptation – A Toolkit: Sackville, Port Elgin, Dorchester, Memramcook*¹¹⁰ (Nouveau-Brunswick, en anglais). En utilisant les techniques de collecte de données et d'évaluation de la vulnérabilité décrites dans ces ressources, les décideurs municipaux auront une idée plus claire de la nature des problèmes, de leur incidence sur l'environnement, de leurs impacts sur les biens, les infrastructures et les bâtiments et des risques que court la collectivité.

Climate Change Adaptation –A Toolkit: Sackville, Port Elgin, Dorchester, Memramcook (Nouveau-Brunswick)

Vu sa faible altitude, la région de Tantramar est vulnérable aux inondations et à l'élévation du niveau de la mer. Seule voie d'accès terrestre entre la Nouvelle-Écosse et le reste du Canada, elle revêt une importance économique pour le Nouveau-Brunswick et la Nouvelle-Écosse.

En 2013, sur financement du Fonds en fiducie pour l'environnement du Nouveau-Brunswick et de l'Initiative de collaboration pour l'adaptation régionale du Nouveau-Brunswick, EOS Éco-Énergie a créé une boîte à outils pour la région de Tantramar afin que les citoyens puissent mieux comprendre les changements climatiques et leurs manifestations dans la région.

Éléments

- Exemples de projets de recherche locaux
- Historique des tempêtes
- Suggestions pour les résidents et les représentants municipaux
- Beaucoup de diagrammes et de photos
- Listes de ressources et coordonnées pour du soutien supplémentaire

(Remarque : cette boîte à outils n'a pas été mise à jour depuis sa publication en 2013.)

¹⁰⁹ Terre-Neuve-et-Labrador, Ministère de l'Environnement et de la Conservation, *7 Steps to Assess Climate Vulnerability in Your Community*, s.l., Ressources naturelles Canada, 2012, 346 p.

¹¹⁰ A. Marlin, *Climate Change Adaptation: A Toolkit: Sackville, Port Elgin, Dorchester, Memramcook*, s.l., EOS Éco-Énergie Inc., 2013, 40 p.



ÉTAPE 2. Mobilisation de la collectivité et des intervenants : détermination des objectifs

Une fois les renseignements sur les impacts des changements climatiques en zone côtière rassemblés, les intervenants et les décideurs municipaux doivent utiliser les recherches et les résultats afin de définir des objectifs clairs pour la planification de l'avenir. Pour que le public se mobilise, les citoyens doivent comprendre les risques futurs pour leur collectivité. La communication des renseignements au public par l'entremise d'ateliers de sensibilisation de la population locale (figure 1.25), de bulletins et de séances d'information à la radio et à la télévision peut contribuer à susciter la participation aux décisions futures. La mise à disposition du public de renseignements sur les risques côtiers, y compris sur la façon dont les décisions seront prises, peut aider à obtenir les commentaires et le soutien nécessaires du public. En définitive, le public jouera un rôle dans la détermination des objectifs du processus de planification de l'adaptation locale.

L'attitude du public quant au niveau de risque acceptable pour la collectivité influencera le moment et le type d'outils qu'une collectivité utilisera. L'opinion du public sur ce qui est considéré comme des atouts précieux pour la collectivité influence également la détermination des zones côtières qui deviennent prioritaires. Un autre facteur d'influence est la façon dont la collectivité soutiendra financièrement le plan proposé. Les ressources financières des petites collectivités sont souvent très limitées; soutenir un plan d'adaptation aux changements climatiques peut entraîner des compressions dans d'autres secteurs du budget de la municipalité. Tous ces problèmes surgiront au cours de la mobilisation et seront difficiles à gérer, mais il est important de les résoudre pour que l'adaptation serve au mieux les intérêts de la collectivité.



Figure 1.25 Citoyens et représentants participant à un atelier public avant le réalignement sur la Jijktu'kwejk (rivière Cornwallis) à Belcher Street (TransCoastal Adaptations: Centre for Nature-Based Solutions)

Questions à se poser

- Votre gouvernement local ou les organismes environnementaux et communautaires tiennent-ils le public informé des problèmes côtiers?
- Existe-t-il un espace où le public peut exprimer ses idées et ses préoccupations?

Prise en compte des possibilités

- de dialogue sur les moyens d'adaptation,
- d'aider la communauté.

Un dialogue constant entre le gouvernement, les organismes et le public permet d'établir une relation positive. Les membres de la collectivité doivent se sentir bien informés des impacts potentiels des changements climatiques sur leurs biens et leur bien-être. En offrant un espace où les gens peuvent exprimer leurs idées, leurs possibilités et leurs préoccupations, on renforce la capacité d'une collectivité à faire face aux changements climatiques.



ÉTAPE 3. Évaluation et sélection d'un ou de plusieurs moyens d'adaptation

Les décideurs peuvent répertorier différents moyens d'adaptation adéquats pour faire face aux risques. Ces moyens peuvent ensuite être classés par ordre de priorité en fonction de leur adéquation avec les objectifs fixés par la collectivité. L'évaluation comprend généralement une estimation de la capacité d'un moyen d'adaptation à résoudre un problème d'une collectivité. Comme nous l'avons vu précédemment, le succès est déterminé par l'efficacité et l'efficience du moyen d'adaptation à réduire la vulnérabilité à un risque ou à un aléa particulier. Le succès n'est pas seulement déterminé par le fait que le moyen ait les effets prévus ou non, mais aussi par sa capacité à être efficace tout en présentant un maximum d'avantages économiques, sociaux et naturels¹¹¹.

Le tableau 4.5 énumère des critères supplémentaires à prendre en compte lors de la sélection de moyens d'adaptation, notamment la souplesse, l'aspect pratique, la légitimité politique ou culturelle et la robustesse. Le tableau 4.6 présente les évaluations économiques disponibles pour étayer le choix du moyen privilégié.

La sélection d'un moyen d'adaptation adéquate prend du temps. La participation des intervenants et les demandes de renseignements de la part du public sont nécessaires pour garantir qu'il n'y a pas de conflit entre les utilisateurs des côtes une fois la décision prise. Le comité de sélection doit comprendre que le type d'environnement côtier est un facteur important dans le choix d'un moyen d'adaptation adéquat.

Tableau 4.5 Critères utilisés dans les évaluations pour sélectionner les moyens d'adaptation adéquats

<p>Efficience</p> <ul style="list-style-type: none"> Les objectifs sont-ils atteints de façon bien organisée avec une utilisation minimale des ressources disponibles?
<p>Équité</p> <ul style="list-style-type: none"> Le moyen profitera-t-il à la majorité des groupes au sein de la collectivité?
<p>Efficacité</p> <ul style="list-style-type: none"> Le moyen permettra-t-il d'atteindre les objectifs précisés?
<p>Urgence de la situation</p> <ul style="list-style-type: none"> Dans quelle mesure l'exposition est-elle immédiate et le risque de répercussions important? À quel point l'infrastructure est-elle essentielle?
<p>Aspect pratique</p> <ul style="list-style-type: none"> Dans quelle mesure le moyen est-il durable? Dans quelle mesure le moyen sera-t-il difficile à mettre en œuvre? Le moyen peut-il être mis en œuvre dans un délai convenable? Les matériaux ou ressources nécessaires sont-ils disponibles localement?
<p>Faisabilité</p> <ul style="list-style-type: none"> Le moyen envisagé est-il abordable?

¹¹¹ A. Brown, M. Gawith, K. Lonsdale et P. Pringle, *Managing Adaptation: Linking Theory and Practice*, Oxford (R.-U.), UK Climate Impacts Programme, 2011.

<p>Légitimité</p> <ul style="list-style-type: none"> Le moyen est-il acceptable d'un point de vue politique et culturel?
<p>Robustesse</p> <ul style="list-style-type: none"> Le moyen est-il efficace pour un large éventail d'impacts futurs?
<p>Flexibilité</p> <ul style="list-style-type: none"> Le moyen peut-il être adapté aux changements futurs?

Tableau 4.6 Stratégies d'évaluation économique pour aider à sélectionner les moyens d'adaptation^{112,113,114}

<p>Analyse coûts-bénéfices (ACB)</p> <ul style="list-style-type: none"> Les bénéfices l'emportent-ils sur les coûts du moyen? Les coûts s'entendent des coûts monétaires directs et indirects associés à la mise en œuvre du moyen d'adaptation. Les bénéfices peuvent être environnementaux, sociaux et économiques. L'ACB permet de comparer plusieurs catégories ou critères en même temps et de fusionner des critères différents en une seule valeur.
<p>Analyse coûts-efficacité (ACE)</p> <ul style="list-style-type: none"> Quels moyens permettent d'atteindre un objectif de la façon la plus rentable? Elle peut être utilisée lorsqu'une valeur monétaire ne peut être attribuée aux bénéfices. Elle est utilisée pour déterminer le moyen le moins coûteux qui répond toujours aux principaux objectifs de l'adaptation. Le délai ou le coût de la mise en œuvre des plans stratégiques d'aménagement du territoire varient considérablement en fonction des ressources disponibles.
<p>Analyse multicritères (AMC)</p> <ul style="list-style-type: none"> Lorsqu'il existe un certain nombre de bénéfices qui ne peuvent être regroupés, une analyse multicritères peut être utilisée afin de classer et de hiérarchiser les critères. Une méthode de pondération est créée en tenant compte des commentaires des intervenants.
<p>Calcul des coûts évités</p> <ul style="list-style-type: none"> Estimation de la valeur monétaire qu'offre un moyen d'adaptation. C'est la différence entre les coûts projetés liés aux aléas (inondation, érosion) avec ou sans adaptation, par rapport à une valeur de référence sur une période donnée. Les coûts à encourir sont calculés en « valeur monétaire actuelle », les coûts d'adaptation étant actualisés annuellement à un taux précisé (p. ex., 3 %) sur la période donnée. L'actualisation dans le futur tient compte de la tendance à valoriser davantage 1 \$ aujourd'hui que 1 \$ dans l'avenir.

¹¹² Modifié à partir de : CCNUCC, Assessing the Costs and Benefits of Adaptation Options: An Overview of Approaches, 2011, Rapport préparé par la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques dans le cadre du Programme de travail de Nairobi sur les incidences des changements climatiques et la vulnérabilité et l'adaptation à ces changements (52 pages).

¹¹³ MNAI, *Managing Natural Assets to Increase Coastal Resilience, Guidance Document for Municipalities* (en ligne), 2021, <https://mnai.ca/media/2021/11/MNAI-Coastal-Asset-Guidance-Doc-cover-101-combined.pdf>.

¹¹⁴ T. S. Bridges, J. K. King, J. D. Simm, M. W. Beck, G. Collins, Q. Lodder et R. K. Mohan, dir., *International Guidelines on Natural and Nature-Based Features for Flood Risk Management*, Vicksburg (Miss.), U.S. Army Engineer Research and Development Center, 2021.

ÉTAPE 4. Planification et mise en œuvre d'un ou de plusieurs moyens d'adaptation

L'évaluation des risques permet de recueillir suffisamment de renseignements pour choisir un moyen d'adaptation adéquat. Une procédure de mise en œuvre du moyen d'adaptation permettra de définir les rôles et les responsabilités des personnes concernées et de respecter le calendrier des travaux. La procédure de mise en œuvre doit être suffisamment souple pour permettre des modifications ou des retards imprévus susceptibles d'améliorer l'efficacité du moyen mis en œuvre.

Lors de la planification de la mise en œuvre des moyens d'adaptation, il est important que les objectifs soient clairement définis afin que tous les chefs de projet, partenaires et intervenants puissent comprendre les indicateurs de rendement pour le moyen mis en œuvre et en convenir. Cela permet une évaluation et un suivi impartiaux lorsque plusieurs groupes sont concernés, afin d'éviter les conflits potentiels ou les obstacles à la réussite d'un projet. Les objectifs fixés doivent être réalistes et SMART (spécifiques, mesurables, atteignables, réalistes et temporels)¹¹⁵.

