



DAVID SUZUKI
FOUNDATION
One nature.



Gestion des actifs naturels
pour accroître la résilience côtière

Document d'orientation à l'intention des municipalités

août, 2021





Investissement Dans La Nature

Ce travail est soutenu par la Fondation David Suzuki, membre de la Municipal Natural Assets Initiative (Initiative des actifs naturels municipaux – MNAI). Les deux organismes collaborent à ce projet.

La Fondation David Suzuki (FDS) est un organisme sans but lucratif pancanadien et bilingue qui travaille en faveur de la conservation et de la protection de l'environnement afin d'aider à dessiner un avenir pour le Canada en s'appuyant sur des recherches avérées et en misant sur la sensibilisation et l'analyse de politiques d'intérêt public. La FDS explore et promeut les services que la nature offre à nos sociétés. Apprendre à comprendre, à mesurer et à gérer les solutions basées sur la nature peut aider les collectivités à prendre de meilleures décisions sur la façon d'interagir avec la nature et peut fournir de nouvelles justifications pour la protection et la restauration des espaces naturels.

La Municipal Natural Assets Initiative (Initiative des actifs naturels municipaux – MNAI) modifie la façon dont les municipalités offrent les services de tous les jours, en améliorant la qualité et la résilience des infrastructures à moindre coût et en réduisant les risques. L'équipe de la MNAI fournit une expertise scientifique, économique et municipale pour aider les administrations locales à définir, évaluer et comptabiliser les actifs naturels dans leurs programmes de planification financière et de gestion des actifs, ainsi qu'à élaborer une infrastructure de pointe durable et résistante aux changements climatiques..

Remerciements

Rapport technique préparé par l'équipe technique de la FDS/MNAI : Michelle Molnar (FDS/MNAI), Cedar Morton (ESSA Technologies Ltd.), Erica Olson (ESSA Technologies Ltd.), Matthew Bayly (ESSA Technologies Ltd.), Amaury Camarena (CBCL), Aline Kaji (CBCL) et Nikita Bhalla (MNAI), avec la reconnaissance du soutien technique de Greg Guannel, Jake Sahl et Susan Davidson.

Réviseurs : James Bornemann (CSRSE), Michelle Lewis (ville de Gibsons)

Bailleurs de fonds et soutiens

Ce projet a été réalisé grâce au soutien financier du Programme d'adaptation aux changements climatiques de Ressources naturelles Canada, de la Fondation Sitka, de la Fondation McLean et de la Fondation Bullitt. Malgré ce soutien, les opinions exprimées sont les opinions personnelles des auteurs, et les bailleurs de fonds n'acceptent aucune responsabilité à leur égard.



La ville de Gibsons figurait parmi les autres bailleurs de fonds du projet de résilience côtière.

Organismes collaborateurs



Organismes responsables : Ville de Gibsons, Southeast Regional Service Commission, Fondation David Suzuki, Municipal Natural Assets Initiative

Avec le soutien technique de : ESSA Technologies Ltd., CBCL et Greg Guannel (Ph. D.)

ISBN : 978-1-988424-74-3

Photo de couverture : Côte de Vancouver (Colombie-Britannique) par Matt Bayly, 2021, ESSA Technologies Ltd.

Citation suggérée :

Gestion des actifs naturels pour accroître la résilience côtière : document d'orientation à l'intention des municipalités.

Août 2021 MNAI.ca

Copyright © 2021. Initiative des actifs naturels municipaux. Tous les droits sont réservés. Site Web : MNAI.ca

Table des matières

1.	À propos de ce document d'orientation	1
1.1.	Qu'est-ce que la MNAI?	1
1.2.	Pourquoi les actifs naturels?	2
1.3.	Le projet de résilience côtière.....	2
1.4.	Objectif et structure de ce document d'orientation	3
2.	La boîte à outils côtière.....	4
2.1.	Aperçu	4
2.2.	Forces et limites	6
2.3.	Avis de non-responsabilité et droit d'auteur	9
3.	Pour commencer	10
3.1.	Établissement des objectifs et considérations relatives aux compétences	10
3.2.	Constitution d'une équipe.....	11
3.3.	Compilation d'un inventaire d'actifs naturels	12
3.4.	Caractérisation des conditions de base et détermination des solutions de rechange en matière de gestion des actifs naturels	13
3.5.	Acquisition et traitement des données d'entrée.....	21
3.6.	Préparation des ensembles de données d'entrée pour utilisation dans la BOC.....	29
3.7.	Installation de la BOC et chargement des données d'entrée	30
4.	Exécution du modèle	31
4.1.	Étape 1 : Exécution du modèle à titre d'essai en utilisant les paramètres par défaut.....	31
4.2.	Étape 2 : Exploration des conditions de base	32
4.3.	Étape 3 : Exécuter des simulations pour les solutions de rechange de conception des actifs naturels	33
4.4.	Étape 4 : Calcul des coûts évités	35
4.5.	Facultatif : Exécuter la BOC complète ou des sous-modèles.....	35
4.6.	Autres composantes.....	36
5.	Interprétation des résultats	39
5.1.	Aperçu	39
5.2.	Simulated Storm Conditions [Conditions de tempête simulées]	40
5.3.	Management Scenarios [Scénarios de gestion]	40
5.4.	Erosion Damage [Dommages causés par l'érosion].....	41
	Principaux résultats relatifs à l'érosion pour l'ensemble du littoral	41
	Résultats supplémentaires de l'érosion pour un profil transversal particulier	42
5.5.	Dommages causés par les inondations.....	43
5.6.	Carte d'aperçu.....	44
5.7.	Atténuation des vagues.....	45

6. Quelle est la prochaine étape?	47
6.1. Planification fondée sur les résultats du modèle	47
6.2. Mise en œuvre	48
6.3. Surveillance	49
Références.....	50
Annexe A – Écosystèmes côtiers et services écosystémiques.....	55
Annexe B – Stratégies pour la protection contre les inondations et l'érosion.....	60
Annexe C – Compétence côtière	69
Annexe D – Lois, politiques et instruments du marché pertinents	72
D1. Lois et règlements fédéraux pertinents	72
D2. Lois et règlements pertinents des provinces où se trouvent les deux communautés visées par les études pilotes menées dans le cadre de la mise au point de la boîte à outils côtière	73
D3. Leviers de planification et de gestion municipales	74
D4. Instruments du marché	75
Annexe E – Installation de la boîte à outils côtière et composants du modèle.....	77
Installation initiale :	77
Renseignements sur les fonctionnalités :	83

Liste des figures

Figure 1-1. La méthodologie de gestion des actifs naturels appliquée par la MNAI.	1
Figure 2-1. Diagramme conceptuel de la boîte à outils côtière.	4
Figure 2-2. Flux de travail de l'utilisateur de la boîte à outils côtière, des données d'entrée au traitement du modèle en passant par les sorties de données.	5
Figure 3-1. Exemple d'inventaire des actifs naturels de la MNAI.	13
Figure 3-2. Paramètres de modèle réglables et exemples d'applications de la boîte à outils côtière INVEST de la MNAI.	14
Figure 3-3. Comparaison des conditions de base avec les solutions de rechange en matière d'actifs naturels pour fournir des estimations de coûts évités.	15
Figure 3-4. Aperçu des principaux paramètres d'entrée pour la boîte à outils côtière.	22
Figure 3-5. Ensembles de données d'entrée spatiales pour l'exécution du modèle de la BOC.	30
Figure 4-1. Flux de travail des essais de modèle.	32
Figure 4-2. Évaluation croisée des différences dans les résumés des modèles.	33
Figure 4-3. Autres fichiers de forme dans le menu des couches d'ArcGIS Pro.	34
Figure 4-4. Couche de polygone de plage avec des attributs qui peuvent être modifiés dans ArcGIS Pro.	34
Figure 4-5. Exemple de répertoire de sortie de projet pour quatre scénarios définis par l'utilisateur à partir de quatre exécutions distinctes du modèle.	35
Figure 4-6. Exécution du modèle complet ou de sous-modèles partiels.	36
Figure 4-7. Calculateur pour les structures submergées.	37
Figure 4-8. Outil d'étude de la vulnérabilité aux inondations.	37
Figure 4-9. Extension R-Shiny : mode bac à sable de profil individuel (outil Web).	38
Figure 5-1. Ouverture du rapport HTML à partir de l'explorateur de fichiers.	39
Figure 5-2. Section « Simulated Storm Conditions » [Conditions de tempête simulées] du rapport HTML de sortie.	40
Figure 5-3. Section « Management Scenario » [Scénario de gestion] du rapport HTML de sortie.	40
Figure 5-4. Passez d'un profil à l'autre en cliquant sur l'une des autres lignes bleues perpendiculaires à la plage sur la carte.	41
Figure 5-5. Partie relative à la carte d'aperçu de la section « Wave Attenuation and Overview Map » [Atténuation des vagues et carte d'aperçu] du rapport HTML de sortie.	45
Figure 5-6. Partie relative à l'atténuation des vagues de la section « Wave Attenuation and Overview Map » [Atténuation des vagues et carte d'aperçu] du rapport HTML de sortie.	46

Liste des tableaux

<i>Tableau 2-1. Les éléments essentiels de l'application de la boîte à outils côtière, du démarrage à l'exécution du modèle et à l'interprétation des résultats.</i>	<i>6</i>
<i>Tableau 3-1. Les ordres de gouvernement qui s'appliquent de façon générale selon différentes approches de protection contre les inondations et l'érosion. Les champs de compétence peuvent différer au cas par cas.</i>	<i>11</i>
<i>Tableau 3-2. Exemples de réglages de paramètres pour les conditions de base et les solutions de rechange en matière de gestion des actifs naturels sur un seul segment de plage</i>	<i>14</i>
<i>Tableau 3-3. Exemples d'applications de la boîte à outils côtière de la MNAI.</i>	<i>17</i>
<i>Tableau 3-4. Un exemple de matrice de sélection fondée sur des critères pour établir une courte liste d'options d'actifs naturels à partir d'une liste plus longue d'options potentielles (tirée de l'étude pilote de la MNAI à Point-du-Chêne). Les colonnes avec un « x » indiquent les options sélectionnées.</i>	<i>21</i>
<i>Tableau 5-1. Section « Erosion Damages » [Dommages causés par l'érosion] du rapport HTML de sortie.</i>	<i>43</i>
<i>Tableau 5-2. Section « Flooding and Structural Damage » [Dommages structuraux et causés par les inondations] du rapport HTML de sortie.....</i>	<i>44</i>

Glossaire

Accrétion	Accumulation de sédiments pour former des terres ou des hauts-fonds dans les eaux côtières ou les voies navigables. L'accrétion naturelle est l'accumulation de terre sur la plage, les dunes ou dans l'eau par des processus naturels comme les vagues, le courant et le vent. L'accrétion artificielle est une accumulation similaire de terre résultant de structures construites telles que des épis ou des brise-lames, ou d'activités telles que le remplissage et le remblayage des plages, ou encore l'atterrissement (NSW-OEH, 2018).
Actifs naturels municipaux	Stock de ressources naturelles ou d'écosystèmes qu'utilise, gère ou pourrait gérer une municipalité, un district régional ou une autre forme d'administration locale en vue de la prestation durable d'un ou de plusieurs services municipaux (MNAI, 2017).
Arrière-plage	Zone du rivage ou de la plage située entre l'estran et la zone littorale comprenant la berme ou les bermes et sur laquelle agissent les vagues uniquement lors de fortes tempêtes, notamment lorsqu'elles sont combinées à des niveaux d'eau exceptionnellement élevés (NSW-OEH, 2018).
Atténuation des vagues	Réduction de l'énergie des vagues (et donc de leur hauteur) due à la friction du fond, plus particulièrement liée à l'augmentation de la friction du fond grâce à la présence d'actifs extracôtiers naturels ou anthropiques.
Avantages connexes	Services écosystémiques supplémentaires fournis par les actifs naturels au-delà des principaux services ciblés (p. ex., la gestion des inondations est le service principal, tandis que les avantages connexes peuvent comprendre la fourniture d'habitats, des possibilités d'activités récréatives et plus encore).
Averse nominale	Averse extrême hypothétique provoquant des vagues auxquelles les structures de protection côtière seront souvent conçues pour résister. La gravité de la tempête (c.-à-d., la période de récurrence) est choisie en fonction du niveau acceptable de risque de dommages ou de défaillance. Une averse nominale comporte des conditions de vague nominale, un niveau d'eau nominal et une durée (NSW-OEH, 2018).
Basse mer inférieure moyenne (BMIM)	Hauteur moyenne des plus basses des marées basses sur une période donnée (généralement 19 ans, également connue sous le nom d'époque de référence des marées).
Bathymétrie	Mesures de la forme du lit ou de la profondeur d'un plan d'eau (NSW-OEH, 2018). Équivalent hydrologique d'un modèle altimétrique numérique topographique.
Berme	Crête presque horizontale sur une plage au niveau ou au-dessus de la laisse de haute mer, mais avant la dune ou la digue, formée par le dépôt de matériaux de plage par l'action des vagues ou à l'aide de moyens mécaniques dans le cadre d'un programme de remblayage de la plage. Certaines plages n'ont pas de berme; d'autres en ont plusieurs (NSW-OEH, 2018).
Coûts évités	Estimation de la valeur monétaire d'un bien ou d'un service non marchand, comme celui fourni par les actifs naturels, fondée sur le calcul des coûts qui seraient évités s'il était maintenu dans un état actuel ou amélioré, ou ajouté (p. ex., en comparant les coûts qui se produiraient avec et sans l'option de l'actif naturel).

Dénivellation de l'eau due aux vagues	Augmentation à l'échelle locale du niveau de l'eau sur le littoral induite par les vagues.
Dune (côtière)	Crête de sable végétalisée ou non végétalisée qui s'est formée à l'arrière d'une plage. Elle est composée de sable de plage sec qui a été poussé vers le continent et piégé par des plantes ou d'autres obstructions. Les dunes stables agissent en tant que zone tampon contre les dommages causés par les vagues lors des tempêtes, protégeant ainsi les terres situées derrière elles de l'intrusion d'eau salée, des embruns et des vents violents. Les dunes côtières servent également de réservoir de sable pour
Épi	Ouvrage de protection du littoral construit (généralement perpendiculairement au rivage) pour limiter la dérive littorale ou retarder l'érosion du rivage; ou ouvrage étroit, plus ou moins perpendiculaire au littoral, construit pour réduire les courants littoraux et/ou pour piéger et retenir les matériaux littoraux. La plupart des épis sont en bois ou en pierre et s'étendent à partir d'un ouvrage longitudinal, ou de l'arrière-plage, jusqu'à l'estran et même plus loin au large dans de rares cas (NSW-OEH, 2018).
Érosion de la plage ou érosion	Déplacement du trait de côte vers le continent et/ou réduction du volume de la plage, généralement associé à des tempêtes ou à une série d'événements, qui se produit dans la zone de variations de niveau de la plage. L'érosion de la plage est due à un ou plusieurs facteurs déclencheurs du processus, notamment le vent, les vagues, les marées, les courants, le niveau de l'eau de l'océan et le mouvement descendant des matériaux en raison de la gravité (NSW-OEH, 2018).
Estran	Zone de la plage comprenant la zone intertidale et l'arrière-plage; partie du rivage située entre la crête de la berme du côté de la mer (ou la limite supérieure du déferlement des vagues à marée haute) et la laisse de basse mer ordinaire, qui est habituellement soumise au déferlement et au refoulement des vagues lorsque la marée monte et descend; ou bas de plage, partie du rivage qui s'étend de la ligne de basse mer jusqu'à la limite du déferlement des vagues à marée haute (NSW-OEH, 2018).
Fetch	Longueur d'eau libre sur laquelle le vent souffle sans obstruction pour produire des ondes de tempête.
Gestion des actifs	Processus intégré où l'on tire parti des compétences d'experts ainsi que des données sur les actifs physiques et les finances d'une communauté en vue d'appuyer la prise de décisions éclairées afin de soutenir la prestation de services durables (AMBC, 2019).
Infralittoral	Section d'eau près du littoral où les vagues s'accroissent et se brisent.
Infrastructures grises (également « infrastructures matérielles »)	Ouvrages techniques qui fournissent un ou plusieurs services requis par la société, comme le transport ou le traitement des eaux usées (IISD : https://iisd.org/savi/faq/what-is-grey-infrastructure/) et qui sont construits à l'aide de matériaux artificiels.
Littoral	Parallèle au littoral et à proximité de celui-ci (NSW-OEH, 2018).
Modèle « baignoire »	Modèle de crue qui suppose qu'une zone dont l'élévation est inférieure à un niveau de crue prévu sera inondée comme une « baignoire ». Les zones inondables sont déterminées au moyen d'une procédure de calcul simple dans un environnement SIG où l'élévation de chaque cellule d'un modèle altimétrique numérique (MAN) est comparée à un niveau de la mer prévu et toutes les cellules dont les valeurs sont inférieures au niveau de la mer prévu sont considérées comme inondées (Yunus et coll., 2016).

Niveau d'eau statique	Élévation locale de la surface de l'eau résultant de la combinaison de l'onde de tempête, des marées et de l'élévation du niveau de la mer, mais excluant la remontée de vagues et leur hauteur.
Onde de tempête	Augmentation du niveau des eaux côtières causée par les effets des tempêtes. L'onde de tempête comprend deux composantes : l'augmentation du niveau de l'eau causée par la réduction de la pression barométrique et l'augmentation du niveau de l'eau causée par l'action du vent soufflant sur la surface de la mer (dénivellation de l'eau due au vent) (NSW-OEH, 2018).
Plage	Zone généralement composée de sable, de cailloux ou de sédiments similaires qui s'étend vers le continent depuis le niveau de la marée astronomique la plus basse jusqu'à la ligne de végétation, de substrat rocheux ou de structure (NSW-OEH, 2018).
Pleine mer supérieure moyenne (PMSM)	Hauteur moyenne des plus hautes des marées hautes sur une période donnée (généralement 19 ans, également connue sous le nom de niveau de référence des marées).
Profil de plage ou profil	Section transversale prise perpendiculairement à un contour de plage donné; le profil peut comprendre la face d'une dune ou d'un ouvrage longitudinal, s'étendre de l'arrière-plage vers la mer, en passant par l'estran pour atteindre la zone infralittorale (NSW-OEH, 2018).
Propagation des vagues	Progression et transformation des caractéristiques des vagues (hauteur des vagues, période) dans le temps et dans l'espace (p. ex., de la zone extracôtière à la zone infralittorale), en particulier en raison de processus comme la réfraction, la diffraction et la dissipation par la friction du fond (y compris par la végétation) et le déferlement des vagues.
Remblayage des plages	Restauration ou augmentation de la plage à l'aide de sable propre dragué ou de remblai. Le sable dragué est généralement pompé hydrauliquement et placé directement sur une plage érodée ou dans le système de transport littoral. Lorsque le sable est dragué en combinaison avec la construction, l'amélioration ou le maintien d'un projet de navigation, le remblayage de la plage constitue une forme d'utilisation bénéfique des matériaux de dragage (NSW-OEH, 2018).
Remontée de vagues	Portée verticale maximale du jet de rive sur une plage ou un ouvrage au-dessus du niveau d'eau calme. Il représente généralement l'incursion maximale d'une vague vers le continent.
Retrait géré (également réalignement géré)	Déplacement vers le continent, hors d'une zone côtière à risque, des habitations et des infrastructures menacées par l'érosion côtière, la décrue ou les inondations. Peut également impliquer le recul délibéré (déplacement vers le continent) de la ligne de défense contre la mer existante afin d'obtenir des avantages techniques ou environnementaux. Au cours d'un processus de retrait géré, une nouvelle zone d'estran ou un nouvel habitat intertidal peut être créé (NSW-OEH, 2018).
Services écosystémiques	Avantages que les gens tirent des écosystèmes (Millennium Ecosystem Assessment,

Solutions fondées sur la nature

Solutions inspirées par la nature et reposant sur cette dernière, qui sont rentables, qui offrent des avantages à la fois environnementaux, sociaux et économiques et qui favorisent la résilience; de telles solutions apportent aux paysages urbains, terrestres et marins des caractéristiques et des processus naturels plus nombreux et diversifiés, grâce à des interventions systémiques adaptées aux conditions locales et efficaces en termes d'utilisation des ressources (EU 2021).

Structure submergée

Objet benthique en mer (naturel ou anthropique) qui se trouve sous la surface de l'eau, mais qui est encore capable d'atténuer les vagues, comme un rocher, une épave de navire ou un récif de corail ou d'huîtres.

Taux d'actualisation

Dans le contexte des modèles sous-jacents de la boîte à outils côtière, le taux d'actualisation est appliqué annuellement dans le calcul de la valeur actualisée prévue sur un horizon temporel donné. La valeur actualisée prévue reflète la valeur du flux des dommages évités causés par les tempêtes au fil du temps en raison d'une modification de l'habitat et actualise la valeur de ces dommages évités à des périodes éloignées

Zéro des cartes

Le zéro des cartes est le niveau d'eau à partir duquel sont mesurées les profondeurs affichées sur une carte marine. Sur la plupart des cartes modernes du Canada, la valeur de 0 mètre d'altitude représente la basse mer inférieure moyenne (marée basse).

Acronymes

BMIM	Basse mer inférieure moyenne (voir glossaire)
BOC	Boîte à outils côtière
InVEST	Integrated Valuation of Ecosystem Services and Trade-offs
MAN	Modèle altimétrique numérique
MNAI	Municipal Natural Assets Initiative
OCANEE	Outil canadien d'adaptation aux niveaux d'eau extrêmes
PMSM	Pleine mer supérieure moyenne (voir glossaire)
RCP	Representative Concentration Pathways [profil représentatif d'évolution de concentration] (émissions)
SHC	Service hydrographique du Canada
SIG	Système d'information géographique
UTM	Universal Transverse Mercator [transverse universelle de Mercator]

1. À propos de ce document d'orientation

1.1. Qu'est-ce que la MNAI?

La Municipal Natural Assets Initiative (Initiative des actifs naturels municipaux – MNAI) est un organisme sans but lucratif ayant pour mission de faire de la gestion des actifs naturels une pratique courante au Canada. La MNAI a travaillé avec des administrations locales partout au pays pour soutenir les communautés qui cherchent à recenser, à comprendre, à mesurer et à gérer leurs actifs naturels.

La MNAI dispose d'une méthodologie, qui repose sur les principes de gestion des actifs fondés sur l'ISO, et d'une gamme croissante d'outils et d'expériences de cas pour aider les administrations locales à dresser des inventaires d'actifs naturels, et à gérer les actifs naturels de manière plus générale. La gamme d'outils est constamment mise à jour et améliorée à mesure que l'expérience dans le domaine naissant de la gestion des actifs naturels se développe.

La méthodologie et les outils sont fournis par le biais d'un soutien continu de l'équipe technique de la MNAI au cours des initiatives municipales visant à entreprendre l'adoption de la gestion des actifs naturels. Les niveaux et les détails de ce soutien sont décrits dans un protocole d'entente que la MNAI signe avec les partenaires des administrations locales.

La méthodologie suit généralement les étapes d'évaluation, de planification et de mise en œuvre décrites ci-dessous.



Figure 1-1. La méthodologie de gestion des actifs naturels appliquée par la MNAI.

1.2. Pourquoi les actifs naturels?

Alors que les administrations locales du Canada se remettent de deux décennies de baisse des investissements dans les infrastructures publiques, elles demeurent douloureusement conscientes des coûts sans cesse croissants liés au report des réparations, de la réhabilitation et des remplacements. Cette situation est exacerbée par une augmentation des phénomènes météorologiques extrêmes qui exigent des solutions adaptables et résilientes pour fournir des services tout en limitant les coûts. De nombreuses municipalités élaborent actuellement une stratégie de gestion des actifs pour mieux gérer leurs infrastructures. Un prolongement logique de l'approche de gestion des actifs est l'inclusion du « capital naturel », qui complète les solutions avant-gardistes des plans de gestion des actifs. Le capital naturel désigne tout actif physique (c.-à-d. un actif naturel) dans l'environnement naturel qui apporte une valeur sociétale en contribuant à tout processus naturel qui profite à l'humanité (Voora et Venena, 2008).

Les actifs naturels tels que les zones humides, les forêts, les ruisseaux et les dunes/plages côtières fournissent de nombreux services essentiels aux communautés et constituent des actifs importants pour la fourniture durable des services municipaux de base. Une dune côtière, par exemple, peut fournir des services d'atténuation des inondations et de l'érosion qui devraient être remplacés par une solution technique matérielle/grise si elle était perdue.

Cependant, bien que les actifs naturels soient essentiels à la prestation de services durables, ils ne sont généralement pas pris en compte ou sont sous-évalués dans les pratiques de gestion des actifs. Si les actifs naturels ne sont pas gérés de manière responsable, leur valeur se dépréciera et leur capacité à fournir des services dont les humains bénéficient diminuera. En effet, comme tout actif, les actifs naturels doivent être gérés avec soin pour garantir un approvisionnement durable en services.

Jusqu'à récemment, la plupart des administrations locales ne disposaient pas de politiques et d'outils nécessaires pour quantifier les avantages fournis par les actifs d'infrastructures naturelles et pour intégrer ces avantages dans leurs cadres financiers et de gestion des actifs. Consciente de cette situation, la MNAI a commencé à articuler la relation entre les humains et la nature en mettant au point des outils et des approches que les municipalités peuvent utiliser pour mesurer et gérer la contribution des systèmes naturels aux communautés.

Un nombre croissant d'administrations locales canadiennes reconnaissent aujourd'hui qu'il est aussi important de comprendre, de mesurer, de gérer et de comptabiliser les actifs naturels que les actifs matériels/gris. Cela leur permet de gérer les risques en comprenant mieux quels services fournis par les actifs naturels n'ont pas été pris en compte et comment ces services peuvent être affectés dans des conditions de changements climatiques. En examinant la valeur qui est ou peut être fournie par les actifs naturels, beaucoup constatent également que la qualité des services peut atteindre, et dans certains cas dépasser, celle des actifs traditionnels tels que les tuyaux, les ponceaux, les puits d'eau souterraine ou les ouvrages longitudinaux, mais à un coût beaucoup moins élevé et avec de nombreux autres avantages tels que des villes plus fraîches, des possibilités de loisirs et des habitats.

1.3. Le projet de résilience côtière

Alors que des recherches supplémentaires portent sur le concept d'infrastructure naturelle, il devient évident que les écosystèmes côtiers peuvent fournir une protection substantielle contre les inondations et l'érosion, souvent à moindre coût et avec une plus grande résilience à long terme par rapport aux infrastructures grises traditionnelles (Arkema et coll., 2017). Ces écosystèmes fournissent également un certain nombre d'autres services ou « avantages connexes » tels que le stockage du carbone, la régulation de la qualité de l'eau, le cycle des nutriments, des possibilités uniques en matière d'activités récréatives et l'habitat. Bon nombre de ces avantages peuvent compléter

les investissements dans les infrastructures matérielles/grises comme les ouvrages longitudinaux ou les brise-lames en complétant les principaux services qu'ils fournissent, en les protégeant contre les dommages ou en les remplaçant entièrement. Le fait de ne pas inclure la valeur offerte par les actifs naturels côtiers dans les décisions politiques et de gestion a contribué à la disparition de ces écosystèmes à l'échelle mondiale et à la perte connexe de services écosystémiques (Barbier, 2007). Une meilleure compréhension des avantages économiques de ces actifs faciliterait leur inclusion dans la gestion des actifs municipaux et permettrait la reconnaissance de leur véritable valeur pour la société, ce qui contribuerait à la protection des écosystèmes côtiers. L'élévation du niveau de la mer menace les zones côtières par le biais d'un éventail de risques côtiers, notamment (i) la submersion permanente des terres en raison de l'élévation du niveau moyen de la mer ou des marées hautes moyennes; (ii) des inondations côtières plus fréquentes ou plus intenses; (iii) une érosion côtière accrue; (iv) la perte et la modification des écosystèmes côtiers; (v) la salinisation des sols ainsi que des eaux souterraines et de surface; et (vi) le drainage entravé. Au cours du prochain siècle, en l'absence d'adaptation, la grande majorité des côtes et des communautés de faible altitude seront confrontées à des risques importants liés à ces aléas côtiers (Oppenheimer et coll., 2019).

L'objectif du *Projet de gestion des actifs naturels pour accroître la résilience côtière* (projet de résilience côtière) de la MNAI est d'aider les administrations locales participantes à déterminer, à hiérarchiser, à valoriser et à gérer les principaux actifs naturels côtiers dans le cadre des systèmes de gestion des actifs de base des administrations locales. Pour ce faire, la MNAI a créé un modèle de simulation appelé la « boîte à outils côtière » (BOC) qui, utilisé dans le cadre de la méthodologie de gestion des actifs naturels de la MNAI (figure 1-1), peut aider les municipalités à recenser leurs actifs naturels pertinents, à comprendre la valeur de ces actifs naturels et à utiliser ces renseignements dans les décisions de planification et de gestion municipales.

La BOC a été mise à l'essai auprès de deux collectivités côtières possédant des côtes très différentes : la ville de Gibsons, sur la côte ouest accidentée de la Colombie-Britannique, et la collectivité de Pointe-du-Chêne, au Nouveau-Brunswick, qui est en partie protégée par la plage Parlee, au sable fin, et par des dunes côtières qui s'enfoncent en pente douce dans le détroit de Northumberland. L'application pilote de la boîte à outils a pris en compte des variables telles que les effets des changements climatiques sur l'élévation du niveau de la mer, différentes tailles et fréquences de tempêtes et de multiples solutions de gestion des actifs pertinentes pour chaque collectivité, comme le remblayage des plages, l'amélioration des dunes, la plantation des rives et la plantation de zostères. Ces deux études pilotes ont fourni une « validation de principe » de la BOC et ont fourni à la ville de Gibsons et à la collectivité de Pointe-du-Chêne de nouveaux renseignements qui éclaireront les décisions en matière de gestion des actifs naturels. Ces études ont également permis de développer une interface utilisateur conviviale dans ArcGIS Pro afin que le personnel municipal puisse facilement utiliser la BOC. En plus de fournir des conseils généraux sur la gestion des actifs naturels côtiers, le présent document sert de guide de l'utilisateur pour la BOC.

1.4. Objectif et structure de ce document d'orientation

Le présent document d'orientation vise à fournir aux communautés côtières des conseils sur la manière d'inventorier leurs actifs naturels côtiers, d'élaborer des options de gestion des actifs et d'évaluer des solutions de rechange à l'aide de la boîte à outils côtière dans le cadre plus large de la méthodologie de la MNAI relative aux actifs naturels (tableau 1-1). Après une discussion sur les compétences des provinces et territoires canadiens relativement à la gestion des actifs côtiers, un aperçu de la BOC est fourni, suivi d'un guide de procédure étape par étape pour une utilisation efficace de la boîte à outils, complété par plusieurs annexes qui offrent des détails supplémentaires sur les étapes de la BOC, les écosystèmes côtiers et les services qu'ils offrent, les stratégies communes pour la protection contre les ondes de tempête (vertes, grises et hybrides), et une liste de lois et de politiques pertinentes.

Si vous souhaitez consulter ce guide uniquement pour utiliser la BOC, nous vous recommandons de passer en revue les chapitres 4 et 5, puis de commencer par les instructions pour l'installation de l'annexe E.

2. La boîte à outils côtière

2.1. Aperçu

La boîte à outils côtière est un outil de simulation et d'analyse fondé sur un SIG, conçu pour aider les administrations locales à recenser, à hiérarchiser et à gérer les principaux actifs naturels côtiers dans le cadre de leurs pratiques quotidiennes de gestion des actifs. Pour mettre au point la boîte à outils, la composante « *Wave Attenuation & Erosion Reduction: Coastal Protection* » [Atténuation des vagues et de réduction de l'érosion : protection des côtes] de la suite de modèles InVEST du Natural Capital Project (version 3.1.1 – qui n'est plus accessible en ligne) a été adaptée. Elle a été développée à l'origine pour étudier la vulnérabilité aux inondations et les dommages structuraux cumulatifs sur un littoral d'intérêt donné. Dans l'esprit de ce modèle antérieur, et de la plupart des outils InVEST, l'objectif est de fournir une évaluation de bout en bout décrivant les répercussions des processus biophysiques sur les composantes de l'écosystème et produisant des estimations des coûts ou des avantages associés aux principaux services écosystémiques qui sont touchés. La boîte à outils est destinée aux évaluations préliminaires des tempêtes côtières, de l'érosion des plages, de la propagation extracôtière des vagues, dommages structuraux et causés par les inondations, en mettant un accent particulier sur les rivages canadiens (figure 2-1). L'objectif de la boîte à outils modifiée est de servir à la fois d'outil d'apprentissage exploratoire pour les municipalités canadiennes et de première évaluation des avantages de l'atténuation des inondations et de l'érosion fournis par les actifs naturels côtiers. Les évaluations de la BOC aideront les communautés à décider si des études plus détaillées sont justifiées, contribueront à la sensibilisation et à l'éducation de la communauté et éclaireront la conception, l'élaboration et la proposition de politiques de gestion des actifs qui tiennent compte des actifs naturels côtiers.

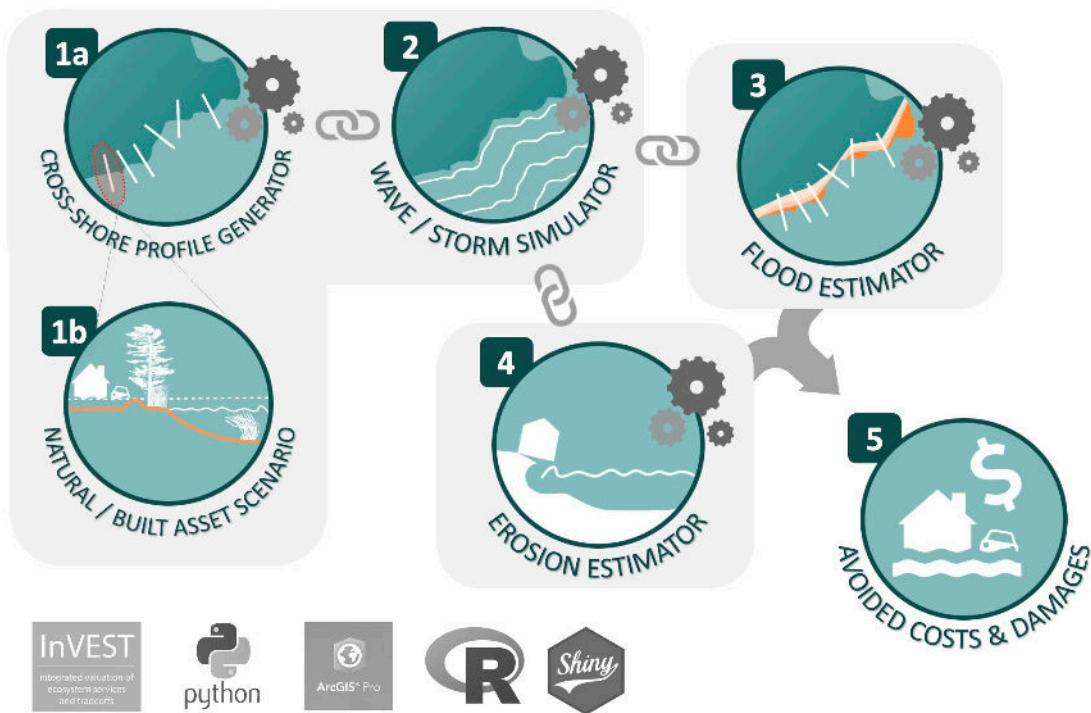


Figure 2-1. Diagramme conceptuel de la boîte à outils côtière.

La figure 2-1 présente un schéma conceptuel simplifié des principales composantes de la BOC et de son flux de travail général. Les utilisateurs fournissent les jeux de données spatiales d'entrée nécessaires, puis des profils transversaux unidimensionnels sont générés le long du littoral (1a) et, pour chaque profil, un scénario d'actif naturel (ou bâti) est construit par l'utilisateur (1b). Sur la base des paramètres de taille des vagues et des tempêtes fournis, qui sont définis

par l'utilisateur en fonction de la période de récurrence des tempêtes, ou qui représentent un événement extrême précis connu, le modèle simule ensuite une tempête le long de chaque profil (2), estime les dommages causés par les inondations aux ouvrages en interpolant l'étendue des inondations entre les profils (3) et estime les dommages causés par l'érosion (4) avant de fournir des données de sortie sur les coûts totaux des dommages causés par les inondations et l'érosion à long terme. Ces données de sortie sont ensuite comparées par rapport à des scénarios avec ou sans actif naturel, afin de déterminer les coûts évités, le cas échéant, grâce à leur mise en œuvre (5). La BOC est capable de simuler soit l'ajout/le renforcement, soit la perte d'actifs naturels côtiers en fonction de la façon dont l'utilisateur construit les scénarios. La figure 2-2 illustre le processus complet, de la collecte des données à l'utilisation de la BOC dans le logiciel ArcGIS Pro, puis à l'acquisition, à la visualisation et à l'interprétation des résultats. En plus de certaines étapes supplémentaires requises avant de commencer, ces étapes font l'objet des trois prochains chapitres du présent guide, que le tableau 2-1 décrit plus en détail.

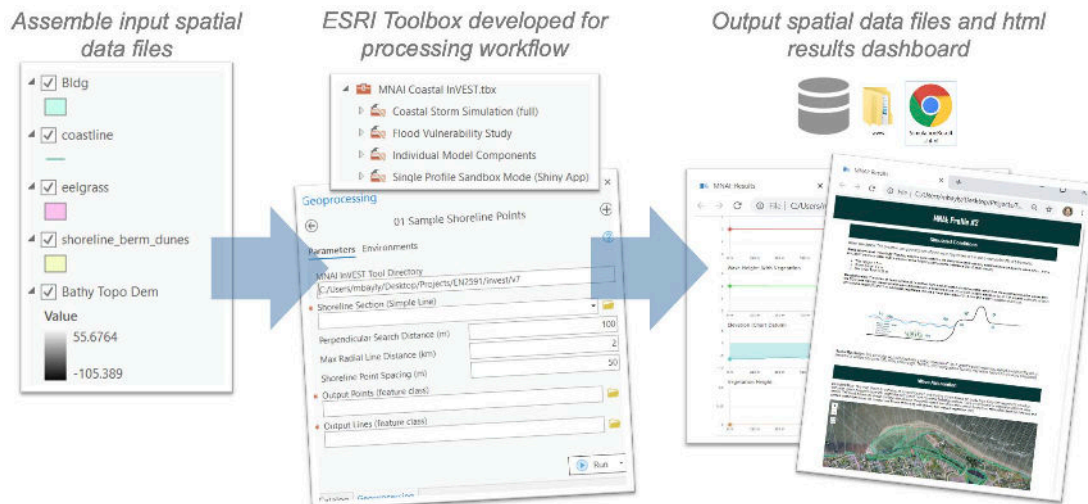


Figure 2-2. Flux de travail de l'utilisateur de la boîte à outils côtière, des données d'entrée au traitement du modèle en passant par les sorties de données.

Tableau 2-1. Les éléments essentiels de l'application de la boîte à outils côtière, du démarrage à l'exécution du modèle et à l'interprétation des résultats.

Getting Started (Ch. 3)	Running the Model (Ch. 4)	Interpreting Results (Ch. 5)
<p>Coastal Jurisdiction & Management Context <i>What jurisdictional regulations and policies should we consider?</i></p> <p>Convening a Team <i>What expertise is required to perform this assessment?</i></p> <p>Compiling a Natural Asset Inventory <i>What coastal natural assets does our community already possess?</i></p> <p>Characterizing Baseline Conditions <i>What are the characteristics of the coastline and the current condition of its natural assets? Any risks?</i></p> <p>Identifying & Selecting Natural Asset Alternatives <i>What natural asset alternatives might mitigate flood and erosion damages?</i></p> <p>Acquiring & Processing Data <i>What data do we need and how do we prepare it?</i></p>	<p>Cross-shore Profile Generator <i>What coastal segments (beaches) are we most interested in?</i></p> <p>Baseline & Natural Asset Scenario Setup <i>What will we compare our natural asset alternatives to? What ones will we model?</i></p> <p>Coastal Storm Simulator <i>What storm intensity, frequency, duration do we want to evaluate?</i></p> <p>Flood Estimator <i>What is the extent of flooding based on interpolation across cross-sectional profiles and cumulative water levels?</i></p> <p>Erosion Estimator <i>How much beach is lost?</i></p> <p>Cost Estimator <i>What is the total value of damages?</i></p>	<p>Cross-sectional Profile Characteristics & Sandbox Mode <i>What are the characteristics of each cross-sectional profile? What happens to profile results if parameter settings are altered?</i></p> <p>Wave Attenuation <i>What impact did the natural asset alternative have on wave size?</i></p> <p>Wave Runup <i>What impact did the natural asset alternative have on landward incursion of waves?</i></p> <p>Flood Damages <i>What is the number of inundated structures and total structural damage based on depth-damage curves?</i></p> <p>Erosion Damages <i>How much did the beach retreat (distance and volume)?</i></p> <p>Avoided Cost Estimates <i>How much damage will be avoided in dollars (\$) from implementing the natural asset alternative?</i></p>

2.2. Forces et limites

Avant de décrire la boîte à outils côtière et d'appliquer ce guide de l'utilisateur, il est important que les utilisateurs comprennent ses forces et ses limites afin de déterminer si la BOC est adaptée au cas d'utilisation souhaité et, le cas échéant, de faciliter l'interprétation des résultats. Comme le montre le tableau 2-1, la BOC comprend plusieurs sous-modules, chacun d'entre eux émettant des hypothèses simplificatrices pour faciliter la mise en œuvre du modèle et sa facilité d'utilisation par un public plus vaste. Ces hypothèses limitent la représentation de divers processus côtiers complexes, ce qui rend la boîte à outils plus adaptée aux évaluations préliminaires relativement grossières qu'aux études d'ingénierie détaillées. Ces premières estimations peuvent être utiles pour n'importe quelle communauté et seront particulièrement utiles pour les communautés plus petites ou plus éloignées qui n'ont pas un accès immédiat aux ressources nécessaires pour mener des études plus détaillées. Il convient de garder à l'esprit les principales forces et limites suivantes lorsqu'on détermine si le modèle sera en mesure de répondre aux questions qui intéressent les utilisateurs, ainsi que pendant l'analyse et l'interprétation des résultats de la BOC.

Principales forces :

1. Le modèle de propagation des vagues dans le simulateur de vagues/tempêtes (figure 2-1) permet aux

utilisateurs de **simuler des tempêtes en mer et d'évaluer la transformation des vagues le long des profils**. Les utilisateurs peuvent comparer les profils à différents endroits pour évaluer l'effet de la bathymétrie en mer sur la propagation des vagues. Il est possible d'ajouter le long du profil des parcelles de végétation submergée telles que du varech, des zostères ou des zones marécageuses avec des caractéristiques précises de largeur, de densité et de hauteur des lames afin d'évaluer la propagation des vagues avec et sans végétation. Le modèle de vagues peut être utile pour visualiser la hauteur et l'énergie maximales des vagues au large de la plage. La possibilité d'ajouter et de supprimer des parcelles de végétation peut également être utile pour évaluer les options de gestion des actifs naturels, comme la restauration/le renforcement des herbiers de zostères.

2. Pour une averse nominale donnée, le modèle d'érosion côtière permet aux utilisateurs **d'estimer la distance de retrait de la plage à chaque profil transversal en utilisant les caractéristiques des vagues au large, la bathymétrie et les caractéristiques de l'estran** telles que la granulométrie de la plage, la pente de l'estran, la largeur et la hauteur des bermes et les caractéristiques des dunes. Les utilisateurs peuvent donc comparer les changements de l'érosion en fonction de différentes actions (ou inactions) de gestion, telles que le « remblayage des plages » par la modification de la pente ou de la granulométrie de l'estran, l'amélioration des dunes ou l'ajustement des caractéristiques des bermes.
3. Après la configuration initiale, d'autres scénarios peuvent être mis en œuvre et calculés très facilement (en quelques minutes), ce qui permet de poser des questions, d'évaluer les résultats et de peaufiner les questions en temps réel dans un environnement semblable à un atelier. Ce flux de travail général s'est avéré utile lors des séances de découverte pendant les réunions d'équipe et des séances de planification plus importantes avec d'autres intervenants.
4. Le modèle d'inondation côtière utilisé par l'estimateur d'inondation (figure 2-1) **interpole les valeurs entre les profils des berges pour générer une élévation de la surface des eaux de crue rasterisée en 2D**. Celle-ci est ensuite intégrée aux empreintes des bâtiments, aux valeurs des bâtiments et aux courbes profondeur-dommages structuraux pour estimer le coût total des dommages structuraux pour chaque simulation de tempête. Ces valeurs peuvent être utilisées pour évaluer la vulnérabilité des communautés aux inondations et à l'élévation du niveau de la mer. La boîte à outils offre également une fonction de « vulnérabilité aux inondations » pour évaluer les dommages cumulatifs avec des augmentations progressives du niveau total de l'eau.
5. Toutes les estimations des coûts de l'érosion et des dommages causés par les inondations peuvent être résumées sur un horizon temporel donné (p. ex., 100 ans) et pour différentes périodes statistiques de récurrence des tempêtes (p. ex., 1 an, 10 ans, 100 ans, etc.).

Principales limites :

1. Bien que l'interface soit conviviale, il est fortement recommandé de faire appel à un professionnel qualifié (spécialisé dans un domaine d'expertise pertinent) pour utiliser la BOC, afin de bien comprendre et interpréter les intrants et les extrants des différents outils. Seul, l'outil pourrait exagérément simplifier des processus côtiers complexes et conduire à des hypothèses erronées. Sans une connaissance spécialisée des processus côtiers, les résultats peuvent être difficiles à interpréter et conduire à des hypothèses erronées.
2. La propagation des vagues et l'évolution morphologique sont modélisées le long de **profils transversaux unidimensionnels (1D) individuels**, par conséquent les processus tels que l'interaction vagues-courant, les conditions de vagues multidirectionnelles, la diffraction des vagues, la dérive littorale et le transport latéral des sédiments ne sont pas pris en compte dans les extrants. Chaque profil transversal suppose que les plages cibles sont « uniformes le long du littoral », ce qui signifie que les interactions avec les

caractéristiques complexes situées de part et d'autre du profil, telles que les bras de mer étroits, les estuaires, les chenaux et les pointes, ne peuvent être adéquatement documentés. Les simulations de tempêtes modélisées doivent être personnalisées pour une zone d'intérêt particulière afin de représenter l'aspect dominant de l'exposition de la plage (p. ex., une plage orientée vers le sud doit être modélisée avec des vagues venant du sud).

3. Le modèle de la BOC n'est pas adapté à l'agitation des vagues à l'intérieur des ports, car l'approche unidimensionnelle ne peut pas inclure les processus 2D (diffraction, réflexion, transmission des vagues) qui influencent grandement les modèles de pénétration des vagues dans des géométries complexes comme les ports.
4. Après les tempêtes, les plages peuvent également se régénérer et présenter une accrétion supplémentaire due à la dérive littorale et au transport de sédiments vers les terres côtières, sous l'effet de vagues plus petites et des courants de marée. Pour chaque profil de plage, la BOC fournit une estimation simplifiée de la perte horizontale de la plage (retrait) après une tempête, **mais il n'estime pas l'accrétion subséquente de sédiments, les changements saisonniers sur une plage ou tout autre type de transport de déblais/remblais**. Par conséquent, l'effet net global à long terme de l'érosion due à une tempête donnée n'est pas entièrement pris en compte dans le modèle.
5. Les estimations de l'érosion obtenues grâce à la BOC sont fondées sur de simples équations théoriques de stabilité du profil. Les jeux de données topographiques et bathymétriques peuvent varier considérablement en fonction de l'année où ils ont été réalisés pour chaque région respective. Les conditions réelles de sédimentation et d'érosion peuvent varier, dans certains cas de manière notable, en fonction de plusieurs processus physiques supplémentaires qui ne sont pas inclus dans la BOC. La composante morphologique de la BOC est recommandée uniquement pour une comparaison *relative* entre les scénarios proposés.
6. Le modèle est conçu pour estimer les distances de retrait du littoral (érosion) le long des rivages sablonneux. Bien que le modèle puisse tout de même être utilisé pour les plages de boue, de gravier et de galets afin d'estimer la propagation des vagues et les inondations, les **estimations quantitatives de l'érosion ne sont valides que pour les plages de sable**.
7. Le modèle d'inondation fonctionne comme un modèle d'inondation de type « baignoire » (voir le glossaire), qui suppose une très faible variation spatiale des niveaux d'eau et ne tient pas compte de la dynamique des écoulements de surface. Cela signifie que le niveau de l'eau est simplement élevé globalement jusqu'à un « niveau d'eau calme » fixe, en fonction des données d'entrées définies par l'utilisateur concernant la marée, l'onde de tempête et l'élévation du niveau de la mer. Le modèle estime ensuite la hauteur de la remontée de vagues à chaque profil et ajoute ces valeurs au niveau total d'inondation. Le résultat final est une base de données matricielle de l'élévation de la surface de l'eau sur une surface d'élévation (c'est-à-dire un MAN). Par conséquent, **le modèle ne peut pas simuler les effets des digues ou des murs de soutènement, car il ne simule pas l'écoulement de surface ou les processus hydrodynamiques**. Les dépressions côtières qui pourraient autrement être protégées contre les inondations sont inondées dans un modèle d'inondation de type « baignoire ». Les cartes de zones inondables créées à partir de modèles de type baignoire ont tendance à surestimer la zone inondée.
8. Les cartes de zones inondables générées avec la BOC n'illustrent pas nécessairement toutes les zones inondables, en particulier dans les environnements localisés de petite taille avec des sources d'inondation possibles autres que côtières (y compris, mais sans s'y limiter, les eaux pluviales ou les débordements des égouts). Pour cette raison, les cartes de zones inondables et les produits de données sur les inondations ne sont pas préparés ou adaptés à des fins juridiques ou d'arpentage.
9. Le modèle utilise les *coûts évités* comme principale comparaison de valeur entre l'actif naturel et les

solutions de recharge de base et n'estime que la valeur des principaux services écosystémiques (et non les avantages connexes). Contrairement à d'autres méthodes d'évaluation économique, **les approches fondées sur les coûts ne peuvent pas évaluer les avantages nets en termes de bien-être pour la société d'une solution de recharge d'actif naturel (c'est-à-dire les avantages moins les coûts, en tenant compte à la fois du surplus des consommateurs et des producteurs)**. Toutefois, le déploiement d'autres méthodes d'évaluation économique peut être coûteux, et bon nombre d'entre elles nécessitent la collecte de données primaires. Pour les principaux services écosystémiques tels que l'atténuation de l'érosion et des inondations, la MNAI a également constaté que les coûts de remplacement et les coûts évités sont les plus facilement acceptés par les comptables des actifs municipaux. Pour obtenir les avantages nets et estimer la valeur économique des avantages connexes, nous recommandons d'autres approches (p. ex., l'évaluation des contingences, les expériences de choix, les coûts de déplacement, les prix hédoniques, les fonctions de production, le transfert d'avantages).

2.3. Avis de non-responsabilité et droit d'auteur

La BOC est publiée en tant que logiciel gratuit et peut être redistribuée ou modifiée selon les conditions de la *GNU Lesser General Public License* [Licence publique générale GNU amoindrie; GNU LGPL] telle que publiée par la Free Software Foundation, soit la version 3 de la licence, soit toute version ultérieure (voir <http://www.gnu.org/licenses/>). La BOC est distribuée dans l'espoir qu'elle sera utile, mais sans aucune garantie, même pas la garantie implicite à l'égard de la qualité marchande ou de l'applicabilité à un usage particulier. Voir la *GNU General Public License* [Licence publique générale GNU; GNU GPL] pour obtenir de plus amples renseignements. La BOC est développée dans le cadre d'une coopération entre la Fondation David Suzuki, la Municipal Natural Assets Initiative (Initiative des actifs naturels municipaux), ESSA Technologies Ltd. et CBCL. Bien que l'interface conviviale suggère le contraire, il est fortement recommandé de faire appel à un professionnel qualifié (spécialisé dans un domaine d'expertise pertinent) pour utiliser la BOC, afin de bien comprendre et interpréter les intrants et les extrants des différents outils. Les mandants ou les tiers ne doivent en aucun cas se fier uniquement sur l'un ou l'autre des résultats obtenus. Ces derniers doivent être interprétés avec une marge considérable, et les sensibilités doivent être évaluées.

3. Pour commencer

3.1. Établissement des objectifs et considérations relatives aux compétences

Étant donné que la boîte à outils côtière peut éclairer les activités de planification et de gestion côtières de multiples façons qui sont uniques à chaque contexte local, il est important de commencer un exercice de modélisation de la BOC en établissant les objectifs du projet et en déterminant les considérations uniques relatives aux compétences.

Dans les cycles normalisés des politiques et des projets, l'établissement des objectifs commence généralement par la définition du problème, c'est-à-dire l'obtention de multiples points de vue des parties concernées sur les causes du problème, les solutions privilégiées et les preuves à l'appui, puis la combinaison de ces points de vue en une articulation unique et représentative du problème. Cette étape est souvent réalisée par les planificateurs par le biais de la sensibilisation communautaire et peut être déjà terminée au moment où une communauté est prête à utiliser la BOC, ou bien elle peut être intégrée dans un programme plus vaste d'actifs naturels côtiers qui utilise la BOC.

Le processus de définition du problème met en lumière les principales incertitudes qui doivent être traitées pour résoudre le problème (p. ex., où les actifs naturels côtiers sont susceptibles d'être les plus avantageux). Aider à répondre à ces « grandes questions » est souvent l'un des principaux objectifs de la modélisation, mais pour que des mesures soient prises, les résultats du modèle doivent ensuite être opérationnalisés pour appuyer les initiatives communautaires. Comprendre à l'avance ce que sont ces initiatives potentielles permet de structurer l'exercice de modélisation et de s'assurer que les résultats seront utiles plutôt que d'exister simplement dans une « boîte noire » difficile à interpréter à des fins pratiques. À l'aide d'un exemple tiré de l'étude pilote menée à Gibsons (Colombie-Britannique), l'encadré énumère certains types d'initiatives communautaires que la BOC peut éclairer.

Pour établir des listes similaires, il est utile pour les praticiens de poser des questions telles que : **Où** l'inondation et l'érosion des berges posent-elles problème? **Pourquoi** est-ce un problème? **Quels** sont les leviers de gestion possibles pour résoudre le problème? **Comment** ces leviers de gestion pourraient-ils être appliqués? **Quels** sont les chevauchements de compétences pertinents?

De manière générale, la définition du problème est aussi l'étape où les chevauchements de compétences sont révélés, ce qui aide à déterminer les groupes d'intérêt concernés qui pourraient devoir être inclus dans le processus (voir la section 3.2 – Constitution d'une équipe).

L'administration des côtes canadiennes est compliquée car, selon la nature du problème, elle peut interférer avec les zones et les processus côtiers qui relèvent des administrations fédéral, provinciales, municipales et/ou autochtones. Pour déterminer les chevauchements de compétences, les praticiens devront déterminer si un actif d'infrastructure et les mécanismes qui influencent cet actif se trouvent sur la terre ferme, dans la zone intertidale ou dans la zone subtidale. Il est important de noter que les réponses peuvent différer quant à la façon dont les actifs naturels (par rapport aux infrastructures matérielles/grises) et les mécanismes de gestion possibles dans une région donnée peuvent influencer les actifs naturels dans une autre. Par exemple, les fosses septiques qui existent le long des côtes peuvent causer une pollution microbienne ou par des nutriments dans les zones infralittorales, ce qui peut ensuite avoir une incidence sur les herbiers infralittoraux. Bien que les herbiers subtidaux ne relèvent pas nécessairement de la compétence des municipalités, les règlements municipaux relatifs aux fosses septiques

Utilisations de la BOC à Gibsons (Colombie-Britannique)

Au cours des premières étapes de la mise à l'essai de la BOC auprès de la ville de Gibsons, en Colombie-Britannique, des discussions ont eu lieu pour comprendre comment les résultats de la BOC pourraient être utiles à la communauté. Les participants ont souligné les points suivants :

- Éclairer les plans d'aménagement du territoire et le zonage de la municipalité
- Affiner les permis d'aménagement
- Fournir une justification supplémentaire pour appuyer les demandes de financement
- Informer le Conseil des coûts et des risques associés aux différentes décisions en matière de protection côtière
- Soutenir les conversations avec les gouvernements provinciaux et fédéral
- Communiquer avec les propriétaires privés
- Soutenir la sensibilisation et l'éducation de la communauté en général

côtières peuvent influencer l'état des herbiers.

De façon générale, les administrations locales ont compétence quant à l'*utilisation des terres* dans les zones côtières, l'autorité commençant à la laisse de haute mer. Les mécanismes de gestion des terres qui sont pertinents pour la protection des côtes comprennent les règlements de zonage, les permis d'aménagement et d'autres politiques énoncées dans les plans communautaires officiels. Le fait que la propriété foncière soit publique ou privée peut influencer la mesure dans laquelle il est possible de mettre en valeur les actifs naturels côtiers, de sorte que la collaboration avec les propriétaires fonciers privés est un autre mécanisme moins formel qu'il pourrait être important de poursuivre.

Le tableau 3-1 donne un aperçu général des ordres de gouvernement qui peuvent être pertinents pour différents types de protection côtière fondée sur la nature. Pour déterminer les mécanismes de gestion en vertu desquels les compétences des provinces et territoires sont pertinentes, il faut comprendre comment des écosystèmes particuliers fonctionnent pour fournir les services qu'offrent ces actifs naturels. Pour faciliter cette compréhension, l'annexe A décrit les principaux types d'écosystèmes côtiers et illustre les voies reliant les processus biophysiques qui fournissent une protection contre les inondations et l'érosion. Outre les solutions de rechange matérielles/grises, l'annexe B décrit les solutions en matière d'actifs naturels présentées dans le tableau 3-1, l'annexe C aborde les questions de compétence côtière plus en détail et l'annexe D donne un aperçu général des lois, des politiques et des instruments du marché pertinents.

Tableau 3-1. Les ordres de gouvernement qui s'appliquent de façon générale selon différentes approches de protection contre les inondations et l'érosion. Les champs de compétence peuvent différer au cas par cas.

Approche fondée sur la nature pour la protection contre les inondations et l'érosion	Gouvernements municipaux	Gouvernements provinciaux	Gouvernement fédéral	Gouvernements autochtones
Plages et dunes	X			X
Milieux humides côtiers	X			X
Marais salés		X		X
Graminées marines		X	X	X
Récifs		X	X	X
Îles-barrières	X	X	X	X

3.2. Constitution d'une équipe

Les stratégies de gestion des actifs naturels nécessitent une approche multidisciplinaire fondée sur le travail d'équipe. Le processus de la MNAI implique donc de constituer une équipe de représentants de la communauté issus de diverses disciplines. La composition de l'équipe peut varier en fonction de la capacité locale, du chevauchement des compétences (voir la section 3.1) et des besoins techniques. Cette étape est importante, car, bien que nous ayons essayé de rendre la BOC aussi conviviale que possible et que de nombreux résultats soient intuitifs à interpréter, les multiples sous-modules qui composent la boîte à outils (figure 2-1) représentent des dynamiques côtières complexes qui ne sont généralement pas du ressort des administrations locales qui travaillent seules. Une équipe des actifs naturels côtiers doit comprendre des représentants de tous les ordres de gouvernement dont les compétences chevauchent les activités de gestion des actifs proposées. L'inclusion d'experts techniques dans l'équipe, tels que des planificateurs locaux, des ingénieurs côtiers, des écologistes et des spécialistes en SIG, permettra de s'assurer que les bons renseignements et la dynamique des systèmes côtiers sont intégrés dans le modèle et facilitera l'interprétation des résultats. L'inclusion de planificateurs locaux, d'intervenants et de représentants autochtones permettra à l'équipe d'avoir accès aux connaissances et à l'expertise locales nécessaires pour inventorier les actifs naturels côtiers, caractériser les conditions de base et déterminer les actifs naturels potentiels comme solutions de remplacement qui

sont pertinents pour la communauté.

3.3. Compilation d'un inventaire d'actifs naturels

La méthodologie de la MNAI relative aux actifs naturels (figure 1-1) comprend l'élaboration d'un inventaire des principaux services écosystémiques importants pour la communauté et des actifs naturels qui les soutiennent. L'élaboration de cet inventaire est une première étape essentielle pour renforcer le portefeuille d'infrastructures naturelles d'une communauté. Elle permet une évaluation générale de l'état de ces actifs ainsi que des risques auxquels ils pourraient être confrontés et soutient l'évaluation des avantages connexes qu'il n'est peut-être pas possible d'intégrer dans des modèles tels que la BOC dans les limites de temps et de budget. Certains de ces services écosystémiques supplémentaires peuvent présenter un intérêt pour de futurs exercices de modélisation, et il est utile de les garder à l'esprit avant de commencer la modélisation, car des occasions inattendues d'intégration au modèle peuvent se présenter.

Une fois l'équipe constituée (voir la section 3.2), l'élaboration d'un inventaire des actifs naturels côtiers commence par la formulation de quelques questions clés permettant de déterminer les composantes de l'écosystème qui fournissent (ou pourraient fournir) des services écosystémiques au moyen de processus écologiques. Voici quelques questions que l'équipe pourrait envisager :

- Où se trouvent les secteurs de préoccupation en lien avec les inondations ou l'érosion? Où se trouvent les secteurs qui ne sont pas préoccupants?
- Dans les secteurs qui ne sont pas préoccupants, existe-t-il **des composantes ou des processus écologiques** qui réduisent le risque d'inondation et d'érosion? Par exemple, la végétation existante (p. ex., les herbiers de zostères) atténue-t-elle les vagues ou les caractéristiques topographiques (p. ex., les dunes) atténuent-elles l'inondation lors des événements de niveaux d'eau élevés? Si c'est le cas, ces composantes et processus peuvent être ajoutés à l'inventaire des actifs naturels et réservés à la protection.
- Dans les secteurs de préoccupation, existe-t-il **des composantes ou des processus écologiques** qui réduisent le risque d'inondation et d'érosion, mais pas suffisamment pour atténuer les préoccupations? Si c'est le cas, ces composantes et processus peuvent être ajoutés à l'inventaire des actifs naturels et réservés à la protection, parallèlement aux efforts de restauration ou d'amélioration.
- De plus, en ce qui concerne les secteurs de préoccupation, existe-t-il des composantes écosystémiques qui n'existent pas actuellement (mais qui ont peut-être existé dans le passé) et qui pourraient réduire les risques d'inondation et d'érosion? Si c'est le cas, on peut envisager de les restaurer ou de les améliorer.

Pour aider à répondre à ces questions, l'annexe A énumère les composantes écologiques existant dans différents types d'écosystèmes qui fournissent généralement des services écosystémiques associés aux inondations et à l'érosion. Cette annexe traite également des voies (c'est-à-dire des processus écologiques) par lesquelles les composantes de l'écosystème fournissent ces services. La détermination des composantes écologiques clés peut être éclairée par les connaissances locales et/ou autochtones, ainsi que par les ensembles de données existants. Comme le processus comprend la collecte de données, il est utile de désigner un consignataire des données dès le départ. Au fur et à mesure que les données sont compilées, il peut être utile de présenter les renseignements d'une manière facile à comprendre pour l'équipe, tout en créant une approche solide pour la gestion des données sur les actifs naturels. Une approche de la gestion de l'inventaire des actifs naturels que la MNAI a appliquée avec succès est l'élaboration d'un tableau de bord interactif sur le Web (voir la figure 3-1). Le caractère interactif d'un tel outil soutient les besoins en matière d'apprentissage de la communauté et de communication relative aux projets en permettant aux utilisateurs d'approfondir les données pour explorer les différences géographiques au-delà des limites territoriales et pour examiner l'état de chaque actif naturel et les risques qui y sont associés.

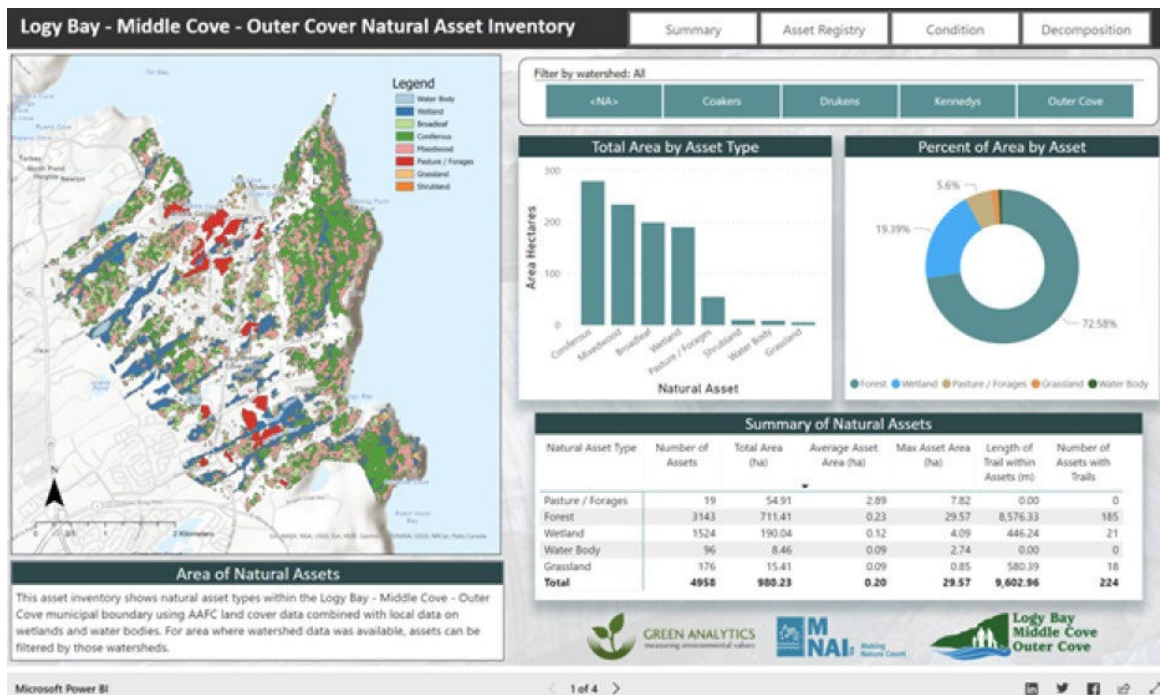


Figure 3-1. Exemple d'inventaire des actifs naturels de la MNAI.

3.4. Caractérisation des conditions de base et détermination des solutions de rechange en matière de gestion des actifs naturels

Une fois l'inventaire des actifs naturels terminé, il est possible de commencer à caractériser les conditions de base et à élaborer des solutions de rechange en matière d'actifs naturels. Dans le cadre de la modélisation, les conditions de base constituent une représentation de la zone d'étude pour les caractéristiques d'intérêt et peuvent représenter les conditions actuelles, historiques ou futures. L'objectif principal d'une condition de base est de fournir un point de comparaison avec d'autres options de protection côtière qui utilisent des actifs naturels et/ou des infrastructures grises/matérielles de remplacement. La plupart des communautés voudront mener des études avec la BOC en utilisant les conditions actuelles comme point de comparaison. Pour soutenir l'élaboration de conditions de base et solutions de gestion des actifs naturels, la figure 3-2 fournit un schéma d'un profil côtier allant de la zone extracôtère à l'arrière-plage avec des options d'actifs naturels qui pourraient être envisagées à différents points du profil. Les paramètres du modèle qui sont « réglables » dans la BOC pour représenter ces différentes solutions de rechange sont également indiqués.

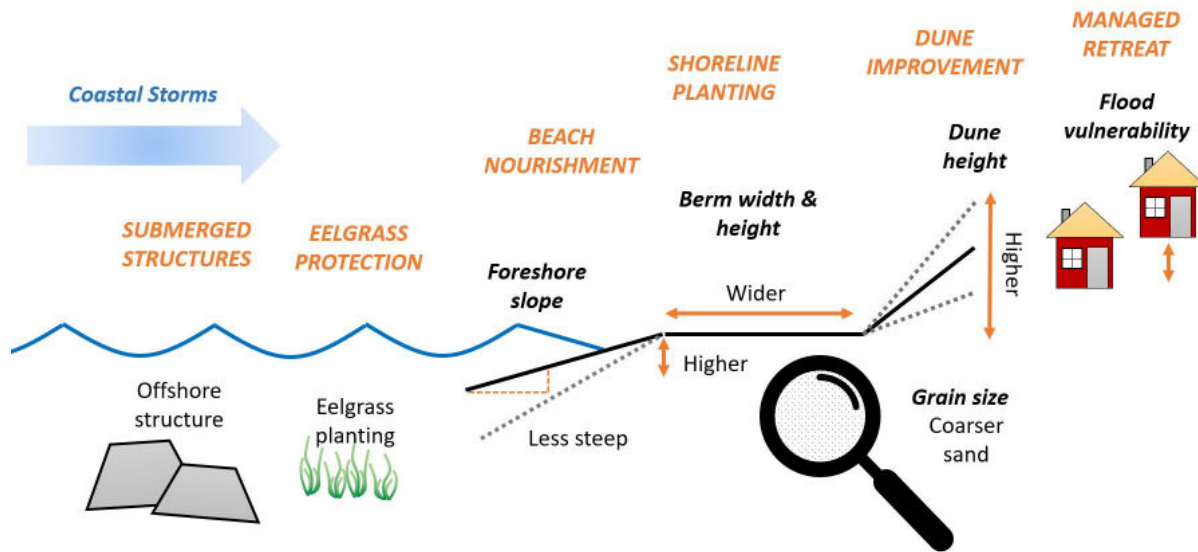


Figure 3-2. Paramètres de modèle réglables et exemples d'applications de la boîte à outils côtière InVEST de la MNAI.

Le tableau 3-2 présente des exemples de réglages des paramètres du modèle pour les conditions de base et trois solutions de recharge en matière de gestion des actifs naturels. Les communautés devront appliquer ces paramètres en fonction des conditions locales, qui peuvent être obtenues à l'aide de mesures sur le terrain, de données LiDAR et/ou satellitaires et des valeurs existantes des terres et des bâtiments. Il convient de noter que chacune des trois solutions de recharge en matière d'actifs naturels présentées au tableau 3-2 ne représente qu'une des nombreuses options potentielles qui peuvent être explorées dans la même catégorie. Par exemple, l'option Remblayage des plages n° 2 pourrait envisager une dune plus grande de cinq mètres, en conservant les mêmes valeurs pour les autres paramètres.

Tableau 3-2. Exemples de réglages de paramètres pour les conditions de base et les solutions de recharge en matière de gestion des actifs naturels sur un seul segment de plage

Paramètres de la BOC	Condition de base	Remblayage des plages n° 1	Plantation de zostères n° 1	Structure submergée n° 1
Pente de l'estran	3 %	9 %	3 %	3 %
Hauteur de la berme	0,5 m	1,5 m	0,5 m	0,5 m
Largeur de la berme	10 m	20 m	10 m	10 m
Hauteur de la dune	1 m	3 m	1 m	1 m
Taille des grains	200 µm	350 µm	200 µm	200 µm
Largeur de l'herbier de	S. O.	S. O.	200 m	S. O.
Distance de la côte de	S. O.	S. O.	S. O.	300 m
Profondeur de l'ouvrage	S. O.	S. O.	S. O.	Zéro des cartes
Hauteur de l'ouvrage	S. O.	S. O.	S. O.	1,5 m
Largeur de l'ouvrage	S. O.	S. O.	S. O.	10 m

Valeur du terrain (érosion)	50 \$/m ²	50 \$/m ²	50 \$/m ²	50 \$/m ²
Valeur de l'ouvrage (inondation)	Valeur totale estimée de chaque ouvrage saisie dans la BOC avec le fichier de forme de l'empreinte du bâtiment			
Estimations de profondeur-dommages	Attribuées à chaque ouvrage dans le fichier de forme de l'empreinte du bâtiment (p. ex., en utilisant les courbes profondeur-dommages de l'outil HAZUS des États-Unis ou des courbes profondeur-dommages dérivées)			
Taux d'actualisation	3 %			

La figure 3-3 montre comment les conditions de base et les solutions de recharge en matière d'actifs naturels peuvent être comparées pour estimer la valeur de tout avantage en termes de coûts évités.

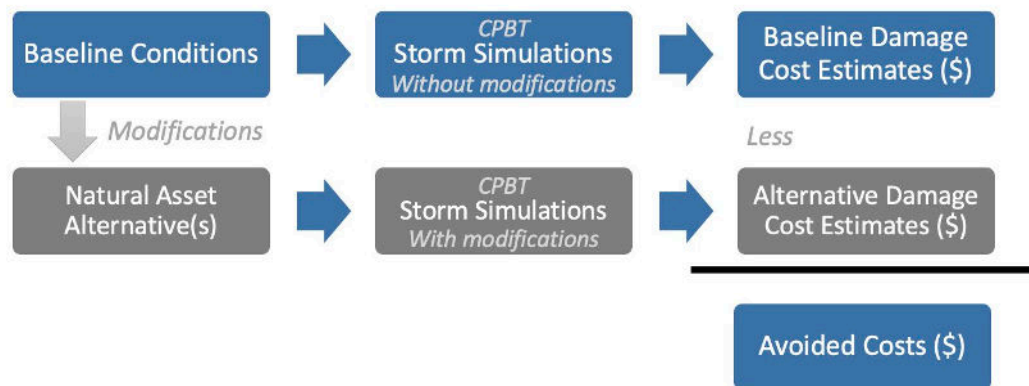


Figure 3-3. Comparaison des conditions de base avec les solutions de recharge en matière d'actifs naturels pour fournir des estimations de coûts évités.

En ce qui concerne les coûts liés à l'érosion, la BOC calcule les dommages en fonction de la valeur d'une section de plage (\$/m²), qui est dérivée en externe par l'utilisateur et entrée dans la boîte à outils comme faisant partie des données d'entrée des attributs de plage ou définie globalement pour l'ensemble du littoral. Par exemple, on pourrait utiliser une moyenne des valeurs évaluées les plus récentes pour certains terrains près de la côte (p. ex., voir l'étude pilote de Pointe-du-Chêne – 150 \$/m²). Il est important de se rappeler qu'à long terme, les plages peuvent se régénérer par l'accrétion en été et le retrait en hiver lors des tempêtes. Nous nous attendons à ce que la valeur de la plage varie entre 50 \$/m² et 500 \$/m² dans le modèle. Cependant, il faut comprendre que l'attribution d'une valeur monétaire fixe à une section de plage est un exercice hypothétique et qu'il peut être difficile (ou impossible) de la rationaliser à certains endroits. Les utilisateurs doivent se fier aux différences relatives entre les scénarios.

Pour ce qui est des coûts liés aux inondations, la BOC évalue les dommages totaux pour tous les ouvrages de la zone d'étude en fonction des estimations de pourcentage de dommages par ouvrage qui sont dérivées des courbes profondeur-dommages (voir l'annexe E). Il convient de noter que la plupart des courbes profondeur-dommages ne représentent que les dommages structuraux. En réalité, les coûts des dommages risquent d'être plus élevés si le contenu de l'ouvrage, les véhicules et d'autres actifs sont inclus dans le calcul. Les estimations de dommages en pourcentage sont ensuite multipliées par les valeurs de l'ouvrage (p. ex., à partir des données d'attribut de l'empreinte du bâtiment). Comme dans le cadre de l'estimation des coûts liés à l'érosion, ces valeurs peuvent être dérivées des valeurs évaluées les plus récentes. Si les valeurs directes des structures ne sont pas disponibles, elles peuvent être obtenues en soustrayant la valeur totale de la propriété de la valeur du terrain. Une propriété donnée peut avoir plus d'une structure sur le terrain. Lorsque c'est le cas, les valeurs des structures doivent être attribuées en répartissant la valeur totale de la structure proportionnellement entre tous les bâtiments sur le terrain en fonction de la surface au sol

(p. ex., si la valeur totale de la structure est de 100 000 \$ et que la propriété a une structure de 10 m² et une structure de 15 m², la valeur de ces structures peut être estimée comme suit : 100 000 \$*(10/25 m²) = 40 000 \$ et 100 000 \$*(15/25 m²) = 60 000 \$). Si ni la valeur du terrain ni celle de la propriété ne sont disponibles, les utilisateurs peuvent estimer un coût de construction fixe (p. ex. 100 \$ à 300 \$ par pied carré), puis calculer une valeur approximative de la structure en fonction de la superficie du polygone de l'empreinte du bâtiment pour chaque structure (en tenant compte des conversions d'unités)¹.

Les méthodes d'évaluation des options d'actifs naturels pour une zone d'étude donnée varieront selon le type d'actif naturel qu'une communauté souhaite explorer. Certaines options peuvent être facilement évaluées à l'aide de la BOC en faisant simplement varier les réglages de paramètres standard (p. ex., la hauteur des dunes, la largeur des plages). D'autres options peuvent nécessiter l'utilisation d'approximations, comme l'augmentation du paramètre de la taille des grains pour représenter la stabilité accrue grâce à la plantation des rives, tandis qu'il n'est pas toujours possible d'évaluer d'autres options encore à l'aide de la boîte à outils. Pour une série de solutions de rechange potentielles en matière d'actifs naturels, le tableau 3-3 fournit des indications sur ce que la BOC peut et ne peut pas faire, et sur les paramètres qui peuvent être ajustés pour représenter les différentes options (colonne « Mécanisme du modèle »). Pour ce qui est de l'érosion et des inondations, nous fournissons des cotes de faisabilité de modèle « faibles », « moyennes » et « élevées » fondées sur les limites du modèle sous-jacent. Les options dont la faisabilité de la modélisation dans la BOC est faible peuvent néanmoins être utiles à une communauté et peuvent être explorées séparément.

¹ Pour obtenir de plus amples renseignements, consultez le Guide d'orientation fédéral sur l'estimation des dommages causés aux bâtiments et aux infrastructures par les inondations de RNCan : <https://geoscan.nrcan.gc.ca/starweb/geoscan/servlet.starweb?path=geoscan/fullf.web&search1=R=327002>

Tableau 3-3. Exemples d'applications de la boîte à outils côtière de la MNAI.