Étapes vers la planification et la mise en œuvre

- établir les mesures prioritaires;
- créer une procédure d'établissement des priorités;
- créer un échéancier et un calendrier avec des jalons à franchir;
- attribuer les différentes phases du processus de mise en œuvre aux chefs de projet;
- prévoir suffisamment de temps pour la formation et la sensibilisation;
- communiquer les étapes du plan de mise en œuvre aux intervenants et aux collectivités.

Il est important de déterminer qui est responsable du suivi et de l'évaluation et d'intégrer ces renseignements au plan de mise en œuvre. Très souvent, le suivi du projet n'a pas lieu parce que le financement n'a pas été réservé au début du projet.

¹¹⁵ H. de Looff, T. Welp, N. Snider et R. Wilmink, « Chapter 7: Adaptive Management », dans T. S. Bridges, J. K. King, J. D. Simm, M. W. Beck, G. Collins, Q. Lodder et R. K. Mohan, dir., *International Guidelines on Natural and Nature-Based Features for Flood Risk Management*, Vicksburg (Miss.), U.S. Army Engineer Research and Development Center, 2021, 48 p.



ÉTAPE 5. Suivi et évaluation

Une fois le moyen d'adaptation mis en place, le suivi des progrès de l'adaptation permettra de déterminer si le moyen fonctionne comme prévu. L'évaluation doit refléter les indicateurs de rendement définis pendant la phase de planification. L'efficacité est mesurée par la façon dont le moyen a permis de résoudre le problème et par la proportion du problème qui a été résolue. S'il reste des problèmes non résolus, le processus de suivi permet de déterminer les aspects restants et la façon de modifier la stratégie ou les outils pour les résoudre. La modification, ou l'adaptation, des stratégies ou des outils utilisés dans le cadre d'un projet pour tenir compte de l'évolution du système fait partie de la *gestion adaptative*, qui est une méthode structurée et répétitive de prise de décision utilisée pour réduire l'incertitude au fil du temps.

Dans les processus de gestion adaptative, le suivi continu, la collecte de données et l'observation sont utilisés pour tirer des enseignements de la réponse du système à la mesure initialement mise en œuvre. Cela permet de prendre des décisions pour atteindre les objectifs fixés tout en accumulant les renseignements et les connaissances nécessaires pour améliorer les pratiques et les politiques futures de gestion et de prise de décision. La gestion adaptative est essentielle dans les phases de planification, de suivi et d'évaluation de l'adaptation dans les zones côtières en raison de la nature incertaine de la réponse de l'écosystème aux impacts des changements climatiques^{116,117}.

Le délai dans lequel une option doit être réexaminée dépend du moyen d'adaptation choisi. Par exemple, la mise en œuvre de certaines options d'aménagement du territoire prend beaucoup de temps; l'évaluation peut donc s'étendre sur dix à trente ans. Une stratégie d'adaptation comme l'élévation d'un front de mer pourrait être suivie et son efficacité évaluée lors de la prochaine grande tempête, qui pourrait survenir des semaines, des mois, voire des années après l'achèvement du projet.

Exemple : Gestion adaptative dans le cadre du projet de réaligement de la digue du marais et de restauration du marais côtier de Belcher Street^{118,119}

En 2017, le ministère de l'Agriculture de la Nouvelle-Écosse a mandaté CBWES Inc. pour élaborer un plan de réaligement géré de la digue et de restauration du marais côtier pour le marais de Belcher Street sur la rivière Jijuktu'kwejk (Cornwallis) à Kentville, en Nouvelle-Écosse. Ce projet fait partie du projet *Making Room for Wetlands* entrepris par TransCoastal Adaptations: Centre for Nature-Based Solutions de l'Université Saint Mary's, avec le financement du ministère des Pêches et des Océans. En 2018, une brèche a été pratiquée dans la digue afin de la réaligner (réalignement géré), après l'achèvement du suivi de base et des plans de restauration.

Alors qu'un site s'adapte à la réintroduction des inondations dues aux marées et trouve un nouvel équilibre, certaines zones peuvent ne pas réagir comme prévu initialement. En 2019, le

¹¹⁶ *Ibid.*

¹¹⁷ D. van Proosdij, P. Manuel, K. Sherren, E. Rapaport, C. McFadden, T. Rahman et Y. Reeves, *Making Room for Movement: A Framework for Implementing Nature-Based Coastal Adaptation Strategies in Nova Scotia*, Halifax (N.-É.), TransCoastal Adaptations Centre for Nature-Based Solutions, Université Saint Mary's, 2021, document préparé pour Ressources naturelles Canada.

¹¹⁸ *Ibid.*

¹¹⁹ P. Manuel, E. Rapaport, N. Ewashen, C. Kowal et K. Warren, *Belcher Street Marsh Dyke Realignment and Tidal Wetland Restoration Project: A Case Study of Nature-Based Coastal Adaptation in Nova Scotia*, Halifax (N.-É.), School of Planning, Université Dalhousie, 2021, 37 p.



suivi du site après la restauration a permis de repérer deux zones où le rétablissement ne se produisait pas comme souhaité. Cela représentait un risque pour la stabilité de la digue et pour le rétablissement du marais de l'avant-plage.

Des techniques de gestion adaptative efficaces ont été mises en œuvre dans les deux zones en réponse à ce risque, notamment :

- le creusement à la main d'un chenal reliant l'accumulation d'eau au pied de la digue à un réseau de drainage plus grand situé à l'arrière du site, ce qui a permis d'améliorer la revégétalisation et la stabilité du sol ainsi que de réduire la quantité d'eau qui était piégée, de sorte qu'en 2021, des plantes ont poussé dans la zone et celle-ci était presque revégétalisée et donc presque indiscernable du marais qui l'entourait (figure 1.26);
- des ajustements ont été apportés pour réduire la vitesse d'écoulement de l'eau sur le littoral vivant et pour augmenter l'accumulation de sédiments à la surface du marais où l'affouillement se produisait (les plantes étaient enlevées par l'action des vagues). On a planté de la végétation pour combler les vides dans les zones d'enracinement, et combiné des clôtures en bois tissé et des paillonnages en branches avec de la végétation de marais transplantée pour encourager le rétablissement de la végétation. En 2021, même si une petite quantité de drainage se produisait encore, elle ne semblait pas poser de risque, et la couverture végétale augmentait.



Figure 1.26 Pratiques de gestion adaptative mises en œuvre sur le site de réalignement de Belcher Street, 2019 (1.26a à gauche : creusement manuel de rigoles; 1.26b à droite : réparation du littoral vivant; TransCoastal Adaptations: Centre for Nature-Based Solutions)

Chapitre 5 : Systèmes côtiers et compatibilité des moyens d'adaptation

Une bonne compréhension des environnements côtiers est essentielle pour choisir la meilleure méthode d'adaptation. La présente section décrit les systèmes côtiers des provinces de l'Atlantique et la stratégie d'adaptation qui convient le mieux à chacun (estuaire, plage de sable, falaise, etc.).

5.1 Estuaires

Un estuaire est l'endroit où une rivière se jette dans l'océan : l'eau douce et l'eau salée se mélangent et la rivière est maréale dans sa partie inférieure (figure 1.27). Il s'agit d'un environnement de faible altitude, composé d'un mélange de dépôts sableux et vaseux (p. ex., sable, silt et argile) qui sont transportés par la rivière, les marées, les vagues et les courants océaniques et qui s'accumulent le long de la ligne de rivage au fil du temps (figure 1.28)¹²⁰. Les ports, les villes et les villages se sont historiquement développés le long des estuaires pour profiter de la facilité d'accès au transport fluvial et maritime, pour accéder aux ressources naturelles et pour utiliser la rivière et le courant des marées pour la gestion des déchets¹²¹.

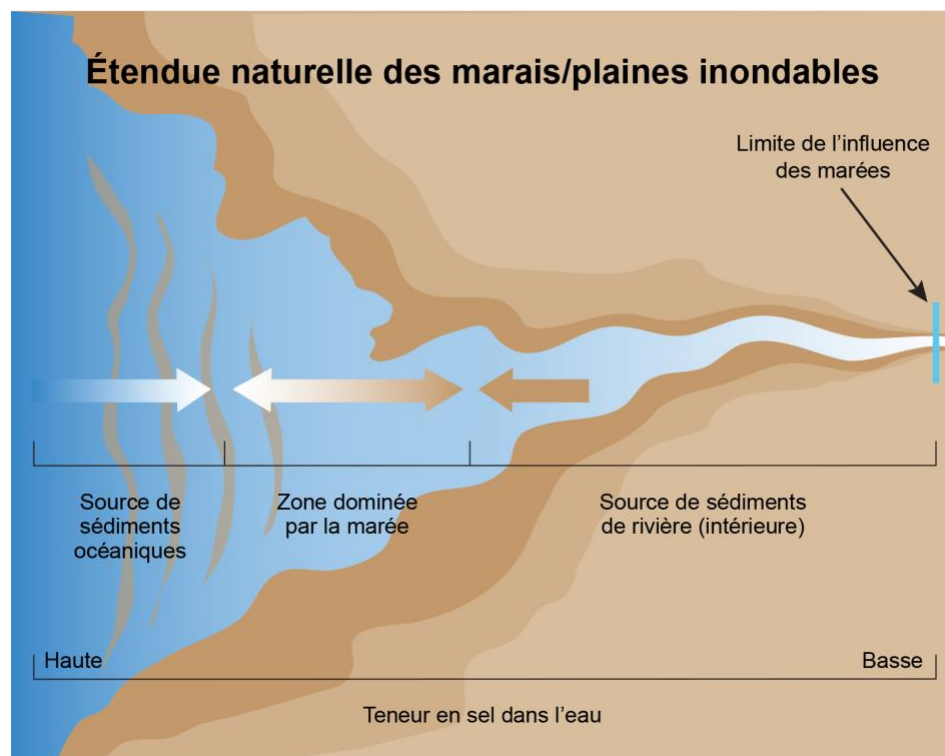


Figure 1.27 Processus dans un système estuarien (modifié d'après Dalrymple)¹²²

¹²⁰ E. Bird, *Coastal Geomorphology: An Introduction*, New York (N.Y.), John Wiley & Sons Inc., 2001.

¹²¹ D. Prandle, « Introduction », dans *Estuaries: Dynamics, Mixing, Sedimentation and Morphology*, New York (N.Y.), Cambridge University Press, 2009, p. 1-22 (ch. 1).

¹²² R. W. Dalrymple, B. A. Zaitlin et R. Boyd, « A Conceptual Model of Estuarine Sedimentation », *Journal of Sedimentary Petrology*, vol. 62 (1992), p. 1130-1146.