Option d'actifs naturels	Mesure de gestion des actifs	Faisabilité de la modélisation	Mécanisme du modèle	Cote de faisabilité de la modélisation	
				Érosion	Inondation
Restauration des dunes et des berges	Établissement, préservation ou amélioration des dunes de plage et des arrière-plages.	La hauteur des dunes est une entrée directe dans l'estimateur d'érosion pour les plages de sable (Kriebel et Dean, 1993). Les élévations des berges de l'arrière-plage peuvent être utilisées pour remplacer la hauteur des dunes, mais les utilisateurs doivent maintenir ces valeurs en dessous de 5 m. Le modèle ne peut pas simuler les effets des arrière-plages verticaux abrupts ou des murs de soutènement. <i>Avertissement : Dans la BOC, les dunes ne peuvent influencer les inondations que par le biais de la remontée de vagues et ne peuvent pas bloquer l'eau (voir « Modèle baignoire » dans le glossaire).</i>	Réglage du paramètre « Hauteur des dunes ». L'augmentation de la hauteur de la dune entraînera une diminution des estimations de l'érosion et de la remontée de vagues.	Élevée	Moyenne/faible
Plantation et revégétalisation des rives	Plantation et revégétalisation des arrière-plages et des zones en pente ascendante.	Le modèle ne comporte pas de mécanisme direct pour étudier les avantages de la réduction des inondations et de l'érosion offerts par la plantation des rives. Cependant, la substitution de valeurs de la taille des grains plus gros peut être utilisée comme une approximation de la plantation des rives. Nous avons adopté cette approche dans deux études pilotes, mais nous ne l'avons pas validée avec des données de terrain.	Modification de la taille des grains du substrat de la plage comme représentation approximative de la stabilité accrue de la plage fournie par la plantation des rives. L'augmentation de ce paramètre réduira les estimations de la remontée des vagues.	Moyenne	Moyenne

Option d'actifs naturels	Mesure de gestion des actifs	Faisabilité de la modélisation	Mécanisme du modèle	Cote de faisabilité de la modélisation	
				Érosion	Inondation
Remblayage des plages	Modification de la pente de l'estran, modification de la taille des grains (matériaux plus gros/plus fins), ajustement de la hauteur et de la largeur de la berme de tempête.	Les dimensions de la berme, la pente de l'estran et la granulométrie des sédiments sont des entrées directes dans l'estimateur d'érosion pour les plages de sable (Kriebel et Dean, 1993). Les prédictions du modèle sont limitées aux rivages sablonneux. Il est impossible de prévoir l'érosion des plages de gravier et de galets.	Ajustement de la pente de l'estran, de la taille des grains, de la largeur et de la hauteur de la berme. Les pentes douces seront plus résistantes à l'érosion, tandis que les pentes raides seront plus sensibles à l'affouillement. Les bermes plus larges et plus hautes sont moins vulnérables à l'érosion. La modification de ces paramètres modifiera les estimations de la remontée des vagues.	Élevée (pour les rivages sablonneux)	Élevée (pour les rivages sablonneux)
Plantation dans les zones intertidales et subtidales	Restauration, préservation et/ou plantation d'herbiers de zostères, de peuplements d'algues brunes ou de marais salés intertidaux	La capacité de l'outil InVEST original à prédire la propagation des vagues le long d'un profil avec ou sans végétation a été conservée, ce qui constitue un extrait utile. Toutefois, les réductions à long terme de la vitesse du fond dues à la végétation subtidale et entraînant une réduction de l'érosion ne sont pas prises en compte de manière fiable par le modèle. L'impact de la végétation sur l'étendue des inondations n'est pas non plus pris en compte de manière fiable.	Comme données d'entrée supplémentaires pour la BOC, inclure le ou les polygones de végétation intertidale ou subtidale avec les attributs de largeur, de densité et de hauteur des lames. L'ajout de ces données d'entrée entraînera une atténuation des vagues, mais le modèle ne peut pas évaluer de manière fiable les changements qui en résultent dans la perte de plage ou l'étendue des inondations.	Faible (perte de plage) Élevée (atténuation des vagues)	Faible (étendue des inondations) Élevée (atténuation des vagues)
Structures submergées	Mise en place de structures submergées au large pour réduire les dommages causés par les tempêtes (p. ex., récifs artificiels)	Il existe une fonction particulière pour déterminer le pourcentage de réduction de la hauteur des vagues possible attribuable à des structures submergées, en fonction de leur hauteur/largeur et de leur profondeur. La BOC ne permet pas de générer des estimations sur l'érosion et les inondations à partir des données des structures submergées.	Comme données d'entrée supplémentaires pour la BOC, inclure des polygones de structures submergées avec des attributs de hauteur et de largeur. L'ajout de ces données d'entrée entraînera une atténuation des vagues, mais le modèle ne peut pas évaluer de manière fiable les changements qui en résultent dans la perte de plage ou l'étendue des inondations.	Faible (perte de plage) Élevée (atténuation des vagues)	Faible (étendue des inondations) Élevée (atténuation des vagues)

Option d'actifs naturels	Mesure de gestion des actifs	Faisabilité de la modélisation	Mécanisme du modèle	Cote de faisabilité de la modélisation	
				Érosion	Inondation
Retrait géré	Explorer des options de retrait géré, soit en déplaçant des bâtiments, soit en élevant leur empreinte.	Les dommages causés par les inondations sont calculés à partir de la couche d'empreinte des bâtiments, de l'élévation simulée des eaux de crue et du MAN. La modification de la couche d'empreinte des bâtiments ou du MAN d'une manière qui représente le retrait géré modifiera les estimations des dommages causés par les inondations. Le modèle peut uniquement représenter les dommages structureaux causés par les inondations (et non ceux attribuables à l'érosion ou à l'altération météorique).	Substituer d'autres couches d'empreinte de bâtiment qui représentent les jalons d'un plan d'action de retrait par étapes, et/ou modifier le MAN pour servir d'indicateur des améliorations structurelles (p. ex., augmenter l'élévation du MAN autour d'une structure pour représenter les améliorations du bâtiment).	S. O.	Élevée
Estuaires, étangs de marée, lagunes, flèches et tombolos	Explorer les avantages en matière de protection des caractéristiques côtières le long du littoral	Il n'est pas possible d'estimer avec précision les changements de l'érosion ou de la propagation des vagues dans les surfaces mouillées à proximité de caractéristiques côtières complexes. Le modèle d'inondation de type baignoire ne permet pas de tenir compte du drainage ou de l'écoulement autour de ces caractéristiques (voir « Modèle baignoire » dans le glossaire).	S. O.	Impossible	Impossible
Placement des billes et du bois de grève ancré	Évaluer les options de placement des grosses billes et du bois de grève ancrés	La BOC ne peut pas estimer l'érosion à proximité de structures fixes de l'estran telles que le bois de grève ancré ou les parois rocheuses. Ces caractéristiques ne seront pas non plus prises en compte dans le modèle d'inondation.	S. O.	Impossible	Impossible
Drainage amélioré	Évaluer les réductions potentielles de l'érosion et du niveau des eaux de crue grâce à un drainage amélioré	La BOC ne peut pas estimer les avantages potentiels d'un drainage amélioré pour l'érosion ou les inondations puisqu'il n'inclut pas de processus hydrodynamiques côtiers.	S. O.	Impossible	Impossible

Option d'actifs naturels	Mesure de gestion des actifs	Faisabilité de la modélisation	Mécanisme du modèle	Cote de faisabilité de la modélisation	
				Érosion	Inondation
Modifications des brise-lames	Évaluer la vulnérabilité des infrastructures derrière les brise-lames	La BOC ne peut estimer la remontée des vagues que pour des rivages sablonneux avec une seule interface eau-terre le long d'un profil. Le modèle ne peut pas simuler l'évolution des vagues derrière une grande structure en saillie. Le modèle peut toutefois modéliser des structures submergées. Si les utilisateurs souhaitent modéliser l'évolution des vagues derrière un brise-lames, ils doivent raccourcir leur profil pour commencer derrière le brise-lames et terminer sur la rive.	S. O.	Impossible	Impossible

La détermination des solutions de rechange utilisant des actifs naturels doit se faire avec l'équipe réunie. Habituellement, une longue liste d'options est générée, et un ensemble de critères de sélection est ensuite utilisé pour isoler une courte liste d'options qu'il est possible de modéliser (tableau 3-4). Les critères de sélection doivent prendre en compte la possibilité pour chaque option de fournir les principaux services (c'est-à-dire la protection contre les inondations et l'érosion), et d'autres avantages connexes, ainsi que la faisabilité globale de sa mise en œuvre et de sa modélisation. Lors de l'évaluation des options en fonction de ces critères, il est important de déterminer s'il existe des précédents fiables; si l'option offrirait des avantages connexes particuliers d'intérêt, tels que l'attrait esthétique, la fourniture d'habitats, la gestion du ruissellement ou la régulation de la qualité de l'eau; s'il existe des limites importantes en matière d'ingénierie ou de conception; et si la BOC est capable de simuler l'option. Il convient de noter que certaines options qui ne figurent pas sur la liste restreinte peuvent être simplement difficiles à modéliser. Cela ne signifie pas qu'elles ne sont pas réalisables et, par conséquent, elles ne doivent pas être écartées en tant que solutions de rechange potentielles en matière de gestion. Bien que chaque lieu soit unique, il est utile de comprendre quels types d'approches sont généralement considérés comme les mieux adaptés à une situation particulière. Chaque situation où l'on cherche à protéger la côte peut être caractérisée de trois manières : 1) les aléas côtiers auxquels elle est confrontée; 2) les principaux services qu'il importe de protéger ou d'améliorer; 3) les avantages connexes que présentent les solutions de rechange utilisant des actifs naturels (voir l'annexe B pour une description plus détaillée).

Tableau 3-4. Un exemple de matrice de sélection fondée sur des critères pour établir une courte liste d'options d'actifs naturels à partir d'une liste plus longue d'options potentielles (tirée de l'étude pilote de la MNAI à Point-du-Chêne). Les colonnes avec un « x » indiquent les options sélectionnées.

Option Name	Flood & Erosion Protection	Other Benefits		Feasibility			Modelling
		Co-Benefits	Climate Change Adaptability	Community Implementability	Asset Policy & Planning Relevance	Achievable Cost	Modelling Feasibility
Current and Future-Climate Baselines							
1. Parlee Beach							
2. Point near wharf							
Adapting Parlee Beach for Coastal Protection under Current Conditions and Projected Climate Change							
Pb1. Dune improvement	H	M	H	H	H	H	x
Pb1a. Beach nourishment	M	L	H	H	H	H	x
Pb2. Shoreline planting A	M	M	H	H	H	H	x
Pb3. Shoreline planting B	M	H	M	M	H	H	x
Pb4. Eelgrass planting	L	M	M	M	H	H	x
Pb5. Tidal pond restoration	M	H	M	M	L	L	
Pb6. Submerged structure	H	H	L	L	H	H	x
Pb7. Managed retreat	H	H	L	L	L	L	
Enhancing the Point for Coastal Protection under Current Conditions and Projected Climate Change							
P1. Shoreline armouring	M	L	M	M	M	M	
Development Pressures that Reduce Coastal Protection under Current Conditions and Projected Climate Change							
D1. Marsh loss	M	L	M	M	L	L	

3.5. Acquisition et traitement des données d'entrée

Pour utiliser la BOC, il est nécessaire d'assembler les ensembles de données d'entrée pour un nouveau rivage

d'intérêt. Pour chaque ensemble de données d'entrée clé, cette section fournit une série de « profils de données » qui décrivent l'ensemble de données et offrent des conseils pour l'acquisition et le formatage. Bien que cela soit nécessaire pour la BOC, le processus d'acquisition et de préparation de ces données est également un exercice intéressant pour les communautés qui souhaitent évaluer les actifs naturels côtiers et les initiatives de rivages écologiques de façon plus générale. Ces ensembles de données d'entrée sont largement applicables à d'autres exercices d'évaluation, de surveillance et de modélisation côtières et contribueront donc à la constitution d'une base de données fondamentales facilement transférable à de futures études.

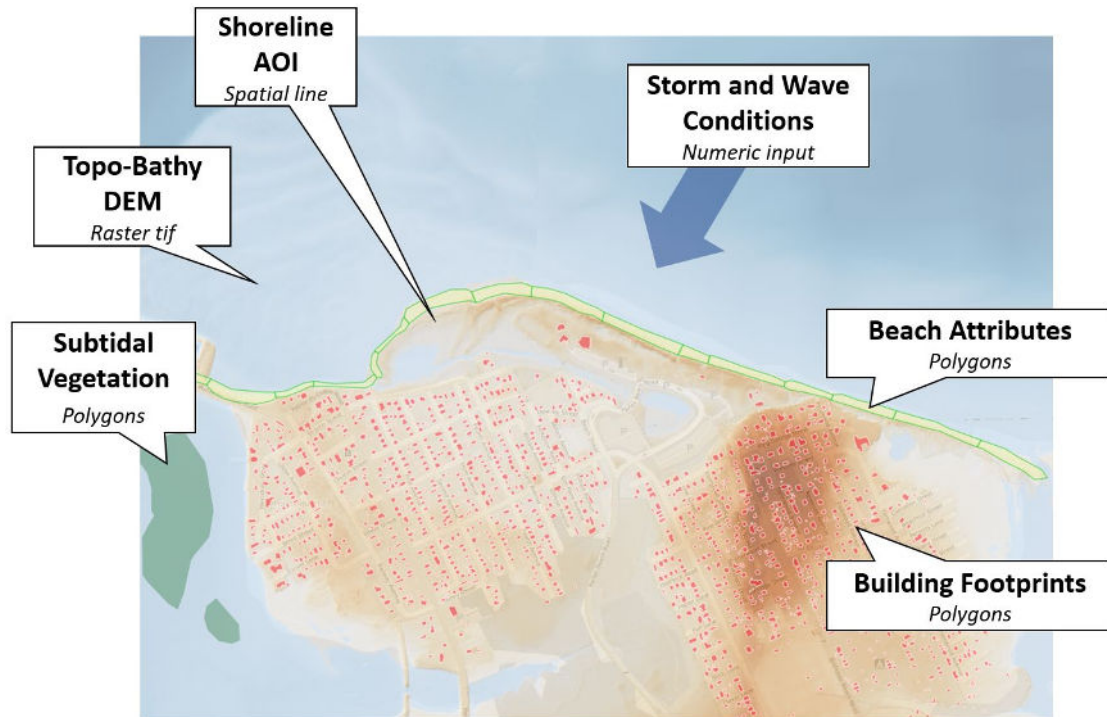


Figure 3-4. Aperçu des principaux paramètres d'entrée pour la boîte à outils côtière.

N° 1 – Zone d'intérêt (ZI) du littoral

Description

Une zone d'intérêt du littoral est utilisée pour définir la région du littoral cible aux fins de modélisation. Toutes les prévisions et les exportations sont générées pour la zone d'intérêt. La zone d'intérêt du littoral est créée manuellement dans un programme SIG. Les utilisateurs devront numériser la position approximative de la ligne de marée basse ou haute.

Polyligne spatiale



Format : Polygones spatiales

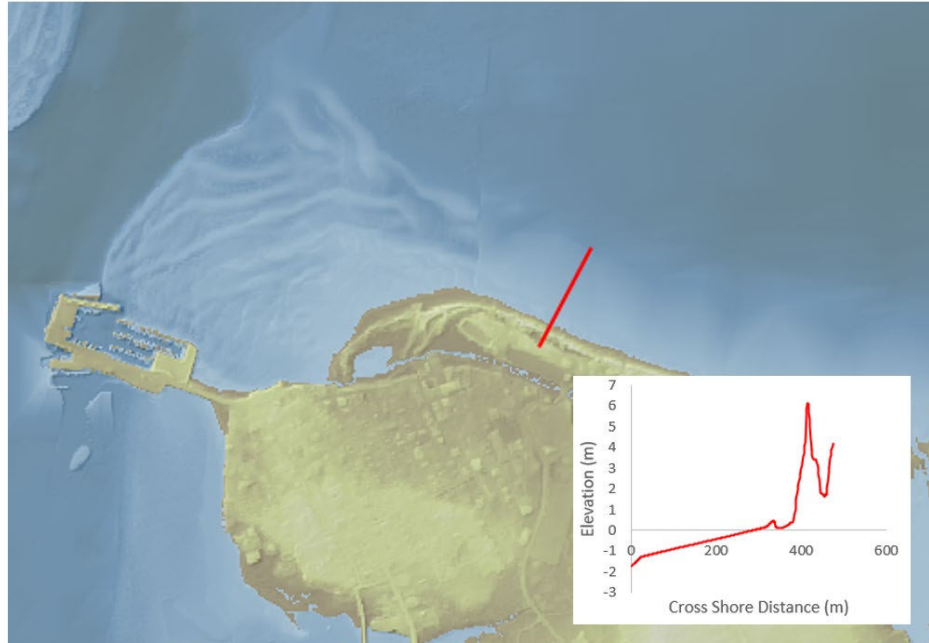
Source optimale : Les utilisateurs doivent numériser (tracer) le littoral le long de leur zone d'intérêt dans un programme SIG. Le littoral doit être simplifié pour éviter les angles saillants. Nous suggérons de tracer manuellement le littoral à l'aide d'images satellitaires de la carte de base. La polygône du littoral est utilisée pour générer un profil transversal perpendiculaire et ne doit donc pas contenir trop de détails.

N° 2 – Modèle altimétrique numérique (MAN) topographique et bathymétrique uniforme

Description

Un modèle altimétrique numérique (MAN) topographique et bathymétrique uniforme est utilisé pour fournir des données d'élévation pour chacun des profils transversaux. Ces renseignements sont ensuite utilisés pour évaluer la propagation des vagues, l'érosion côtière et les inondations.

Matrice d'élévation avec 0 réglé sur la basse mer inférieure moyenne (zéro des



Format : Un jeu de données d'élévation matriciel qui s'étend sur la terre et dans l'eau pour représenter une surface sans eau. Il est important que le jeu de données soit référencé verticalement par rapport au zéro des cartes, de sorte que 0 m représente le bas niveau des marées. Ce jeu de données doit également être exprimé en mètres pour les dimensions x, y et z. Il peut être nécessaire de projeter le jeu de données matricielles sur une zone UTM locale.

Taille : Le temps de traitement augmente de façon exponentielle avec la résolution et l'étendue de la matrice. Il est recommandé d'agréger les surfaces d'élévation matricielles à haute résolution à une résolution maximale de cinq mètres par pixel. Le jeu de données topo-bathymétriques final ne doit pas dépasser 200 Mo dans un format TIF non compressé. Si votre littoral est vaste et que vous souhaitez le traiter à une résolution élevée, il est recommandé de diviser votre zone en sous-sections.

Source optimale : Idéalement, ce jeu de données peut être produit en fusionnant les données LiDAR municipales avec les données bathymétriques extracôtières brutes du Service hydrographique du Canada (SHC). Cependant, dans de nombreux cas, ces données peuvent faire défaut soit pour la topographie, soit pour la bathymétrie, soit pour les deux. Dans ce cas, il existe plusieurs autres méthodes pour générer ces données à partir de sources accessibles gratuitement en ligne (voir ci-dessous). Les données topographiques sont utilisées pour estimer l'étendue des inondations et doivent donc être aussi précises que possible.

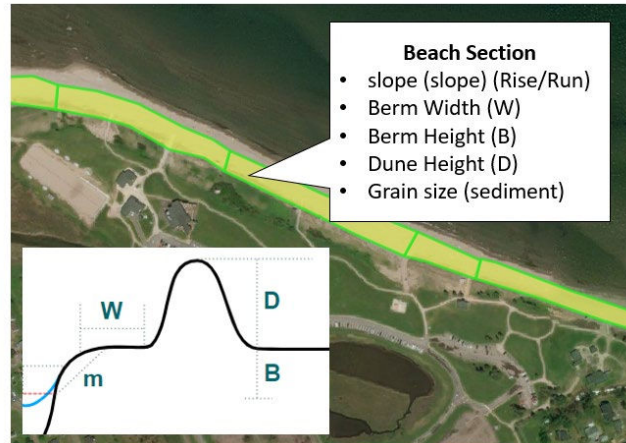
Autres sources : Les données du MAN canadien peuvent être fusionnées avec celles du MAN du SHC dotées d'une résolution de 100 m qui ne sont pas destinées à la navigation (<https://ouvert.canada.ca/data/fr/dataset/d3881c4c-650d-4070-bf9b-1e00aabf0a1d>); les profondeurs extracôtières peuvent même être estimées à l'aide de cartes marines, ou simplement entrer une profondeur fixe pour chaque profil en utilisant les paramètres du modèle. La prise en compte des référentiels verticaux locaux de chaque jeu de données est essentielle pour générer une surface topo-bathymétrique uniforme.

N° 3 – Polygones d'attributs de plage

Description

Les données d'attributs de plage pour la pente (slope), la taille des grains (sediment), la hauteur de la berme (B), la largeur (W) et la hauteur de la dune (D) et la valeur de la plage (V) doivent être fournies pour chaque section de rivage d'intérêt. Ces attributs sont utilisés par le modèle d'érosion pour estimer le recul de la plage pour une tempête donnée. Des polygones spatiaux peuvent être fournis pour chaque section de plage à géomorphologie unique. Si les attributs de la plage le long du littoral sont relativement homogènes, un seul polygone peut être utilisé pour caractériser la plage entière. Les utilisateurs de l'outil devront décider ce qui constitue une section de plage unique. Il est recommandé de subdiviser les plages en fonction des changements majeurs de la topographie, de l'aspect ou peut-être d'un point de rupture de référence local (p. ex., au nord de la jetée, au sud de la jetée).

Polygones avec attributs d'estran



Format : Polygones spatiaux pour chaque section de plage. Les données d'attributs de polygone doivent comprendre les variables suivantes avec des noms de champs et des formats de données exacts et sensibles à la casse :

[slope] Valeur numérique. Pente de l'estran correspondant au rapport de déclivité.

[W] Valeur numérique. Largeur de la berme en mètres.

[B] Valeur numérique. Hauteur de la berme en mètres.

[D] Valeur numérique. Hauteur de la dune en mètres.

[sediment] Valeur numérique. Taille des grains de sédiments en millimètres.

[V] Valeur numérique. Valeur de la plage par mètre carré en dollars.

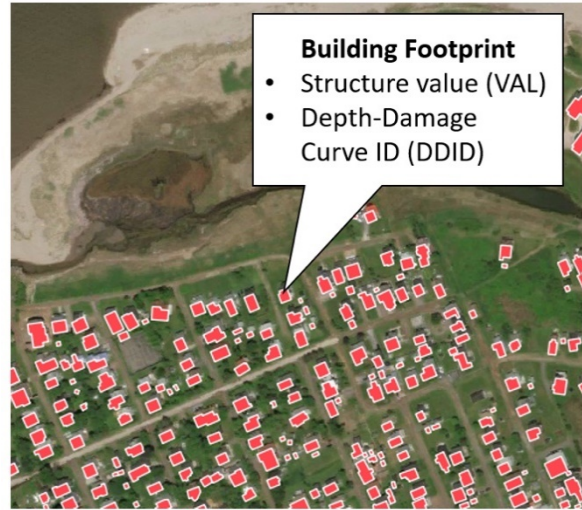
Source : Les renseignements sur les caractéristiques de la plage seront idéalement tirés de levés sur le terrain et d'études antérieures ou extraites de jeux de données LiDAR à haute résolution. Les images satellitaires peuvent également être utilisées pour aider à repérer des sections de plage uniques. Une simple analyse des sédiments par tamisage serait bénéfique et permettrait de mieux comprendre la taille et les propriétés des sédiments représentatifs à utiliser comme données d'entrée dans la BOC.

N° 4 – Empreintes de bâtiments

Description

Pour estimer le nombre de structures inondées et le coût total des dommages causés par les inondations. Ces données doivent être préparées sous forme de polygones spatiaux avec des attributs pour le type de structure, la surface, la valeur et l'identificateur de la courbe profondeur-dommages. Chaque structure doit avoir un champ nommé VAL (pour la valeur de la structure en dollars canadiens) et un champ DDID d'un code numérique pour l'identificateur de la courbe de référence profondeur-dommages de l'outil HAZUS. Assurez-vous qu'il n'y a pas de polygones dupliqués ou qui se chevauchent.

Polygones avec attributs de structure



Format : Polygones spatiaux d'empreintes de bâtiments. Les données d'attributs de polygone doivent comprendre les variables suivantes avec des noms de champs et des formats de données exacts et sensibles à la casse :

[DDID] Saisie de caractères, identificateur de la courbe profondeur-dommages.

[VAL] Valeur numérique de remplacement de la structure.

Source optimale : Idéalement, ces données sont fournies directement par l'autorité administrative actuelle (p. ex., la municipalité ou le district régional). Les valeurs des bâtiments évalués ne sont généralement pas accessibles au public, mais ces renseignements peuvent être obtenus sur demande.

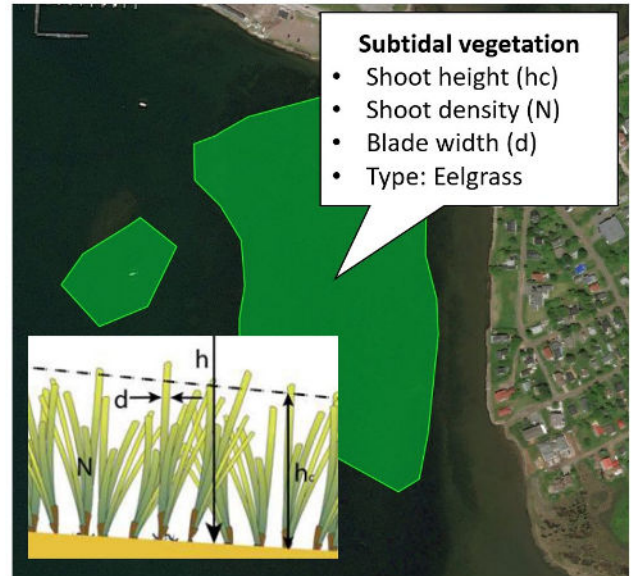
Autres sources : Si les données sur l'empreinte et la valeur des bâtiments et des structures ne sont pas accessibles, les bâtiments peuvent simplement être numérisés manuellement et les attributs ajoutés à la main. Si la zone d'étude est trop grande pour être numérisée, il est recommandé d'utiliser un ensemble de données sur les parcelles provinciales (comme les canevas cadastraux de la Colombie-Britannique) et de prendre une zone tampon intérieure des parcelles en fonction d'un ratio taille de lot/taille de bâtiment pour la zone d'intérêt (p. ex., 5:1, 20 %). Des valeurs de structure peuvent ensuite être attribuées à ces bâtiments hypothétiques en fonction d'une valeur de coût de construction pertinente sur le plan régional (p. ex. 150 \$/pi²) et multipliées par la superficie du polygone.

N° 5 – Végétation subtidale (facultatif)

Description

Si elles sont incluses, les parcelles de végétation subtidale peuvent être utilisées pour modéliser l'atténuation des vagues grâce aux herbiers de zostères, de varech ou de parcelles de marais au large ou dans l'environnement intertidal. Ces données doivent être préparées sous forme de polygones spatiaux avec les attributs de largeur des lames (en mètres), de densité (lames par m²) et de hauteur des lames (en mètres) pour un type de végétation donné. Les attributs du polygone doivent porter la mention « d » pour la largeur de la lame, « N » pour la densité des pousses et « hc » pour la hauteur de la lame. Ces attributs seront uniques à chaque communauté et peuvent être estimés dans le SIG ou générés à partir de données d'enquête sur le terrain.

Polygones avec attributs de la végétation subtidale.



Format : Polygones spatiaux des parcelles de végétation. Les données d'attributs de polygone doivent comprendre les variables suivantes avec des noms de champs et des formats de données exacts et sensibles à la casse :

[hc] Valeur numérique. Hauteur de la lame en mètres.

[N] Valeur numérique. Densité des pousses (nombre de pousses par mètre carré).

[d] Valeur numérique. Largeur de la lame en mètres.

[Type] Saisie de caractères. Soit « zostère », « varech » ou « marais ».

[Cd] Coefficient de traînée conformément à Guannel et coll., 2015. Si les données locales ne sont pas disponibles, nous recommandons d'utiliser 0,1 comme coefficient de traînée pour les zostères.

Source : Ces polygones sont généralement créés en dehors de la BOC et doivent être élaborés à partir d'une étude sur le terrain ou d'options de conception issues de projets de plantation de restauration.

N° 6 – Ligne de coupure de l'arrière-plage (facultatif)

Description

Dans certains cas (rares), lorsque les utilisateurs essaient d'exécuter le modèle le long d'un littoral étroit avec une grande étendue d'eau dans l'arrière-plage derrière la plage et la dune (comme une péninsule, ou une plage le long d'un fleuve/d'un estuaire, d'une lagune, etc.), le modèle peut être désorienté parce qu'il est incapable de déterminer dans quelle direction se trouve l'océan et dans quelle direction se trouve l'arrière-plage (terre). Une **ligne de coupure** de l'arrière-plage facultative peut être incluse pour aider à indiquer au modèle la limite de la zone cible et assurer une orientation correcte du profil transversal.

Ligne de coupure de l'arrière-plage (rouge) parallèle au trait de côte.



Format : Objet spatial linéaire dessiné à la main et en retrait d'environ 50 mètres du trait de côte. La ligne doit tracer approximativement le trait de côte, mais être en retrait sur la terre. L'inclusion d'une ligne de coupure de l'arrière-plage peut contribuer à assurer une bonne orientation du profil transversal et à éviter les erreurs de traitement, mais elle est facultative.

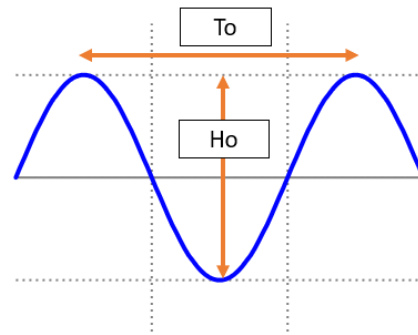
Source : Tracé à la main du retrait sur la terre ferme à partir du trait de côte.

N° 6 – Paramètres de la tempête

Description

Des paramètres numériques sont fournis au modèle pour simuler une tempête côtière. Les paramètres de la tempête comprennent la hauteur significative des vagues (H_o , mètres), la période du pic des vagues (T_o , secondes), l'élévation de l'onde de tempête (en mètres), certaines estimations de la projection de l'élévation du niveau de la mer pour la période de simulation et l'élévation de la marée au moment de la tempête.

Entrées numériques



Format : Entrées numériques fournies par l'utilisateur de la BOC.

Sources : Les paramètres de hauteur significative et de période du pic des vagues peuvent être estimés à partir d'études régionales historiques, calculés au moyen d'une analyse des valeurs extrêmes des données sur les vagues provenant de bouées extracôtières voisines, de données rétrospectives sur les vagues à long terme ou estimés à l'aide d'une fonction d'aide dans la BOC qui estime la hauteur et la période des vagues à partir de la vitesse du vent et du fetch². Les estimations de l'élévation du niveau de la mer et de l'élévation de la marée peuvent être obtenues à l'aide de l'Outil canadien d'adaptation aux niveaux d'eau extrêmes (OCANEE) et corroborées avec les tables des marées de Pêches et Océans Canada. Pour l'élévation du niveau de la mer, sur le site Web de l'OCANEE³, naviguez jusqu'à une communauté d'intérêt, puis passez à l'onglet Élévation du niveau de la mer pour trouver une bonne valeur de référence. Nous prévoyons que l'élévation du niveau de la mer se situera entre -0,5 et 1,2 mètre (au cours des 80 à 100 prochaines années). Les données sur l'élévation des ondes de tempête sont généralement recueillies à partir d'études de référence régionales ou de l'analyse des données historiques des marégraphes (généralement installés dans les ports du Canada). On peut s'attendre à ce que les valeurs des ondes de tempête varient entre 0,1 et 1,5 mètre, selon la collectivité. Des ondes de tempête plus importantes sont possibles, surtout lorsqu'il s'agit d'événements plus extrêmes, p. ex., une période de récurrence de plus de 100 ans. L'onde de tempête varie considérablement en fonction de la géométrie côtière locale, des champs de pression et des conditions du vent.

3.6. Préparation des ensembles de données d'entrée pour utilisation dans la BOC

Lorsque les exigences relatives aux ensembles de données ci-dessus ont été satisfaites, assemblez toutes les couches spatiales dans un nouveau projet ArcGIS Pro pour votre zone d'intérêt. Les principaux fichiers du menu des couches doivent inclure le trait de côte (ligne spatiale), les attributs des plages (polygones spatiaux), les bâtiments (polygones spatiaux), la végétation submergée (polygones spatiaux), un MAN topographique et bathymétrique (matrice) et une ligne de coupure (facultative – ligne spatiale). N'oubliez pas de convertir tous les ensembles de données en une projection de la zone UTM locale, de sorte que les longueurs x et y soient exprimées en mètres. Le MAN topo-bathymétrique doit également être ajusté de manière à ce que la référence verticale (0 mètre) soit réglée sur le zéro de la carte locale. Il est également fortement recommandé d'exécuter un outil de vérification de la géométrie sur les couches vectorielles pour s'assurer qu'il n'y a pas d'erreurs de topologie.

² Les estimations des conditions des vagues fondées sur le vent et le fetch nécessitent toujours des données à long terme sur le vent provenant d'une station météorologique et ne sont applicables que pour les environnements où les vagues de houle ne sont pas la principale source d'énergie des vagues; par exemple, les baies fermées.

³ <https://www.bio.gc.ca/science/data-donnees/can-ewlat/index3-fr.php>

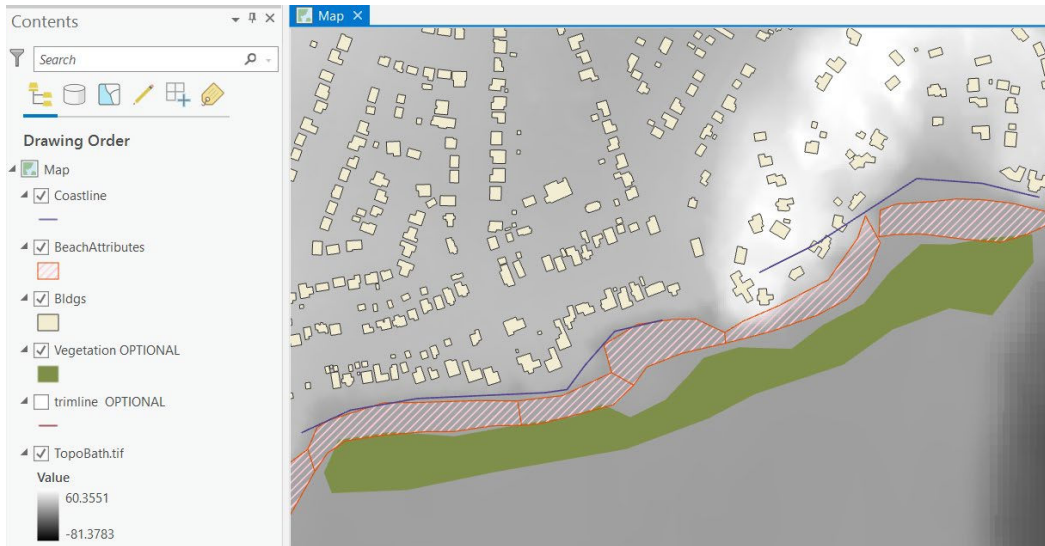


Figure 3-5. Ensembles de données d'entrée spatiales pour l'exécution de modèle de la BOC.

3.7. Installation de la BOC et chargement des données d'entrée

Veillez consulter l'annexe E pour obtenir des directives d'installation du logiciel de la BOC. Pour utiliser cette boîte à outils, vous devez d'abord installer ArcGIS Pro sur votre ordinateur (pour télécharger ArcGIS Pro : <https://www.esri.com/fr-fr/arcgis/products/arcgis-pro/overview>). La boîte à outils a été conçue pour fonctionner avec les options de licence les plus élémentaires, il n'est donc pas nécessaire d'activer Spatial Analyst ou toute autre extension. Veillez noter que la trousse ne fonctionnera pas avec le logiciel ArcMap ni avec des logiciels plus anciens de l'Environmental Systems Research Institute (ESRI).

4. Exécution du modèle

La présente section donne un aperçu du flux de travail de la boîte à outils côtière. Veuillez consulter l'annexe E pour obtenir des directives d'installation et les détails sur les fonctions.

4.1. Étape 1 : Exécution du modèle à titre d'essai en utilisant les paramètres par défaut

Une fois la BOC installée et en cours d'exécution (voir l'annexe E) et une fois que tous les ensembles de données d'entrée ont été préparés dans les formats appropriés (voir la section 3.5) et liés à la BOC, il est recommandé d'exécuter d'abord le modèle en utilisant ses paramètres par défaut. Les valeurs par défaut sont fournies comme point de départ et sont utiles pour s'assurer que toutes les données d'entrée sont correctement formatées et que le modèle fonctionne comme prévu, et pour permettre à l'utilisateur de se familiariser avec le flux de travail général. Les extraits de cet exercice ne seront pas une bonne représentation de la zone d'étude. S'il y a des erreurs, cela signifie qu'il faut vérifier les données d'entrée et les paramètres d'entrée. Chaque fois que la BOC complète est exécutée, un dossier de sortie récapitulatif est créé dans le répertoire de travail et les résultats sont résumés dans un fichier HTML d'une page. Ce fichier HTML présente les résultats dans un format de rapport simplifié avec du texte à l'appui, des figures et des tableaux récapitulatifs.

Pour exécuter le modèle à titre d'essai, suivez les étapes suivantes (figure 4-1) :

1. Dans ArcGIS Pro, ouvrez le volet Catalog [Catalogue] et naviguez jusqu'au fichier MNAI_CPBT.tbx (vous devrez peut-être l'ajouter en tant que nouvelle connexion au dossier).
2. Développez l'outil « Coastal Storm Simulation (full) » [Simulation de tempête côtière (complète)] et ouvrez la fonction « Coastal Storm Simulation » [Simulation de tempête côtière]. Remplissez tous les champs obligatoires, notamment le nom de la simulation, le dossier de travail et les données d'entrée spatiales (voir l'annexe E pour plus de détails).
3. Cliquez sur « Run » [Exécuter] et laissez plusieurs minutes au modèle pour produire un ensemble de données de dossier de fichiers de sortie. Celui-ci sera enregistré dans le répertoire de sortie spécifié par l'utilisateur.
4. Accédez au répertoire de sortie et ouvrez le fichier HTML pour consulter le rapport sommaire dans un navigateur Web (utilisez Google Chrome ou un autre navigateur Web moderne pour consulter les résultats résumés de leur simulation de tempête). Les sorties de données spatiales sont enregistrées dans le sous-dossier de sortie `www/data` correspondant pour un post-traitement supplémentaire au besoin.