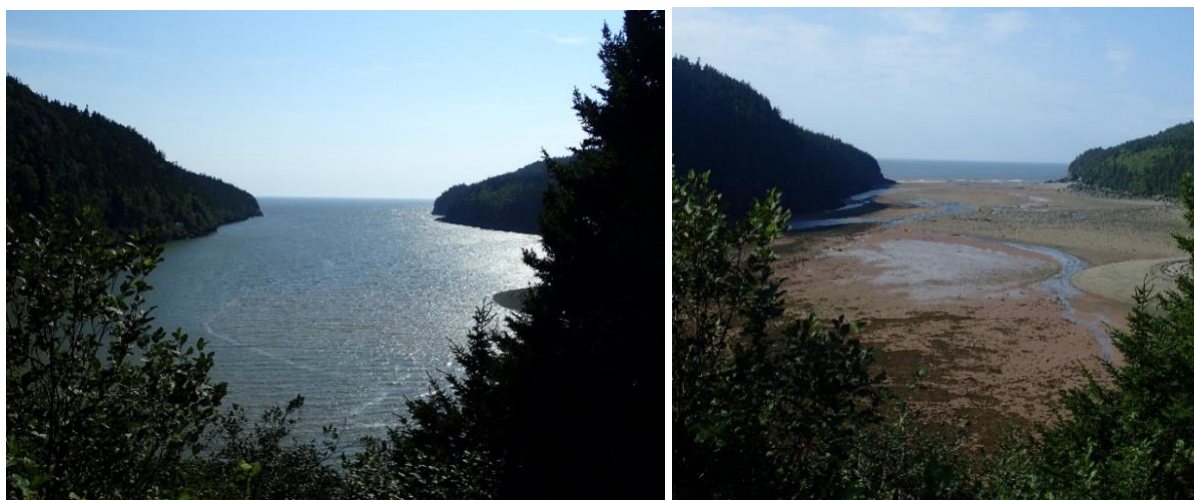


Figure 1.28 Estuaire de la rivière Point Wolfe à marée haute (1.28a) et basse (1.28b), parc national Fundy (N.-B.) (Jenna Miller)

Les principaux impacts des changements climatiques sur les lignes de rivage des estuaires seront le résultat de l'élévation relative du niveau de la mer (ERNM). L'ERNM augmentera le niveau moyen de l'eau dans les estuaires, le niveau de la mer étant le principal facteur influençant le niveau de l'eau dans les estuaires; cela pourrait faire en sorte que l'eau salée remonte davantage le cours d'eau, ce qui augmenterait la hauteur relative et l'emplacement de la limite de l'influence de la marée. La hausse des niveaux d'eau pourrait entraîner une augmentation de la hauteur des vagues et des inondations dues aux ondes de tempête, ainsi que du taux d'érosion¹²³. Afin de s'adapter à ces impacts, un réalignement géré des ouvrages durs comme les digues pourrait être mis en œuvre pour permettre l'expansion naturelle et la migration vers l'intérieur des terres de l'environnement estuarien. Un retrait planifié pourrait également être mis en œuvre pour déplacer les infrastructures essentielles hors des plaines inondables au fur et à mesure que celles-ci augmentent en taille et en hauteur.

¹²³ W. C. Glamore, D. S. Rayner et P. F. Rahman, *Estuaries and Climate Change*, monographie technique préparée pour le National Climate Change Adaptation Research Facility par le Water Research Laboratory, School of Civil and Environmental Engineering, UNSW, 2016.

Tableau 5.1 Facteurs, risques et moyens de gestion des estuaires^{124,125,126,127,128}

Facteurs déterminants	<ul style="list-style-type: none"> • Les marées et les vagues contrôlent le mouvement des sédiments et la formation des chenaux. • Le débit d'eau douce contrôle le profil et l'emplacement de l'accumulation de sédiments. Cette zone de sédimentation est appelée zone de turbidité maximale et se situe au point de rencontre entre l'eau douce et l'eau salée.
Risques	<ul style="list-style-type: none"> • Les inondations sont préoccupantes dans les environnements de faible altitude comme les estuaires, qui sont très vulnérables. • L'élévation du niveau de la mer augmente le nombre d'inondations, leur étendue et leur profondeur, dans des zones déjà vulnérables. • L'onde de tempête atteint des terres plus élevées et son intensité augmente avec l'élévation du niveau de la mer.
Moyens de gestion	<ul style="list-style-type: none"> • Les moyens recommandés comprennent la restauration des marais salés, les récifs d'huîtres, le réalignement géré de la protection côtière et le retrait planifié. • Les solutions dures de protection du rivage ne devraient être utilisées que dans des situations particulières, comme dans le cas des secteurs riverains en activité où le déplacement n'est pas envisageable. • D'autres méthodes comprennent l'utilisation de la cartographie des risques d'inondation, les marges de recul côtières, la mise en place de systèmes d'alerte aux inondations et la protection des bâtiments contre les inondations.

¹²⁴ E. Bird, *Coastal Geomorphology: An Introduction*, New York (N.Y.), John Wiley & Sons Inc., 2001.

¹²⁵ R. Davidson-Arnott, B. Bauer et C. Houser, *Introduction to Coastal Processes and Geomorphology*, 2^e éd., Cambridge (R.-U.), Cambridge University Press, 2019.

¹²⁶ C. J. Jordan, dir., *Estuaries: Classification, Ecology and Human Impacts*, New York (N.Y.), Nova Science Publishers Inc., 2012.

¹²⁷ M. M. Linham et R. J. Nicholls, *Les technologies pour l'adaptation au changement climatique : l'érosion et l'inondation des côtes*, Roskilde (Danemark), Centre Risoe du PNUE sur le climat, l'énergie et le développement durable, 2010, 184 p.

¹²⁸ D. van Proosdij et S. Page, *Best Management Practices for Climate Change Adaptation in Dykelands: Recommendations for Fundy ACAS Sites*, rapport présenté à l'association Solutions d'adaptation aux changements climatiques pour l'Atlantique (SACCA), septembre 2012, 149 p.



5.2 Structures sableuses côtières

La structure sableuse côtière est un système intégré qui englobe les plages, les dunes et l'arrière-cordon (figures 1.29 et 1.30). Certaines structures sableuses côtières comportent également des lagunes. Certaines plages peuvent être entièrement ou partiellement séparées de la côte principale et sont appelées îles-barrières ou flèches littorales. Les structures sableuses côtières sont très dynamiques et réagissent différemment aux vagues et aux marées¹²⁹.

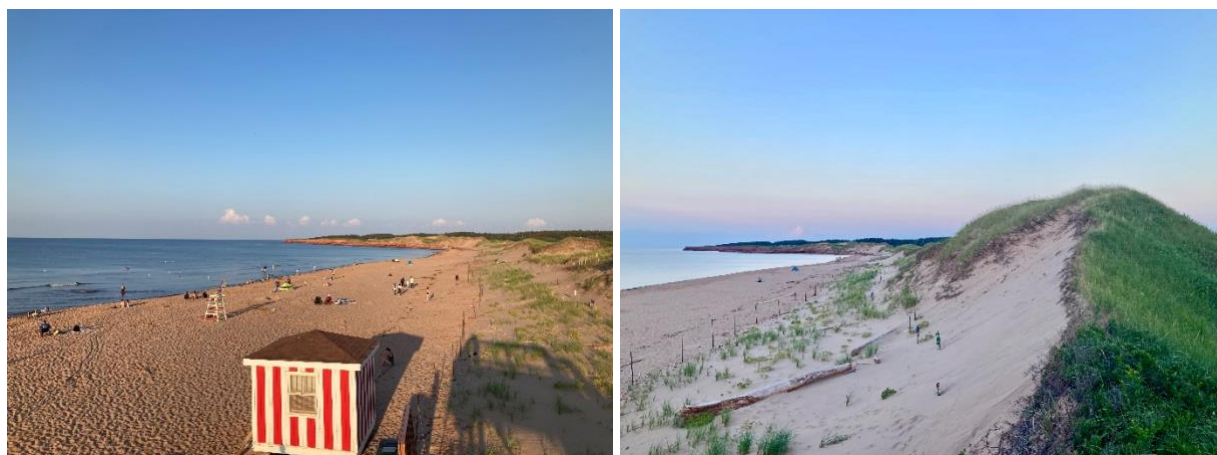


Figure 1.29 Structure de plage (1.29a) et de dunes (1.29b) à la plage de Cavendish, parc national de l'Île-du-Prince-Édouard (Jenna Miller)

Les structures sableuses côtières changent de façon saisonnière, tant sur le plan de la forme que de la composition de la plage (p. ex., du sable aux galets). Le sable est stocké dans les barres de la zone sublittorale pendant les mois d'automne et d'hiver, révélant souvent une couche sous-jacente de gravier ou de galets. Le sable stocké dans les barres de la zone sublittorale est progressivement ramené sur la plage lorsque les vagues sont plus calmes au printemps et en été. Ces deux situations sont appelées profil de plage d'été et profil de plage d'hiver. Ces plages résultent d'un équilibre dynamique de l'érosion, du transport et du dépôt de sédiments. Le sable peut également se déplacer le long du rivage (le long de la côte), juste au large, par le processus de « dérive littorale ». Les mouvements naturels du sable à terre et au large ainsi que le long de la côte (de l'amont vers l'aval ou dérive littorale) sont essentiels au maintien d'un écosystème côtier durable¹³⁰.

¹²⁹ R. Davidson-Arnott, B. Bauer et C. Houser, *Introduction to Coastal Processes and Geomorphology*, 2^e éd., Cambridge (R.-U.), Cambridge University Press, 2019.

¹³⁰ *Ibid.*

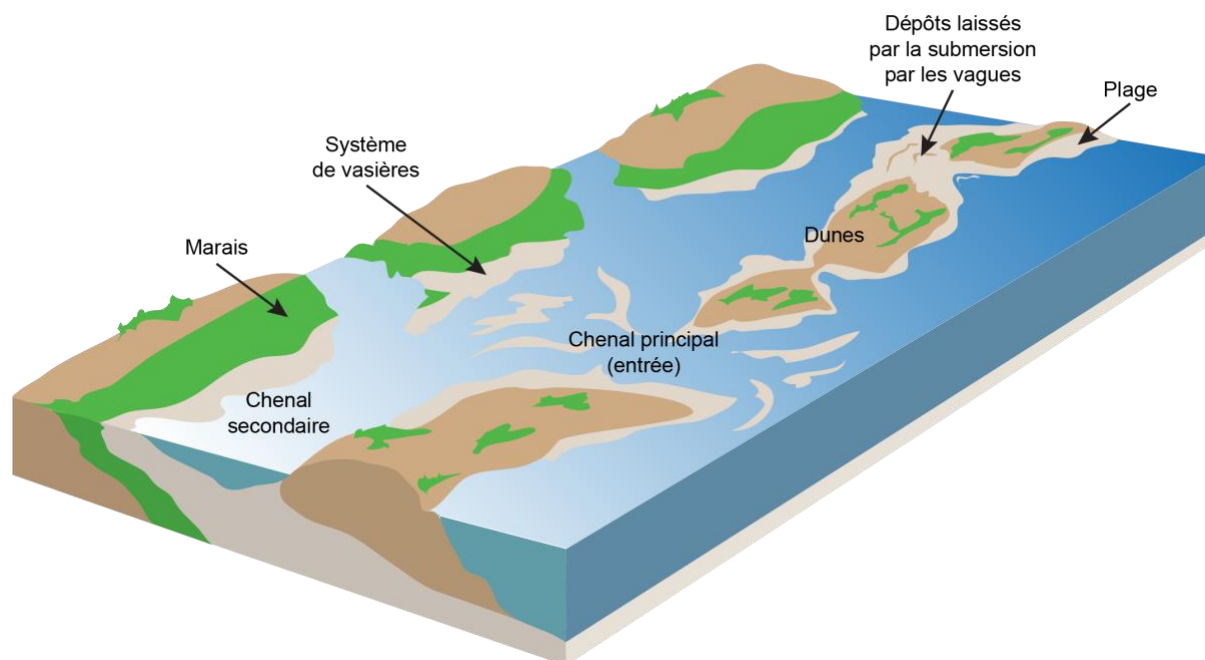


Figure 1.30 Structure sableuse côtière avec ses composantes plages, dunes et barrières (d'après Davidson-Arnott)¹³¹

Les impacts des changements climatiques, par l'entremise de l'élévation du niveau de la mer, pourraient entraîner un recul supplémentaire des systèmes de plages et de dunes vers l'intérieur des terres, si ce recul n'est pas bloqué par des caractéristiques naturelles (falaises) ou des structures construites par l'homme (compression côtière). L'accroissement de l'intensité et de la fréquence des tempêtes pourraient augmenter l'érosion du front des dunes du côté de la mer (escarpement) ainsi qu'une diminution du temps de rétablissement entre les tempêtes, les dommages étant plus importants lorsque les dunes n'ont pas eu la possibilité de se rétablir complètement entre les tempêtes. L'augmentation de l'importance des vagues et des ondes de tempête, conjuguée à l'élévation du niveau de la mer, pourrait également entraîner une augmentation des « dépôts de débordement », qui se produisent lorsque les vagues recouvrent ou franchissent (brisent) de petites dunes¹³². Les impacts des changements climatiques sur les structures sableuses côtières peuvent être contrés par la recharge des plages ainsi que par la construction et la restauration des dunes. Les dunes agissent comme une barrière naturelle protégeant les milieux et les infrastructures qui se trouvent derrière elles. Leur entretien et leur protection sont donc importants dans un contexte de changements climatiques.