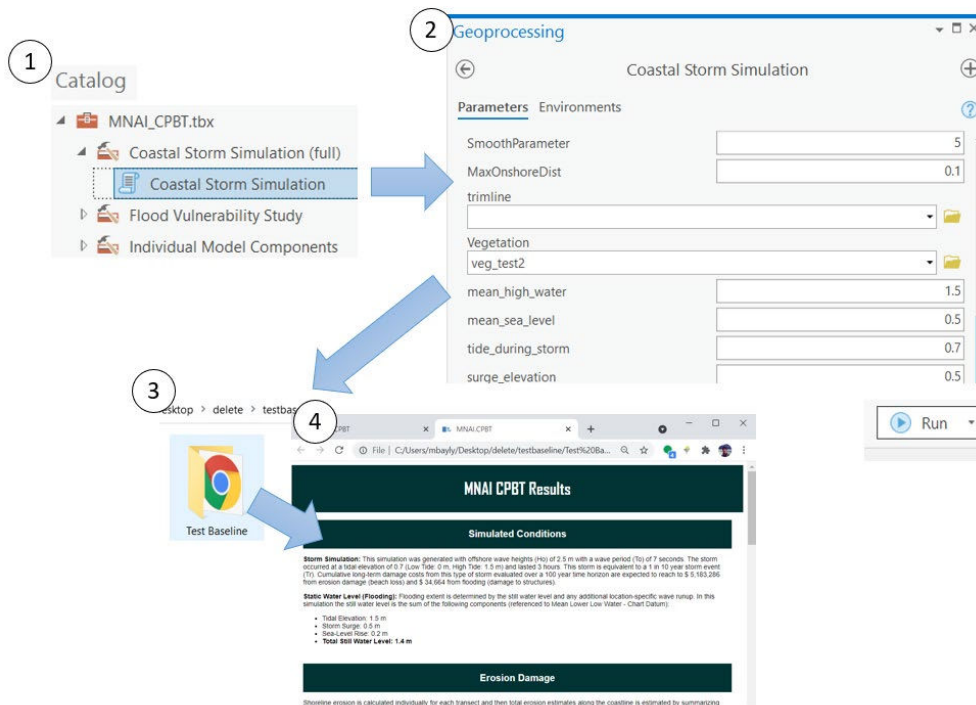


Figure 4-1. Flux de travail des essais de modèle.

4.2. Étape 2 : Exploration des conditions de base

Comme décrit dans la section 3.4, les communautés devront définir leurs propres valeurs de paramètres de base et les ajuster dans la BOC. Les conditions de base constituent l'un des nombreux « scénarios », ou combinaisons de paramètres, qui peuvent être testés, et le modèle est exécuté pour chaque ensemble de paramètres individuels. Les autres scénarios représentent des solutions de rechange en matière de gestion des actifs naturels, comme celles énumérées dans le tableau 3-3, qui peuvent être comparées à la condition de base pour déterminer si ces solutions offrent des avantages en matière d'atténuation des inondations ou de l'érosion. Pour régler les paramètres et exécuter un scénario de référence, suivez les mêmes étapes que celles décrites ci-dessus pour les paramètres par défaut, mais remplacez les conditions de base pour votre zone d'intérêt. Idéalement, toutes les entrées de données et tous les champs devraient être personnalisés pour votre zone d'intérêt, mais prêtez une attention particulière aux points suivants :

1. Les entrées de données spatiales (trait de côte, attributs de plage, bâtiments, etc.)
2. Les élévations de la marée
3. Les paramètres de simulation de tempête (élévation des ondes de tempête, hauteur des vagues (H_o), période des vagues (T_o) et période de récurrence (T_r). Les utilisateurs doivent choisir et concevoir un scénario de tempête hypothétique pour leur zone d'intérêt lors de la modélisation des conditions de base et des solutions de rechange utilisant des actifs naturels. La BOC ne permet pas de concevoir une tempête pour une zone d'intérêt; toutefois, le modèle vent-vagues (annexe E) peut être utilisé pour estimer la hauteur et la période des vagues. Voir la section 3.5 pour obtenir du soutien à la conception des paramètres de tempête.
4. La valeur des propriétés (pour l'érosion du littoral). Une valeur globale par défaut de 200 \$/m² est fournie, mais les utilisateurs doivent modifier cette valeur pour refléter les conditions actuelles de leur région.
5. Le taux d'actualisation annuel (disc) et l'horizon temporel. Les utilisateurs doivent déterminer si les valeurs par défaut sont pertinentes pour leurs objectifs de projet.

L'exécution du modèle complet devrait prendre de 2 à 10 minutes en fonction de la taille et de la résolution de la

matrice topographique et bathymétrique d'entrée et de la densité du profil. Si le modèle prend plus de temps pour s'exécuter, vous pouvez essayer de diminuer la résolution de la matrice, de réduire l'étendue du projet, d'ajuster l'un des autres paramètres pour générer des analyses plus grossières, ou de diviser votre littoral en sous-sections et d'exécuter des simulations sur chacune d'elles. Si le modèle ne parvient pas à s'exécuter, il s'agit très probablement d'un problème lié aux données spatiales d'entrée (vérifiez les formats de données). Une fois l'exécution du modèle terminée, le dossier de sortie sera rempli de résultats et de données. Pour obtenir des explications détaillées sur les instructions et les fonctions, veuillez consulter le guide de l'utilisateur (annexe E). Si les résultats d'une exécution de base du modèle ne correspondent pas du tout aux attentes, cela signifie qu'il faut révéifier les données d'entrée et les paramètres d'entrée. Voir la section 5 pour obtenir des directives sur l'interprétation des résultats.

4.3. Étape 3 : Exécution des simulations pour les solutions de rechange de conception des actifs naturels

Une fois que les utilisateurs sont satisfaits des conditions de base, ils peuvent commencer à modéliser des scénarios d'actifs naturels et les comparer au modèle de base exécuté pour une tempête donnée. Un certain nombre de paramètres peuvent être modifiés entre les conditions de base et les conditions de rechange pour représenter différents d'actifs naturels, mais les élévations de marée et les paramètres de tempête doivent demeurer constants dans tous les scénarios pour faciliter la comparaison. Les utilisateurs peuvent également mettre en œuvre des combinaisons de solutions de rechange pour évaluer les effets cumulatifs des mesures combinées. Pour évaluer les solutions de rechange en matière de conception des actifs naturels, les utilisateurs exécutent à nouveau le modèle, mais enregistrent les données de sortie dans un autre dossier de sortie, puis comparent les résultats dans le fichier de sortie HTML à ceux des conditions de base. Pour faciliter la recherche des dossiers de données de sortie, il est utile de choisir des noms significatifs pour chaque simulation (p. ex., *conditions_de_base*, *traitement1_de_l'estran*, *traitement1_de_l'estran_avec_recul*, etc.) L'impression ou l'examen des fichiers HTML sommaires sur plusieurs moniteurs peut être utile pour tenter de réaliser une évaluation croisée des différences (figure 4-2).

Erosion Estimates: Entire Coastline			
Metric	Unit	Without Vegetation	With Vegetation
Area Lost m2 (Coastline)	(m2)	2155	2087
Volume Lost m3 (Coastline)	(m3)	3642	3526
Single Storm Erosion Damage	(\$)	431,000	417,400
50-Year Erosion Damage	(\$)	786,818	761,864

Erosion Estimates: Entire Coastline			
Metric	Unit	Without Vegetation	With Vegetation
Area Lost m2 (Coastline)	(m2)	1243	1243
Volume Lost m3 (Coastline)	(m3)	1977	1977
Single Storm Erosion Damage	(\$)	248,600	248,600
100-Year Erosion Damage	(\$)	493,494	493,494

Figure 4-2. Évaluation croisée des différences dans les résumés des modèles.

Veuillez noter qu'en plus de modifier les valeurs des paramètres dans le formulaire de données d'entrée d'ArcGIS Pro, une autre façon de mettre à l'essai différentes solutions de rechange en matière de conception d'actifs naturels consiste à modifier les ensembles de données d'entrée de base. Lorsque cette approche est adoptée, assurez-vous de faire des copies de chaque ensemble de données d'entrée modifié avec des étiquettes informatives, puis substituez-les dans les fonctions de la BOC pour chaque solution de rechange en matière de conception d'actifs naturels. Par exemple, si un projet vise à améliorer la répartition de la zostère grâce à des travaux de restauration ou d'amélioration, les utilisateurs pourraient disposer de deux copies de la classe d'entités d'entrée de la végétation submergée : a) une copie des conditions de base montrant la répartition actuelle de la zostère, et b) une copie modifiée montrant la répartition après les travaux de plantation et d'amélioration. De même, pour représenter un scénario de retrait géré, les utilisateurs pourraient reproduire la couche des bâtiments et déplacer ou modifier les bâtiments se trouvant en proximité du bord de l'eau, ajuster leur courbe profondeur-dommages ou même changer la valeur de la structure à 0 pour représenter des améliorations fortifiantes qui empêcheraient les dommages causés par les inondations. La figure 4-3 ci-dessous montre des copies d'autres fichiers de forme dans le menu des couches d'ArcGIS Pro.

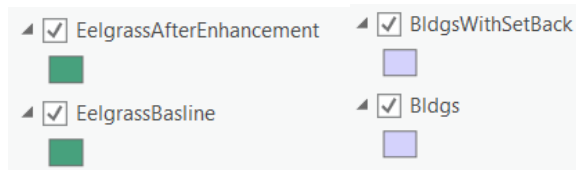


Figure 4-3. Autres fichiers de forme dans le menu des couches d’ArcGIS Pro.

De même, pour simuler les modifications de la plage et de l’estran, nous suggérons de faire plusieurs copies de la couche de polygones des attributs de la plage, par exemple, avec une couche représentant les conditions de base et une deuxième couche représentant une solution de recharge utilisant des actifs naturels. Les utilisateurs peuvent alors modifier les valeurs des attributs dans chaque couche de recharge pour représenter différentes solutions de recharge utilisant des actifs naturels (p. ex., modifier les attributs de la pente de l’estran et de la hauteur de la berme pour simuler des actions telles que le remblayage des plages). La figure 4-4 montre une couche de polygone de plage avec des attributs qui peuvent être modifiés dans ArcGIS Pro.

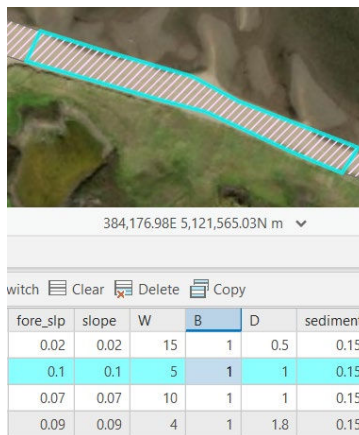


Figure 4-4. Couche de polygone de plage avec des attributs qui peuvent être modifiés dans ArcGIS Pro.

Le modèle peut ensuite être exécuté plusieurs fois pour chaque solution de recharge en matière de conception d’actifs naturels et les données de sorties peuvent être préparées entre les scénarios. La capture d’écran ci-dessous (figure 4-5) montre un exemple de répertoire de sortie de projet pour quatre scénarios définis par l’utilisateur à partir de quatre exécutions distinctes du modèle. Dans chaque scénario, l’utilisateur substitue différents paramètres ou différentes données d’entrée pour simuler une mesure de gestion possible (prise ou non). Les scénarios doivent toujours être comparés aux conditions de base pour une tempête donnée.

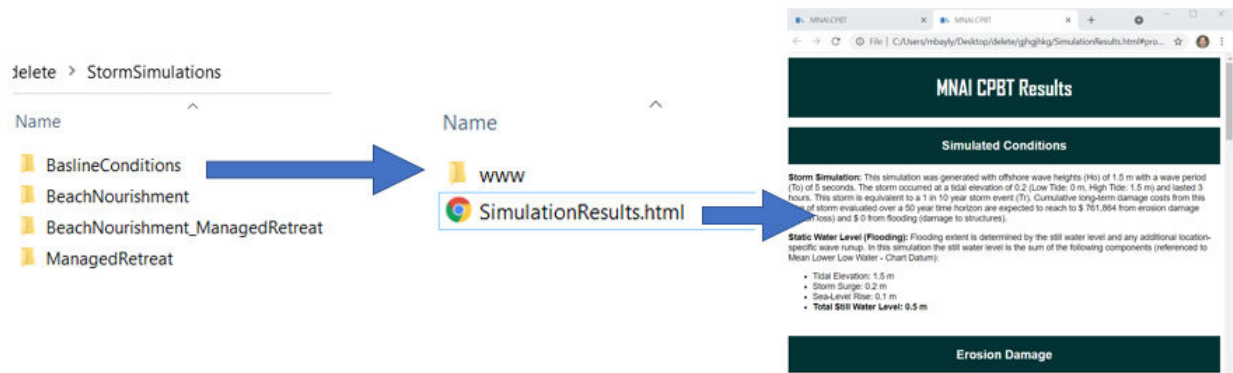


Figure 4-5. Exemple de répertoire de sortie de projet pour quatre scénarios définis par l'utilisateur à partir de quatre exécutions distinctes du modèle.

4.4. Étape 4 : Calcul des coûts évités

Le calcul des coûts évités est une approche permettant d'estimer la valeur monétaire d'un bien ou d'un service fourni par un actif naturel. Cette approche utilise la différence entre les coûts prévus pour un danger, comme les inondations ou l'érosion, avec et sans l'actif. Pour chaque scénario d'actif naturel, la BOC peut calculer les coûts évités relatifs aux inondations et à l'érosion par rapport au scénario de référence sur un horizon temporel défini par l'utilisateur (p. ex., 100 ans). Les extrants des coûts sont fournis en « valeur actualisée », ce qui signifie qu'ils sont actualisés annuellement à un certain taux, puis additionnés pour obtenir un montant cumulé et actualisé sur l'ensemble de l'horizon temporel. Cette actualisation est une pratique courante chez les économistes pour tenir compte du fait que les gens accordent plus de valeur à 1 \$ aujourd'hui qu'à un dollar dans le futur. La BOC utilise un taux d'actualisation par défaut de 3 %.

4.5. Facultatif : Exécution la BOC complète ou des sous-modèles

Les utilisateurs ont la possibilité d'exécuter la BOC complète ou des sous-modèles partiels de la BOC de manière individuelle (figure 4-6). Comme décrit dans les étapes précédentes, pour exécuter le modèle complet, les utilisateurs développent l'outil « Coastal Storm Simulation » [Simulation de tempête côtière (complète)] et exécutent la fonction « Coastal Storm Simulation » [Simulation de tempête côtière (complète)]. Pour exécuter des sous-modèles partiels individuellement, les utilisateurs développent l'outil « Individual Model Components » [Composants de modèle individuels] et exécutent chacune des fonctions de sous-modèle numérotées dans l'ordre. Le modèle complet exécute tous ces sous-modèles en coulisse, du début à la fin, pour générer le rapport de simulation de tempête. L'exécution de la BOC complète est avantageuse si les utilisateurs souhaitent générer rapidement un rapport automatisé à partir d'une simulation de tempête complète afin de faciliter la comparaison des résultats globaux pour les conditions de base et les solutions de rechange utilisant des actifs naturels ou bâtis. Les sous-modèles sont utiles pour les cas d'utilisation spéciale et pour les utilisateurs qui sont intéressés par un aspect particulier de l'outil, comme les données de sorties du modèle de vagues, mais ont une utilisation limitée pour d'autres composantes. L'utilisation des sous-modèles permet aux utilisateurs de parcourir toutes les étapes, en vérifiant les résultats au fur et à mesure. Cela peut aider à déterminer les bons paramètres et favorise l'apprentissage à propos du modèle et de ses fonctions afin que l'utilisateur se familiarise avec le flux de travail de traitement sous-jacent. Il convient de noter que les sous-modèles dépendent des résultats des autres sous-modèles et qu'ils doivent donc être exécutés dans la séquence numérotée, p. ex., les profils doivent être générés (01 « Sample Shoreline Points » [Points d'échantillonnage du littoral]) avant que les utilisateurs puissent exécuter la fonction d'extraction des valeurs d'élévation (02 Extract Profile Elevation [Extraction des valeurs d'élévation des profils]).

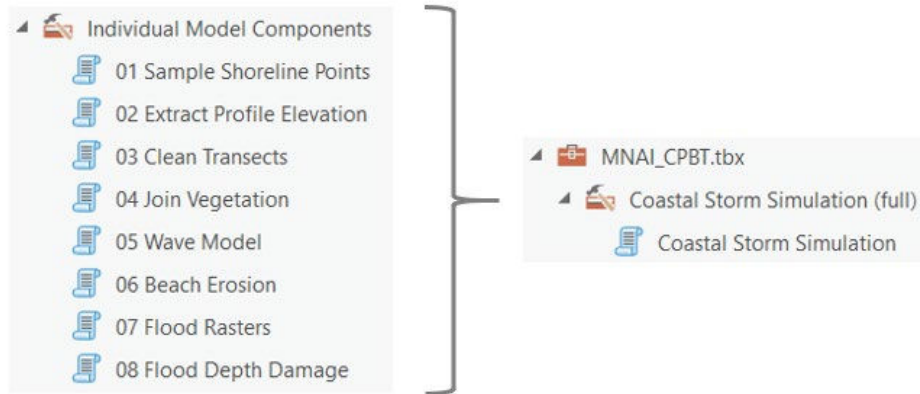


Figure 4-6. Exécution du modèle complet ou de sous-modèles partiels.

4.6. Autres composantes

Il existe plusieurs autres composantes de la BOC qui peuvent être utiles dans le cadre des évaluations, mais qui ne font pas partie du flux de travail standard de la BOC. Ces composants comprennent un calculateur pour les structures submergées, un outil de vulnérabilité aux inondations et un outil de bac à sable à profil unique. L'utilisation détaillée de ces caractéristiques est documentée à l'annexe E.

Le calculateur pour les structures submergées

Le calculateur pour les structures submergées (figure 4-7) ne fait pas partie du flux de travail standard de la BOC, mais est plutôt fourni en tant qu'outil autonome pour calculer les réductions potentielles de la hauteur des vagues dues à la présence d'une structure submergée aux dimensions spécifiques. La BOC n'intègre pas les structures submergées dans l'analyse complète, mais fournit un calculateur simple pour examiner les réductions proportionnelles de la hauteur des vagues pour des structures de différentes tailles. L'objectif de cet outil est de permettre aux utilisateurs d'effectuer un essai rapide de faisabilité des structures submergées pour leur zone d'intérêt. Ce calculateur n'est pas spécifique à un emplacement. Les utilisateurs fournissent simplement la profondeur d'eau souhaitée qui, par exemple, pourrait représenter la profondeur à un endroit précis de leur zone d'intérêt, les dimensions de la structure et les paramètres approximatifs des vagues. Dans de nombreux cas, même les grandes structures peuvent avoir un potentiel limité d'atténuation des vagues. Les résultats de ce calculateur peuvent être utilisés comme un premier passage grossier pour déterminer s'il vaut la peine d'explorer plus en détail les options d'ingénierie pour les structures submergées en dehors de la BOC. Cet outil supplémentaire n'effectue aucune analyse des coûts ni aucune estimation des coûts-avantages. Les détails de l'argumentation pour cette fonction sont fournis à l'annexe E.

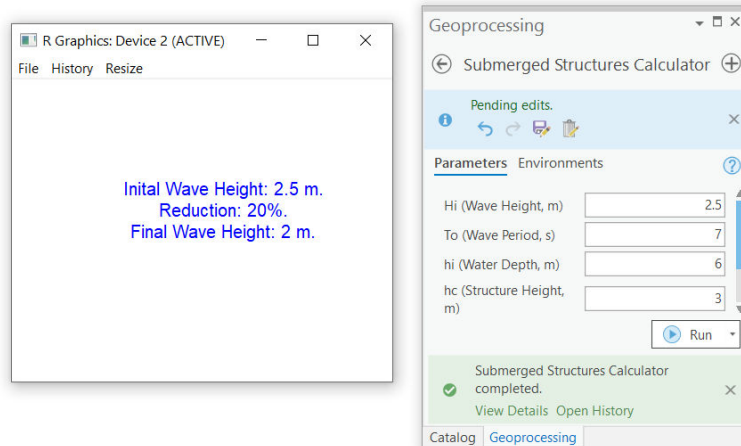


Figure 4-7. Calculateur pour les structures submergées.

L'outil de calcul de la vulnérabilité aux inondations

La fonction d'évaluation de la vulnérabilité aux inondations calcule le coût total des dommages structuraux causés par les inondations à différents niveaux d'eau (figure 4-8). Elle peut être utilisée pour évaluer la vulnérabilité d'une seule communauté ou pour comparer des sous-sections le long d'un trait de côte. Cet outil permet aux utilisateurs de déterminer l'élévation du niveau des eaux de crue qui peut causer des dommages importants à leur communauté. Par exemple, si une communauté ne subit aucun dommage jusqu'à ce que le niveau des eaux de crue atteigne 15 mètres au-dessus du zéro des cartes, nous pouvons en conclure qu'elle est plus résistante aux inondations côtières qu'une communauté qui devrait subir des millions de dollars de dommages attribuables aux inondations si le niveau des eaux atteint deux mètres au-dessus du zéro des cartes. La fonction peut également servir à repérer les points de basculement dans les élévations des eaux de crue qui entraînent une augmentation importante des dommages causés par les inondations. Ces points peuvent ensuite être référencés aux projections locales d'élévation du niveau de la mer dans le cadre d'une analyse des risques. Les arguments d'entrée et les données de sortie de la fonction d'évaluation de la vulnérabilité aux inondations sont expliqués à l'annexe E.

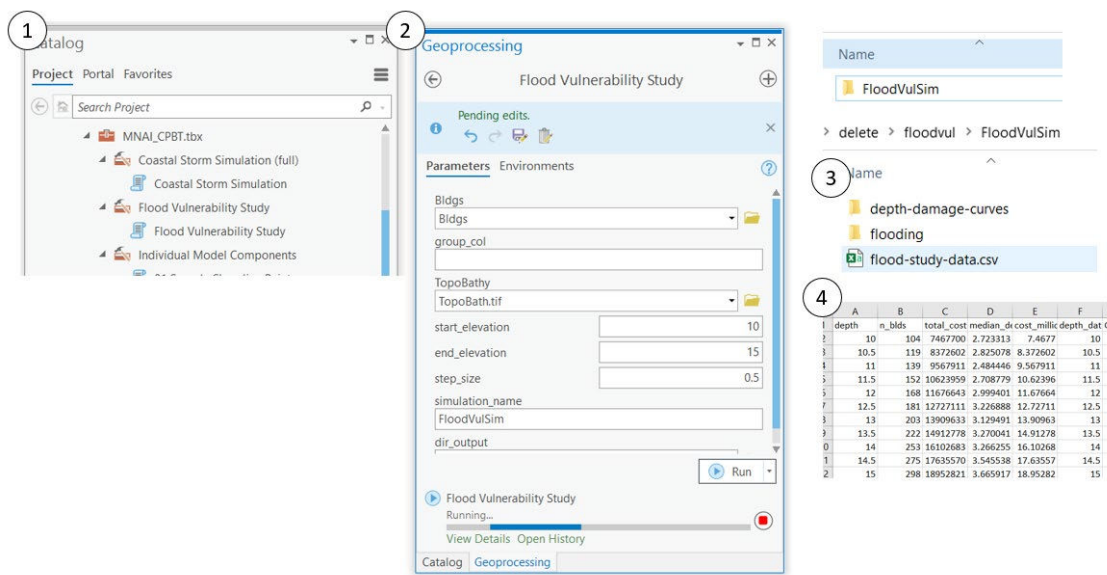


Figure 4-8. Outil d'étude de la vulnérabilité aux inondations.

L'explorateur de bac à sable à profil unique

Pour faciliter l'évaluation rapide des caractéristiques et des solutions de conception de recharge le long d'un seul profil transversal sans avoir à exécuter l'outil complet, la BOC est accompagnée d'une application Web R-Shiny qui permet aux utilisateurs d'explorer des profils d'élévation uniques le long du littoral en « mode bac à sable » (figure 4-9). Cette extension peut être utile pour concevoir diverses solutions de recharge utilisant des actifs naturels sans avoir à exécuter le mode de la BOC complète pour répondre à des questions telles que : Quelle doit être la pente de ma plage afin de minimiser l'érosion? Où doivent être situés les herbiers de zostères pour atténuer les vagues? Quelle amplitude de tempête entraînera une érosion importante sur mon site? Pour utiliser cette extension de l'outil, les utilisateurs téléchargent un fichier csv d'un profil transversal individuel à partir des données de sortie du modèle principal, puis modifient de manière interactive les paramètres de l'estran, la végétation extracôtière et les conditions de tempête directement dans un navigateur Web sans avoir besoin d'ArcGIS Pro ou d'un logiciel local (voir l'annexe E pour obtenir des directives).

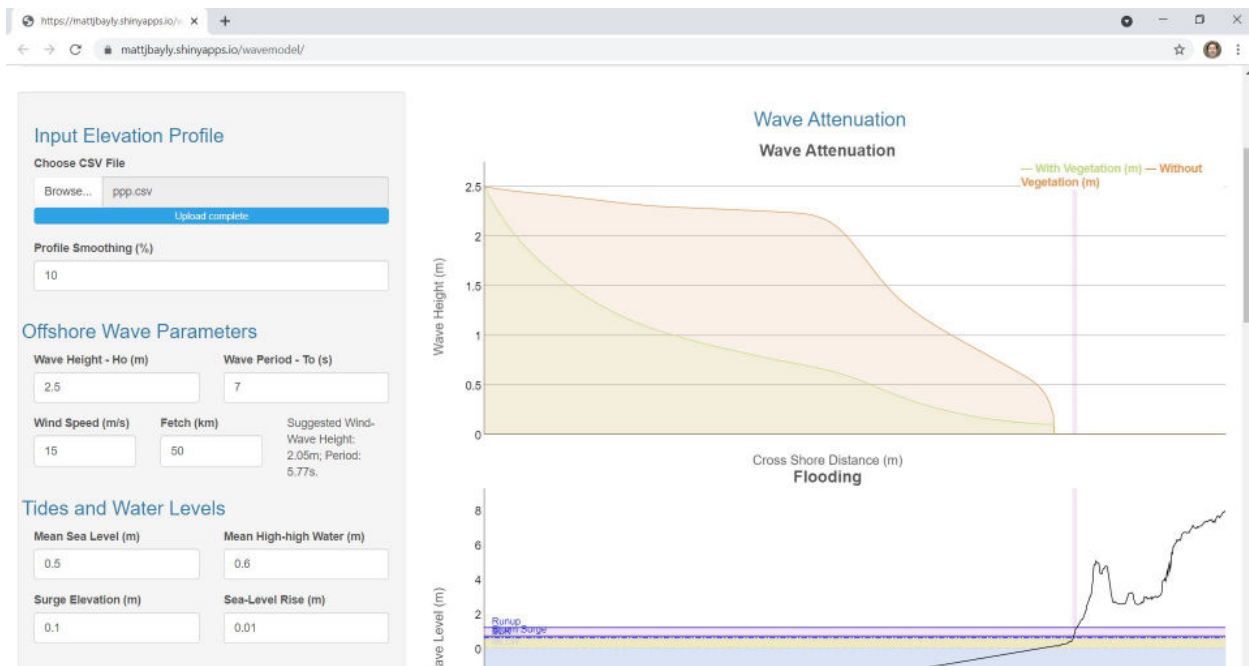


Figure 4-9. Extension R-Shiny : mode bac à sable de profil individuel (outil Web).

5. Interprétation des résultats

Comme décrit à la section 4, chaque fois que la BOC complète est exécutée, un dossier de sortie récapitulatif est créé et les résultats sont résumés dans un fichier HTML d'une page. Ce fichier présente les résultats de la boîte à outils dans un rapport simplifié comprenant du texte, des figures et des tableaux récapitulatifs. Ici, nous fournissons une orientation pour l'interprétation du rapport.

5.1. Aperçu

Le rapport HTML est accessible en naviguant vers le répertoire de sortie (créé à partir de la BOC dans ArcGIS), puis en ouvrant le fichier SimulationResults.html (figure 5-1). Nous vous suggérons de visualiser ce fichier dans Chrome, Edge, Firefox ou Safari – certaines caractéristiques peuvent ne pas apparaître correctement si elles sont visualisées à partir d'anciens navigateurs Web comme Internet Explorer.

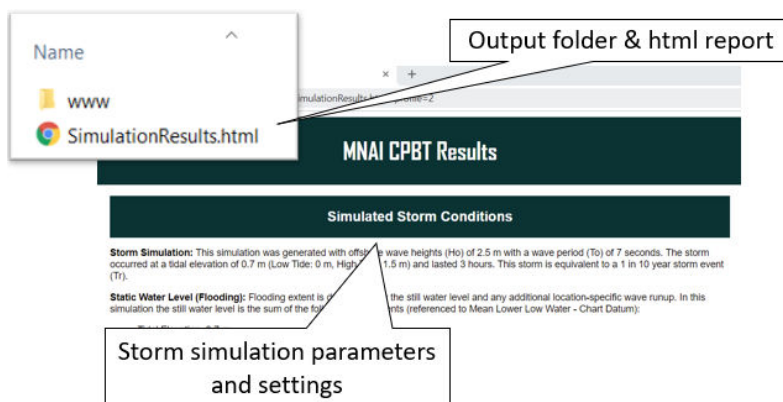


Figure 5-1. Ouverture du rapport HTML à partir de l'explorateur de fichiers.

Le rapport est divisé en six sections principales : Simulated Storm Conditions [Conditions de tempête simulées], Management Scenarios [Scénarios de gestion], Erosion Damage [Dommages causés par l'érosion], Flooding and Structural Damage [Dommages structuraux et causés par les inondations], an Overview Map [une carte d'aperçu], et Wave Attenuation [Atténuation des vagues]. Veuillez noter que certaines sections du rapport HTML comprennent des résultats pour l'ensemble du littoral et/ou pour le profil actuellement sélectionné dans la carte d'aperçu du rapport. Par exemple, la section « Erosion Damage » [Dommages causés par l'érosion] contient les deux types de résultats, tandis que la section « Flooding and Structural Damage » [Dommages structuraux et causés par les inondations] ne présente que les résultats pour l'ensemble du littoral et que la section « Wave Attenuation » [Atténuation des vagues] ne présente que les résultats pour le profil actuellement sélectionné dans la « Overview Map » [Carte d'aperçu]. Pour afficher les résultats détaillés d'un autre profil, cliquez sur un autre profil dans la « Overview Map » [Carte d'aperçu], et la page sera rechargée avec les résultats de ce profil.

La section « Simulated Storm Conditions » [Conditions de tempête simulées] résume les paramètres de tempête, d'onde et de marée qui ont été utilisés pour générer la simulation. La section « Management Scenarios » [Scénarios de gestion] donne un aperçu du scénario représenté dans le rapport HTML. La section « Erosion Damage » [Dommages causés par l'érosion] résume l'état de l'estran sur l'ensemble du littoral et au niveau du profil actuellement sélectionné. La section « Flooding and Structural Damage » [Dommages structuraux et causés par les inondations]

résume les dommages causés par les inondations et le nombre de structures touchées par la tempête. La « Overview Map » [Carte d'aperçu] affiche l'emplacement de tous les profils transversaux évalués, les contours d'inondation et toute autre parcelle de végétation extracôtière ajoutée à la simulation. La section « Wave Attenuation » [Atténuation des vagues] fournit des tracés de l'atténuation de la hauteur des vagues le long du profil transversal. Il convient de noter que les graphiques d'atténuation des vagues montrent des différences entre les profils transversaux avec et sans végétation submergée, mais celles-ci ne sont pertinentes que si la simulation est exécutée avec une végétation submergée (c'est-à-dire que l'utilisateur a sélectionné un polygone de végétation dans l'interface utilisateur d'ArcGIS Pro lors de la configuration et de l'exécution du modèle).

5.2. Simulated Storm Conditions [Conditions de tempête simulées]

À titre de référence, la section sur les conditions simulées fournit un bref résumé des paramètres uniques de la tempête utilisés pour générer la simulation (figure 5-2).

Simulated Storm Conditions

Storm Simulation: This simulation was generated with offshore wave heights (H_o) of 2.5 m with a wave period (T_o) of 7 seconds. The storm occurred at a tidal elevation of 0.7 m (Low Tide: 0 m, High Tide: 1.5 m) and lasted 3 hours. This storm is equivalent to a 1 in 10 year storm event (T_r).

Static Water Level (Flooding): Flooding extent is determined by the still water level and any additional location-specific wave runoff. In this simulation the still water level is the sum of the following components (referenced to Mean Lower Low Water - Chart Datum):

- Tidal Elevation: 0.7 m
- Storm Surge: 0.5 m
- Sea-Level Rise: 0.2 m
- **Total Still Water Level: 1.4 m**

Figure 5-2. Section « Simulated Storm Conditions » [Conditions de tempête simulées] du rapport HTML de sortie.

5.3. Management Scenarios [Scénarios de gestion]

La section sur les scénarios de gestion fournit une description du scénario, qui a été préalablement saisie par l'utilisateur dans ArcGIS Pro, et affiche les paramètres de l'estran pour le profil transversal actuellement sélectionné (figure 5-3). Il convient de noter que ces paramètres d'estran sont énumérés ici, car un ou plusieurs d'entre eux peuvent être modifiés pour représenter le scénario décrit dans la description du scénario.

Management Scenario

Scenario Description: Enter Scenario Description

The following section represents natural assets modelled for the current storm simulation. Note that the parameters listed below are for the current cross-shore profile. To switch to a different cross-shore profile click on another line on the leaflet map below.

Foreshore Parameters: Current Profile

Slope	Berm Height	Berm Width	Dune Height	Sed. Size	Land Value
0.07 (rise/run)	1 m	5.5 m	2 m	0.15 mm	200 \$/m ²

Figure 5-3. Section « Management Scenario » [Scénario de gestion] du rapport HTML de sortie.

5.4. Erosion Damage [Dommages causés par l'érosion]

La section sur les dommages causés par l'érosion fournit un résumé des résultats de l'érosion sur l'ensemble du littoral et au niveau du profil actuel. Le résumé des résultats relatifs à l'érosion pour les profils individuels changera en fonction du profil transversal sélectionné, mais le résumé des résultats relatifs à l'érosion sur l'ensemble du littoral demeurera uniforme, quel que soit le profil actif. Pour passer à un autre profil, cliquez sur les lignes bleues de la carte d'aperçu (figure 5-4).



Figure 5-4. Passez d'un profil à l'autre en cliquant sur l'une des autres lignes bleues perpendiculaires à la plage sur la carte.

Principaux résultats relatifs à l'érosion pour l'ensemble du littoral

Le premier tableau de la section « Erosion Damage » [Dommages causés par l'érosion] (voir le tableau 5-1) extrapole à partir de tous les profils transversaux 1D pour obtenir des estimations 2D approximatives sur l'ensemble du littoral pour les mesures suivantes.

10. Superficie perdue en m² (trait de côte) : La superficie perdue est résumée comme étant la superficie totale de la plage (m²) érodée par la tempête en tant que produit cumulatif de la distance de recul et de la longueur du trait de côte entre chaque profil transversal.

11. Volume perdu en m³ (trait de côte) : Le volume perdu est résumé comme étant le volume total de sable (en m³) érodé par la tempête en tant que produit cumulatif de la distance de recul, de la longueur du trait de côte entre chaque profil transversal et de la hauteur de la berme (en tant que profondeur). Le volume est estimé en utilisant la hauteur de la berme comme mesure de la profondeur, mais il s'agit d'une estimation brute et les valeurs peuvent varier de plusieurs ordres de grandeur. Les volumes d'érosion ne devraient être utilisés que pour des comparaisons relatives entre les options ou les emplacements.

12. Dommages causés par l'érosion d'une seule tempête : Les dommages causés par la tempête simulée sont indiqués en dollars. Il convient de noter que cette première valeur correspond aux dommages instantanés causés par la tempête et ne tient pas compte d'un horizon temporel, d'un taux d'actualisation ou d'une période de récurrence de la tempête. Les dommages causés par l'érosion à la suite d'une seule tempête sont simplement le produit de la superficie perdue à chaque profil transversal multiplié par la valeur de la plage (valeur du terrain)

et la distance entre les profils (voir section 3.5).

13. Dommages causés par l'érosion sur une période de ### ans : Cette mesure fait état de la valeur actuelle des dommages causés par l'érosion sur l'horizon temporel défini par l'utilisateur, ou des dommages cumulés actualisés. Cette valeur est calculée en fonction des dommages causés par l'érosion à la suite de la tempête simulée, de la période de récurrence de la tempête, de l'horizon temporel et du taux d'actualisation annuel (disc). Par exemple, si une tempête simulée avait une période de récurrence de 10 ans et causait 5 000 \$ de dommages à chaque fois qu'elle se produisait, la valeur des dommages causés par l'érosion sur 100 ans serait de 50 000 \$ si le taux d'actualisation annuel était fixé à 0 %. Les évaluations de l'horizon temporel sont utiles pour comparer les dommages causés par les tempêtes côtières. Dans de nombreux cas, des tempêtes très fréquentes, mais de faible intensité peuvent finalement être plus dommageables que quelques rares tempêtes, mais de forte intensité.

Résultats supplémentaires de l'érosion pour un profil transversal particulier

Le deuxième tableau de la section « Erosion Damage » [Dommages causés par l'érosion] fournit une estimation détaillée de l'érosion au niveau du profil transversal qui est actuellement sélectionné dans la carte d'aperçu (tableau 5-1). Les mesures de sortie suivantes sont fournies pour chaque profil :

14. Remontée verticale des vagues : La remontée verticale des vagues, ou simplement « remontée des vagues », est l'étendue verticale maximale du jet de rive sur une plage ou un ouvrage au-dessus du niveau d'eau calme. La remontée de vagues est un processus important qui cause et/ou favorise l'érosion des falaises, et elle contribue aux inondations locales lorsque l'eau est poussée sur l'estran. Dans la BOC, la remontée de vagues est régie en grande partie par les attributs des vagues au large et les paramètres de l'estran d'un segment de plage donné dans la couche de polygones spatiaux des attributs de plage.

15. Distance de recul de la plage : Ces valeurs représentent la distance de recul latéral en mètres (c'est-à-dire, la distance de déplacement de la plage vers le rivage) après une grosse tempête. La distance de recul latéral de la plage est utilisée pour calculer les estimations finales de la perte de surface et de volume et est utile sur le plan conceptuel comme paramètre unidimensionnel unique pour comprendre les effets de l'érosion.

16. Pourcentage de recul de la plage : Ces valeurs représentent le recul de la plage en tant que proportion de la largeur de la berme, ce qui est une mesure utile, car elle permet aux utilisateurs de comparer les résultats entre différentes plages et différents projets. Le pourcentage de recul de la plage est calculé en divisant la distance de recul par la largeur de la berme et en la convertissant en pourcentage. Lorsque les valeurs s'approchent de 100 %, la tempête peut être caractérisée comme entraînant une *érosion totale de la plage*; toutefois, il est rappelé aux utilisateurs d'examiner et de comprendre les limites de la boîte à outils (section 2.2).

17. Indice de recul de la plage : L'indice de recul de la plage échelonne le pourcentage de recul de 1 à 5 en fonction du pourcentage de recul de la plage (0 : 0 %, 1 : 1 à 25 %, 2 : 25 à 50 %, 3 : 50 à 75 %, 4 : 75 à 100 % et 5 : > 100 %). Cette mise à l'échelle permet d'éviter les fausses précisions avec une grande incertitude sous-jacente dans divers sous-modèles. Nous vous suggérons d'utiliser ces valeurs d'indice plutôt que de trop mettre l'accent sur les distances de recul exactes.

Tableau 5-1. Section « Erosion Damages » [Dommages causés par l'érosion] du rapport HTML de sortie.

Erosion Damage

Overview: Shoreline erosion is calculated individually for each transect and then total erosion estimates along the coastline is estimated by summarizing values across all cross-shore profiles. Local erosion at each cross-shore profile locations may vary due to beach and foreshore parameters and offshore wave attenuation. In this section erosion is reported for the across the entire coastline section (first table) and then for the current profile (second table). Click on another cross-shore profile in the map below to view results for a different profile.