¹³¹ *Ibid.*

¹³² *Ibid.*



Tableau 5.2 Facteurs, risques et moyens de gestion des structures sableuses côtières^{133,134,135,136}

Facteurs déterminants	<ul style="list-style-type: none"> • Les marées et les vagues fournissent et transportent des sédiments le long de toutes les composantes du système. Elles jouent un rôle crucial dans la formation des systèmes de barrières, car les vagues transportent et déposent des sédiments dans les barres au large pendant l'automne et l'hiver, puis les ramènent sur la plage pendant le printemps et l'été. • La taille des grains contribue à contrôler la pente de la plage et la vitesse de rétablissement après une tempête. La taille dépend de la géologie et de l'histoire glaciaire locale. • L'apport de sédiments favorise la croissance et le rétablissement des structures sableuses après les tempêtes, ce qui nécessite une source naturelle de sédiments. Les sédiments peuvent provenir d'une source marine ou fluviale. • Le vent souffle les sédiments vers l'intérieur des terres et joue un rôle crucial dans la formation des dunes. • La végétation piège et protège le sable transporté par le vent, contribuant ainsi à la construction et à la stabilisation des dunes.
Risques	<ul style="list-style-type: none"> • L'élévation du niveau de la mer étend la portée de l'océan et suscite de nombreuses préoccupations en matière d'érosion, d'inondation et d'ondes de tempête. • L'élévation du niveau de la mer accentuera l'érosion dans la zone côtière non exposée à l'eau auparavant. L'étendue de la portée dépend de l'amplitude des marées. • Le système est très sensible aux inondations. L'ennoiement des systèmes de dunes et de barrières peut aplatir les caractéristiques côtières lorsque les sédiments se déplacent vers l'intérieur des terres ou sont emportés par les courants océaniques. • Des ouvrages de protection mal adaptés ou le blocage de la dérive littorale peuvent entraîner l'érosion et la perte du système. La compression côtière se produit lorsque des ouvrages bloquent le mouvement des sédiments et, par conséquent, la capacité des structures sableuses côtières à s'élever naturellement avec le niveau de la mer, ce qui mène à leur perte éventuelle. • Les dunes sont particulièrement vulnérables à l'activité humaine. Les véhicules tout-terrain et les personnes qui y circulent peuvent causer des dommages à long terme. Les dommages à la végétation peuvent déstabiliser les dunes. Même les dépressions laissées par les empreintes de pas peuvent les exposer aux dommages causés par le vent (pourrières).
Moyens de gestion	<ul style="list-style-type: none"> • La forme de protection la plus durable et la plus naturelle consiste à permettre à la plage de conserver sa nature dynamique en permettant au sable d'aller et venir dans le système au fil des saisons et pendant les tempêtes. Cette mobilité est particulièrement importante pour la formation des dunes, qui nécessite le transfert sans entrave du sable pour soutenir la dune.

¹³³ E. Bird, *Coastal Geomorphology: An Introduction*, New York (N.Y.), John Wiley & Sons Inc., 2001.

¹³⁴ R. Davidson-Arnott, B. Bauer et C. Houser, *Introduction to Coastal Processes and Geomorphology*, 2^e éd., Cambridge (R.-U.), Cambridge University Press, 2019.

¹³⁵ M. M. Linham et R. J. Nicholls, *Les technologies pour l'adaptation au changement climatique : l'érosion et l'inondation des côtes*, Roskilde (Danemark), Centre Risoe du PNUE sur le climat, l'énergie et le développement durable, 2010, 184 p.

¹³⁶ H. Hobbs, *The Beach Book: Science of the Shore*, New York (N.Y.), Columbia University Press, 2012.



	<ul style="list-style-type: none">• La recharge des plages peut ajouter des sédiments dans le système. Lorsqu'un dragage est nécessaire pour permettre l'accès des bateaux à un chenal ou à un port, on peut envisager d'utiliser les sédiments retirés pour recharger la plage, à condition que les sédiments aient la même consistance (mélange granulométrique) que la plage.• Il convient de faire preuve de prudence lors de la construction d'ouvrages de protection dans la zone sublittorale où ils sont nécessaires, qu'ils soient perpendiculaires (ouvrage longitudinal) ou parallèles (épi) à la côte.• Il faut réduire au minimum l'incidence de l'activité humaine sur les dunes en construisant des promenades de bois ou des chemins recouverts de grillage pour l'accès à la plage et des clôtures (grillagées/perméables) autour de la base des dunes (figure 1.29) pour restreindre l'accès, protéger les dunes embryonnaires et permettre la reformation ou la régénération naturelle des zones endommagées tout en assurant l'échange de sédiments entre la plage et les dunes.• Il faut procéder à un retrait par le déplacement des activités humaines ou des infrastructures hors de la zone côtière et laisser ainsi la place aux dunes pour se déplacer naturellement vers l'intérieur des terres.
--	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------



5.3 Bas-fond intertidal (sable ou boue)

La zone intertidale est située entre la ligne de marée haute et la ligne de marée basse (figure 1.33) et est inondée périodiquement en fonction des marées. Ces conditions favorisent la création et la formation de bas-fonds intertidaux, qui sont l'accumulation de sédiments à grain fin ou de boue (silt ou argile) ou de sable le long d'une pente douce. Les bas-fonds intertidaux se forment dans les zones où il y a un apport important de sédiments à grain fin et où l'influence des marées est la plus grande force hydraulique. Les courants de marée et la force des vagues sont essentiels au transport des sédiments vers la côte.

En général, le sable et la boue sont tous deux présents sur les bas-fonds, les matières sableuses s'accumulant dans la partie inférieure et les matières boueuses, riches en carbone organique, dans la moitié supérieure¹³⁷. Toute végétation située sur les bas-fonds intertidaux est halotolérante et capable de survivre pendant la marée haute ou l'inondation par la mer ainsi que lorsqu'elle est exposée pendant la marée basse. La végétation qui pousse sur les bas-fonds intertidaux peut comprendre des plantes herbacées marines comme la zostère (*Zostera marina* Linnaeus)^{138, 139} et diverses espèces d'algues marines communément appelées fucacées (p. ex., *Ascophyllum* spp., *Fucus* spp., *F. vesiculosus*), y compris le fucus vésiculeux et l'ascophylle noueuse¹⁴⁰. La zostère a été désignée comme une espèce d'importance écologique (EIE) par le ministère des Pêches et des Océans (MPO); elle n'atteint que la partie la plus basse de la zone intertidale à partir de la zone sublittorale puisqu'il s'agit d'une plante qui prospère sous l'eau¹⁴¹.



Figure 1.31 Bas-fond intertidal à Grand-Pré (N.-É.), 2015 (Graeme Matheson, Université Saint Mary's)

¹³⁷ S. Gao, « Geomorphology and Sedimentology of Tidal Flats », dans G. M. E. Perillo, E. Wolanski, D. R. Cahoon et M. M. Brinson, dir., *Coastal Wetlands: An Integrated Ecosystem Approach*, Amsterdam (Pays-Bas), Elsevier, 2009, p. 295-312 (ch. 10).

¹³⁸ Ministère des Pêches et des Océans, *La zostère (Zostera marina) remplit-elle les critères d'espèce d'importance écologique?*, Secrétariat canadien de consultation scientifique, 2009, coll. « Avis scientifique », n° 2009/018.

¹³⁹ G. E. P. Murphy, J. C. Dunic, E. M. Adamczyk, S. J. Bittick, I. M. Côté, J. Cristiani, E. A. Geissinger, R. S. Gregory, H. K. Lotze, M. I. O'Connor, C. A. S. Araújo, E. M. Rubidge, N. D. Templeman et M. C. Wong, « From Coast to Coast to Coast: Ecology and Management of Seagrass Ecosystems across Canada », *FACETS* (en ligne), 2021, vol. 6, p. 139-179, <https://doi.org/10.1139/facets-2020-0020>.

¹⁴⁰ Maine Department of Marine Resources et Rockweed Plan Development Team, *Fishery Management Plan for Rockweed (Ascophyllum nodosum)* (en ligne), 2014, 55 p., <https://repository.library.noaa.gov/view/noaa/38001>.

¹⁴¹ G. E. P. Murphy, J. C. Dunic, E. M. Adamczyk, S. J. Bittick, I. M. Côté, J. Cristiani, E. A. Geissinger, R. S. Gregory, H. K. Lotze, M. I. O'Connor, C. A. S. Araújo, E. M. Rubidge, N. D. Templeman et M. C. Wong, « From Coast to Coast to Coast: Ecology and Management of Seagrass Ecosystems across Canada », *FACETS* (en ligne), 2021, vol. 6, p. 139-179, <https://doi.org/10.1139/facets-2020-0020>.



Les fucacées sont situées dans la partie inférieure à moyenne de la zone intertidale, et la limite supérieure de leur aire de répartition est déterminée par leur capacité à résister à la chaleur et à l'assèchement lorsqu'ils sont découverts à marée basse. Il est important de noter qu'elles ont besoin de quelque chose de solide pour s'y fixer et qu'elles n'apparaissent donc sur les bas-fonds intertidaux que lorsqu'il y a de gros rochers pour servir d'ancre¹⁴².



Figure 1.32 Bas-fonds intertidaux au N.-B. (1.32a à gauche : plage de Point Wolfe, parc national Fundy; 1.32b à droite : West Quaco; Jenna Miller)

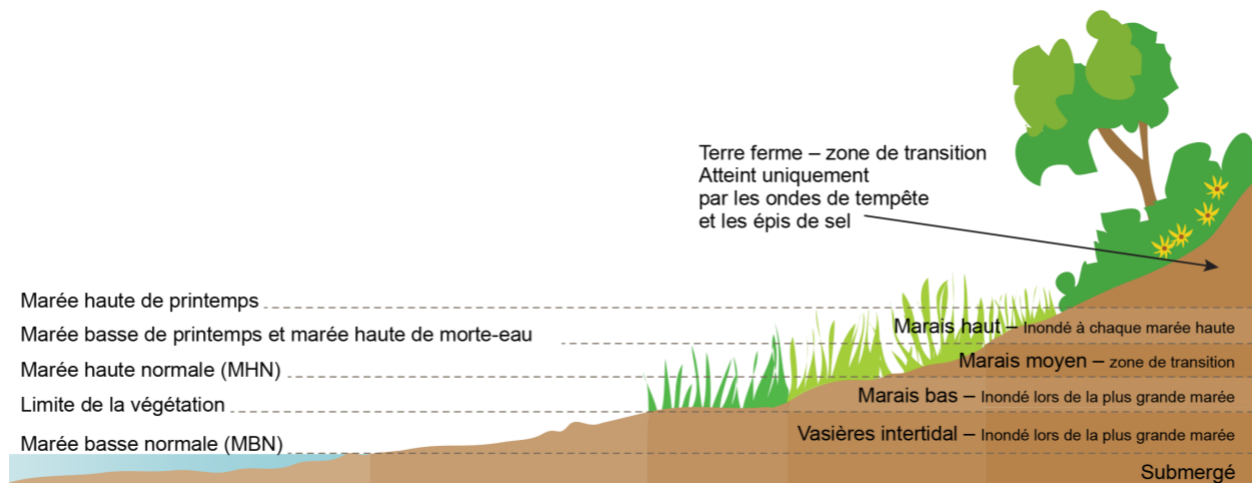


Figure 1.33 Zones de transition entre les bas-fonds intertidaux et les bas et hauts marais salés.

¹⁴² Maine Department of Marine Resources et Rockweed Plan Development Team, Fishery Management Plan for Rockweed (*Ascophyllum nodosum*) (en ligne), 2014, 55 p., <https://repository.library.noaa.gov/view/noaa/38001>.