Details: The erosion summary tables provides estimates of erosion at the current profile and along the entire coastline (summarized between profiles). Given the foreshore parameters at the current profile and offshore wave conditions, the wave runup and lateral beach retreat distances can be calculated. These are coarse-scale estimates but provide some indication of potential beach retreat following a storm. From these values we can then estimate the area of beach lost by multiplying the beach retreat distance by the longshore extent between profiles. We can also estimate the volume of beach loss if we assume the berm height to be equivalent to the depth of erosion. The erosion damage estimate is simply a product of the area lost (m²) multiplied by the beach property value (\$/m²).

Main erosion result for the entire coastline

Metric	Unit	Value
Area Lost m ² (Coastline)	(m ²)	25977
Volume Lost m ³ (Coastline)	(m ³)	58451
Single Storm Erosion Damage	(\$)	2,597,700
100-Year Erosion Damage	(\$)	1,031,179

Supplementary erosion results for specific cross-shore profile

Metric	Unit	Value
Vertical Wave Run Up (Transect)	(m)	0.782
Beach Retreat Distance (Transect)	(m)	16.36
Beach Retreat Percentage (Transect)	(%)	54
Beach Retreat Index (Transect)	(1-5)	3

5.5. Dommages causés par les inondations

Contrairement aux résumés des dommages causés par l'érosion, le résumé des dommages causés par les inondations n'est pas associé à des profils individuels, de sorte qu'un seul tableau récapitulatif est fourni qui représente les résultats sur l'ensemble du littoral (tableau 5-2). Toutefois, les utilisateurs peuvent consulter les élévations de la remontée des vagues dans les résultats des dommages causés par l'érosion pour comprendre comment le modèle interprète les différences locales d'élévation de la surface de l'eau. Les mesures de sortie suivantes sont fournies :

18. Structures inondées : Les structures inondées sont le nombre de structures individuelles qui devraient être mouillées par les eaux de crue. Même si une structure est inondée par des eaux très peu profondes, elle est quand même ajoutée à ce total. Veuillez noter que les propriétés individuelles peuvent comprendre plus d'une structure.

19. Profondeur médiane de l'inondation : La profondeur médiane de l'inondation est la profondeur médiane de toutes les structures inondées. Veuillez noter que toutes les structures non inondées sont exclues avant le calcul de la médiane.

20. Profondeur maximale de l'inondation : La profondeur maximale de l'inondation est la profondeur maximale de l'inondation pour toutes les structures inondées, l'inondation étant la somme des niveaux d'eau statiques et de la remontée des vagues.

21. Dommages causés par les inondations (tempête unique) : Le coût des dommages causés par les inondations est d'abord déclaré pour la tempête actuelle en fonction des profondeurs d'inondation des structures, des valeurs des structures et de leurs courbes profondeur-dommages connexes. Cette valeur représente le coût total des dommages structurels suite à la tempête simulée. Elle ne tient pas compte d'un horizon temporel ou

d'une période de récurrence de la tempête.

22. Dommages causés par les inondations (résumé sur ### ans) : La valeur finale fait état de la valeur actuelle du coût des dommages causés par les inondations à long terme, projetée sur l'horizon temporel défini par l'utilisateur. Cette valeur est calculée à partir du coût des dommages causés par la tempête simulée actuelle, de la fréquence de récurrence de la tempête, de l'horizon temporel à long terme et du taux d'actualisation annuel (disc).

Tableau 5-2. Section « Flooding and Structural Damage » [Dommages structuraux et causés par les inondations] du rapport HTML de sortie.

Flooding and Structural Damage		
Overview: The MNAI CPBT estimates flooding from the combination of still water level and local wave runup. The still water level is the combination of the tidal water level during the storm (1.5 m), the storm surge elevation (0.5 m) and any sea level rise (0.1 m). Under the simulated conditions the total still water level of this storm reached 2.1 m. In some areas the flood water level is then further increased by local wave runup – the vertical extent of wave onto a beach or structure above the still water level.		
Structural damage estimates for flooding are generated by running zonal statistics on each structure to calculate the flood water depth. Then a damage estimate is assigned to each structure as a portion of the replacement cost given an underlying depth-damage curve. The following table summarizes these damage costs and flood statistics for the simulated storm.		
Based on a storm return period of 50 years (T_r) we can estimate the long-term cumulative damage costs over a long term time horizon of 100 years. Note that in this example we provide an annual discount rate of 0.05.		
Metric	Unit	Value
Flooded Structures	(#)	16
Median Flood Depth	(m)	0.23
Max Flood Depth	(m)	0.54
Flood Damage (Single Storm)	(\$)	\$985,453
Flood Damage (100-Year Summary)	(\$)	\$7,543,234

5.6. Carte d'aperçu

Une carte d'aperçu est fournie pour la simulation de tempête (figure 5-5). En cliquant sur les profils, l'utilisateur accède à différents profils et met à jour tout renseignement propre au profil dans le rapport HTML. Les lignes pointillées représentent les contours de l'inondation. La ligne pointillée noire montre le contour de la marée haute, la ligne pointillée violette montre le contour du niveau d'eau statique (calme) total et les lignes pointillées rouges et vertes montrent le contour et l'étendue de l'inondation avec (vert) et sans végétation (rouge).

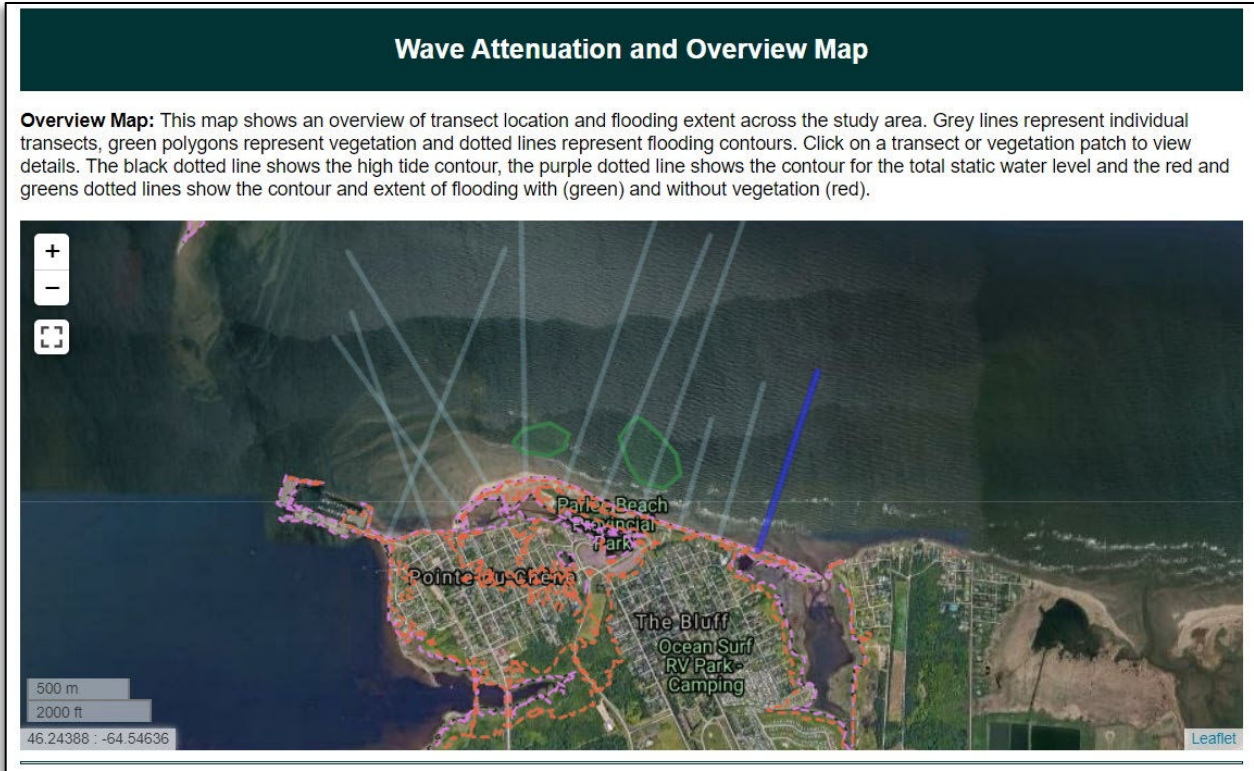


Figure 5-5. Partie relative à la carte d'aperçu de la section « Wave Attenuation and Overview Map » [Atténuation des vagues et carte d'aperçu] du rapport HTML de sortie.

5.7. Atténuation des vagues

Pour le profil transversal actuellement sélectionné uniquement, la dernière section montre les résultats de l'atténuation des vagues le long du profil *si* un scénario de plantation dans les zones intertidales et subtidales est exploré. Si aucun scénario de ce type n'est appliqué, cette section des résultats ne montrera aucune atténuation des vagues. En naviguant vers un profil différent à l'aide de la carte d'aperçu, ces données seront mises à jour pour montrer les

résultats du profil nouvellement sélectionné (figure 5-6). Les deux premiers graphiques montrent l'atténuation des vagues sans (rouge) et avec (vert) végétation. Le troisième graphique montre un profil de profondeur avec le zéro réglé sur le zéro de la carte (BMIM). Le quatrième graphique montre la position et la hauteur des parcelles de végétation le long du transect (s'il n'y a pas de végétation, cela apparaîtra comme une ligne plate).

Les utilisateurs peuvent évaluer les propriétés d'atténuation des vagues de la végétation submergée en comparant la hauteur des vagues avec et sans végétation. Si la végétation submergée est présente le long du profil, mais que les hauteurs de vagues sont constantes entre les deux graphiques, cela indique soit que la végétation est trop profonde, soit que ses propriétés sont insuffisantes pour qu'elle ait un effet sur la végétation. La BOC ne prend pas en compte tous les différents mécanismes par lesquels la végétation peut réduire l'érosion côtière et l'énergie des vagues, mais cet outil fournit une vérification simplifiée de la faisabilité des propriétés potentielles d'atténuation directe des vagues de la végétation submergée.

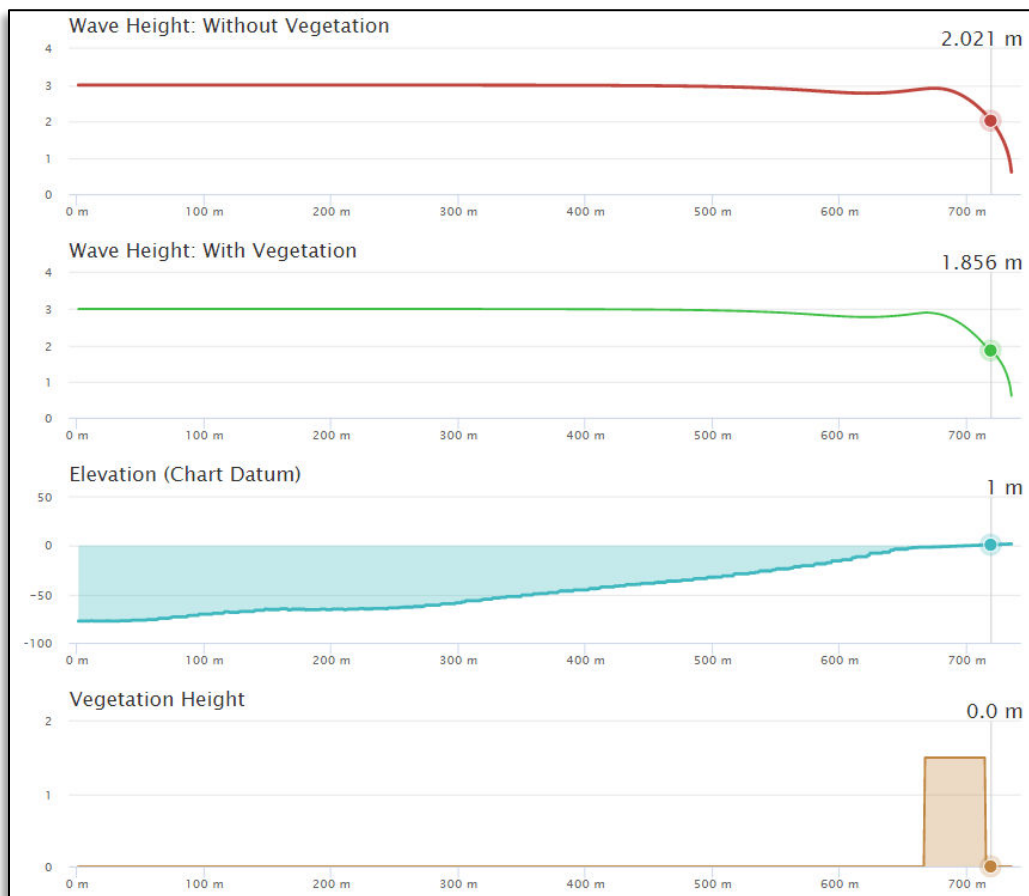


Figure 5-6. Partie relative à l'atténuation des vagues de la section « Wave Attenuation and Overview Map » [Atténuation des vagues et carte d'aperçu] du rapport HTML de sortie.

6. Quelle est la prochaine étape?

6.1. Planification fondée sur les résultats du modèle

L'inventaire et l'évaluation des actifs côtiers naturels constituent une base pour la prise de mesures concrètes et fondées sur des données probantes afin de protéger et de gérer les actifs qui soutiennent l'atténuation des inondations et la lutte contre l'érosion. Les résultats peuvent également fournir une compréhension initiale et grossière des répercussions des changements climatiques sur les services cibles.

L'une des prochaines étapes clés consiste à traduire les résultats du projet en processus de gestion et de financement de base. Cela commence souvent par l'élaboration d'une politique de gestion des actifs naturels.

Une politique de gestion des actifs naturels officialise les engagements à intégrer la nature dans la gestion des actifs au niveau stratégique des administrations locales. Une politique de gestion des actifs définit l'action de la collectivité locale relativement à la gestion des actifs et est généralement approuvée par le conseil. Elle décrit les principes que l'administration locale suivra lors de la mise en œuvre des pratiques de gestion des actifs pour atteindre ses objectifs stratégiques; qui sera responsable de la mise en œuvre de la politique; et la portée des actifs et des services couverts par la politique.

Voici des exemples de principes inclus dans une politique de gestion des actifs fondée sur les bonnes pratiques tirés du Programme de leadership en gestion des actifs de la Fédération canadienne des municipalités :

1. La prestation de services aux clients, où les décisions doivent être prises en fonction des niveaux de service définis qui reflètent les attentes des clients et établissent un juste équilibre entre les risques et l'abordabilité.
2. Le développement durable à long terme et la résilience, où les services et les infrastructures devraient être durables à long terme sur le plan socioculturel, environnemental et économique. Cela implique une planification à long terme qui comporte une gestion des risques et qui tient compte du triple résultat (socioculturel, environnemental, économique), de la sensibilisation aux changements climatiques et de la résilience.
3. Une approche globale et intégrée, où les décisions sont prises de manière concertée dans l'ensemble des services et disciplines.
4. La responsabilité financière, qui exige d'avoir en place de solides processus décisionnels en matière de gestion des actifs pour utiliser au mieux les fonds disponibles afin d'offrir des services aux collectivités.
5. L'innovation et l'amélioration continue, qui reconnaissent que la gestion des actifs est un processus continu et qu'une culture de l'amélioration continue permettra à l'administration locale de fournir des services à la collectivité et aux intervenants de manière plus efficace et efficiente.

Les actifs naturels peuvent être inclus dans la portée d'une politique de gestion des actifs. La prise en compte de la propriété des actifs naturels est essentielle à ce stade. Dans certains cas, la gestion et la surveillance des actifs sont possibles sans propriété (comme la gestion de l'aquifère de Gibsons). Dans d'autres cas, des négociations avec de hauts fonctionnaires sont nécessaires pour déterminer les rôles et les responsabilités (comme pour la gestion des bassins versants). Dans les situations où des règlements sont nécessaires pour protéger un actif, la présence de besoins conflictuels peut rendre la gestion des services locaux difficile ou impossible (par exemple, dans le cas d'une forêt provinciale qui assure l'acheminement des eaux pluviales locales, mais qui est également visée par un permis de récolte en vigueur). Dans ces derniers cas, les collectivités locales peuvent souhaiter élaborer une analyse de rentabilité en vue de discussions ultérieures avec les hauts fonctionnaires.

Une politique de gestion des actifs fondée sur les bonnes pratiques commence généralement par la définition de son intention, décrit comment elle soutiendra la réalisation des objectifs stratégiques de l'administration locale et énumère les documents stratégiques avec lesquels elle est harmonisée, comme un plan communautaire officiel ou un plan stratégique municipal. Les documents stratégiques liés à la conservation, à la protection ou à la gestion des actifs naturels, tels que les stratégies d'adaptation aux changements climatiques, les plans de gestion des forêts urbaines et/ou les plans de protection des sources d'eau, peuvent être inclus.

L'établissement des niveaux de rendement est important pour obtenir l'adhésion de la communauté, car il permet de définir clairement les attentes et le coût. Ce processus devrait constituer un outil clé pour gérer les attentes du public en termes de service et de limites budgétaires. À l'interne, au sein d'une administration locale, ce processus ouvre la voie à la détermination des gains d'efficacité, car les lacunes peuvent être plus facilement cernées et corrigées, à l'établissement de priorités et à l'évaluation des conséquences des risques.

Les niveaux de service pour les infrastructures font référence à la qualité, à la fonction et à la capacité du service fourni (par exemple, quels services de transport la communauté attend-elle et quels actifs sont nécessaires à leur prestation?) La question fondamentale à traiter est la suivante : pendant combien de temps prévoyons-nous que l'actif d'intérêt fonctionnera dans les conditions d'exploitation et d'entretien actuelles? La définition de certains niveaux de service sera élémentaire, comme le respect des lois en vigueur. D'autres seront de nature quantitative, comme la capacité d'un actif à faire face aux tempêtes d'une taille donnée, ou qualitative, comme la satisfaction des citoyens à l'égard d'un réseau de sentiers.

La détermination des niveaux de service, aujourd'hui et à l'avenir, nécessite de prendre en compte les éléments suivants :

- Conseil : déterminer le niveau de service souhaité
- Personnel : déterminer les risques liés aux actifs
- Conseil et personnel : négocier les coûts des différents niveaux de service. Il s'agit d'équilibrer les coûts des actifs nécessaires tout au long de leur cycle de vie afin de fournir les niveaux de service souhaités en tenant compte d'une enveloppe budgétaire donnée.

Le processus est similaire pour les infrastructures classiques et naturelles, à une exception notable : les actifs naturels fournissent généralement de multiples services, et le fait d'accorder la priorité à un groupe de services peut impliquer des compromis avec d'autres groupes de services (p. ex., accorder la priorité au stockage de l'eau pour atténuer les inondations dans un milieu humide côtier peut limiter les avantages récréatifs). Des programmes de modélisation, tels que Artificial Intelligence for Ecosystem Services, ou ARIES (<http://aries.integratedmodelling.org>), sont en cours d'élaboration pour comprendre les synergies et les compromis entre les services écosystémiques.

6.2. Mise en œuvre

L'étape de mise en œuvre de la gestion des actifs consiste à agir sur les plans, politiques et stratégies de gestion des actifs pour atteindre les cibles en matière de niveau de rendement et réduire les risques de manière rentable. L'établissement des niveaux de rendement est important pour obtenir l'adhésion de la communauté, car il permet de définir clairement les attentes et le coût. Ce processus devrait constituer un outil clé pour gérer les attentes du public en termes de service et de limites budgétaires. À l'interne, au sein d'une administration locale, ce processus ouvre la voie à la détermination des gains d'efficacité, car les lacunes peuvent être plus facilement cernées et corrigées, à l'établissement de priorités et à l'évaluation des conséquences des risques.

Les niveaux de service pour les infrastructures font référence à la qualité, à la fonction et à la capacité du service fourni (par exemple, quels services de transport la communauté attend-elle et quels actifs sont nécessaires à leur prestation?)

La question fondamentale à traiter est la suivante : pendant combien de temps prévoyons-nous que l'actif d'intérêt fonctionnera dans les conditions d'exploitation et d'entretien actuelles? La définition de certains niveaux de service sera élémentaire, comme le respect des lois en vigueur. D'autres seront de nature quantitative, comme la capacité d'un actif à faire face aux tempêtes d'une taille donnée, ou qualitative, comme la satisfaction des citoyens à l'égard d'un réseau de sentiers.

La détermination des niveaux de service, aujourd'hui et à l'avenir, nécessite de prendre en compte les éléments suivants :

- Conseil : déterminer le niveau de service souhaité
- Personnel : déterminer les risques liés aux actifs
- Conseil et personnel : négocier les coûts des différents niveaux de service. Il s'agit d'équilibrer les coûts des actifs nécessaires tout au long de leur cycle de vie afin de fournir les niveaux de service souhaités en tenant compte d'une enveloppe budgétaire donnée.

6.3. Surveillance

La gestion des actifs est itérative, chaque cycle visant à approfondir les connaissances pour réaliser des gains d'efficacité, respecter les niveaux de service et réduire les risques dans les limites d'un budget. Pour déterminer si des progrès sont réalisés, il faut établir des indicateurs de progrès. Ils doivent être spécifiques, mesurables, atteignables, réalistes et temporels (SMART).

Les mesures et la production de rapports peuvent être particulièrement pertinentes pendant les périodes de changement, qu'il s'agisse de changements financiers (p. ex., l'affinement de la valeur des services des actifs naturels), environnementaux (p. ex., l'évolution des effets attribuables aux changements climatiques) ou sociaux (p. ex., l'évolution des demandes de niveau de service). Les mises à jour peuvent porter sur les éléments suivants :

- Nouveaux actifs
- Actifs mis hors service
- Actifs rénovés ou remplacés
- Modifications du coût de remplacement
- Mise à jour des coûts d'exploitation, d'entretien et de surveillance
- Renseignements sur l'état des actifs
- Niveaux de service – réels et demandés

Chaque administration locale peut élaborer son propre ensemble d'indicateurs et sa propre fréquence de production de rapports. Elle peut également vouloir axer la production de rapports sur un ensemble d'actifs pour commencer et intégrer d'autres catégories d'actifs au fil du temps à mesure de l'élaboration d'un processus normalisé.

Références

- Arkema, K. K., Griffin, R., Maldonado, S., Silver, J., Suckale, J., Guerry, A.D. 2017. « Linking social, ecological, and physical science to advance natural and nature-based protection for coastal communities ». *Annals of the New York Academy of Sciences* (2017) 1-22.
- Atkinson, D.E., Forbes, D.L. et James, T.S. 2016. « Un littoral dynamique dans un contexte de climat en mutation »; dans *Le littoral maritime du Canada face à l'évolution du climat*, (éd.) D.S. Lemmen, F.J. Warren, T.S. James et C.S.L. Mercer Clarke; gouvernement du Canada, Ottawa (Ontario), p. 27 à 68.
- Austen, E. et Hanson, A. 2007. « An analysis of wetland policy in Atlantic Canada »; *Revue canadienne des ressources hydriques*, v. 32, numéro 3 p. 163 à 178
- Barbier, E.B. 2007. « Valuing Ecosystem Services as Productive Inputs ». *Economic Policy*, vol. 22, n° 49, p. 177 à 229.
- Barbier, E. B., Hacker, S. D., Kennedy, C., Koch, E. W., Stier, A. C., Silliman, B. R. 2011. « The Value of Estuarine and Coastal Ecosystem Services ». *Ecological Monographs*, vol. 81, n° 49, p. 169 à 193.
- Batker, D., Torre, I.D.L., Costanza, R., Sweden, P., Day, J., Boumans, R. et Bagstad, K. 2010. *Gaining Ground: Wetlands, Hurricanes and the Economy: The Value of Restoring the Mississippi River Delta*. Earth Economics, Tacoma, Washington.
- Beck, M.W. et Lange, G.M. 2016. *Managing Coasts with Natural Solutions: Guidelines for Measuring and Valuing the Coastal Protection Services of Mangroves and Coral Reef*, Washington, D.C.
- Bellwood, D. 1995. « Carbonate transport and within-reef patterns of bioerosion and sediment release by parrotfishes (family Scaridae) on the Great Barrier Reef ». *Marine ecology progress*, 117, p. 127 à 136.
- Carpenter, S., R. Defries, T. Dietz, H.A. Mooney, S. Polasky, W.V. Reid, et R.J. Scholes. 2006. « Research needs revealed by the Millennium Ecosystem Assessment ». *Science* 314: p. 257 à 258.
- Department of City Planning, ville de New York. 2013. Coastal Climate Resilience – Urban Waterfront Adaptive Strategies. Millennium Ecosystem Assessment: Research Needs. *Science*, 314, p. 257 à 258.
- Coleman, H., Foley, M., Praehler, E., Armsby, M., Shillinger, G. 2011. *Decision Guide: Selecting Decision Support Tools for Marine Spatial Planning*. The Woods Institute for the Environment, Université Stanford.
- Costanza, R., d'Arge, R., de Groot, R.S., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O'Neill, R.V., Paruelo, J., Raskin, R.G., Sutton, P., van den Belt, M., 1997. « The value of the world's ecosystem services and natural capital ». *Nature* 387, p. 253 à 260.
- Costanza, R., O. Pérez-Maqueo, M. L. Martinez, P. Sutton, S. J. Anderson, et K. Mulder. 2008. « The value of coastal wetlands for hurricane protection ». *Ambio* 37: p. 241 à 248.
- Costanza, R., Kubiszewski, I., de Groot, R., van der Ploeg, S., Sutton, P., Anderson, S.J., Farber, S. et Turner, R.K. 2014. « Changes in the global value of ecosystem services »; *Global Environmental Change*, v. 26, p. 152 à 158.
- Daily, G. (éd.) *Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems* (Island Press, Washington DC, 1997).

Daily, G.C., Soderqvist, T., Aniyar, S., Arrow, K., Dasgupta, P., Ehrlich, P.R., Folke, C., Jansson, A., Jansson, B., Kautsky, N., Levin, S., Lubchenco, J., Maler, K., Simpson, D., Starrett, D., Tilman, D., Walker, B. 2000. « The value of nature and the nature of value ». *Science* 289: p. 395 à 396. ÉBAUCHE 21 août 2018

de Groot, R.S., Wilson, M.A., Boumans, R.M.J. 2002. « A typology for the classification, description, and valuation of ecosystem functions, goods, and services ». *Ecological Economics* 41, p. 393 à 408.

de Groot, R.S., Alkemade, R., Braat, L., Hein, L. et Willemen, L. 2010. « Challenges in integrating the concept of ecosystem services and values in landscape planning, management and decision making »; *Ecological Complexity*, v. 7, numéro 3 p. 260 à 272. doi:10.1016/j.ecocom.2009.10.006

Economics of Climate Adaptation Working Group. 2009. *Shaping Climate-Resilient Development: a framework for decision-making*.

Elliff, C.I., Silva, I.R. 2017. « Coral reefs as the first line of defense: shoreline protection face of climate change ». *Marine Environmental Research* 127, p. 148 à 154.

Engel, S., Pagiola, S., et Wunder, S. 2008. « Designing payments for environmental services in practice: An overview of the issues ». *Ecological Economics* 65, p. 663 à 674.

Environnement et Changement climatique Canada. (décembre 2010). Zostères marines au Canada Indicateurs canadiens de durabilité de l'environnement. Consulté le 11 mars 2020; en ligne :<https://www.canada.ca/content/dam/eccc/documents/pdf/cesindicators/eelgrass-canada/2020/zosteres-marines-canada.pdf>

UE. 2021. *The EU and nature-based solutions*. Commission européenne. Consulté le 7 mars 2021, en ligne : https://ec.europa.eu/info/research-and-innovation/research-area/environment/nature-based-solutions_fr

Farber, S., R. Costanza, D.L. Childers, J. Erickson, K. Gross, J.M. Grove, C. Hopkinson, J. Kahn, S. Pincett, A. Troy, P. Warren, M. Wilson. 2006. « Linking Ecology and Economics for Ecosystem Management ». *Bioscience* 56(2): p. 117 à 129.

Ferrario, F., Beck, M.W., Storlazzi, C.D., Micheli, F., Shepard, C.C. et Airoldi, L. 2014. « The effectiveness of coral reefs for coastal hazard risk reduction and adaptation ». *Nature Communications*. 5, 3794.

Gallop, S.L., Young, I.R., Ranasinghe, R., Durrant, T.H. et Haigh, I.D. 2014. « The large-scale influence of the Great Barrier Reef matrix on wave attenuation ». *Coral Reefs* 33, p. 1167 à 1178

Gittman, R. K., Popowich, A. M., Bruno, J. F., Peterson, C. H. 2014. « Marshes with and without sills protect estuarine shorelines from erosion better than bulkheads during a category 1 hurricane ». *Ocean & Coastal Management* 102 (2014) 94-102.

Gomez-Baggethun, E., Barton, D. N. 2012. « Classifying and valuing ecosystem services for urban planning ». *Ecological Economics* 86 (2013) 235-245.

INGENIUM et IPWEA (2011) International Infrastructure Management Manual (IIMM), Association of Local Government Engineering New Zealand Inc. et National Asset management Steering Group, Thames, Nouvelle-Zélande.

King, D. M., et Mazzotta, M. 2000. *Ecosystem Valuation*. Consulté le 15 mars 2016; en ligne :<http://www.ecosystemvaluation.org/default.htm>

- King, S., Lester, J.N. 1995. « The Value of Salt Marsh as a Sea Defence ». *Marine Pollution Bulletin*. Vol. 30, n° 3, p. 180 à 189.
- Kriebel, D. L., et R.G. Dean. (1993). « Convolution method for time dependent beach-profile response ». *J. Waterw., Port, Coastal, Ocean Eng.*, 119(2)
- Lockie, S. 2013. « Market instruments, ecosystem services, and property rights: assumptions and conditions for sustained social and ecological benefits ». *Land Use Policy*, volume 31, p. 90 à 98.
- Mercer Clarke, C.S.L., Manuel, P. et Warren, F.J. 2016. « Le défi côtier », dans *Le littoral maritime du Canada face à l'évolution du climat*, (éd.) D.S. Lemmen, F.J. Warren, T.S. James et C.S.L. Mercer Clarke; gouvernement du Canada, Ottawa (Ontario), p. 69 à 98.
- Millennium Ecosystem Assessment. 2005. *Ecosystems and human well-being: synthesis*; Island Press, Washington, District of Columbia, 137 p.
- Mitsch, W. J., et J. G. Gosselink. 2008. *Wetlands*. Van Nostrand Reinhold, New York, New York (États-Unis).
- Morgan, P. A., D. M. Burdick, et F. T. Short. 2009. « The functions and values of fringing salt marshes in Northern New England, USA ». *Estuaries and Coasts* 32:483–495.
- Morris, R.L., Konlechner, T.M., Ghisalberti, M. et Swearer, S.E. (2017). « From grey to green: Efficacy of eco-engineering solutions for nature-based coastal defence ». *Global Change Biology*, 24 (5), p. 1827 à 1842; en ligne : <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/gcb.14063>
- Municipal Natural Assets Initiative (Initiative des actifs naturels municipaux). 2017. Defining and scoping municipal natural assets. Consulté en ligne : <https://mnai.ca/key-documents/>.
- Muradian, R., M. Arsel, L. Pellegrini, F. Adaman, B. Aguilar, B. Agarwal, E. Corbera, D. Ezzine de Blas, J. Farley, G. Froger, E. Garcia-Frapolli, E. Gómez-Baggethun, J. Gowdy, N. Kosoy, J.F. Le Coq, P. Leroy, P. May, P. Méral, P. Mibielli, R. Norgaard, B. Ozkaynak, U. Pascual, W. Pengue, M. Perez, D. Pesche, R. Pirard, J. Ramos-Martin, L. Rival, F. Saenz, G. Van Hecken, A. Vatn, B. Vira, and K. Urama. 2012. « Payments for ecosystem services and the fatal attraction of win-win solutions ». *Conservation Letters*, 6(4): p. 274 à 279.
- Narayan S., Beck M.W., Reguero B.G., Losada I.J., van Wesenbeeck B., Pontee N., et coll. 2016. « The Effectiveness, Costs and Coastal Protection Benefits of Natural and Nature-Based Defences ». *PLoS ONE* 11(5): e0154735. doi:10.1371/journal.pone.0154735
- National Research Council. 2014. *Reducing Coastal Risk on the East and Gulf Coasts*. The National Academies Press. <http://nap.edu/18811>.
- National Science and Technology Council (NTSC). 2015. *Ecosystem-Service Assessment: Research Needs for Coastal Green Infrastructure*. Committee on Environment, Natural Resources, and Sustainability. ÉBAUCHE 21 août 2018
- NOAA. 2021b. *What is a salt marsh?* National Oceanic and Atmospheric Administration U.S. Department of Commerce; en ligne : <https://oceanservice.noaa.gov/facts/saltmarsh.html>
- NOAA. 2021c. *What is a barrier island?* National Oceanic and Atmospheric Administration U.S. Department of Commerce; en ligne : <https://oceanservice.noaa.gov/facts/barrier-islands.html>.

NSW-OEH. 2018. *Coastal management glossary*. State of New South Wales Office of Environment and Heritage, Australie. En ligne : <https://www.environment.nsw.gov.au/-/media/OEH/Corporate-Site/Documents/Water/Coasts/coastal-management-glossary-180195.pdf>

Department of City Planning, ville de New York. 2013. *Coastal climate resilience: Urban Waterfront Adaptive Strategies*, ville de New York

Ondiviela, B., Losada, I.J., Lara, J.L., Maza, M., Galván, C., Bouma, T.J. et Belzen, J. 2014. « The role of seagrasses in coastal protection in a changing climate ». *Coastal Engineering*, 87, p. 158 à 168; en ligne : <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378383913001889>

Outer Island. (n.a.). *Salt marsh*, en ligne : <http://outerisland.org/index.php?id=salt-marsh&pic=saltmarshsketchlightbox:-1>

Pascal, N., Allenbach, M., Brathwaite, A., Burke, L., Le Port, G. et Clua, E. 2016. « Economic valuation of coral reef ecosystem service of coastal protection: a pragmatic approach ». *Ecosystem Services* 21 (Partie A), p. 72 à 80. Provincial Oceans Network (PON) Secretariat. 2009. « Coastal Ecosystems and Habitats », dans *The State of Nova Scotia's Coast*. Cornwallis Park, Nouvelle-Écosse (Canada). Consulté le juin 2018; en ligne : <https://novascotia.ca/coast/documents/report/Coastal-Tech-Report-Chapter9.pdf>

Quataert, E., Storlazzi, C., Rooijen, A.V., Cheriton, O. et Dongeren, A.V. 2015. « The influence of coral reefs and climate change on wave-driven flooding of tropical coastlines ». *Geophysical Research Letters*, 42.

Reguero, B.G., Beck, M.W., Agostini, V.N., Philip Kramer, V.N. et Hancock, B. 2018. « Coral reefs for coastal protection: A new methodological approach and engineering case study in Grenada ». *Journal of Environmental Management*, 210, 15, p 146 à 161.

Restore America's Estuaries. 2015. *Living Shorelines: From Barriers to Opportunities*. Arlington, VA.

Scyphers, S.B., Powers, S.P., Heck, K.L. Jr. et Byron, D. 2011. « Oyster Reefs as Natural Breakwaters Mitigate Shoreline Loss and Facilitate Fisheries ». *PLoS ONE* 6(8):e22396.

Shepard, C.C., Crain, C.M. et Beck, M.W. 2011. « The Protective Role of Coastal Marshes: A Systematic Review and Meta-analysis ». *PLoS ONE* 6(11); en ligne : <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0027374>

Sheppard, C., Dixon, D.J., Gourlay, M., Sheppard, A. et Payet, R. 2005. « Coral mortality increases wave energy reaching shores protected by reef flats: examples from the Seychelles ». *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 64, p. 223 à 234.

Stanton, E.A., Davis, M. et Fencl, A. 2010. *Costing Climate Impacts and Adaptation: a Canadian study on coastal zones*; rapport préparé par la Stockholm Environment Institute pour la Table ronde nationale sur l'environnement et l'économie, Somerville, Massachusetts, 106 p.

Stewardship Centre for British Columbia. 2014. *Green Shores™ Background Report: Shoreline Regulations and Permitting Processes in BC*. http://stewardshipcentrebc.ca/PDF_docs/greenshores/Resources/ShorelineRegulationsandPermittingProcessesBCReport.pdf

Tamburello, N., Nelitz, M., Eyzaguirre, J., Olson, E., Cranmer, C. 2017. Groupe de travail sur la gestion des zones côtières – Rapport sur l'état actuel de l'adaptation. Préparé à l'attention de Ressources naturelles Canada, Division des impacts et de l'adaptation liés aux changements climatiques. Préparé par ESSA Technologies Ltd.

The Economics of Ecosystems and Biodiversity (TEEB). 2010. Ecological and Economic Foundations. Publié par Pushpam Kumar. Earthscan,. Londres et Washington.

The US Army Engineer Research and Development Center (ERDC). janvier 2015. *Use of Natural and Nature-Based Features (NNBF) for Coastal Resilience*.

Université de Miami. n.d. Marine Conservation Science and Policy Service Learning Program: Module 1. Ocean and Coastal Habitats, Section 8. Barrier Islands. <http://blog1.miami.edu/sharklab/wp-content/uploads/sites/28/2018/07/MODULE-1-Ocean-and-Coastal-Habitat-SECTION-8-Barrier-Islands.pdf>

Voorra, V., Venema, H. 2008. *The Natural Capital Approach: A Concept Paper*. Commandité par Environnement Canada – Division de l'élaboration des politiques. Institut international du développement durable. Winnipeg (Manitoba).

Whiteoak, K., Binney, J. 2012. *Literature Review of the Economic Value of Ecosystem Services that Wetlands Provide*. Commandité par : Department of Sustainability, Environment, Water, Population and Communities, Australie.

Banque mondiale. 2016. *Managing Coasts with Natural Solutions: Guidelines for Measuring and Valuing the Coastal Protection Services of Mangroves and Coral Reefs*. M. W. Beck et G-M. Lange, éditeurs. Wealth Accounting and the Valuation of Ecosystem Services Partnership (WAVES), Banque mondiale, Washington, DC.

Yunus, A.P., Avtar, R., Kraines, S., Yamamuro, M., Lindberg, F. et Grimmond, C.S.B., 2016. « Uncertainties in tidally adjusted estimates of sea level rise flooding (bathtub model) for the greater London ». *Remote Sensing*, 8(5), p. 366.

Annexe A – Écosystèmes côtiers et services écosystémiques

Types d'écosystèmes côtiers

Les littoraux marins abritent une grande variété d'écosystèmes. Le tableau A-1 fournit des détails sur les principaux types d'écosystèmes côtiers qui existent au Canada. Il convient de noter que les types présentés ci-dessous ne sont pas mutuellement exclusifs. Par exemple, les algues marines comme le varech poussent souvent dans les zones littorales rocheuses et les vasières peuvent exister dans une zone estuarienne.

Tableau A-1. Principaux types d'écosystèmes côtiers au Canada.

Type d'écosystème	Description
Graminées marines et algues marines	On trouve des graminées marines et des algues marines dans les estuaires et autres milieux humides côtiers ou à proximité de ceux-ci. Les graminées marines aident à stabiliser les sédiments et fournissent un habitat essentiel et de la nourriture aux espèces de poissons juvéniles, agissant comme des nurseries qui offrent une protection contre les prédateurs (Barbier, 2007; PON Secretariat, 2009). Les algues marines sont présentes dans une grande variété de milieux marins et jouent un rôle similaire à celui des graminées marines, en fournissant un habitat et en favorisant la biodiversité. Récemment, la recherche s'est intéressée de plus près au potentiel de la végétation côtière (telle que les graminées marines et les algues marines) pour réduire l'impact des tempêtes et servir de zone tampon pour les collectivités intérieures. Les autres services écosystémiques fournis par les graminées marines et les algues comprennent la purification de l'eau, le maintien des pêches, la séquestration du carbone, le tourisme et les loisirs (Barbier, 2007).
Rivages rocheux	Les rivages rocheux sont des écosystèmes très productifs, car les roches constituent un habitat essentiel pour la flore et la faune. La végétation, comme le varech et le fucus, pousse en abondance. Les gastéropodes, les moules et autres invertébrés attirent les oiseaux marins et autres prédateurs qui se nourrissent dans cette zone intertidale et infralittorale. En plus de l'habitat essentiel qu'ils fournissent, les rivages rocheux servent de barrière entre l'océan et les écosystèmes intérieurs, protégeant les collectivités des tempêtes. Ils permettent également de lutter contre l'érosion. Leur beauté attire les touristes, ce qui peut parfois entraîner des dommages causés par les perturbations anthropiques (PON Secretariat, 2009).
Vasières intertidales	On retrouve généralement les vasières intertidales dans les estuaires; elles se forment à partir de la boue et du sable déposés par le fleuve et la mer. Ce sont des écosystèmes très productifs, car ils reçoivent un apport continu de nutriments mélangés par la marée. Lorsqu'ils sont exposés à marée basse, les nutriments et les sédiments déposés fournissent de la nourriture et un habitat à une multitude d'espèces végétales et animales (PON Secretariat, 2009).
Estuaires	Les estuaires se trouvent à l'embouchure d'un cours d'eau, à l'endroit où il se jette dans l'océan, formant une importante zone de transition entre le milieu fluvial et le milieu marin. Les milieux humides côtiers (p. ex., les marais salés littoraux et les étangs salés côtiers) qui sont reliés à ces estuaires constituent des écosystèmes très productifs en raison de l'afflux constant de nutriments provenant des rivières qui s'y jettent. Ces écosystèmes profitent aux collectivités environnantes en les protégeant des inondations et des tempêtes. Ils sont extrêmement riches en biodiversité et améliorent la qualité de l'eau, en agissant comme un filtre pour les eaux intérieures qui s'écoulent vers l'océan (PON Secretariat, 2009).

Type d'écosystème	Description
Marais salés et milieux humides saumâtres	Les marais salés et les milieux humides saumâtres sont des milieux humides végétalisés situés dans la zone intertidale le long des plans d'eau salée (Barbier, 2007; King et Lester, 1995). Alors que les marais salés sont généralement situés dans la zone intertidale et ont la particularité d'être influencés par l'eau salée, les milieux humides saumâtres existent souvent près de l'embouchure des rivières dans les milieux estuariens et reçoivent à la fois des apports d'eau douce et d'eau salée. Ces deux écosystèmes fournissent un certain nombre de services, notamment l'approvisionnement en nourriture, l'atténuation des vagues, la lutte contre l'érosion, la purification de l'eau, l'habitat aquatique, la séquestration du carbone et les loisirs (Arkema et coll., 2017; Barbier, 2007; NTSC, 2015). Malheureusement, environ 50 % des marais salés ont été détruits ou dégradés à l'échelle mondiale (dont plus de 67 % sur la côte atlantique du Canada [Austen et Hanson, 2007] et plus de 90 % sur la côte ouest des États-Unis), en raison d'une combinaison de facteurs dont les espèces envahissantes, l'eutrophisation, les changements climatiques, l'élévation du niveau de la mer, le réchauffement planétaire, l'augmentation des concentrations de CO ₂ , des changements hydrologiques, le développement, des perturbations et la pollution (Barbier, 2007). Les infrastructures grises telles que les cloisons et les revêtements en enrochement constituent également une menace pour les marais côtiers, car elles empêchent la tendance du marais à migrer vers le haut de la pente pour suivre l'élévation du niveau de la mer (Gittman et coll., 2014).
Plages	Les écosystèmes de plages se forment là où les vagues déposent du sable. Différents types de sable sont déposés en fonction de la géologie et de l'écologie locales, le sable étant à la fois le résultat de l'altération des roches et de la dégradation des coquillages et des coraux. Les plages fournissent une variété de services écosystémiques, notamment un habitat essentiel pour la flore et la faune, une protection côtière contre les phénomènes météorologiques extrêmes, la lutte contre l'érosion et la séquestration du carbone (Barbier, 2007; PON Secretariat, 2009). Les plages sont également des aires de loisirs populaires et attirent un grand nombre de touristes, ce qui peut avoir un effet positif sur les économies côtières, mais rend également ces écosystèmes vulnérables aux perturbations anthropiques (PON Secretariat, 2009).
Dunes	Les écosystèmes dunaires se forment dans les zones côtières exposées grâce au vent et aux vagues qui déposent du sable sur la plage. La végétation aide à stabiliser les dunes, ce qui entraîne à son tour une plus grande accumulation de sable. Les dunes constituent un habitat essentiel pour la flore et la faune, mais les espèces qui y vivent doivent pouvoir tolérer les conditions rigoureuses inhérentes à ces écosystèmes. Les dunes agissent également comme des barrières qui protègent les écosystèmes et les collectivités intérieurs contre les tempêtes. En raison de leur popularité en tant qu'aires de loisirs, ces écosystèmes sont vulnérables aux perturbations anthropiques. Le piétinement de la végétation peut conduire à la déstabilisation des dunes, ce qui entraîne des répercussions négatives sur les autres espèces qui y vivent (Barbier, 2007; PON Secretariat, 2009).
Arbustes et buissons côtiers	Les écosystèmes côtiers regorgent d'une variété d'arbustes et de buissons côtiers. Cette végétation fournit de la nourriture et un habitat essentiel à de nombreuses espèces fauniques. Les tiges et les racines des arbustes et des buissons côtiers stabilisent les dunes et les sédiments, empêchant ainsi l'érosion et préservant l'intégrité de ces écosystèmes. Les arbustes et les buissons côtiers atténuent également les vagues, ce qui peut réduire les dommages causés aux collectivités côtières lors des tempêtes (PON Secretariat, 2009).
Forêts côtières	Les écosystèmes forestiers côtiers se trouvent à moins de deux kilomètres de la côte et peuvent être constitués d'espèces d'arbres à feuilles caduques ou de conifères, ou d'un mélange des deux. Les forêts qui bordent le littoral sont exposées aux vents violents et à des conditions climatiques difficiles, ce qui entraîne un rabougrissement des arbres. Ces écosystèmes fournissent un habitat important pour la faune et la flore, de la nourriture pour les personnes, ainsi qu'une protection pour contrer l'érosion et maintenir la qualité de l'eau en plus de séquestrer le carbone et de jouer un rôle dans le cycle des nutriments. Ils atténuent également les vagues, protégeant les communautés intérieures des conditions difficiles associées aux grandes tempêtes. L'aménagement des forêts côtières menace ces écosystèmes et peut accroître l'érosion et entraîner la fragmentation de l'habitat (PON Secretariat, 2009).

Services écosystémiques côtiers

Les processus écosystémiques n'étant pas isolés, les services fournis par les écosystèmes côtiers sont fortement interdépendants. Par exemple, la réduction des avantages d'un marais salé en matière de lutte contre l'érosion peut avoir une incidence sur ses fonctions de purification de l'eau, ce qui peut à son tour avoir une incidence sur la qualité de l'habitat, entraînant une diminution des possibilités de loisirs et de tourisme. Le tableau A- 2 présente un résumé des types de services écosystémiques fournis par la végétation littorale et infralittorale (Barbier, 2011). La protection du littoral et la lutte contre l'érosion sont en caractères gras, car ce projet est axé sur ces services. De plus amples

renseignements sur la façon dont les différents types d'écosystèmes fournissent des services écosystémiques sont détaillés dans la section « Infrastructures naturelles et hybrides – Approches » de l'annexe B.

Tableau A- 2. Résumé des services écosystémiques fournis par les écosystèmes de graminées marines et de marais salés (Barbier, 2011).

Service écosystémique	Processus et fonctions écosystémiques	Facteurs déterminants dans les herbiers	Facteurs déterminants dans les marais salés
Matières premières et nourriture	Génère la productivité et la diversité biologiques	Type et densité de la végétation, qualité de l'habitat	Type et densité de la végétation, qualité de l'habitat, profondeur des inondations, populations saines de prédateurs.
Protection côtière	Atténue et/ou dissipe les vagues	Hauteur et longueur des vagues, profondeur de l'eau au-dessus de la couverture de graminées marines, taille de l'herbier et distance du rivage, climat éolien, pente de la plage, diversité et densité des espèces, stade de reproduction	Hauteur de marée, hauteur et longueur des vagues, profondeur de l'eau au-dessus du couvert de végétation, superficie et largeur des marais, climat éolien, espèces et densité des marais, géomorphologie locale
Lutte contre l'érosion	Assure la stabilisation des sédiments et la rétention du sol dans la végétation et la structure des racines	Élévation du niveau de la mer, subsidence, stade de la marée, climat des vagues, géomorphologie côtière, diversité et densité des espèces	Élévation du niveau de la mer, stade de la marée, géomorphologie côtière, subsidence, dépôt et charge de sédiments fluviaux, espèces de spartina, distance par rapport au bord de la mer.
Purification de l'eau	Assure l'absorption des nutriments et des polluants, ainsi que leur rétention	Diversité et densité des espèces, charge en nutriments, durée du séjour dans l'eau, conditions hydrodynamiques, disponibilité de la lumière	Espèces et densité de spartina, qualité et superficie des marais, charge en nutriments et en sédiments, approvisionnement en eau et qualité de l'eau, populations saines de prédateurs
Maintien des pêches	Fournit un habitat de reproduction et des aires d'alevinage appropriés, un espace habitable abrité	Diversité et densité des espèces, qualité de l'habitat, sources de nourriture, conditions hydrodynamiques	Espèces et densité de spartina, qualité et superficie des marais, productivité primaire, populations saines de prédateurs
Séquestration du carbone	Génère une activité biogéochimique, une sédimentation, une productivité biologique	Diversité et densité des espèces, profondeur de l'eau, disponibilité de la lumière, taux d'enfouissement, exportation de la biomasse	Espèces et densité de spartina, type de sédiments, productivité primaire, populations saines de prédateurs
Tourisme, loisirs, éducation	Fournit un paysage unique et esthétique, un habitat approprié pour une flore et une faune diversifiées	Productivité biologique, tempêtes, qualité de l'habitat, diversité et densité des espèces	Espèces et densité de spartina, qualité et superficie de l'habitat, disponibilité d'espèces proies, populations saines de prédateurs

Séquences des effets

Pour comprendre la façon dont les écosystèmes côtiers peuvent fournir des services écosystémiques, il faut d'abord comprendre les processus écologiques qui relient les composantes de l'écosystème aux services désirés (Arkema et coll., 2017). Les services désirés au centre de ce projet sont la protection contre les inondations et l'érosion grâce à l'atténuation des vagues par les composantes de l'écosystème des zones littorale et infralittorale. Les composantes pertinentes de l'écosystème peuvent être physiques (p. ex., topographie ou bathymétrie) et biologiques (p. ex., densité végétale). Il est possible d'exposer de manière explicite la relation entre ces composantes et processus de l'écosystème et les services écosystémiques à l'aide d'un modèle conceptuel de séquences des effets. La figure A-1 présente un modèle conceptuel qui cerne les séquences qui relient les composantes de l'écosystème (et les actifs bâtis visant la protection des côtes) aux processus biophysiques susceptibles de contribuer à la protection contre les inondations et l'érosion. Reconnaisant la transformation profonde qu'opèrent les changements climatiques sur le système, la figure A-2 présente un autre modèle conceptuel qui met l'accent sur la façon dont les facteurs associés aux changements climatiques interagissent avec les actifs de protection côtière afin d'influer sur les inondations et

l'érosion. Les deux modèles conceptuels mettent en lumière la manière dont les activités humaines ou les mesures de gestion ont une incidence sur les actifs de protection côtière grâce aux politiques et aux pratiques qui visent la protection et la restauration des actifs naturels ou la création et le maintien d'actifs bâtis. Ce sont ces activités qui fournissent des leviers aux municipalités (et autres) pour interagir avec le système d'une manière qui favorise l'obtention des résultats souhaités.

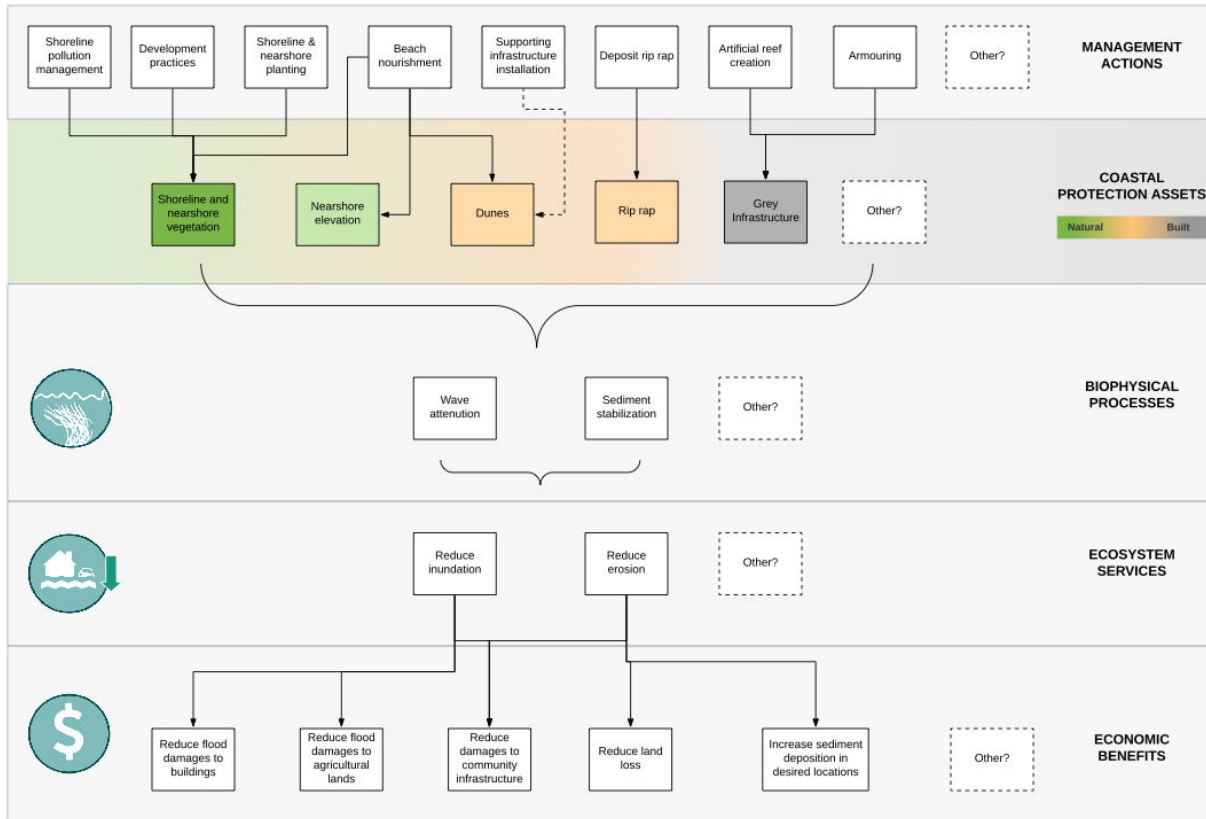


Figure A-1. Modèle conceptuel présentant les séquences des effets de la mise en place des actifs de protection côtière jusqu'aux avantages pour la protection contre les inondations et l'érosion.

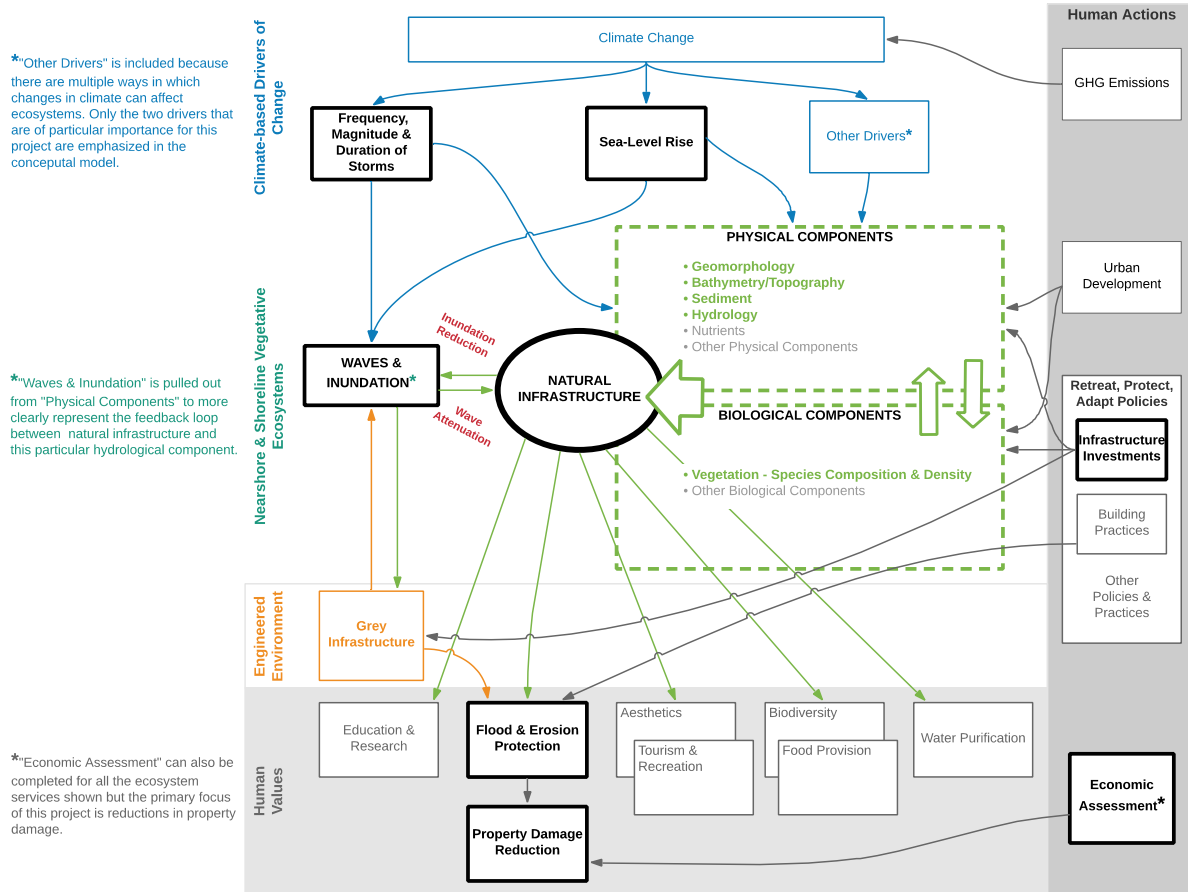


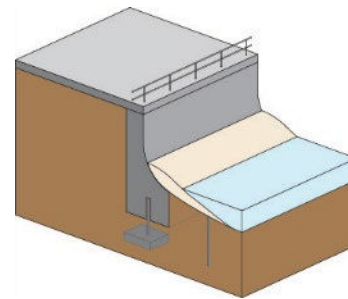
Figure A-2. Diagramme conceptuel présentant la façon dont les facteurs associés aux changements climatiques interagissent avec les infrastructures naturelles et grises pour influencer sur la protection contre les inondations et l'érosion. Le diagramme montre également comment les activités humaines peuvent avoir une incidence sur différents processus.

Annexe B – Stratégies pour la protection contre les inondations et l'érosion

Infrastructures matérielles et grises – Approches

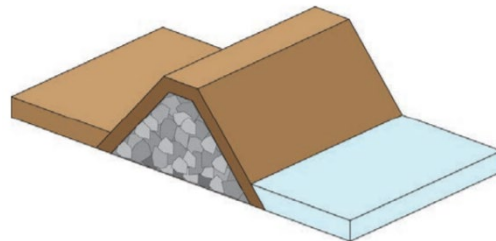
Par le passé, l'intervention privilégiée en cas d'inondation et d'érosion consistait à « renforcer » un littoral à l'aide de cloisons, de revêtements et de structures artificielles similaires qui forment généralement une délimitation ou une barrière fixe dans le continuum terre-eau qui serait autrement marquée par le littoral naturel changeant (Restore America's Estuaries, 2015). Les mesures structurelles et matérielles pour prévenir les risques associés aux tempêtes côtières sont habituellement des dispositifs artificiels statiques conçus pour réduire les dommages causés par les vagues et les inondations. Ils peuvent aussi contribuer à diminuer l'érosion du littoral. Parfois appelées « infrastructures grises » ou « ingénierie lourde », ces structures comprennent notamment les suivantes (National Research Council, 2014) :

Ouvrages longitudinaux : Les ouvrages longitudinaux sont construits parallèlement au littoral pour réduire les répercussions des ondes de tempête et des vagues sur les terres aménagées situées derrière eux. Ils peuvent être verticaux ou courbés ou même conçus de manière à former un monticule de roches ou de blocs de béton. Comme les ouvrages longitudinaux renvoient l'énergie des vagues vers la mer, ils peuvent contribuer à augmenter l'érosion de la face côtière du mur. Selon les courants latéraux, les ouvrages longitudinaux peuvent également provoquer une érosion accrue sur les zones côtières adjacentes non protégées (National Research Council, 2014).



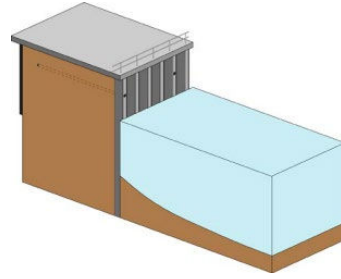
Source : Department of City Planning, ville de New York (2013)

Levées et murs d'endiguement : Les levées et les murs d'endiguement sont des structures artificielles côtières bâties, le plus souvent, le long de plaines riveraines inondables. Ces structures sont conçues pour « contenir, contrôler ou détourner le débit d'eau de manière à fournir une protection contre les inondations temporaires ». Les levées (c.-à-d., des digues) sont généralement de grands barrages de terre conçus pour contrôler les inondations sur une vaste zone jusqu'à un niveau d'eau précis (National Research Council, 2014; Department of City Planning, ville de New York, 2013). Toutefois, les levées peuvent également être utilisées dans des environnements côtiers, où elles peuvent être jumelées à d'autres mesures d'atténuation, comme des revêtements ou des milieux humides côtiers, qui protègent les levées contre l'action érosive des vagues. Les murs d'endiguement sont habituellement des murs verticaux en béton. En règle générale, ils sont construits dans des zones où l'espace est insuffisant pour mettre en place une levée de terre, dont l'étendue est importante. Les murs d'endiguement peuvent également être bâtis sur des levées lorsque l'espace disponible limite toute possibilité d'agrandissement desdites levées.



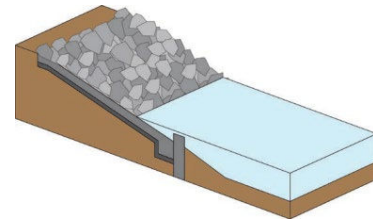
Source : Department of City Planning, ville de New York (2013)

Cloisons : À l’instar des ouvrages longitudinaux, les cloisons sont construites parallèlement au littoral et généralement composées de pierres, de roches ou de béton. Plutôt que d’empêcher les inondations côtières, leur fonction principale est communément de stabiliser les rives et de prévenir l’érosion (Department of City Planning, ville de New York, 2013).



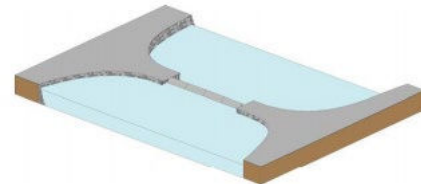
Source : Department of City Planning, ville de New York (2013)

Revêtements : Souvent utilisés comme solution de recharge aux cloisons, les revêtements sont essentiellement des tas de pierres ou de moellons conçus pour prévenir l’érosion et réduire la force d’impact des vagues.



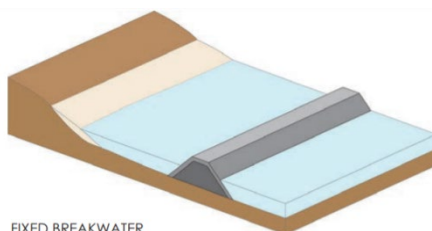
Source : Department of City Planning, ville de New York (2013)

Barrières contre les ondes de tempête : Les barrières contre les ondes de tempête sont conçues pour empêcher les ondes de tempête de se propager à l’intérieur des terres par les rivières ou d’autres voies navigables. En temps normal, les vannes des barrières sont laissées ouvertes pour permettre la circulation de l’eau. Elles peuvent toutefois être fermées lorsque l’on attend des ondes de tempête (National Research Council, 2014).

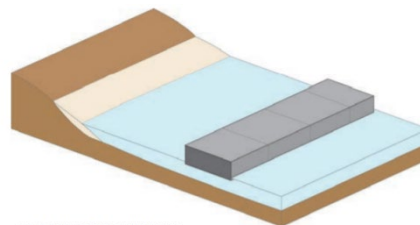


Source : Department of City Planning, ville de New York (2013)

Brise-lames : Les brise-lames sont des structures extracôtières généralement constituées de roches ou de pierres destinées à briser les vagues, réduisant ainsi leur force. En brisant les grosses vagues, les brise-lames permettent aux matières et aux sédiments transportés par l’eau de s’accumuler sur les rives, contribuant ainsi à prolonger la plage, à nourrir les milieux humides ou à protéger les structures littorales. En réduisant la force des vagues, ils protègent également le littoral contre l’érosion et peuvent contribuer à réduire en partie le niveau des crues en cas d’ondes (Department of City Planning, ville de New York, 2013). Les brise-lames peuvent être fixes ou flottants, selon la profondeur de l’eau et l’amplitude des marées. Les brise-lames fixes peuvent être soit submergés (ou « à crête basse »), soit émergés (au-dessus de l’eau). Les brise-lames flottants peuvent convenir à des niveaux d’eau plus élevés que les modèles fixes. Néanmoins, la longueur des vagues doit être moins grande. Ils sont couramment utilisés pour protéger les bateaux et les marinas des vagues et des sillages. En règle générale, les brise-lames fixes sont mieux adaptés pour composer avec l’importante force des vagues en bord de mer. Les brise-lames doivent être ancrés au fond de l’océan. En outre, les pieux sont le type d’ancrage le plus fiable et le plus durable (Department of City Planning, ville de New York, 2013).



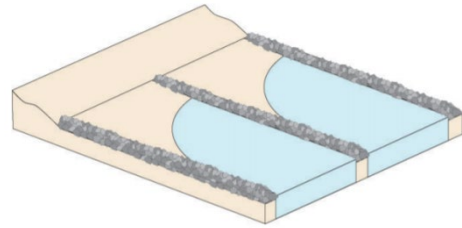
FIXED BREAKWATER



FLOATING BREAKWATER

Source : Department of City Planning, ville de New York (2013)

Épis : Les épis sont des structures disposées perpendiculairement aux rives. Habituellement, des amas de blocs de béton, de pierres, de bois ou un rideau de palplanches métalliques sont utilisés pour les former. Leur objectif est de contenir le sable, de prévenir l'érosion de la plage et de briser les vagues. Idéalement, ils permettent de maintenir une plage suffisamment large pour la protéger contre les tempêtes en contrôlant la quantité de sable se déplaçant le long de la côte. Leur mise en place concorde souvent avec des projets de remblayage des plages, car les épis peuvent prolonger la durée de vie de tels projets. Seuls, les épis entraînent une érosion accrue sur les plages adjacentes. Ils sont généralement construits en série le long d'une plage, formant ainsi une structure appelée champ d'épis (Department of City Planning, ville de New York, 2013).



Source : Department of City Planning, ville de New York (2013)

Infrastructures naturelles et hybrides – Approches

Les systèmes naturels ou « doux », parfois utilisés en association avec des éléments artificiels de conception humaine, ont pour objectif de protéger ou de réintroduire des systèmes naturels qui assureront des fonctions de protection des terres et réduiront les conséquences néfastes sur les écosystèmes terrestres et aquatiques (National Research Council, 2014). Un littoral vivant correspond à « tout système de gestion du littoral conçu pour protéger ou restaurer les écosystèmes naturels du littoral grâce à l'utilisation d'éléments naturels et, le cas échéant, d'éléments artificiels. Les éléments utilisés ne doivent pas briser le continuum naturel terre-eau ni être introduits au détriment des écosystèmes naturels riverains » (Restore America's Estuaries, 2015). Les approches naturelles et hybrides peuvent inclure la protection, la restauration ou la création d'écosystèmes naturels riverains qui fournissent des services écosystémiques. La figure B-1 présente un exemple de littoral sur lequel des approches privilégiant des actifs naturels ont été adoptées. Les paragraphes suivants fournissent de plus amples détails sur les écosystèmes pertinents⁴.

⁴ Remarque : Ces paragraphes contiennent des renseignements sur les types d'écosystèmes, lesquels sont également abordés à l'annexe A. L'annexe A expose en détail les caractéristiques des habitats, alors que cette section vise à fournir des renseignements plus précis sur la protection contre les inondations et l'érosion.

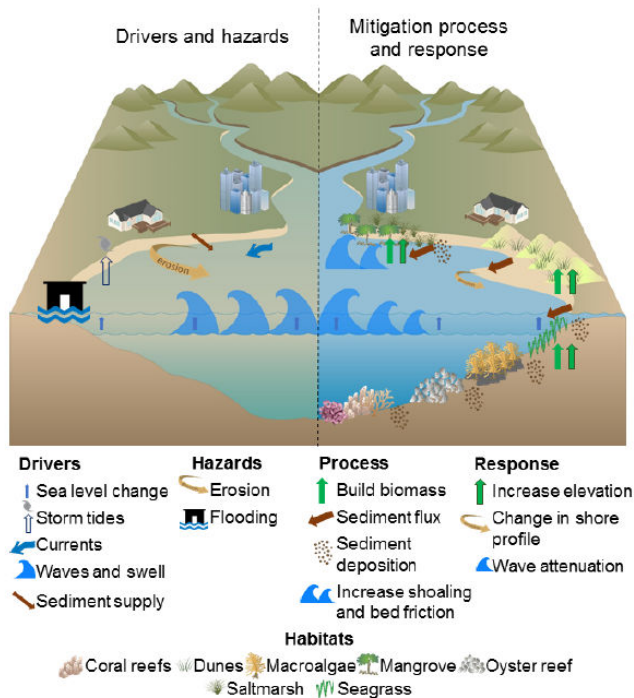
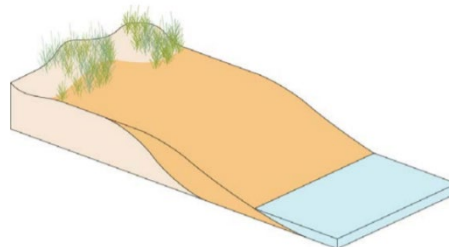


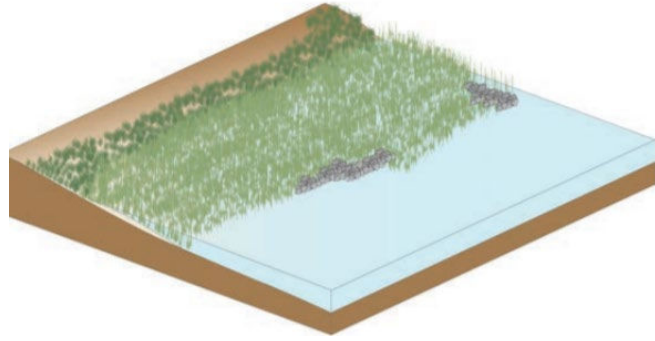
Figure B-1. Exemple de littoral présentant des facteurs et des risques pertinents (notamment un risque d'érosion et d'inondation) et approches en matière d'intervention qui tiennent compte des actifs naturels. Source : Morris et coll. (2017).

Plages et dunes : Les plages et les dunes sont des éléments de protection naturels qui agissent en tant que zone tampon sablonneuse pour protéger le littoral contre les vagues et les inondations. La protection qu'elles offrent est parfois renforcée par la présence de végétation, de tubes géotextiles ou de noyau rocheux. En tant que zones tampons entre les vagues déferlantes et les structures des hautes terres, les plages contribuent à réduire la force des vagues et la quantité de dommages causés par une tempête. Les dunes fournissent une protection supplémentaire grâce à une capacité accrue à dissiper les vagues. De plus, leur plus grande élévation protège les environs contre les ondes de tempête. Les dunes renforcées constituent des ouvrages longitudinaux recouverts de sable offrant une protection contre les événements provoquant des ondes et peuvent résister à de fortes vagues (Department of City Planning, ville de New York, 2013).



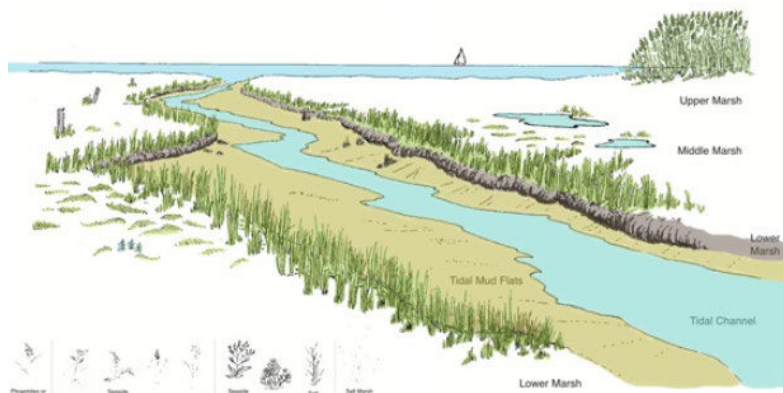
Source : Department of City Planning, ville de New York (2013)

Milieux humides côtiers : Les milieux humides littoraux peuvent contribuer à réduire les risques que présentent les aléas côtiers. Les milieux humides de petite taille peuvent protéger les environs contre la force des vagues et offrir une protection modérée contre l'érosion du littoral. Les milieux humides de grande taille peuvent ralentir le rythme des ondes grâce à la friction et, s'ils sont suffisamment grands, contribuer à diminuer la hauteur des crues, selon la vitesse et l'intensité de la tempête. De plus, les milieux humides sont parfois en mesure d'atténuer les risques d'inondations fréquentes et de crues régulières de faible intensité (Department of City Planning, ville de New York, 2013). Les milieux humides situés en périphérie, soit des milieux humides de petite taille le long de la côte, peuvent dissiper l'énergie des vagues et offrir une protection contre l'érosion afin de stabiliser l'état du littoral. Cela dit, ils sont peu susceptibles de diminuer la hauteur ou l'étendue des inondations côtières (Department of City Planning, ville de New York, 2013; Morgan et coll., 2009). De plus, les milieux humides littoraux exercent de nombreuses fonctions écologiques, notamment en mettant les plantes et les sols à profit pour retenir et filtrer l'eau tout en créant des habitats fauniques. Des milieux humides peuvent être créés ou restaurés pour favoriser ces avantages et ceux qui existent peuvent faire l'objet de mesures de protection pour veiller à ce que les avantages actuels ne soient pas perdus.



Source : Department of City Planning, ville de New York (2013)

Marais salés : Les marais salés sont des milieux humides côtiers qui sont inondés et drainés par l'eau salée des marées. On les qualifie de marécageux, car leur sol peut être composé d'une épaisse couche de boue et de tourbe (NOAA, 2021b). Les marais salés contribuent en quelque sorte à l'atténuation des eaux de crue en absorbant l'eau et en favorisant son ruissellement en nappe vers la côte (Batker et coll., 2010). En plus d'atténuer les événements de faible ampleur, à fréquence élevée et présentant des risques pour les côtes, les services rendus par les marais, comme l'atténuation des vagues, l'accumulation de sédiments et l'augmentation de l'élévation, contribuent également au maintien à long terme du rivage. Ces services sont particulièrement pertinents dans les régions pour lesquelles l'on prévoit de fortes hausses du niveau de la mer (Shepard et coll., 2011).



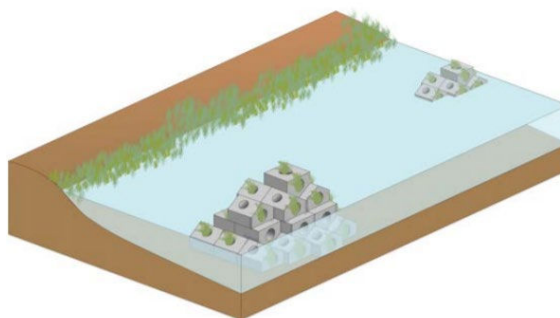
Source : Outer Island (s.o.)

Graminées marines : Les graminées marines forment le plus grand écosystème de végétation aquatique submergée (Ondiviela et coll., 2014). La zostère (*Zostera marina*) est une espèce commune de graminée marine qui joue un rôle important dans les écosystèmes côtiers, plus particulièrement dans les estuaires. Les herbiers de zostères fournissent une variété de services écosystémiques, notamment ils réduisent la force des vagues, stabilisent les sédiments et fournissent un habitat à divers types d'animaux, dont les poissons et les invertébrés. Ils servent également de substrat à d'autres plantes, constituent une source de nourriture pour divers organismes marins et sont un puits de carbone efficace (Er



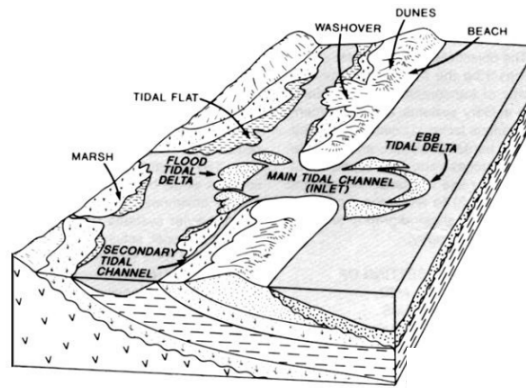
Source :
www.portvancouver.com/fr/

Récifs : Les récifs, qui peuvent être à la fois naturels (p. ex., coraux) et artificiels, forment une structure biogène tridimensionnelle complexe qui peut atténuer l'action érosive des vagues, stabiliser les sédiments et réduire le recul des marais (Department of City Planning, ville de New York, 2013; Scyphers et coll., 2011). Les récifs de corail constituent une première ligne de défense contre l'érosion et les inondations, car ils contribuent à l'atténuation des vagues ainsi qu'à la production et à la rétention de sable (Elliff et Silva, 2017; Ferrario et coll., 2014; Pascal et coll., 2016; Reguero et coll., 2018). Les crêtes de récif frangeant naturel fonctionnent un peu comme les brise-lames à crête basse (Beck et coll., 2016), elles dissipent l'énergie des vagues et protègent le littoral (Gallop et coll., 2014; Sheppard et coll., 2005). Les récifs de corail génèrent également du sable corallien fin, alimentant ainsi les rives avec du sable produit par des forces physiques ainsi que le biote (Bellwood, 1995). Les coraux vivants confèrent au récif une complexité géométrique superficielle et une plus grande rugosité en surface, lesquelles dissipent l'énergie des vagues en les brisant et en les soumettant à une certaine friction (Quataert et coll., 2015). Par conséquent, la mortalité des coraux amplifie l'énergie des vagues qui atteignent la côte, puisque la friction s'atténue entre le récif et les vagues, puis la dissipation des squelettes des coraux augmente la profondeur de l'eau au-dessus du platier (Reguero et coll., 2018; Sheppard et coll., 2005). Les récifs artificiels sont des structures submergées, ou partiellement submergées, composées de roches, de béton ou d'autres matériaux qui sont conçues pour fournir un habitat marin aux plantes, aux invertébrés, aux poissons et aux oiseaux, tout en atténuant les vagues. Similairement aux brise-lames, les récifs artificiels dissipent l'énergie des vagues, protègent le littoral contre l'érosion et minimisent le mouvement des sédiments. Ils peuvent également contribuer à la réduction du niveau global des crues en cas d'ondes de tempête. Près des plages, les récifs situés au large peuvent minimiser la fréquence à laquelle un remblayage est nécessaire (Department of City Planning, ville de New York, 2013).