Tableau 6.3 Facteurs, risques et moyens de gestion des bas-fonds intertidaux^{143,144,145,146,147}

Facteurs déterminants	<ul style="list-style-type: none"> • Les marées et les vagues fournissent et transportent les sédiments vers les pentes du fond douces le long de la côte. • Des amplitudes de marées plus importantes permettent d'augmenter la surface de formation des bas-fonds intertidaux. • Les bas-fonds se trouvent dans les zones à pente douce (pente sublittorale). • L'apport en sédiments provient des rivières qui déposent des sédiments dans les estuaires ou de l'érosion des zones côtières adjacentes. • La végétation piège les sédiments pour permettre un développement plus poussé des bas-fonds. Cela peut réduire l'érosion causée par les vagues et les courants.
Risques	<ul style="list-style-type: none"> • L'élévation du niveau de la mer étend la portée de l'océan et suscite de nombreuses préoccupations en matière d'érosion, d'inondation et d'ondes de tempête. • En fonction des marées, l'élévation du niveau de la mer entraînera une érosion accrue dans les secteurs de la zone côtière qui n'étaient pas initialement exposés à l'eau. • Les zones de faible altitude sont très sensibles aux inondations. Les ondes de tempête peuvent avoir un effet considérable sur les bas-fonds, où l'action des vagues peut éroder, transporter ou accumuler des sédiments dans différentes zones. Certaines zones pourraient subir une érosion accrue du bas-fond, tandis que d'autres pourraient voir un dépôt accru de sédiments. • Des ouvrages de protection mal adaptés ou le blocage de la dérive littorale peuvent entraîner l'érosion et la perte du système.
Moyens de gestion	<ul style="list-style-type: none"> • Comme les structures sableuses côtières, les bas-fonds intertidaux sont des emplacements dynamiques. • Bien que les bas-fonds intertidaux ne soient généralement pas des ouvrages construits par des humains, l'influence de ces derniers peut néanmoins être néfaste. Ils peuvent accumuler dans leurs sédiments des polluants provenant de sources terrestres, et les véhicules qui circulent sur les bas-fonds intertidaux peuvent être très dommageables pour les espèces invertébrées qui sont des sources de nourriture essentielles pour les oiseaux migrateurs (en particulier sur les vastes bas-fonds de la région supérieure de la baie de Fundy). • La façon la plus durable et la plus naturelle de protéger le trait de côte est de permettre au bas-fond de maintenir sa réactivité naturelle en permettant aux sédiments d'aller et de venir dans le système au fil des saisons et des tempêtes.

¹⁴³ S. Gao, « Geomorphology and Sedimentology of Tidal Flats », dans G. M. E. Perillo, E. Wolanski, D. R. Cahoon et M. M. Brinson, dir., *Coastal Wetlands: An Integrated Ecosystem Approach*, Amsterdam (Pays-Bas), Elsevier, 2009, p. 295-312 (ch. 10).

¹⁴⁴ E. Bird, *Coastal Geomorphology: An Introduction*, New York (N.Y.), John Wiley & Sons Inc., 2001.

¹⁴⁵ R. Davidson-Arnott, B. Bauer et C. Houser, *Introduction to Coastal Processes and Geomorphology*, 2^e éd., Cambridge (R.-U.), Cambridge University Press, 2019.

¹⁴⁶ M. M. Linham et R. J. Nicholls, *Les technologies pour l'adaptation au changement climatique : l'érosion et l'inondation des côtes*, Roskilde (Danemark), Centre Risoe du PNUE sur le climat, l'énergie et le développement durable, 2010, 184 p.

¹⁴⁷ C. H. Hobbs, *The Beach Book: Science of the Shore*, New York (N.Y.), Columbia University Press, 2012.



5.4 Marais salés

Les marais salés sont des zones végétalisées de la partie supérieure de la zone intertidale; ils sont exposés à marée basse, submergés à marée haute et bordés côté mer par les bas-fonds intertidaux. Les plantes des marais salés sont halotolérantes et capables de survivre pendant la marée haute ou l'inondation par la mer (figure 1.34)¹⁴⁸.

Les marais salés sont très adaptatifs et poussent rapidement s'ils en ont la possibilité. Ils se forment en zone calme et abritée, où les vagues sont faibles, comme les estuaires, les baies et les lagunes. Il a été prouvé qu'ils atténuent l'action et la hauteur des vagues de plus de 50 % dans certains cas^{149,150}. Ces systèmes dépendent toutefois d'un équilibre dans l'accumulation de sédiments entre a) les matières inorganiques qui se déposent à la surface du marais à chaque marée, lors de tempêtes ou à la fonte de blocs de glace et b) la production souterraine provenant de la croissance du système racinaire des plantes. Tous ces facteurs contribuent à l'élévation de la base du marais en même temps que l'élévation du niveau de la mer (figure 1.35).



Figure 1.34 Marais de Cheverie Creek (N.-É.) à marée haute en 2014, neuf ans après la restauration (Christa Skinner, Université Saint Mary's)

Les marais salés se divisent généralement en deux zones, le bas marais et le haut marais, selon la fréquence et la durée de submersion par la marée et les espèces végétales dominantes. Le bas marais s'étend de la limite inférieure de la transition avec le bas-fond intertidal (vasière) à la ligne de marée haute moyenne; il est donc inondé à chaque marée haute. Le haut marais s'étend de la ligne de marée haute moyenne à celle de vives-eaux, il n'est donc inondé que brièvement lors des marées les plus hautes du mois. En raison du stress que les inondations et le sel exercent sur la végétation, le bas marais est dominé par une ou deux espèces seulement; le nombre d'espèces augmente dans le haut marais. Les marais salés sont parfois appelés marais littoraux, une classe qui comprend des espèces d'eau saumâtre (moins salée) et certaines espèces d'eau douce plus haut dans la zone intertidale, généralement dans le cours supérieur des rivières à marées.

¹⁴⁸ E. Bird, *Coastal Geomorphology: An Introduction*, New York (N.Y.), John Wiley & Sons Inc., 2001.

¹⁴⁹ *Ibid.*

¹⁵⁰ R. Davidson-Arnott, B. Bauer et C. Houser, *Introduction to Coastal Processes and Geomorphology*, 2^e éd., Cambridge (R.-U.), Cambridge University Press, 2019.



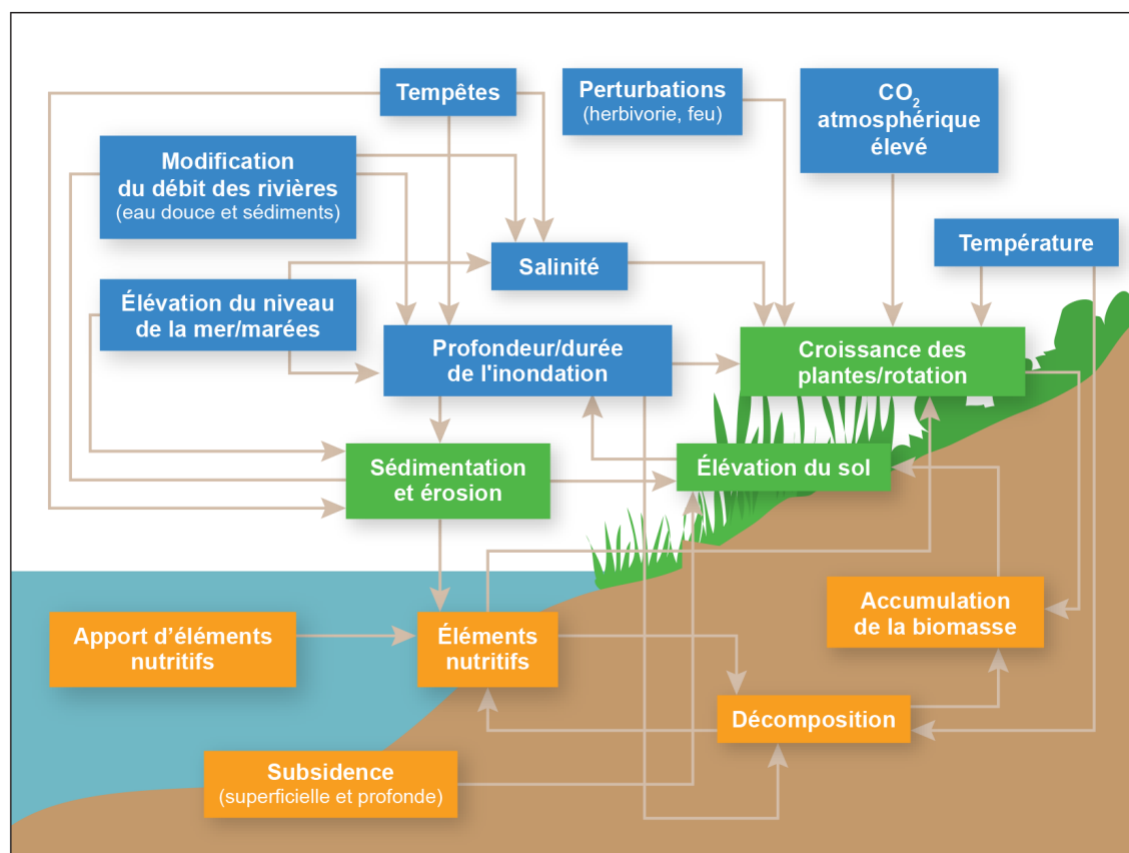


Figure 1.35 Facteurs et processus des marais salés contribuant à la survie et au relèvement avec l'élévation du niveau de la mer (d'après Roman)¹⁵¹

Les marais salés subissent les impacts des changements climatiques notamment avec l'élévation du niveau de la mer. La capacité d'un marais salé à survivre à l'élévation du niveau de la mer dépend de la vitesse à laquelle les sédiments s'y accumulent. Si le taux d'accrétion est trop faible pour compenser l'élévation du niveau de la mer, le marais risque de s'ennoyer peu à peu. Les marais salés à fort taux d'accrétion, comme dans la partie supérieure de la baie de Fundy, peuvent prendre de vitesse l'élévation du niveau de la mer s'ils ont l'espace pour remonter vers l'intérieur des terres. Par contre, les ouvrages durs, comme les digues, peuvent bloquer leur remontée et provoquer une compression côtière¹⁵², un effet qui peut être atténué par le réaligement géré des digues et autres ouvrages durs. En fait, permettre la croissance des marais salés et restaurer les marais disparus est une forme d'adaptation aux changements climatiques. En réduisant la force des vagues, les marais atténuent l'érosion et protègent les infrastructures à l'intérieur des terres^{153,154}.

¹⁵¹ C. T. Roman, « Salt Marsh Sustainability: Challenges during an Uncertain Future », *Estuaries and Coasts*, vol. 40 (2017), p. 711-716.

¹⁵² *Ibid.*

¹⁵³ *Ibid.*

¹⁵⁴ D. van Proosdij, P. Manuel, K. Sherren, E. Rapaport, C. McFadden, T. Rahman et Y. Reeves, *Making Room for Movement: A Framework for Implementing Nature-Based Coastal Adaptation Strategies in Nova Scotia*, Halifax (N.-É.), TransCoastal Adaptations Centre for Nature-Based Solutions, Université Saint Mary's, 2021, document préparé pour Ressources naturelles Canada.

Tableau 5.4 Facteurs, risques et moyens de gestion des marais salés^{155,156,157}

Facteurs déterminants	<ul style="list-style-type: none"> • Aux sédiments déposés par les processus fluviaux (rivières) s'ajoutent ceux transportés par les marées et les vagues. • Les changements en surface, provoqués par le taux de dépôt des sédiments et l'apport de la production sous-terrainne dans la zone racinaire, peuvent modifier l'élévation du marais, qui monte avec l'accrétion en surface ou l'expansion des racines. • L'abondance de sédiments permet la croissance des marais et les grains de petite taille ne peuvent se déposer qu'en eaux calmes. Les silts et argiles sont les principaux sédiments des marais salés, bien que les marais salés des côtes de l'Atlantique et du golfe puissent contenir davantage de sable. • La végétation piège les sédiments, ce qui favorise l'accrétion et affaiblit les vagues. La production racinaire aide le marais salé à prendre de la hauteur. • Le relief naturel du littoral (p. ex., une falaise) peut faire obstacle à la migration du marais salé vers l'intérieur (compression côtière).
Risques	<ul style="list-style-type: none"> • L'impact de l'élévation du niveau de la mer dépend du taux d'accrétion des sédiments. Si le taux d'accrétion ne compense pas l'élévation du niveau de la mer, l'habitat palustre s'ennoie. • L'érosion est causée par l'exposition à la force des vagues, un apport faible en sédiments et la bioturbation (perturbation des sédiments par l'activité des organismes vivants, comme les crabes). Les sédiments du bas-fond intertidal remis en suspension sont une source importante pour le système du marais, qui s'atrophie lorsque ces sédiments viennent à manquer. • Les ouvrages durs ou les caractéristiques naturelles (falaise, pente abrupte) peuvent bloquer la migration des marais salés vers l'intérieur des terres en réaction à l'élévation du niveau de la mer (compression côtière).
Moyens de gestion	<ul style="list-style-type: none"> • Les marais s'adaptent naturellement bien à la modification du niveau de la mer et de la ligne de rivage; ils dissipent l'énergie des vagues tout en servant de zone tampon contre les inondations, et ils abritent des invertébrés, des oiseaux et des poissons. • La mise en œuvre de plans visant à permettre la croissance ou la stabilité des marais salés constitue en soi une stratégie de gestion des inondations. • On peut combiner les interventions dures (roches) et douces (plantes) afin de mieux reconstituer un marais salé. • La planification stratégique vient appuyer l'élaboration de politiques de gestion des bassins hydrographiques et des milieux humides. • Le réalignement géré des digues (et d'autres ouvrages durs) donne de l'espace aux marais, qui migrent suivant l'élévation du niveau de la mer, et facilite leur repousse pour éviter la compression côtière. L'élimination des barrières de marées (ponceaux, aboiteaux) permet aussi l'expansion des marais salés en amont.

¹⁵⁵ E. Bird, *Coastal Geomorphology: An Introduction*, New York (N.Y.), John Wiley & Sons Inc., 2001.

¹⁵⁶ R. Davidson-Arnott, B. Bauer et C. Houser, *Introduction to Coastal Processes and Geomorphology*, 2^e éd., Cambridge (R.-U.), Cambridge University Press, 2019.

¹⁵⁷ M. M. Linham et R. J. Nicholls, *Les technologies pour l'adaptation au changement climatique : l'érosion et l'inondation des côtes*, Roskilde (Danemark), Centre Risoe du PNUÉ sur le climat, l'énergie et le développement durable, 2010, 184 p.

5.5 Plages de galets

Les galets sont de petites pierres dont la taille varie de celle d'une balle de tennis à celle d'un ballon de volleyball¹⁵⁸. Les plages de galets se composent de till et d'autres roches provenant de sédiments qui se sont accumulés le long de la côte au retrait des glaciers après la dernière glaciation. Généralement beaucoup plus escarpées que les plages de sable^{159,160}, Elles se forment généralement sur les îles et les promontoires où elles sont alimentées par l'érosion des drumlins (longues collines allongées constituées de sédiments laissés par le retrait des glaciers) le long de la côte (figure 1.36)¹⁶¹.



Figure 1.36 Plage de galets à Ingonish (N.-É.) (Don Jardine, Université de l'Île-du-Prince-Édouard)

Les plages de galets ne s'érodent pas facilement, mais peuvent bouger lors des grosses tempêtes. Elles sont donc menacées par l'élévation du niveau de la mer qui augmente la hauteur des ondes de tempête (figure 1.37). Le déplacement se faisant surtout vers l'intérieur des terres, les plages et barrières de galets risquent la compression côtière si elles n'ont pas l'espace nécessaire pour migrer.

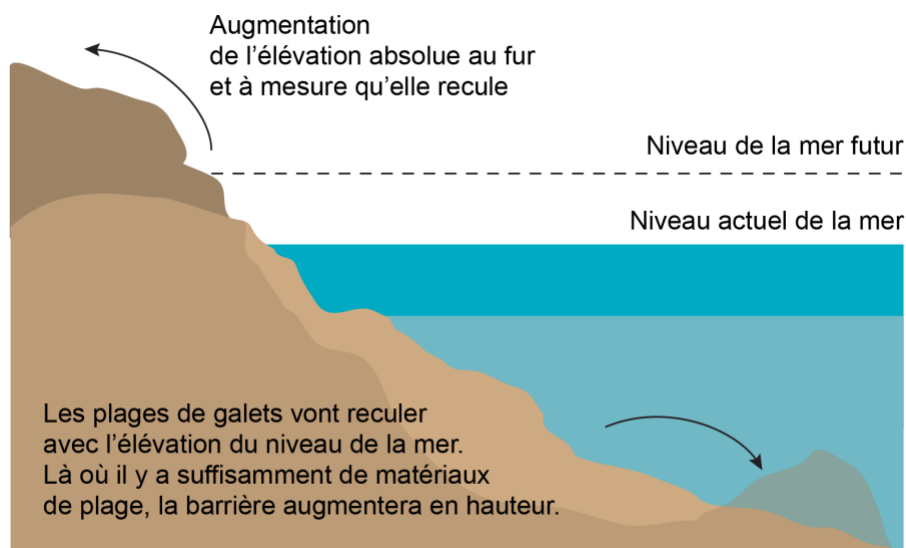


Figure 1.37 Processus côtiers des plages de galets (modifié d'après Wratt et coll.)

¹⁵⁸ M. Butler, R. D. Chiasson, R. W. Dauray, S. Dean, S. B. Dietz, N. MacKinnon et J. Steel, « Module 9 : Plages de galets », dans *Au bord de la mer : guide de la zone côtière du Canada atlantique*, Moncton (N.-B.), Ministère des Pêches et des Océans, 1996, 40 p. 159 Ibid.

¹⁶⁰ R. Davidson-Arnott, B. Bauer et C. Houser, *Introduction to Coastal Processes and Geomorphology*, 2e éd., Cambridge (R.-U.), Cambridge University Press, 2019.

¹⁶¹ M. Butler, R. D. Chiasson, R. W. Dauray, S. Dean, S. B. Dietz, N. MacKinnon et J. Steel, « Module 9 : Plages de galets », dans *Au bord de la mer : guide de la zone côtière du Canada atlantique*, Moncton (N.-B.), Ministère des Pêches et des Océans, 1996, 40 p.

Tableau 5.5 Facteurs, risques et moyens de gestion des plages de galets^{162,163,164,165}

Facteurs déterminants	<ul style="list-style-type: none"> • Les galets se composent de till et d'autres roches déposés le long de la côte pendant le retrait des glaciers. L'érosion des drumlins et des collines formés par le retrait des glaciers fournit des sédiments aux plages de galets dans un rayon limité. • Les vagues fortes projettent les galets plus haut sur la plage. Le réaménagement de la plage est limité par la force des vagues et sa capacité à déplacer les galets.
Risques	<ul style="list-style-type: none"> • L'élévation du niveau de la mer inondera et submergera les galets. Dans des conditions normales, les vagues risquent de ne pas être assez fortes pour déplacer les galets. • L'onde de tempête augmente leur intensité, entraînant la projection de galets, ce qui peut causer des dommages aux infrastructures essentielles telles que les routes situées près du rivage. Une onde de tempête peut ouvrir une brèche dans une plage de galets, formant une passe de marée et ayant un impact sur la zone située derrière. • Les structures situées directement derrière la plage de galets (une falaise par exemple) peuvent en bloquer le retrait naturel vers l'intérieur des terres en réaction à l'élévation du niveau de la mer (compression côtière).
Moyens de gestion	<ul style="list-style-type: none"> • Peu de recherches existent sur les moyens de gestion des plages de galets. • Les plages de galets résistent assez bien à l'érosion, quoique moins bien que les rivages rocheux. • Les infrastructures adjacentes aux plages de galets étant les plus menacées par les inondations, les moyens de gestion des inondations, comme la surélévation ou la protection des bâtiments, sont indiqués. • L'établissement de marges de recul et de restrictions dans l'aménagement du territoire réduira la menace. • On envisagera si possible le retrait planifié.

¹⁶² E. Bird, Coastal Geomorphology: An Introduction, New York (N.Y.), John Wiley & Sons Inc., 2001.

¹⁶³ R. Davidson-Arnott, B. Bauer et C. Houser, Introduction to Coastal Processes and Geomorphology, 2e éd., Cambridge (R.-U.), Cambridge University Press, 2019.

¹⁶⁴ M. Butler, R. D. Chiasson, R. W. Daury, S. Dean, S. B. Dietz, N. MacKinnon et J. Steel, « Module 9 : Plages de galets », dans Au bord de la mer : guide de la zone côtière du Canada atlantique, Moncton (N.-B.), Ministère des Pêches et des Océans, 1996, 40 p.

¹⁶⁵ M. M. Linham et R. J. Nicholls, Les technologies pour l'adaptation au changement climatique : l'érosion et l'inondation des côtes, Roskilde (Danemark), Centre Risoe du PNUE sur le climat, l'énergie et le développement durable, 2010, 184 p.



5.6 Falaises, escarpements et berges (sédiments cohésifs)

Les falaises, escarpements et berges sont des structures qui s'érodent naturellement et approvisionnent en sédiments les milieux d'accumulation sédimentaire voisins (plages de sable ou de galets, estuaires, bas-fonds intertidaux et marais salés). Elles se composent d'un mélange de roches dures et tendres ou de sédiments cohésifs comme les silts et les argiles. La pente des falaises et escarpements est abrupte et généralement supérieure à 40°^{166, 167}. En général, la falaise fait plus de huit mètres de hauteur, l'escarpement fait de trois à huit mètres, et la berge fait trois mètres ou moins (figure 1.38)¹⁶⁸.



Figure 1.38 Berge de Cavendish (Î.-P.-É.), 2013 (Samantha Page)



Figure 1.39 Falaise/escarpement en érosion à l'Î.-P.-É. (Jenna Miller)

Le type de roche ou de sédiment cohésif influe sur la résistance à l'action des vagues d'une falaise, d'un escarpement ou d'une berge. Un escarpement composé de till peut s'éroder rapidement^{169, 170}. Le till est un mélange pêle-mêle de sédiments déposés au retrait des glaciers lors de la dernière période glaciaire, formant parfois des structures particulières, comme les drumlins de la côte atlantique de la Nouvelle-Écosse, qui s'érodent en raison de la nature tendre du till¹⁷¹. Même si tous les rivages cohésifs subissent de l'érosion, celle-ci est exceptionnelle à l'Île-du-Prince-Édouard par rapport aux autres provinces de l'Atlantique (figure 1.39).

¹⁶⁶ E. Bird, *Coastal Geomorphology: An Introduction*, New York (N.Y.), John Wiley & Sons Inc., 2001.

¹⁶⁷ R. Charlton, *Fundamentals of Fluvial Geomorphology*, New York (N.Y.), Routledge, 2008.

¹⁶⁸ M. Davies, *Geomorphic Shoreline Classification of Prince Edward Island*, rapport préparé par Coldwater Consulting Ltd à l'intention de l'association Solutions d'adaptation aux changements climatiques pour l'Atlantique (SACCA), 2011, 66 p.

¹⁶⁹ E. Bird, *Coastal Geomorphology: An Introduction*, New York (N.Y.), John Wiley & Sons Inc., 2001.

¹⁷⁰ R. Davidson-Arnott, B. Bauer et C. Houser, *Introduction to Coastal Processes and Geomorphology*, 2e éd., Cambridge (R.-U.), Cambridge University Press, 2019.