Source : Department of City Planning, ville de New York (2013)

Îles-barrières Une île-barrière est un dépôt de sable en constante évolution qui se forme parallèlement à la côte. À mesure que le vent et les vagues changent de direction en fonction des conditions météorologiques et des caractéristiques géographiques locales, ces îles se déplacent, s'érodent et se développent constamment. Elles peuvent même disparaître complètement. Elles sont généralement séparées du continent par des chenaux de marée, des baies et des lagunes. Des systèmes de plage et de dune se forment sur le côté de l'île, face à l'océan. On retrouve souvent des marais, des estrans et des forêts maritimes sur le côté situé face au rivage. Ces zones constituent un important habitat pour les oiseaux de mer, les poissons, les mollusques, les crustacés et les tortues de mer qui y creusent leur nid. Ces îles sont essentielles pour protéger les communautés et les écosystèmes côtiers contre les conditions climatiques extrêmes. Les dunes de plage et les graminées situées sur les îles-barrières absorbent l'énergie des vagues avant qu'elles n'atteignent le continent, ce qui contribue à réduire les ondes de tempête et le nombre d'inondations sur le littoral continental (NOAA, 2021c).



Source : Université de Miami (n.d.)

Choisir une stratégie

Bien que chaque lieu soit unique, il est utile de comprendre quels types d'approches sont généralement considérés comme les mieux adaptés à une situation particulière. Chaque situation où l'on cherche à protéger la côte peut être caractérisée de trois manières : 1) les aléas côtiers auxquels elle est confrontée; 2) les principaux services qu'il importe de protéger ou d'améliorer; 3) les avantages connexes que présentent les solutions de recharge utilisant des actifs naturels. Les tableaux suivants (tableaux B-1, B-2 et B-3) visent à fournir un aperçu de ces trois catégories à titre indicatif pour les communautés et pourraient notamment être peaufinés davantage.

Tableau B-1. Capacité des diverses approches à protéger le littoral contre les aléas côtiers. D'après les travaux du Department of City Planning, ville de New York (2013).

Approche	Capacité de protection contre les aléas					
	Selon les événements				Incidence progressive	
	Ondes de tempête (élevées)	Ondes de tempête (faibles)	Action des vagues	Érosion soudaine	Inondations fréquentes (attribuables à l'élévation du niveau de la mer)	Érosion graduelle
Plages et dunes	E	E	E	M	E	M
Milieux humides côtiers	F	M	M	M	F	E
Marais salés	F	M	M	M	F	E
Graminées marines	F	M	M	M	F	E
Récifs	F	F	E	E	F	E
Îles-barrières	E	E	E	E	F	E
Ouvrages	E	E	E	E	E	E

longitudinaux						
Levés et murs d'endiguement	E	E	M	M	E	M
Cloisons	F	M	M	M	E	E
Revêtements	F	M	E	E	E	E
Barrières contre les ondes de tempête	E	E	E	E	F	F
Brise-lames	F	M	M	M	F	E
Épis	F	F	M	M	F	E

Tableau B-2. Capacité des diverses approches à fournir les principaux services écosystémiques. D'après les travaux du Army Engineer Research and Development Center (ERDC) des États-Unis (2015).

Approche	Capacité à fournir les principaux services				
	Réduction des ondes de tempête et des inondations associées	Diminution de la hauteur des crues et allongement du délai jusqu'à l'atteinte du point culminant	Atténuation de l'action des vagues	Protection de la valeur de la propriété	Protection et lutte contre l'érosion
Plages et dunes	x	x	x	x	x
Milieus humides côtiers	x	x		x	x
Marais salés	x	x	x	x	x
Graminées marines	x		x	x	x
Récifs	x		x	x	x
Îles-barrières	x		x	x	x
Ouvrages longitudinaux	x	x	x	x	x
Levés et murs d'endiguement	x	x	x	x	x
Cloisons	x		x	x	x
Revêtements	x		x	x	x
Barrières contre les ondes de tempête	x		x	x	x
Brise-lames	x		x	x	x
Épis				x	x

Tableau B-3. Capacité des diverses approches à fournir des avantages connexes. D'après les travaux de Morris et coll. (2017).

Approche	Capacité à fournir des avantages connexes					
	Conservation de la faune	Matières premières et nourriture	Ressources de pêche	Cycle des nutriments, purification de l'eau	Séquestration du carbone	Tourisme, loisirs, éducation, recherche
Plages et dunes	x	x		x	x	x
Milieus humides côtiers	x	x	x	x	x	x
Marais salés	x	x	x	x	x	x

Graminées marines	x	x	x	x	x	x
Récifs	x	x	x	x		x
Îles-barrières	?					x
Ouvrages longitudinaux						x
Levés et murs d'endiguement						x
Cloisons						x
Revêtements						x
Barrières contre les ondes de tempête						x
Brise-lames						x
Épis						x

Annexe C – Compétence côtière

La gestion des actifs naturels côtiers est compliquée parce que la compétence concernant les zones côtières relève des administrations fédérale, provinciale, municipale et autochtone. Avant d'évaluer des solutions de rechange utilisant des actifs naturels, il est important de comprendre ces questions de compétence. Cela vous aidera à cerner les questions à explorer avec le modèle (p. ex., les éléments à prendre en compte à l'aide du modèle selon la compétence), à identifier les parties prenantes clés du projet, à évaluer la faisabilité et les coûts du projet et à déterminer les propriétaires des données.

Aux échelles fédérale et provinciale, la *Loi constitutionnelle de 1867* fournit un cadre pour le partage des compétences (Stewardship Centre for British Columbia, 2014) et la *Loi sur les océans* divise les terres côtières en différentes zones (figure C-1). Le gouvernement fédéral a compétence sur les eaux côtières et les terres submergées depuis la laisse de basse mer (c.-à-d., la marée basse) jusqu'à la limite extérieure de la zone économique exclusive (ZEE) présentée à la figure C-1. Les ministères fédéraux impliqués dans la gestion des zones côtières sont Pêches et Océans Canada, Environnement et Changement climatique Canada, Transports Canada et Parcs Canada. Pour ce qui est des eaux et des terres submergées fédérales, les activités qui relèvent de la compétence du gouvernement du Canada comprennent la gestion des ressources minérales et des ressources en hydrocarbures, les aires protégées, les évaluations environnementales et la pollution marine. De plus, le gouvernement fédéral a compétence sur la navigation et le transport maritime sur toutes les eaux navigables, y compris les eaux intérieures, ainsi que sur la pêche dans toutes les eaux de marée (West Coast Environmental Law, 2019).

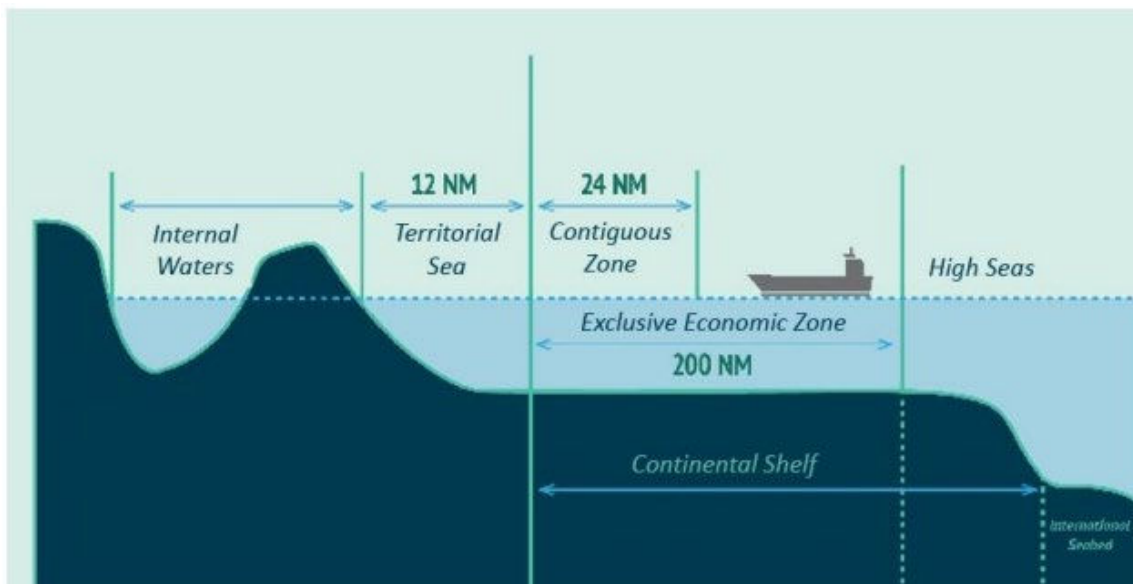


Figure C-1. Champs de compétence des différents ordres quant aux côtes canadiennes (West Coast Environmental Law, 2019).

Les gouvernements provinciaux ont compétence sur les zones intertidales de la marée basse à la limite naturelle présentée à la figure C-2, ainsi que sur les eaux intérieures et les terres submergées, lesquelles peuvent comprendre les zones comprises entre les îles et les terres continentales, comme les eaux entre l'île de Vancouver et la Colombie-Britannique continentale (West Coast Environmental Law, 2019). De nombreuses activités maritimes nécessitent une autorisation à la fois fédérale et provinciale (p. ex., marinas, projets d'énergie renouvelable), car la compétence pour ces activités est partagée entre ces deux ordres de gouvernement (West Coast Environmental

Law, 2019). Les gouvernements fédéral et provinciaux peuvent en outre désigner conjointement des aires marines protégées et mettre en place des règlements pour protéger les côtes contre la pollution marine (East Coast Environmental Law, 2018)⁵.

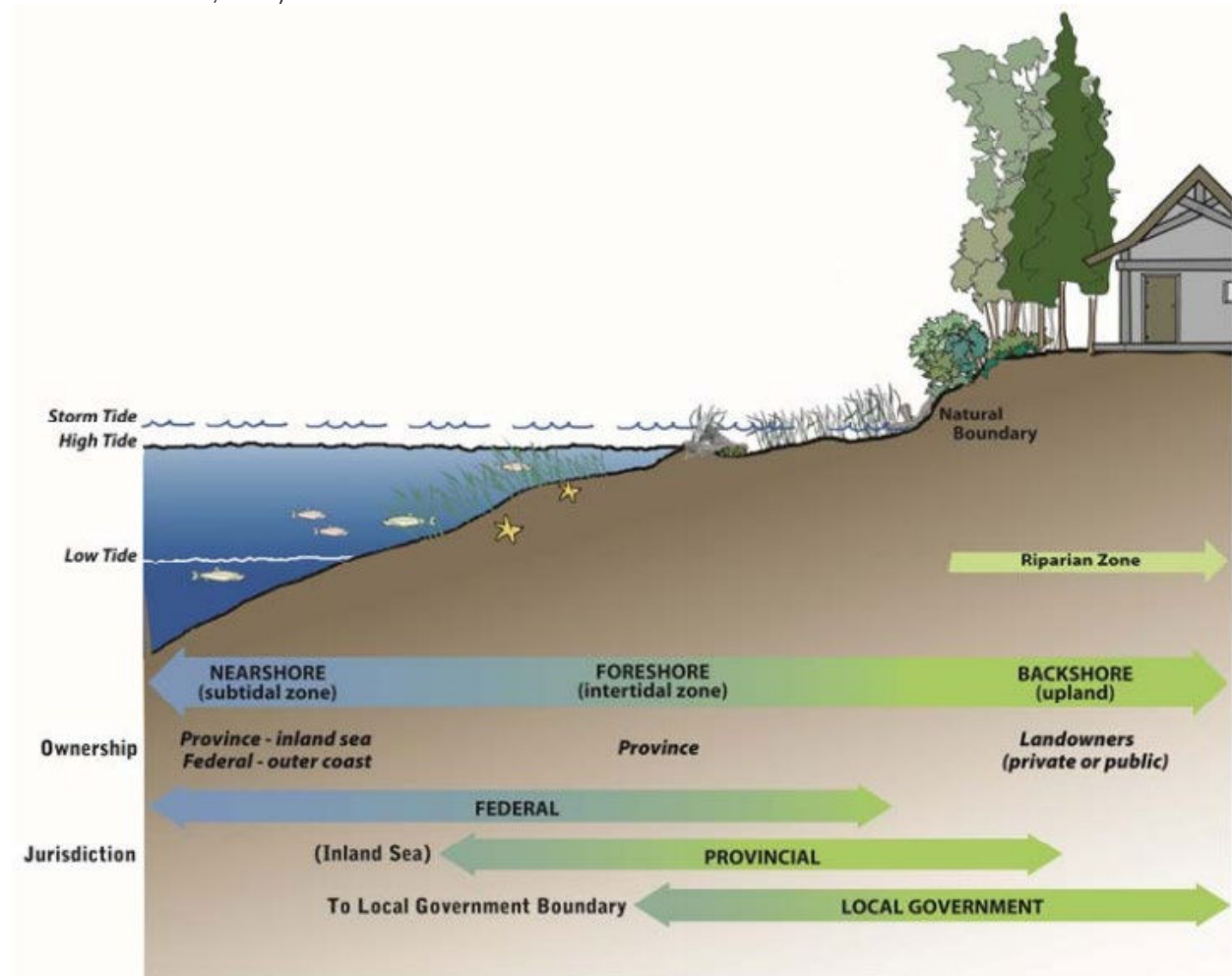


Figure C-2. Champs de compétence provinciale quant aux côtes — Exemple de la Colombie-Britannique (Stewardship Centre for British Columbia, 2014).

Contrairement aux compétences fédérales et provinciales, qui sont définies dans la Constitution canadienne, la compétence municipale est accordée par une loi provinciale (East Coast Environmental Law, 2018). Les administrations municipales ont généralement compétence quant à l'utilisation des terres dans les zones côtières, leur autorité commençant à la laisse de haute mer. Ce contexte de compétence à plusieurs niveaux signifie que pour tout rivage municipal donné, plusieurs ordres de gouvernement peuvent être concernés. Par exemple, la compétence fédérale s'applique si une activité d'aménagement ou de gestion proposée avait une incidence sur l'environnement marin ou fournissait des services comme des quais pour les bateaux de pêche ou de plaisance; la compétence provinciale s'applique si des activités liées à son mandat étaient concernées; et la compétence municipale s'applique si l'activité impliquait une utilisation des terres le long du rivage faisant l'objet de règlements de zonage locaux.

Les communautés autochtones détiennent des droits et des titres uniques quant aux ressources et aux terres côtières. L'article 35 de la *Loi constitutionnelle de 1982* précise les droits des peuples autochtones ainsi que ceux

⁵ Voir « Le rôle des gouvernements provinciaux et territoriaux dans le secteur des océans » (Pêches et Océans Canada) : <https://publications.gc.ca/collections/Collection/Fs23-319-1-1997F.pdf>

issus de traités. Toute activité ou tout projet d'aménagement de la Couronne qui pourrait porter atteinte à ces droits nécessite une consultation avec les peuples autochtones concernés (East Coast Environmental Law, 2018).

Le tableau C-1 présente un exemple de la Colombie-Britannique quant aux activités menées à divers endroits le long du littoral qui relèvent de différents ordres de gouvernement ou d'administration.

Tableau C-1. Activités menées à divers endroits le long du littoral et relevant des différents ordres de gouvernement ou d'administration – Exemple de la Colombie-Britannique (voir pour connaître l'emplacement de l'arrière-plage, de l'estran et de la zone infralittorale). (Stewardship Centre for British Columbia, 2014).

	Local Government (LG) municipal, regional	Provincial Government	Federal Government	First Nations
Backshore	Plan and regulate land use through Official Community Plans (OCPs), zoning, development permits, etc.	Issue tenures (permit, licence of occupation, lease or grant) and sale of provincial Crown lands	Protection of commercial aboriginal and recreational fisheries, including shoreline (riparian) vegetation and timing windows	Planning and regulation on Reserve lands; may have claims to Aboriginal Title and Rights in other areas
Foreshore	Land use planning & regulation extends into the surface of the water that lies within Local Government (LG) boundary	Issue tenures over foreshore	Fish and fish habitat protection Protect public navigation in listed waters	Same as above
Nearshore	Land use planning and regulation extends into nearshore areas that lie within LG boundary	Issue tenures over nearshore areas in inland seas	Same as above	Same as above

Annexe D – Lois, politiques et instruments du marché pertinents

La présente annexe fournit un aperçu des types de lois et de règlements fédéraux et provinciaux, des leviers de gestion municipaux et des instruments axés sur le marché pertinents à la gestion des actifs naturels côtiers au Canada.

D1. Lois et règlements fédéraux pertinents

- *Loi sur les pêches* – Cette loi stipule que les projets ne peuvent causer de graves dommages aux poissons, à moins d'une autorisation de Pêches et Océans Canada, et permet l'établissement de zones fermées à la pêche pour maintenir les stocks de poissons (p. ex., aires de conservation des sébastes) et la création de zones d'importance écologique qui nécessitent des mesures de protection supplémentaires. [Loi sur les pêches \(justice.gc.ca\)](#)
- *Loi de 1994 sur la convention concernant les oiseaux migrateurs* – Cette loi protège la plupart des espèces d'oiseaux migrateurs, ainsi que leurs nids et leurs œufs, et s'applique à toutes les terres, peu importe le propriétaire. [Loi de 1994 sur la convention concernant les oiseaux migrateurs \(justice.gc.ca\)](#)
- *Loi sur les espèces sauvages du Canada* – Cette loi permet la création de réserves d'espèces sauvages à des fins de recherche ou de conservation. [Loi sur les espèces sauvages du Canada \(justice.gc.ca\)](#)
- *Loi sur les eaux navigables canadiennes* – Cette loi stipule que les projets ne peuvent gêner de manière notable la navigation dans les eaux navigables mentionnées à l'annexe. [Loi sur les eaux navigables canadiennes \(justice.gc.ca\)](#)
- *Loi canadienne sur l'évaluation environnementale* – Cette loi met l'accent sur les grands projets qui relèvent de la compétence fédérale ainsi que sur leurs répercussions potentielles sur l'environnement. [Loi canadienne sur l'évaluation environnementale : Un aperçu \(canada.ca\)](#)
- *Loi canadienne sur la protection de l'environnement* – Cette loi vise à réglementer les émissions ainsi que les substances mentionnées à l'annexe. [Loi canadienne sur la protection de l'environnement \(1999\) \(justice.gc.ca\)](#)
- *Loi sur les espèces en péril* – Cette loi interdit de tuer, de blesser, de harceler, de capturer, d'adopter, de recueillir ou de posséder toute espèce en voie de disparition, menacée ou disparue du pays, ainsi que de détruire un habitat essentiel identifié. [Loi sur les espèces en péril : description \(canada.ca\)](#)
- *Loi sur les océans* – Cette loi permet la désignation d'aires marines protégées afin de protéger des espèces marines et leurs habitats, ainsi que des habitats uniques et des espaces riches en biodiversité ou en productivité biologique. [Loi sur les océans \(justice.gc.ca\)](#)
- *Loi sur les aires marines nationales de conservation du Canada* – Cette loi permet la mise en place d'aires marines nationales de conservation. [Loi sur les aires marines nationales de conservation du Canada \(justice.gc.ca\)](#)
- *Loi de 2001 sur la marine marchande du Canada* – Cette loi permet la réglementation des activités de marine marchande afin de protéger les zones et les espèces écologiquement vulnérables. [Loi de 2001 sur la marine marchande du Canada \(justice.gc.ca\)](#)
- *Loi sur les parcs nationaux du Canada* – Cette loi permet la désignation de réserves et de parcs nationaux qui peuvent comprendre une composante maritime (p. ex., la réserve de parc national Pacific Rim). [Loi sur les parcs nationaux du Canada \(justice.gc.ca\)](#)
- *Loi sur le moratoire relatif aux pétroliers* – Cette loi interdit l'amarrage, le chargement ainsi que le

déchargement de navires transportant plus de 12 500 tonnes de pétrole brut ou d'hydrocarbures persistants dans tout port situé sur la côte nord de la Colombie-Britannique. [Loi sur le moratoire relatif aux pétroliers \(justice.gc.ca\)](#)

- *Règlement de pêche* (dispositions générales) – Ce règlement permet la création de refuges marins au moyen d'ordonnances de modification, ainsi que l'imposition de conditions sur les permis de pêche pour la conservation et la protection des poissons. [Règlement de pêche \(dispositions générales\) \(justice.gc.ca\)](#)

D2. Lois et règlements pertinents des provinces où se trouvent les deux communautés visées par les études pilotes menées dans le cadre de la mise au point de la boîte à outils côtière

Colombie-Britannique

- *Fish Protection Act* [loi sur la protection des poissons] – Le *Riparian Areas Protection Regulation* (RAPR) [règlement pour la protection des zones riveraines] protège la végétation des zones riveraines qui bordent les étendues d'eau douce dans le cadre d'activités d'aménagement du territoire. Bien qu'il s'agisse d'un règlement provincial, le RAPR est administré par les administrations locales. [Fish Protection Act \(gov.bc.ca\)](#) [\[en anglais seulement\]](#)
- *Wildlife Act* [loi sur la faune] – Cette loi prévoit la conservation et la gestion des populations d'espèces sauvages et de leur habitat et porte notamment sur la pêche, la chasse et le piégeage. Cette loi désigne en outre les aires de gestion de la faune et les activités restreintes au sein de celles-ci. [Wildlife Act \(gov.bc.ca\)](#) [\[en anglais seulement\]](#)
- *Land Act* [loi sur les terres] – Cette loi permet l'octroi de terres ainsi que l'occupation de terres publiques grâce à des baux, des licences, des permis et des droits de passage [Land Act \(gov.bc.ca\)](#) [\[en anglais seulement\]](#)
- *Local Government Act* [loi sur les administrations locales] – Cette loi peut exiger un permis d'aménagement ou de construction, si une telle disposition figure dans le plan communautaire officiel, et un règlement sur les plaines inondables peut restreindre les utilisations et imposer des exigences relatives à la construction ou des exigences minimales en matière de retrait dans certaines zones. [Local Gouvernement Act \(gov.bc.ca\)](#) [\[en anglais seulement\]](#)
- *Ecological Reserves Act* [loi sur les réserves écologiques] – Cette loi prévoit la création et l'administration de réserves écologiques, notamment pour la protection d'espèces en péril et de leur habitat, ainsi que pour des fins de recherche scientifique et d'éducation. [Ecological Reserve Act \(gov.bc.ca\)](#) [\[en anglais seulement\]](#)
- *Environment and Land Use Act* [loi sur l'environnement et l'utilisation des terres] – Cette loi permet au cabinet de désigner des aires au moyen de décrets et d'établir des règlements. Étant très souple, elle permet au cabinet d'adapter les mesures de protection, d'autoriser seulement certains types de développement ou de réglementer l'utilisation des terres. [Environment and Land Use Act \(gov.bc.ca\)](#) [\[en anglais seulement\]](#)
- *Heritage Conservation Act* [loi sur la conservation du patrimoine] – Cette loi permet de protéger des sites contenant des preuves d'habitation ou d'utilisation humaine datant d'avant 1846 contre les dommages ou l'apport de modifications; elle s'applique aux terres tant publiques que privées. [Heritage Conservation Act \(gov.bc.ca\)](#) [\[en anglais seulement\]](#)
- *Park Act* [Loi sur les parcs] – Cette loi permet la création de parcs, d'aires de loisirs et de conservation, ainsi que « d'espaces naturels désignés », au sein desquels aucun projet d'aménagement ne peut avoir lieu (p. ex., le Broughton Archipelago Marine Park). [Park Act \(gov.bc.ca\)](#) [\[en anglais seulement\]](#)

- *Forest and Range Practices Act* [loi sur les pratiques forestières et la portée des activités forestières] – Cette loi permet la désignation de zones d'habitat faunique et vise à protéger de petits territoires pour des espèces précises d'animaux et de plantes dans le cadre de la stratégie de gestion des espèces sauvages identifiées de la Colombie-Britannique (p. ex., les zones d'habitat faunique du guillemot marbré). [Forest and Range Practices Act \(gov.bc.ca\) \[en anglais seulement\]](#)

Nouveau-Brunswick

- *Politique de protection des zones côtières pour le Nouveau-Brunswick* – Cette politique, mise en œuvre par l'entremise du *Règlement sur la modification des cours d'eau et des terres humides*, régit les activités sur les zones côtières en vue de préserver l'intégrité écologique et de maintenir la capacité de tampon des zones côtières. [Politique de protection des zones côtières pour le Nouveau-Brunswick \(qnb.ca\)](#)
- *Loi sur l'assainissement de l'environnement* – Cette loi régit l'utilisation de pesticides, les contaminants, la restauration des terres, la désignation de terres humides et de zones côtières, ainsi que la production d'électricité. [Loi sur l'assainissement de l'environnement \(Nouveau-Brunswick\) \(ecelaw.ca\) \[en anglais seulement\]](#)
- *Loi sur les espèces en péril* – Cette loi empêche de tuer, de blesser, de harceler ou d'adopter des animaux figurant sur les listes des espèces en voie de disparition, menacées ou disparues, et protège les habitats de rétablissement. [Projet de loi 28 – Loi sur les espèces en péril \(qnb.ca\)](#)
- *Loi sur les parcs* – Cette loi protège les aires naturelles désignées par le cabinet à titre de parcs provinciaux contre la destruction et les activités d'aménagement et d'exploitation. [NOUVEAU-BRUNSWICK – Loi sur les parcs \(isthatlegal.ca\) \[en anglais seulement\]](#)
- *Loi sur le poisson et la faune* – Cette loi permet la création de réserves de faune et d'unités d'aménagement de la faune, puis régit la chasse et la pêche, ainsi que la possession et la vente d'animaux sauvages dans la province. [Loi sur le poisson et la faune, LN-B 1980, c F-14.1 \(CanLII\)](#)
- *Loi sur les zones naturelles protégées* – Cette loi permet la création d'aires protégées contre toutes les formes d'aménagement, ainsi que de zones d'accès restreint jugées très vulnérables et pour lesquelles des permis provinciaux sont nécessaires pour y accéder. [Loi sur les zones naturelles protégées \(qnb.ca\)](#)

D3. Leviers de planification et de gestion municipales

À l'échelle municipale, les communautés peuvent utiliser une variété d'outils et de stratégies pour façonner les activités d'utilisation des terres et de gestion des ressources afin de protéger les actifs naturels côtiers. La compétence municipale dans les zones côtières commence à la laisse de haute mer, assurant ainsi que les communautés soient en mesure de réglementer l'utilisation des terres riveraines essentielles à la fonction des actifs naturels côtiers. Dans le cadre de ses activités de planification, telle que l'élaboration de stratégies de croissance régionale ou de plans communautaires officiels, une administration locale peut établir des modèles d'utilisation des terres qui durent des siècles. Les administrations locales mettent en œuvre ces plans en utilisant une variété de pouvoirs législatifs, souvent accordés en vertu de lois portant sur les administrations municipales promulguées à l'échelle provinciale. Parmi ces pouvoirs législatifs, citons notamment les suivants :

- Règlements de zonage – Ces règlements permettent la mise en œuvre de plans officiels grâce à des mécanismes de contrôle ayant force exécutoire sur la façon dont les terres sont utilisées ainsi que sur les constructions autorisées. En adoptant des règlements de zonage :
 - Les communautés peuvent contrôler la répartition des infrastructures naturelles et grises sur le littoral à proximité des actifs côtiers, influençant ainsi le ruissellement, la circulation de nutriments et l'érosion.

- Les municipalités peuvent mettre en place des zones tampons côtières ou littorales qui permettent de réglementer les activités humaines adjacentes aux actifs naturels côtiers.
- Autres règlements – Les municipalités ont le pouvoir législatif de réglementer des activités telles que l'aménagement paysager, l'utilisation de l'eau, l'abattage des arbres et l'utilisation d'engrais et de pesticides. Elles peuvent également réglementer l'utilisation de fosses septiques près de zones côtières et d'autres activités qui influencent les écosystèmes côtiers.
- Permis et dispositions concernant l'aménagement – Les municipalités peuvent réglementer et restreindre l'aménagement à l'échelle locale de manière à ce que le fonctionnement naturel des écosystèmes à proximité du littoral soit le moins perturbé possible.
 - Il peut notamment s'agir de restreindre les projets d'aménagement près des côtes et des cours d'eau afin de limiter les répercussions d'une nouvelle construction sur des rives ou des zones humides vulnérables.
 - Ces mesures peuvent également comprendre l'imposition d'exigences particulières pour les projets de développement dans des zones naturelles. Le district de North Vancouver, par exemple, a mis en place des zones d'aménagement en milieu naturel nécessitant un permis, qui contraignent les propriétaires fonciers voulant s'établir dans ces zones à suivre des lignes directrices pour protéger l'environnement, à verser une indemnisation pour les zones naturelles touchées, à faire réaliser des évaluations d'impact environnemental ou même à fournir une garantie sous forme d'un cautionnement en espèces ([natural-environment-development-permit-area-brochure.pdf \[dnv.org\] \[en anglais seulement\]](#)).

D4. Instruments du marché

Taxes

- Les administrations et les gouvernements de tous les ordres peuvent encourager l'intendance privée à long terme d'importantes zones naturelles en offrant une exemption d'impôts fonciers (p. ex., le [Programme d'encouragement fiscal pour les terres protégées \[ontario.ca\]](#) du gouvernement de l'Ontario et le [Natural Area Protection Tax Exemption Program \[programme d'exemption d'impôt pour la protection des aires naturelles\]](#) du Island Trust Conservancy [[islandstrustconservancy.ca](#); en anglais seulement]).
- Des exonérations et des réductions fiscales similaires peuvent être utilisées pour encourager la désignation de propriétés privées dans le cadre de plans d'aménagement, garantissant ainsi l'intégrité écologique de ces zones ([Programme d'encouragement fiscal pour les forêts aménagées \[ontario.ca\]](#)).
- Les gouvernements peuvent également renoncer aux politiques fiscales directes et indirectes qui incitent à la dégradation et à la surexploitation des zones naturelles.

Assurance

- L'assurance transfère les conséquences financières des risques (comme les tempêtes et les inondations) d'un ménage ou d'une communauté à un assureur qui reçoit une prime en échange du remboursement des clients après la survenue d'une catastrophe.
- À l'échelle municipale, les assureurs peuvent encourager l'amélioration des actifs naturels en réduisant les primes d'assurance pour les infrastructures publiques lorsque les actifs naturels à proximité sont restaurés ou améliorés, ce qui diminue le risque et la gravité d'une catastrophe potentielle.
- Les primes réduites peuvent faire l'objet d'une facturation dégressive et être jumelées à des contributions gouvernementales pour faciliter la restauration.

Subventions

- Financement gouvernemental qui encourage l'amélioration et la gestion des actifs naturels aux échelles municipale et régionale.

Paiements pour services écosystémiques

- Les paiements pour services écosystémiques sont des transactions volontaires dans le cadre desquelles un « utilisateur » offre une compensation financière à un fournisseur pour un service environnemental bien défini (Engel et coll., 2008).
- Dans le cas de la gestion municipale d'actifs naturels, une telle compensation serait offerte par des bénéficiaires « en aval » (p. ex., d'autres municipalités) pour l'amélioration ou l'entretien d'actifs naturels en amont comme des plages, des dunes, des structures submergées, des zostères, du varech et de la végétation riveraine qui fournissent des avantages pour la protection des côtes situées « en aval ».
- Les services fournis en amont peuvent inclure de meilleures pratiques quant à l'utilisation des terres, une meilleure régulation de la qualité de l'eau et d'autres activités susceptibles d'améliorer l'état des actifs naturels côtiers et la fourniture de services écosystémiques en aval.
- Dans le cadre de systèmes de paiements pour services écosystémiques financés par le gouvernement, l'acheteur est un tiers agissant au nom des utilisateurs du service. Avec une telle structure, le gouvernement du Canada pourrait offrir une compensation aux municipalités pour l'adoption de pratiques d'utilisation des terres et le maintien d'actifs côtiers en amont qui procurent un soutien aux actifs naturels côtiers.

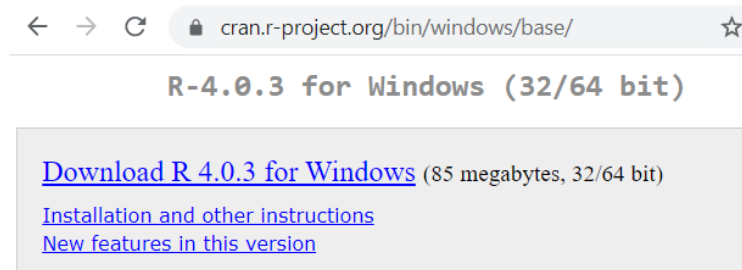
Annexe E – Installation de la boîte à outils côtière et composants du modèle

Installation initiale :

Veillez suivre les étapes ci-dessous pour installer la boîte à outils sur votre ordinateur local. Prenez note que vous n'avez besoin de le faire qu'une seule fois. Une fois la boîte à outils installée, vous devriez pouvoir l'utiliser à tout moment sans répéter ces étapes. Pour utiliser cette boîte à outils, vous devez d'abord installer ArcGIS Pro sur votre ordinateur (pour télécharger ArcGIS Pro : <https://www.esri.com/fr-fr/arcgis/products/arcgis-pro/overview>). La boîte à outils a été conçue pour fonctionner avec les options de licence les plus élémentaires, il n'est donc pas nécessaire d'activer Spatial Analyst ou toute autre extension. Veuillez noter que la trousse ne fonctionnera pas avec le logiciel ArcMap ni avec des logiciels plus anciens de l'Environmental Systems Research Institute (ESRI). On suppose que les utilisateurs possèdent des connaissances de base à propos des logiciels d'ESRI, des formats des données spatiales et des concepts fondamentaux du système d'information géographique (SIG). L'installation de la boîte à outils comprend trois étapes : l'installation de R, l'installation du pont R-ArcGIS et l'installation de la boîte à outils CPBT.ArcGIS.Tbx. Il est normal que certains messages d'avertissement s'affichent à l'écran. Toutefois, si vous voyez un message d'erreur rouge, examinez les détails du message afin de comprendre ce qui aurait pu entraîner l'échec d'une étape.

- **Téléchargement et installation de R pour Windows**

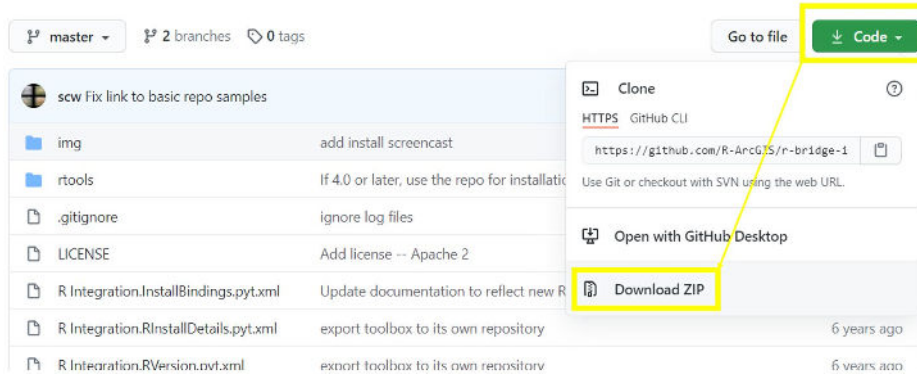
- Rendez-vous sur la page de téléchargement du projet R : <https://cran.r-project.org/bin/windows/base/> [en anglais seulement].
- Cliquez sur « Download R #.#.# for Windows » [Télécharger R #.#.# pour Windows]. Veuillez noter que la version offerte peut différer de celle disponible au moment de la rédaction du présent document, mais assurez-vous d'installer la version R 4.0.5 (ou une version ultérieure).



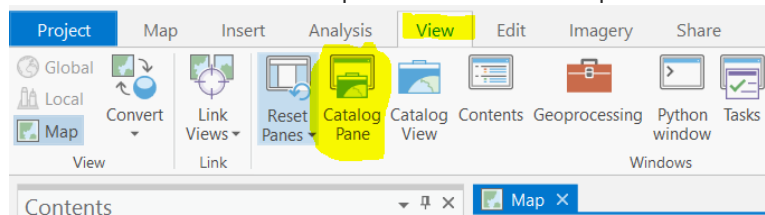
- Décompressez le dossier et suivez les directives d'installation. Assurez-vous d'installer le fichier de 32 bits et les fichiers de 64 bits (option par défaut).

- **Téléchargement et installation du pont R-ArcGIS pour ArcMap**

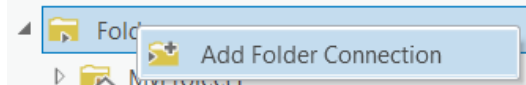
- Ouvrez votre navigateur Web et rendez-vous sur la page : <https://github.com/R-ArcGIS/r-bridge-install> [en anglais seulement].
- Suivez les directives ci-dessous ou passez en revue les directives affichées sur le lien ci-dessus si vous ne savez plus où vous en êtes.
- Téléchargez le référentiel disponible sous forme de dossier zip et extrayez les fichiers.



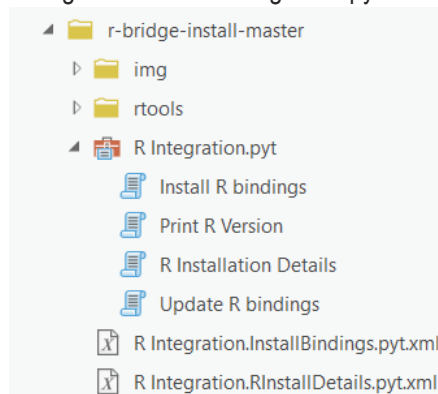
- Décompressez le dossier dans un répertoire local auquel ArcGIS Pro peut accéder.
 - r-bridge-install-master.zip
- Démarrez un nouveau projet vierge (vide) dans ArcGIS.
- Dans ArcGIS, ouvrez le volet « Catalog » [Catalogue], puis le dossier « Connections » [Connexions]. Cliquez ensuite sur « Connect to a New Folder » [Se connecter à un nouveau dossier] et sélectionnez le dossier dans lequel vous avez extrait le pont R-ArcGIS (r-arcgis-bridge).



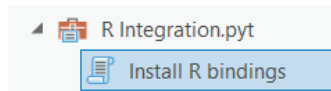
- Ajoutez le dossier « r-bridge-install-master » en tant que nouvelle connexion au dossier.