¹⁷¹ T. C. Forde, M. R. Nedimović, M. R. Gibling et D. L. Forbes, « Coastal Evolution over the Past 3000 Years at Conrads Beach, Nova Scotia: The Influence of Local Sediment Supply on a Paraglacial Transgressive System », *Estuaries and Coasts* (en ligne), 2016, vol. 39, p. 363-384, <https://doi.org/10.1007/s12237-015-0016-6>.

Tableau 5.6 Facteurs, risques et moyens de gestion des falaises, escarpements et berges^{172, 173, 174, 175}

Facteurs déterminants	<ul style="list-style-type: none"> • L'action continue des vagues use la roche et les sédiments fins. • La pluie, les changements de température et l'évaporation de l'humidité contribuent à l'usure de la roche et des sédiments fins. • Les fortes pluies entraînent une augmentation du ruissellement (écoulement de surface) sur de courtes périodes, ce qui intensifie les processus d'altération. • Le type de roche (dure ou tendre) et sa stratification déterminent la résistance à l'érosion.
Risques	<ul style="list-style-type: none"> • Le taux d'érosion dépend de la résistance des sédiments. Une structure peut s'éroder par le pied (action des vagues) ou par la crête (affaissement et drainage lent). • L'élévation du niveau de la mer peut entraîner l'inondation ou la submersion. Les infrastructures situées le long de l'arrière-plage s'inonderont en présence de berges et d'escarpements bas. L'érosion remontera le long du profil littoral. • La grande force des vagues lors d'ondes de tempête occasionnera des dommages aux infrastructures et davantage d'érosion. • Avec les changements climatiques, l'augmentation et l'intensification des événements de précipitation feront en sorte qu'une plus grande quantité de pluie tombera lors d'un épisode donné, augmentant le ruissellement (écoulement de surface), le ravinement et l'affaissement ultérieur. • Le front d'une falaise risque de s'effondrer s'il perd des sédiments par divers processus d'érosion : sapement, mouvement de masse, gel-dégel, écoulement de surface, effet de renard, creusement ou ravinement.
Moyens de gestion	<ul style="list-style-type: none"> • Le retrait constitue la meilleure solution là où il est possible. • La restriction de l'utilisation des terres et les marges de recul pourront s'imposer selon le taux de récession et la stabilité des falaises, escarpements ou berges. • On peut stabiliser les falaises, escarpements ou berges le long du pied (bas) ou de la crête (haut) par la végétalisation ou l'enrochement. On peut également stabiliser les berges par le reprofilage de la pente. • La stabilisation ne peut se faire qu'en dehors de l'habitat de l'hirondelle de rivage, une espèce menacée. • La création d'un plan de gestion du drainage est nécessaire.

¹⁷² R. Charlton, *Fundamentals of Fluvial Geomorphology*, New York (N.Y.), Routledge, 2008.

¹⁷³ E. Bird, *Coastal Geomorphology: An Introduction*, New York (N.Y.), John Wiley & Sons Inc., 2001.

¹⁷⁴ R. Davidson-Arnott, B. Bauer et C. Houser, *Introduction to Coastal Processes and Geomorphology*, 2e éd., Cambridge (R.-U.), Cambridge University Press, 2019.

¹⁷⁵ M. M. Linham et R. J. Nicholls, *Les technologies pour l'adaptation au changement climatique : l'érosion et l'inondation des côtes*, Roskilde (Danemark), Centre Risoe du PNUÉ sur le climat, l'énergie et le développement durable, 2010, 184 p.



5.7 Rivages rocheux

Par rapport aux autres types de systèmes côtiers, les rivages rocheux sont les plus résistants aux effets des intempéries et de l'érosion. L'érosion se produit relativement lentement, mais généralement pas au même rythme le long du littoral en raison des différences dans le type de roche (dureté), les couches et les fractures (figure 1.40; figure 1.41). En ce qui a trait à l'élévation du niveau de la mer, bien que le taux d'érosion ne s'accélère pas, l'altitude à laquelle l'érosion a lieu change¹⁷⁶.

Les aménagements réalisés à proximité des rivages rocheux seront de plus en plus vulnérables aux inondations et aux ondes de tempête en raison des changements climatiques. Cette vulnérabilité résulte de la combinaison de leur faible altitude et du drainage inadéquat qui résulte du ruissellement pendant les tempêtes. En outre, l'augmentation de la profondeur de l'eau à la base de la falaise peut accroître la hauteur des vagues (et donc leur force) qui se brisent contre le pied, accélérant ainsi l'érosion due à l'action des vagues et de l'eau.

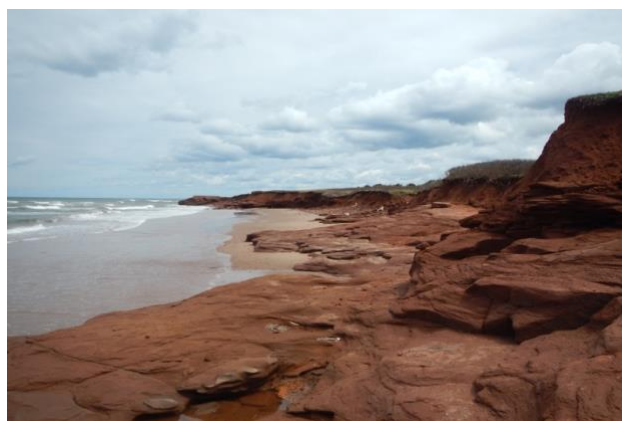


Figure 1.40 Rivage rocheux de grès érodable à l'Î.-P.-É. (Samantha Page)



Figure 1.41 Rivages rocheux résistants, 1.41a Cape Spear; 1.41b Pouch Cove (T.-N.-L.) (Sepehr Khosravi)

¹⁷⁶ R. Davidson-Arnott, B. Bauer et C. Houser, Introduction to Coastal Processes and Geomorphology, 2e éd., Cambridge (R.-U.), Cambridge University Press, 2019.



Tableau 5.8 Facteurs, risques et moyens de gestion des rivages rocheux^{177,178}

Facteurs déterminants	<ul style="list-style-type: none"> • L'action constante des vagues use les matières rocheuses. Le type de roche détermine la résistance à l'érosion et aux intempéries. • L'exposition à la pluie, aux changements de température et à l'évaporation de l'humidité contribue à l'usure de la matière rocheuse.
Risques	<ul style="list-style-type: none"> • L'élévation du niveau de la mer peut entraîner l'inondation ou la submersion (couverture par l'eau). La roche solide ne « s'accumule » pas lorsqu'elle est inondée, elle est submergée par l'eau. Toute infrastructure située le long de l'arrière-plage sera inondée. L'érosion remontera le long du profil littoral. Le taux d'érosion ne changera pas s'il s'agit de roche dure. • L'élévation du niveau de la mer permettra aux ondes de tempête de se déplacer plus loin à l'intérieur des terres, menaçant les infrastructures à proximité. L'augmentation de la profondeur de l'eau permettra à de plus grandes vagues d'atteindre la falaise rocheuse, ce qui augmentera le taux d'érosion au pied de la falaise et le risque de chutes de pierres.
Moyens de gestion	<ul style="list-style-type: none"> • Peu de recherches existent sur les possibilités de gestion des rivages rocheux. • Il n'existe pas beaucoup d'outils techniques applicables aux rivages rocheux, en raison de la résistance de ces littoraux. • Les outils d'aménagement du territoire, comme les règlements, les restrictions et les changements d'utilisation des terres, conviendraient pour atténuer les répercussions des inondations. • Le retrait planifié est la meilleure option lorsque cela est possible.

¹⁷⁷ E. Bird, Coastal Geomorphology: An Introduction, New York (N.Y.), John Wiley & Sons Inc., 2001.

¹⁷⁸ R. Davidson-Arnott, B. Bauer et C. Houser, Introduction to Coastal Processes and Geomorphology, 2e éd., Cambridge (R.-U.), Cambridge University Press, 2019.



5.8 Côtes aménagées et gérées

Il existe quatre groupes de côtes aménagées et gérées :

- agglomérations fortement bâties (villes);
- agglomérations de faible densité (propriétés privées le long de la côte, comme une rangée de chalets);
- terres agricoles (y compris les pâturages et les champs de culture);
- zones gérées, qui sont des biens humains importants non résidentiels (p. ex., les stations d'épuration et de traitement des eaux, les quais, les routes et les ponts).

5.8.1 Agglomérations fortement bâties

Une agglomération fortement bâtie désigne une concentration de bâtiments résidentiels et de soutien (comme une ville) (figure 1.42). Les agglomérations fortement bâties disposent généralement de services centralisés comme l'eau potable, les égouts, la gestion des déchets et les services d'incendie et de sécurité. En général, des fonds sont alloués à l'entretien des infrastructures municipales. Les agglomérations fortement bâties ont tendance à évoluer en pôle d'activité économique¹⁷⁹, avec des revenus municipaux plus élevés associés à la fois aux industries primaires (ressources naturelles) et aux services commerciaux.



Figure 1.42 Trinity (T.-N.-L.)
(Sepehr Khosravi)

La capacité d'adaptation à l'élévation du niveau de la mer varie d'une agglomération fortement bâtie à l'autre, mais les gouvernements municipaux et les propriétaires peuvent avoir accès à des ressources qui facilitent l'aménagement du territoire ou les approches d'adaptation techniques. Par exemple, les personnes vivant dans des villes peuvent avoir un meilleur accès aux ressources grâce au financement public et aux partenariats institutionnels de la région. L'expertise et la main-d'œuvre qui découlent de ces partenariats peuvent faciliter l'accès à des stratégies d'adaptation efficaces.

¹⁷⁹ D. Freshwater, « Delusions of Grandeur: The Search for a Vibrant Rural America », dans G. Halseth et R. Halseth, dir., *Building for Success: Exploration of Rural Community and Rural Development*, Calgary (Alb.), Rural Development Institute, 2004, p. 2, 9 et 50 (ch. 2).

Les habitants des villes bénéficient donc de ce soutien : l'adaptation peut profiter à tous les membres de la collectivité, mais aussi individuellement, notamment aux personnes qui possèdent des propriétés riveraines. Cependant, la compréhension et les points de vue divergeront souvent au sujet de l'adaptation et des meilleures stratégies à adopter. Le processus décisionnel en matière d'adaptation doit mobiliser un éventail aussi large que possible de membres de la collectivité et d'intervenants afin de garantir l'approche la plus largement acceptable et la plus avantageuse possible. En ce sens, lorsqu'ils décident des stratégies d'adaptation à mettre en œuvre, les propriétaires côtiers doivent faire un effort pour discuter et planifier avec leurs voisins. Cela est particulièrement important lorsque l'adaptation exige la construction d'ouvrages techniques susceptibles de modifier le transport des sédiments, l'érosion et l'accrétion, car les ouvrages construits sur une propriété peuvent avoir une incidence sur les propriétés voisines. Par exemple, si un propriétaire construit un perré sur toute la longueur de son rivage, ses voisins pourraient faire face à des taux d'érosion plus élevés qu'auparavant, car il y a souvent une érosion accrue autour des extrémités des perrés; si un propriétaire construit un épi ou un autre ouvrage perpendiculaire au rivage pour encourager la formation de la plage sur sa propriété, son voisin en aval pourrait faire face à une érosion accrue, car l'épi bloque le transport du sable sur sa propriété. En outre, la planification avec les voisins peut permettre aux propriétaires de partager le coût de la mise en œuvre des moyens d'adaptation retenus. Les associations de propriétaires ou d'autres groupes collectifs pourraient faciliter ces discussions.

5.8.2 Agglomérations de faible densité

Les agglomérations de faible densité sont des zones résidentielles rurales situées en dehors des agglomérations fortement bâties (figure 1.43). Les infrastructures centrales (comme l'eau potable et les égouts) n'existent pas dans les agglomérations de faible densité; les propriétaires gèrent eux-mêmes leur approvisionnement en eau et leur évacuation des eaux usées. L'accès aux services peut être limité par les longues distances entre le lieu de résidence et l'emplacement des services, y compris les services communautaires (pompiers, police, soins de santé, etc.)¹⁸⁰. Ces longues distances peuvent être source d'isolement. Lors de situations d'urgence mettant en cause des inondations, par exemple, les gens peuvent être coupés de toute aide, y compris des services d'urgence et de voisins éloignés.



Figure 1.43 Région de Western Bay (T.-N.-L.) (Sepehr Khosravi)

¹⁸⁰ Ibid.



Les propriétaires vivant dans des agglomérations de faible densité peuvent avoir à supporter individuellement le coût et l'effort d'adaptation, et les coûts peuvent être élevés si la vulnérabilité du littoral d'un propriétaire est importante. L'intensité de l'aléa côtier déterminera la faisabilité – environnementale et économique – de rester dans une zone.

5.8.3 Terres agricoles

Les zones agricoles sont des terres consacrées à la production de grains céréaliers, de fruits, de légumes et de bétail. Les inondations et l'érosion associées à l'élévation du niveau de la mer rendent vulnérable l'agriculture en zone côtière, touchant non seulement le rendement des cultures d'un agriculteur, mais aussi la disponibilité des terres pour soutenir les activités agricoles¹⁸¹. Au Canada atlantique, par exemple, des digues protègent des inondations des terres agricoles côtières (principalement le long de la baie de Fundy) qui sont considérées comme les meilleures terres arables de la Nouvelle-Écosse (figure 1.44). Cependant, ces digues ne protègent plus seulement les terres agricoles, mais aussi des villes entières dans certains cas. Avec la menace de l'élévation du niveau de la mer, elles doivent être surélevées ou réalignées pour garantir une protection continue contre le risque croissant d'inondation.

L'importance de protéger ces zones va au-delà du bien-être économique et personnel de l'agriculteur : l'approvisionnement alimentaire est une préoccupation sociétale.



Figure 1.44 Terres agricoles protégées par des digues, Sackville (N.-B.) (Sabine Dietz)

¹⁸¹ P. Dasgupta, J. F. Morton, D. Dodman, B. Karapinar, F. Meza, M. G. Rivera-Ferre, A. Toure Sarr et K. E. Vincent, « Rural areas », dans C. B. Field, V. R. Barros, D. J. Dokken, K. J. Mach, M. D. Mastrandrea, T. E. Bilir, M. Chatterjee, K. L. Ebi, Y. O. Estrada, R. C. Genova, B. Girma, E. S. Kissel, A. N. Levy, S. MacCracken, P. R. Mastrandrea et L. L. White, dir., *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge (R.-U.), Cambridge University Press, 2014, p. 613-657.

5.8.4 Zones gérées

Les zones gérées sont des endroits qui sont surveillés et entretenus en raison de leur importance pour le soutien général à l'activité et au développement de la collectivité. Les zones gérées peuvent inclure des zones de loisirs comme des parcs, des lieux d'intérêt historiques et des actifs nécessaires au bon fonctionnement d'une collectivité. Une infrastructure est considérée comme tout élément qui répond à des besoins sociétaux comme le transport (p. ex., les routes, les ponts et les quais) (figure 1.45), l'approvisionnement en eau et la gestion des déchets, entre autres. L'exposition aux inondations, à la sédimentation et à l'érosion peut causer des dommages temporaires ou permanents à ces structures ou même leur perte¹⁸². La perte d'une infrastructure essentielle peut nuire considérablement à l'accès d'une collectivité (ou d'une personne) à l'aide d'urgence, à l'eau potable et à l'élimination des déchets. Depuis longtemps, on construit des infrastructures routières et ferroviaires dans les zones côtières de faible altitude de la région, comme la chaussée de Canso. Les installations de traitement des eaux usées sont souvent situées près du niveau de la mer pour profiter du drainage par gravité (évitant ou réduisant la nécessité de pomper les eaux usées vers l'installation pour les traiter), ce qui rend ces infrastructures essentielles vulnérables aux aléas côtiers. Les infrastructures nécessitent un entretien régulier pour éviter les dommages et la détérioration.



Figure 1.45 Quai et pont couvert de St. Martins (N.-B.)
(Jenna Miller)

5.8.5 Cas particulier : marais endigués

Les marais endigués sont d'anciens marais salés de faible altitude qui ont été asséchés et isolés des inondations par la marée grâce à la construction de digues (figure 1.46) et d'aboteaux (figure 1.47). Ils sont d'une importance stratégique pour l'adaptation aux changements climatiques dans la région de la baie de Fundy. À l'heure actuelle, en Nouvelle-Écosse et au Nouveau-Brunswick, 322 km de digues protègent plus de 31 860 ha de terres agricoles^{183,184}. Les digues constituent la deuxième ligne de défense après les milieux humides côtiers et ne servent plus seulement à protéger les terres agricoles. Des projets résidentiels et commerciaux ont vu le jour sur les basses terres adjacentes, qui sont maintenant vulnérables aux inondations en raison du passage de l'eau par-dessus les digues ou de leur rupture. Ces projets comprennent des maisons privées, des étangs d'épuration municipaux, des routes publiques, des chemins de fer et des services publics, y compris la route Transcanadienne et le

¹⁸² Ibid.

¹⁸³ Nouveau-Brunswick, Ministère des Transports et de l'Infrastructure, « Entretien des régions marécageuses », Gouvernement du Nouveau-Brunswick (en ligne), s.d., https://www2.gnb.ca/content/gnb/fr/services/services_renderer.201405.Entretien_des_r%C3%A9gions_mar%C3%A9cageuses.html, consulté le 17 mai 2022.

¹⁸⁴ K. Sherren, K. Ellis, J. A. Guimond, B. Kurylyk, N. LeRoux, J. Lundholm, M. L. Mallory, D. van Proosdij, A. K. Walker, T. M. Bowron, J. Brazner, L. Kellman, B. L. Turner II et E. Wells, « Understanding Multifunctional Bay of Fundy Dykelands and Tidal Wetlands Using Ecosystem Services—A Baseline », FACETS (en ligne), 2021, vol. 6, p. 1446-1473, doi:10.1139/facets-2020-0073.

chemin de fer du CN entre la Nouvelle-Écosse et le Nouveau-Brunswick. Le paysage de Grand-Pré en Nouvelle-Écosse, une zone de marais endigué, jouit d'une protection internationale en tant que site du patrimoine mondial de l'UNESCO¹⁸⁵. En raison de l'utilisation complexe des terres, les digues et les basses terres protégées par celles-ci présentent un défi particulier en matière d'adaptation. Différents organismes sont responsables de leur entretien (partie 2, chapitre 2).



Figure 1.46 Digue de Starrs Point en Nouvelle-Écosse (Casey OLaughlin)



Figure 1.47 Aboiteau (Emma Poirier)

L'ancien marais est isolé du courant des marées chargé de sédiments et se trouve à une altitude beaucoup plus basse que le marais de l'avant-plage (marais salé en avant de la digue) en raison de la subsidence, ce qui augmente sa vulnérabilité aux inondations. En outre, la structure traditionnelle de l'aboiteau (clapet à marée unidirectionnel) peut bloquer le débit de crue d'eau douce en cas de marée haute ou d'onde de tempête, ce qui peut provoquer d'importantes inondations d'eau douce dans les zones de faible altitude situées derrière les digues, comme cela a été le cas à plusieurs reprises dans la ville de Truro, en Nouvelle-Écosse¹⁸⁶. On estime que l'inondation de l'isthme de Chignecto, le couloir de transport (chemin

¹⁸⁵ UNESCO, « Le Paysage de Grand Pré », UNESCO (en ligne), 2022, <https://whc.unesco.org/en/list/1404/>.

¹⁸⁶ Ibid.



de fer, autoroute Transcanadienne) le long de la frontière entre la Nouvelle-Écosse et le Nouveau-Brunswick, interromprait des échanges commerciaux d'une valeur de plus de 50 millions de dollars par jour¹⁸⁷.

Comme le ministère de l'Agriculture de la Nouvelle-Écosse a le mandat de protéger les terres agricoles, ses décisions de gestion, par le passé, ont été axées sur des ouvrages durs traditionnels pour renforcer les digues et les infrastructures existantes ou pour « éviter un recul ». Cependant, au cours des dernières années, le ministère a commencé à gérer les marais endigués de façon différente. Il a récemment entrepris une initiative qui amènera les promoteurs à évaluer non seulement les solutions techniques traditionnelles, mais aussi des solutions naturelles potentielles lorsqu'ils détermineront les options de conception réalisables pour la mise à niveau des systèmes de marais endigués. Dans cette optique, TransCoastal Adaptations: Centre for Nature-Based Solutions a été chargé de mettre au point un outil de prise de décision pour la restauration des marais côtiers et le réalignement des digues, qui s'inscrit dans le cadre plus large d'un *outil de prise de décisions en matière de marais endigués*¹⁸⁸. Le réalignement des digues, qui consiste à supprimer ou à déplacer des digues agricoles, peut entraîner la restauration de l'habitat des marais côtiers, une protection côtière accrue par l'entremise de processus naturels et une réduction des coûts d'entretien des infrastructures. Pour déterminer la faisabilité d'un réalignement géré (digue) à un endroit donné, il faut avoir une vision globale du paysage, y compris des paramètres géotechniques, biologiques, hydrologiques et écologiques. Cette nouvelle approche permettra de veiller à ce que l'option de conception choisie ait la plus grande incidence possible sur l'ensemble du territoire et que les décisions soient prises selon les meilleures connaissances scientifiques et techniques disponibles, tout en tenant compte des moyens d'adaptation aux changements climatiques, dans la mesure du possible¹⁸⁹. La sélection des moyens exige une consultation approfondie (figure 1.48) avec la participation de plusieurs paliers de gouvernement, de nombreux groupes d'intervenants et de nombreuses personnes^{190,191}.

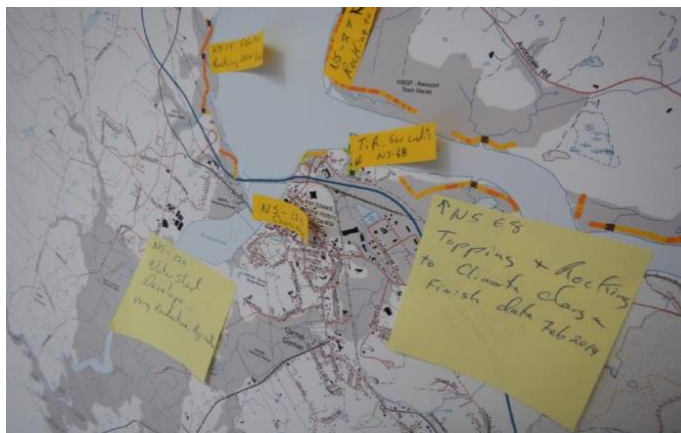


Figure 1.48 Notes de discussion de l'atelier (Danika van Proosdij, Université Saint Mary's)

¹⁸⁷ T. Webster et B. Pett, An Evaluation of Flood Risk to Infrastructure across the Chignecto Isthmus (en ligne), présentation PowerPoint, 2012, <http://atlanticadaptation.ca/sites/discoveryspace.upei.ca/acasa/files/A%20Webster%20PettSECURED.pdf>.

¹⁸⁸ D. van Proosdij, J. Graham, C. McFadden et J. Kickbush, Modelled Approach and Considerations for Tidal Wetland Restoration and Dyke Realignment, 2021, Rapport final et outil Excel présentés au ministère de l'Agriculture de la Nouvelle-Écosse (103 pages).

¹⁸⁹ Ibid.

¹⁹⁰ D. van Proosdij, Vulnerability Assessment and Analysis of Options for Climate Change Adaptation in NS68 Tregothic Marsh Bodies, rapport final présenté au Nova Scotia Environment Climate Change Directorate, 2013, 46 p.

¹⁹¹ D. van Proosdij, J. Graham, T. Bowron, N. Neatt, B. MacIsaac et C. Wrathall, Development and Application of Managed Realignment to Maximize Ecosystem Services and Climate Change Adaptation, rapport final préparé pour l'initiative du golfe du Maine, Environnement Canada, 2014, 101 p.