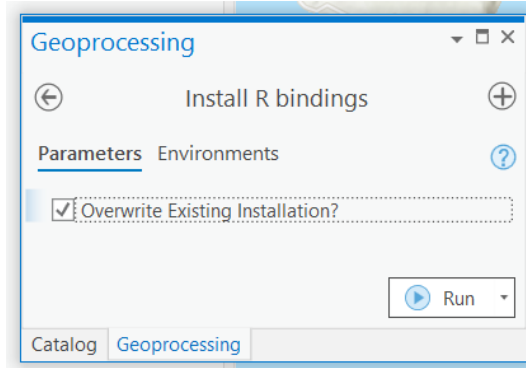
- Développez la boîte à outils rouge intitulée « R Integration.pyt ».



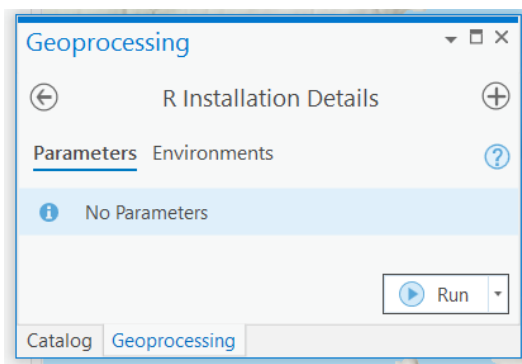
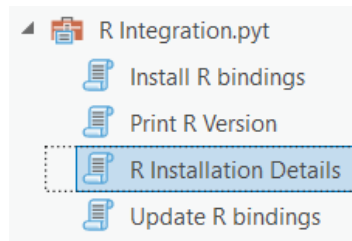
- Cliquez ensuite sur le parchemin bleu intitulé « Install R bindings ».



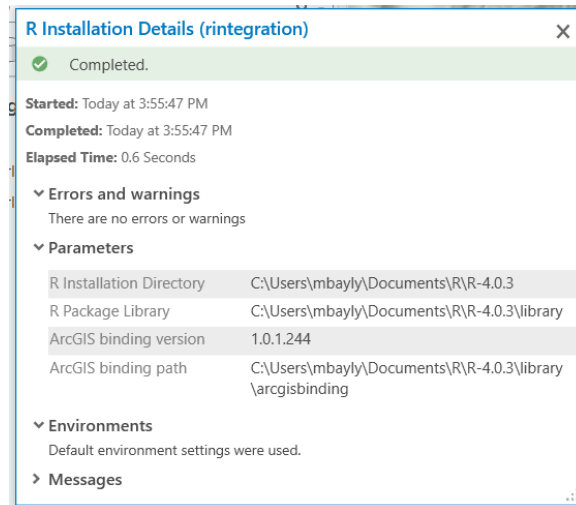
- Cochez la case « Overwrite existing installation? » [Écraser la copie existante?] (recommandé).
- Cliquez ensuite sur le bouton « Run » [Exécuter]. *Il est normal que certains messages d'avertissement s'affichent à l'écran .*



- *** Si l'installation ci-dessus échoue (message d'erreur rouge), essayez d'exécuter ArcGIS Pro en mode administrateur; assurez-vous que vous pouvez accéder à R sans le logiciel d'ESRI et que vous disposez des autorisations de lecture et d'écriture sur votre répertoire d'installation. Passez en revue les détails supplémentaires qui figurent sur la page « readme » [lisez-moi] ici : <https://github.com/R-ArcGIS/r-bridge-install> [en anglais seulement].***
- (Facultatif) Vérifiez que l'installation a réussi en revenant à la boîte à outils « R Integration.pyt » et cliquez sur « R installation details » [Détails de l'installation de R] pour afficher les détails de l'installation. Si vous rencontrez des problèmes après l'installation et la mise à jour du logiciel ArcGIS Pro, essayez de réinstaller la boîte à outils côté client.



- (Facultatif) Un encadré comme celui-ci devrait s'afficher à l'écran (veuillez noter que les numéros de version peuvent différer).

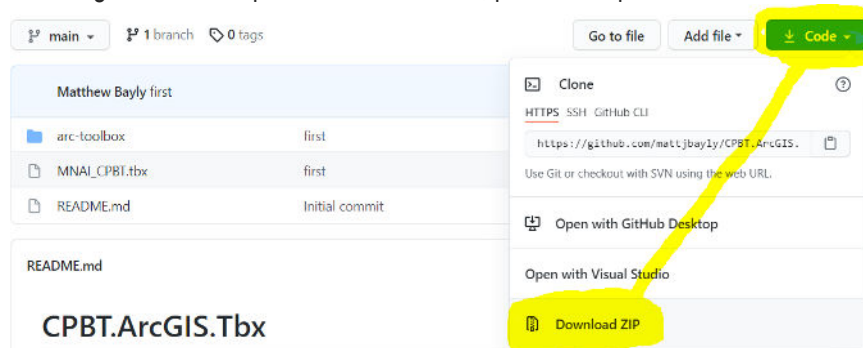


- **Téléchargement de la boîte à outils ArcGIS pour la protection et le bénéfice des zones côtières de la MNAI (MNAI.CPBT)**

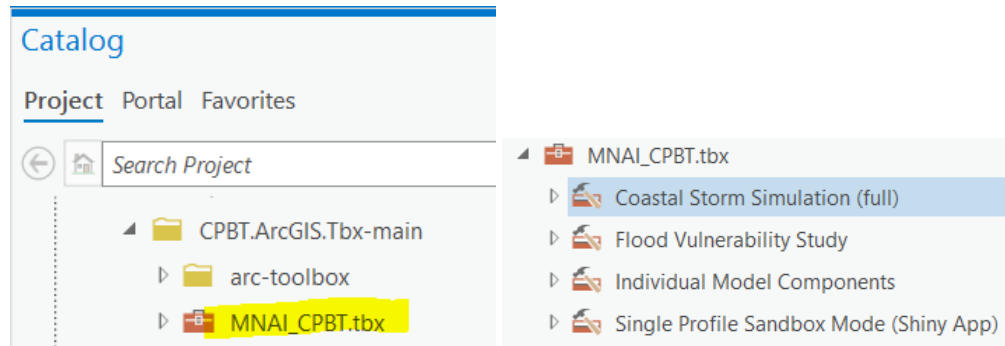
- Ouvrez votre navigateur Web et rendez-vous sur la page de téléchargement du projet, puis téléchargez la boîte à outils : <https://github.com/essatech/CPBT.ArcGIS.Tbx> [en anglais seulement].

*** Si ce lien ne fonctionne pas, veuillez communiquer avec la MNAI pour obtenir une copie du fichier zip.

- Cliquez sur le bouton vert « Code », puis sur « Download ZIP » [Télécharger le fichier zip].
- Téléchargez le fichier zip sur votre ordinateur, puis décompressez-le.

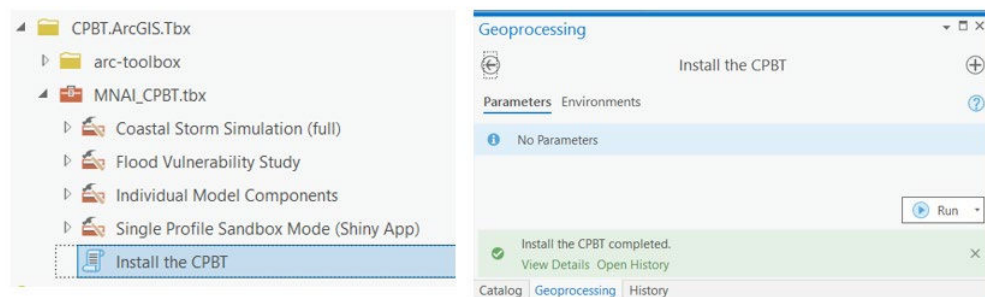


- Revenez à ArcGIS Pro, puis ouvrez le volet « Catalog » [Catalogue]. Faites un clic droit sur l'icône de dossier et cliquez sur « Refresh » [Actualiser]. Cliquez sur « Add folder connection » [Ajouter une connexion au dossier], puis ajoutez le dossier décompressé « CPBT.ArcGIS.Tbx » que vous venez de télécharger (il s'agit de la boîte à outils côtière pour ESRI).



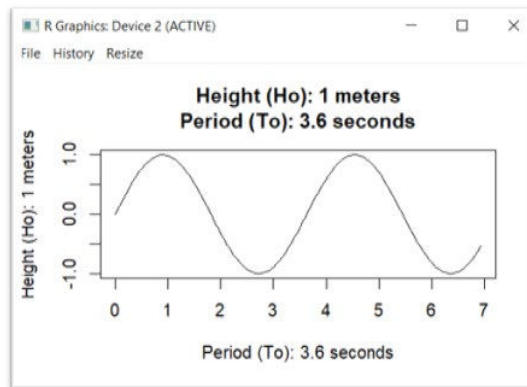
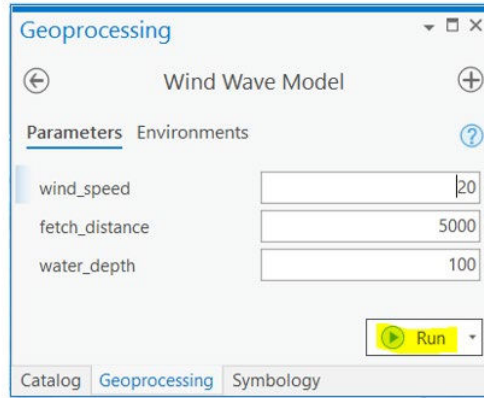
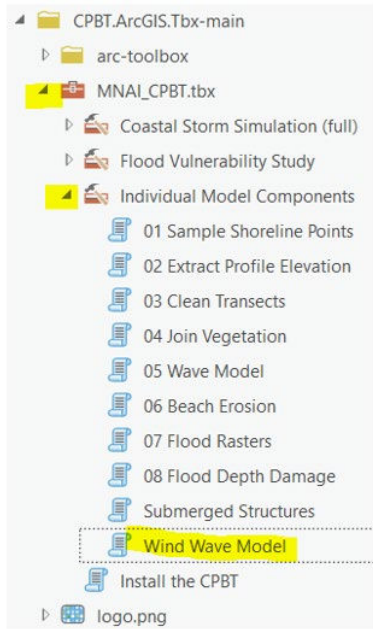
- **Installation de la trousse MNAI.CPBT**

- Dans le volet « Catalog » [Catalogue] de la boîte à outils « CPBT.ArcGIS.Tbx », vous devriez voir une icône de parchemin bleu (outil) intitulée « Install the CPBT » [Installer la trousse CPBT]. Cliquez sur cette icône et exécutez cet outil.
- Vous démarrerez ainsi l'installation (cette étape peut prendre de 1 à 2 minutes). Attendez la fin de cette étape afin de vous assurer que l'installation est terminée. Votre écran devrait ressembler à celui-ci :



- *** Si l'étape d'installation ci-dessous échoue, vous pouvez installer manuellement la boîte à outils en ouvrant R (sans ArcGIS) et en saisissant les lignes de code suivantes dans la console de R : `install.packages("remotes"); library(remotes); remotes::install_github("essatech/MNAI.CPBT", upgrade = 'always', force = TRUE)`. Assurez-vous de fermer tous les autres programmes et essayez d'ouvrir R en mode administrateur.

Félicitations! Vous êtes maintenant prêt à modéliser les côtes! Comme vérification rapide, vous pouvez essayer d'ouvrir le calculateur de la houle du vent (le « Wind Wave Model ») juste pour vous assurer que tout fonctionne correctement (facultatif).



Renseignements sur les fonctionnalités :



Boîte à outils « Coastal Storm Simulation » [Simulation de tempête côtière]

Cette boîte à outils permet une analyse complète de la BOC le long d'un rivage pour une simulation de tempête donnée. Une fois que les utilisateurs ont cliqué sur « Run » [Exécuter] avec tous les arguments d'entrée nécessaires, un dossier contenant les résultats obtenus sera créé dans un répertoire précis. Ce dossier contiendra tous les résultats, lesquels seront affichés sur une seule page HTML pour une visualisation et une interprétation des plus simples. Cette boîte à outils est considérée comme étant le modèle complet puisque tous les composants, des données brutes à l'évaluation économique, sont regroupés en une seule fonction.



Arguments de la boîte à outils « Coastal Storm Simulation » [Simulation de tempête côtière]

simulation_name [nom_simulation] : Nom de la simulation pour la tempête et les conditions actuelles.

Output Folder [dossier de sortie] : Répertoire de sortie local pour les résultats de simulation de la BOC. *Un dossier de sortie.*

Coastline [trait de côte] : Couche spatiale d'entités linéaires. Segment spatial et linéaire correspondant au trait de côte pour la modélisation. Le trait de côte doit tracer approximativement le bord de l'eau le long de la plage au niveau moyen de la mer. Il est recommandé de garder la géométrie du trait de côte simple et d'éviter les angles saillants.

ShorelinePointDist [DistPointsLittoral] : Valeur numérique. Espacement entre les lignes de profil transversales (mètres). Veuillez noter qu'il est recommandé de garder ce nombre aussi grand que possible pour votre zone d'intérêt afin d'accélérer le temps de traitement. Le modèle ne doit pas avoir plus de 20 à 30 profils transversaux. En règle générale, pour définir l'espacement entre les profils transversaux, l'on recommande de diviser la longueur du trait de côte (en mètres) par 20. De plus, la distribution des profils transversaux devrait tenir compte des changements quant à l'orientation de la côte.

BufferDist [DistTampon] : Valeur numérique. Distance de recherche de la zone tampon (mètres) utilisée pour déterminer l'angle perpendiculaire de chaque ligne de profil transversale à partir du trait de côte (les valeurs recommandées sont de 10 à 50 mètres). Les utilisateurs ne devraient pas avoir besoin de modifier les paramètres par défaut, à moins que les profils transversaux ne soient irréguliers et non perpendiculaires au trait de côte.

RadLineDist [DistLigneRad] : Valeur numérique. Distance de ligne radiale (en kilomètres) des profils transversaux. Cette valeur détermine à quelle distance au large (et sur la côte) les profils transversaux doivent s'étendre (les valeurs recommandées sont de un à trois kilomètres).

TopoBathy : Modèle altimétrique numérique topographique et bathymétrique de classe « RasterLayer » [CoucheMatricielle].

SmoothParameter [ParamètreLissage] : Valeur numérique. Longueur de la fenêtre de lissage en pourcentage de la longueur totale du profil transversal (de 0 à 100). Une valeur de zéro signifie qu'il n'y a pas de lissage (les valeurs recommandées sont de 5 à 20). Si les vagues affichent un comportement étrange et irréaliste ou que leur hauteur augmente vers le rivage, essayez d'ajuster cette valeur de 1 à 30 %.

MaxOnshoreDist [DistMaxCôte] : Valeur numérique. Distance maximale de ligne radiale sur la côte en kilomètres. Veuillez noter que dans certains cas, l'étendue de la côte doit être tronquée de manière significative pour le modèle d'évolution des vagues. Il est recommandé de maintenir cette valeur en dessous d'un kilomètre.

Trimline [LigneCoupure] : (Facultatif) Ligne de coupure de l'arrière-plage de la classe d'entités spatiales linéaires utilisée pour restreindre l'étendue des profils transversaux sur la côte. Par défaut, aucune valeur n'est inscrite dans le champ (champ vide – fonction non utilisée). Si elle est utilisée, la ligne de coupure d'arrière-plage doit être parallèle au trait de côte, mais en retrait sur la terre ferme. Une ligne de coupure d'arrière-plage peut être requise dans les cas où des profils transversaux sont générés le long du trait de côte d'une péninsule étroite ou dans les cas où une lagune se trouve sur l'arrière-plage. Pour ajouter une ligne de coupure de l'arrière-plage, une simple classe d'entités linéaires devrait être utilisée.

Vegetation [Végétation] : Classe de polygones de couche d'entités de parcelles de végétation submergées. Assurez-vous que la géométrie ne présente pas d'erreur, qu'il n'y a pas de polygones qui se chevauchent et que les champs attributaires sont complets.

hc – Valeur numérique, hauteur de la lame en mètres.

N – Valeur numérique, densité des pousses (nombre de pousses par mètre carré).

d – Valeur numérique, largeur de la lame en mètres (p. ex., 0,015).

Type – Saisie de caractères, soit « zostère », « varech » ou « marais ».

Cd – Valeur numérique, coefficient de traînée conformément à Guannel et coll., 2015. En cas de doute, utilisez une valeur de 0,1 pour la zostère.

mean_high_water [pleine_mer_moyenne] : Valeur numérique. Élévation moyenne des eaux à marée haute au-dessus du zéro des cartes (mètres) dont la référence est le modèle altimétrique numérique (MAN) topographique et bathymétrique.

mean_sea_level [niveau_moyen_mer] : Valeur numérique. Élévation moyenne de l'eau à marée moyenne au-dessus du zéro des cartes (mètres) dont la référence est le modèle altimétrique numérique (MAN) topographique et bathymétrique.

tide_during_storm [marée_de_tempête] : Valeur numérique. Élévation de la marée en mètres pendant une tempête dont la référence est le zéro des cartes (mètres) du modèle altimétrique numérique (MAN) topographique et bathymétrique.

surge_elevation [élévation_ondes] : Valeur numérique. Élévation supplémentaire (en mètres) attribuable aux ondes pendant une tempête.

sea_level_rise [hausse_niveau_mer] : Valeur numérique. Élévation supplémentaire attribuable à l'augmentation du niveau de la mer à l'échelle locale (en mètres) pendant une tempête.

Ho : Hauteur initiale (au départ) des vagues au large en mètres.

To : Période initiale (au départ) des vagues au large en secondes.

storm_duration [durée_tempête] : Valeur numérique. Durée de la tempête en heures.

BeachAttributes [AttributsPlage] : Couche de classe d'entités spatiales polygonales d'attributs de l'estran.

Des polygones doivent être dessinés autour de chaque plage et caractérisés avec les attributs suivants :

slope [pente] : Pente de l'estran correspondant au rapport de déclivité (min. : 0,02; max. : 0,20).

W : Valeur numérique. Largeur de la berme en mètres (W).

B : Valeur numérique. Hauteur de la berme en mètres (B).

D : Valeur numérique. Hauteur de la dune (D) en mètres.

sediment [sédiment] : Valeur numérique. Taille des grains de sédiments en millimètres (sediment) (min. : 0,12 mm pour le sable fin; max. : 0,15 mm pour le sable grossier).

V : Valeur numérique. Valeur de la plage par mètre carré en dollars (V).

Tr : Valeur numérique. Période de récurrence (fréquence) de la tempête simulée (en années).

PropValue [ValeurProp] : Valeur générale du terrain en dollars par mètre carré de plage (fonction non utilisée si des valeurs de propriété sont fournies pour le polygone de plage).

disc [actu] : Taux d'actualisation annuel de la valorisation sur l'horizon temporel (0 à 1).

TimeHoriz [HorizTemp] : Horizon temporel (en années) pour l'évaluation cumulative à long terme compte tenu de la fréquence de récurrence des tempêtes. En règle générale, des horizons temporels de 100 ans sont utilisés.

Bldgs [Bâtiments] : Polygone spatial d'empreintes de bâtiments en tant que classe d'entités. Attributs obligatoires :

1. DDID : Valeur numérique. Identificateurs des courbes profondeur-dommages de l'outil HAZUS des États-Unis pour chaque structure (nom de la colonne : DDID; p. ex., RES1-147).
2. VAL : Valeur numérique. Estimations du coût de la valeur de remplacement pour chaque structure en dollars (VAL).

Contenu du dossier de sortie : Une fois la fonction exécutée, ouvrez le répertoire du dossier de sortie. Le dossier de sortie contiendra un fichier intitulé « SimulationResults.html and www ». Ouvrez le fichier HTML pour consulter le rapport sommaire. Les données spatiales exportées se trouvent dans le chemin d'accès « ./www/data ». Les profils transversaux individuels sont exportés vers « www\data\profile_csv ».



Boîte à outils « Individual Model Components » [Composants de modèle individuels]

Les composants de modèle individuels forment un sous-ensemble de fonctions particulières visant à aider les utilisateurs avec des applications spéciales ou des extensions personnalisées pour leurs communautés. De nombreux utilisateurs n'auront peut-être pas besoin de la simulation complète des tempêtes côtières et du rapport des résultats, mais que d'un sous-modèle précis du cadre d'évaluation. Cette boîte à outils isole des fonctions précises pour faciliter l'utilisation de certaines applications. Elle constitue également un bon moyen pour mieux connaître la BOC, en favorisant la compréhension du fonctionnement de chacun de ses sous-modèles.



Wind Wave Calculator [Calculateur de la houle du vent]

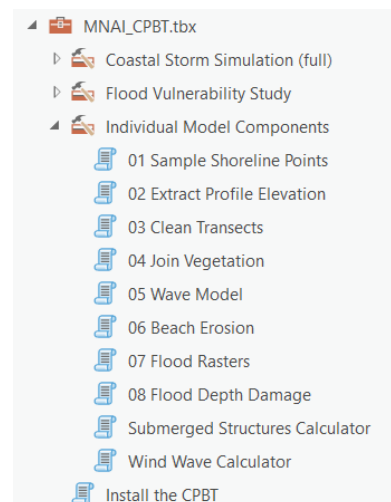
Cette fonction est un simple calculateur permettant d'estimer la hauteur et la période des vagues à partir de la distance de fetch, de la vitesse du vent et de la profondeur moyenne. La BOC utilise la hauteur et la période des vagues plutôt que la vitesse du vent et le fetch pour les simulations de tempête. Il est peu probable que les utilisateurs disposent d'estimations précises de la hauteur et de la période des vagues locales pour leur zone d'intérêt. Les vitesses du vent sont plus susceptibles d'être indiquées dans les archives locales et peuvent donc être utilisées pour estimer les paramètres des vagues. Nous invitons les utilisateurs à se servir des valeurs des conditions météorologiques maritimes d'Environnement Canada (https://meteo.gc.ca/mainmenu/marine_menu_f.html) et à utiliser des applications comme Windy (<https://www.windy.com/> [en anglais seulement]), lorsque possible. Arguments pour le modèle de la houle du vent :

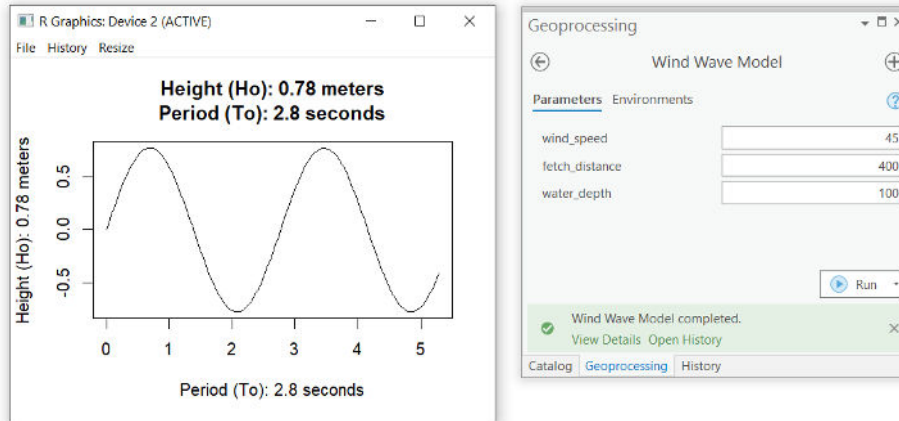
wind_speed [vitesse_vent] : Vitesse du vent en mètres par seconde.

fetch_distance [distance_fetch] : Distance de fetch en mètres.

water_depth [profondeur_eau] : Profondeur moyenne de l'eau au large en mètres.

Cette fonction renvoie une estimation de la hauteur et de la période des vagues à la console. Veuillez noter qu'elle n'exporte aucune donnée.





Submerged Structures Calculator [Calculateur pour les structures submergées]

Simple calculateur permettant d'estimer la diminution de la hauteur des vagues lorsqu'elles passent au-dessus d'une structure submergée. Le modèle des structures submergées est une évaluation très simplifiée de ces caractéristiques. Les utilisateurs doivent saisir la hauteur des vagues, la période des vagues et la profondeur de l'eau à l'emplacement de la structure sous forme de valeurs numériques, puis le modèle fournit en retour une fraction correspondant à la diminution de la hauteur des vagues attribuable à l'influence des structures. La hauteur de vague finale après son passage au-dessus d'une structure submergée est indiquée sous forme de fraction (0 à 1) de sa hauteur d'origine. Cette fonction n'utilise pas de données spatiales.

1. **Hi** : Hauteur initiale de la vague (m) à la marge d'une structure submergée du côté de la mer.
2. **To** : Période initiale des vagues (s) à la marge d'une structure submergée du côté de la mer.
3. **hi** : Profondeur totale de l'eau (m) à la marge d'une structure submergée du côté de la mer.
4. **hc** : Hauteur d'une structure submergée (m) au-dessus du fond marin environnant.
5. **Cwidth** : Largeur de la crête (m) au-dessus de la structure submergée.
6. **Bwidth** : Largeur de la base (m) au pied de la structure submergée.
7. **Résultats** : La hauteur de vague finale après son passage au-dessus d'une structure submergée est indiquée sous forme de fraction (0 à 1) de sa hauteur d'origine (p. ex., une valeur de 0,6 indiquerait une réduction de 40 % de la hauteur de la vague attribuable à la structure submergée).

Courbes profondeur-dommages de référence

Veuillez noter qu'il existe plus de 10 000 courbes profondeur-dommages uniques dans la base de données d'origine HAZUS parmi lesquelles choisir pour chaque structure. Ces courbes sont intégrées à l'outil pour les utilisateurs qui souhaitent explorer ce degré de précision (p. ex., essayer différentes courbes profondeur-dommages pour les cabinets d'avocats par rapport aux cabinets comptables). Cependant, l'on s'attend à ce que la plupart des utilisateurs choisissent simplement entre 1 à 4 courbes pour caractériser les structures situées dans leur zone. Le tableau E-1 présente les identificateurs des courbes les plus courants et utiles :

Tableau E-1. Identificateurs des courbes profondeur-dommages de référence (DDID) de l'outil HAZUS pour la couche d'empreinte de bâtiment.

DDID	Description
RES1_151	un étage, structure, eau salée, courte durée
RES1_147	un étage, dalle de fondation, structure, eau salée, court
RES1_167	deux étages, structure, eau salée, courte durée
RES1_163	deux étages, dalle de fondation, structure, eau salée, court
RES2_195	maison mobile, structure, eau salée, courte durée

RES2_199	maison mobile, structure, eau salée, courte durée
COM1_307	station-service, structure, eau salée, courte durée
COM1_312	grande épicerie, structure, eau salée, courte durée
COM1_317	épicerie de quartier, structure, eau salée, courte durée
COM1_322	quincaillerie, structure, eau salée, courte durée
COM1_327	magasin d'alcool, structure, eau salée, courte durée
COM1_300	grand magasin, structure, eau composite et durée
COM1_292	dépanneurs, structure, eau salée, courte durée
COM1_297	grand magasin, structure, eau salée, courte durée
COM2_365	entrepôt, structure, eau salée, courte durée
COM3_390	garage, structure, eau salée, courte durée
COM3_400	salon de beauté, structure, eau salée, courte durée



Sous-modèle 1. Sample Shoreline Points [Points d'échantillonnage du littoral]

Cette fonction procède à l'échantillonnage de points le long du littoral d'une zone d'intérêt définie, puis génère des lignes de profil transversales perpendiculaires. Une section du littoral est fournie par l'utilisateur (qui trace manuellement la hauteur de marée moyenne ou la numérise) et des points sont échantillonnés le long du littoral à des intervalles de distance spécifiés. Ces points sont ensuite utilisés pour générer des transects perpendiculaires au littoral.

Arguments :

1. **Coastline [trait de côte]** : Ligne spatiale (gardez la ligne plutôt simple).
2. **ShorelinePointDist [DistPointsLittoral]** : Espacement entre les lignes de profil transversales (mètres). Veuillez noter qu'il est recommandé de garder ce nombre aussi grand que possible pour votre zone d'intérêt afin d'accélérer le temps de traitement.
3. **BufferDist [DistTampon]** : Distance de recherche de la zone tampon (mètres) utilisée pour déterminer l'angle perpendiculaire de chaque ligne de profil transversale à partir du trait de côte.
4. **RadLineDist [DistLigneRad]** : Valeur numérique. Distance de ligne radiale (kilomètres) des profils transversaux. Cette valeur détermine à quelle distance au large (et sur la côte) les profils transversaux doivent s'étendre (les valeurs recommandées sont de un à trois kilomètres).
5. *Ce sous-modèle fournit les lignes de profil transversales au panneau de couche.*



Sous-modèle 2. Extract Profile Elevations [Extraction des valeurs d'élévation des profils]

Cette fonction extrait les valeurs d'élévation d'un modèle altimétrique numérique (MAN) topographique et bathymétrique sous-jacent pour les profils transversaux générés au moyen de la fonction « Points d'échantillonnage du littoral ». Elle extrait les valeurs d'élévation le long des lignes de profil transversales. Arguments :

1. **cross_shore_profiles [profils transversaux]** : Lignes de profil transversales établies au moyen du sous-modèle « Sample Shoreline Points » [Points d'échantillonnage du littoral].
2. **TopoBathy** : Modèle altimétrique numérique topographique et bathymétrique de classe « RasterLayer » [CoucheMatricielle].
3. *Ce sous-modèle fournit des points spatiaux accompagnés de valeurs d'élévation le long de chaque ligne de profil transversale.*



Sous-modèle 3. Clean Transects [Transects épurés]

Fonction auxiliaire permettant d'épurer et de vérifier les profils transversaux, en plus de veiller à l'assurance de la qualité. Cette fonction utilitaire nettoie les transects et supprime les anomalies susceptibles de compromettre le modèle d'évolution des vagues. Elle veille aussi à ce que les transects pointent dans la bonne direction et corrige leur orientation, au besoin.

1. **point_elev [point_élev]** : Objet spatial ponctuel des élévations transversales tiré du sous-modèle « Extract Profile Elevations » [Extraction des valeurs d'élévation des profils].
2. **RadLineDist [DistLigneRad]** : Distance maximale de ligne radiale (sur la côte et au large) en kilomètres des profils transversaux. Veuillez noter que cette valeur doit être la même que celle utilisée dans le sous-modèle « Sample Shoreline Points » [Points d'échantillonnage du littoral].
3. **MaxOnshoreDist [DistMaxCôte]** : Valeur numérique. Distance maximale de ligne radiale sur la côte en kilomètres. Veuillez noter que dans certains cas, l'étendue de la côte doit être tronquée de manière significative pour le modèle d'évolution des vagues. Il est recommandé de maintenir cette valeur en dessous d'un kilomètre. Si les transects se perdent, nous suggérons de réduire ce nombre à près de zéro.
4. **Trim line [Ligne de coupure]** : Ligne de coupure de l'arrière-plage facultative utilisée pour restreindre l'étendue des profils transversaux sur la côte. La valeur par défaut est S.O. (fonction non utilisée). Si elle est utilisée, la ligne de coupure d'arrière-plage doit être parallèle au trait de côte, mais en retrait sur la terre ferme. Une ligne de coupure d'arrière-plage peut être requise dans les cas où des profils transversaux sont générés le long du trait de côte d'une péninsule étroite ou dans les cas où une lagune se trouve sur l'arrière-plage. Une ligne de coupure d'arrière-plage devrait être fournie en tant que simple objet de la classe d'entités linéaires.
5. *Ce sous-modèle fournit des points spatiaux transversaux finaux le long de chaque ligne de profil transversale à des fins de modélisation.*



Sous-modèle 4. Join Vegetation [Ajouter la végétation]

Ensemble de données épuré pour les profils transversaux contenant les données sur la végétation. Notez que cette fonction doit être exécutée avant celles des modèles d'évolution des vagues et de l'érosion. Même si l'étendue visée par votre projet ne comprend aucune végétation, l'exécution de cette fonction demeure nécessaire pour formater la trame de données avec les colonnes appropriées.

1. **pt_exp** : Objet spatial ponctuel des élévations transversales tiré du sous-modèle « Clean Transects » [Transects épurés].
2. **Vegetation [Végétation]** : Classe de polygones de couche d'entités de parcelles de végétation submergées. Assurez-vous que la géométrie ne présente pas d'erreur, qu'il n'y a pas de polygones qui se chevauchent et que les champs attributaires sont complets. S'il n'y a pas de végétation submergée, veuillez simplement laisser ce champ vide.
 - a. hc – Valeur numérique, hauteur de la lame en mètres.
 - b. N – Valeur numérique, densité des pousses (nombre de pousses par mètre carré).
 - c. d – Valeur numérique, largeur de la lame en mètres.
 - d. Type – Saisie de caractères, soit « zostère », « varech » ou « marais ».
 - e. Cd – Valeur numérique, coefficient de traînée conformément à Guannel et coll., 2015. En cas de doute, utilisez une valeur de 0,1 pour la zostère.
3. *Ce sous-modèle fournit une classe d'entités spatiales ponctuelles mise à jour avec des attributs correspondant aux données de végétation. Le projet est maintenant prêt pour les modèles d'évolution des vagues et d'érosion.*



Sous-modèle 5. Wave Model [Modèle de vagues]

Cette fonction modélise l'évolution et la propagation des vagues le long d'un profil transversal selon des paramètres d'entrée sur les tempêtes.

Le modèle d'atténuation des vagues a initialement été mis au point par Greg Guannel dans le cadre de la composante côtière d'InVEST du Natural Capital Project (<https://invest-userguide.readthedocs.io/> [en anglais seulement]). Cette fonction modélise l'atténuation des vagues le long d'un profil d'élévation transversale.

1. **dat** : Classe d'entités spatiales ponctuelles des profils transversaux tirée du sous-modèle 4 « Join Vegetation » [Ajouter la végétation].
2. **total_wsl_adj** : Niveau global de la surface de l'eau au-dessus du zéro des cartes. Rappelons que le zéro des cartes et les MAN topographiques et bathymétriques ont été conçus de manière à ce que la valeur « 0 »

correspondre à la basse mer. Il est donc suggéré de régler cette valeur au niveau moyen de la mer au-dessus du zéro des cartes ou à une élévation de marée d'intérêt précise.

3. **Ho** : Valeur numérique. Hauteur initiale des vagues au large en mètres.
4. **To** : Valeur numérique. Période initiale des vagues au large en secondes.
5. **tran_force** : Valeur booléenne (VRAI/FAUX). Le transect doit-il être forcé même si des codes d'erreur persistent?
6. **print_debug** : Valeur booléenne (VRAI/FAUX). Activation du mode de débogage des fonctions.
7. *Objet spatial ponctuel mis à jour avec des données sur les vagues le long de chaque profil transversal enregistré dans le panneau de couche.*

Cette fonction modélise l'atténuation des vagues le long d'un profil d'élévation transversale. Les paramètres d'entrée comprennent un ensemble de données prétraité sur les profils transversaux (dat) mis au point grâce à la séquence de fonctions illustrée dans l'exemple, le niveau global de la surface de l'eau calme (total_wsl_adj) au-dessus du zéro des cartes, la hauteur des vagues (Ho) et la période des vagues (To). Après avoir été exécutée, cette fonction complète l'ensemble de données d'entrée d'origine (dat) avec les attributs de données suivants : dénivellation de l'eau due aux vagues avec végétation (Eta), dénivellation de l'eau due aux vagues sans végétation (Etas), vitesse orbitale au fond (Ubot), hauteur des vagues avec végétation (H_veg), hauteur des vagues sans végétation (H_noveg) et dissipation des vagues (Dis). Si un message indiquant « Transect failed — bad sort order » [Échec du transect – mauvais ordre de tri] s'affiche à l'écran, nous vous suggérons de diminuer la valeur inscrite dans le champ « MaxOnshoreDist » [DistMaxCôte], d'ajouter une ligne de coupure ou de diminuer le niveau d'eau.



Sous-modèle 6. Beach Erosion [Érosion de la plage]

Cette fonction s'appuie sur la remontée estimée par le modèle de vagues et les caractéristiques de l'estran tirées des polygones de plage pour prédire le recul du littoral et fournir des estimations des indices d'érosion.

1. **BeachAttributes [AttributsPlage]** : Polygones spatiaux dessinés autour de chaque section de plage (voir les champs d'attributs obligatoires pour l'estran de la plage).
2. **dat** : Objet de points spatiaux des profils transversaux tiré du sous-modèle « WaveModel » [ModèleDeVagues].
3. **Ho** : Hauteur initiale des vagues au large en mètres.
4. **To** : Période initiale des vagues au large en secondes.
5. **total_wsl_adj** : Niveau global de la surface de l'eau au-dessus du zéro des cartes. Rappelons que le zéro des cartes et les MAN topographiques et bathymétriques ont été conçus de manière à ce que la valeur « 0 » corresponde à la basse mer. Il est recommandé d'exécuter le modèle d'érosion avec le niveau moyen de la mer.
6. **storm_duration [durée tempête]** : Valeur numérique. Durée de la tempête en heures. Une plage de six à douze heures est généralement représentative, mais une durée de six heures peut être utilisée comme valeur par défaut préliminaire.
7. **Longshore [Bande littorale]** : La distance en mètres de la bande littorale doit correspondre à celle inscrite dans le champ ShorelinePointDist [DistPointsLittoral] du sous-modèle « Sample Shoreline Points » [Points d'échantillonnage du littoral].
8. **PropValue [ValeurProp]** : Valeur générale du terrain en dollars par mètre carré de plage. (Fonction non utilisée si des valeurs de propriété sont fournies pour le polygone de plage.)
9. **Tr** : Valeur numérique. Période de récurrence (fréquence) de la tempête simulée (en années).
10. **disc [actu]** : Taux d'actualisation annuel de la valorisation sur l'horizon temporel (0 à 1).
11. **TimeHoriz [HorizTemp]** : Horizon temporel (en années) pour l'évaluation cumulative à long terme compte tenu de la fréquence de récurrence des tempêtes. En règle générale, des horizons temporels de 100 ans sont utilisés.
12. **mean_sea_level [niveau_moyen_mer]** : Élévation moyenne du niveau de la mer en mètres au-dessus du zéro des cartes.
13. **mean_high_water [pleine_mer_moyenne]** : Élévation moyenne du niveau de la pleine mer en mètres au-dessus du zéro des cartes.

14. Ce sous-modèle fournit un tableau contenant des estimations de l'érosion pour chaque profil transversal. La valeur du champ « *_NoVeg* » est estimée en l'absence de végétation submergée, tandis que celle du champ « *_Veg* » est estimée en présence de végétation submergée. Envisagez d'utiliser la valeur de la pleine mer supérieure, grande marée (PMSGM) pour cette entrée.

Le modèle d'érosion côtière a initialement été mis au point par Greg Guannel dans le cadre de la composante côtière d'InVEST du Natural Capital Project. Cette fonction estime l'érosion latérale de la plage et la remontée des vagues pour chaque profil transversal. Les paramètres de l'estran (largeur et hauteur de la berme, etc.) sont fournis sous forme de polygones spatiaux pour chaque section de plage. Un lien est ensuite établi entre ceux-ci et des profils transversaux sous-jacents pour les estimations de l'érosion. L'objet obtenu est une trame de données présentant les estimations de l'érosion pour chaque profil transversal.

1. `retreat_ [recul_]` : Distance de recul latéral de la plage en mètres attribuable à la tempête (événement de tempête unique).
2. `runup_ [remontée_]` : Élévation verticale de la remontée des vagues au sein d'un profil.
3. `damage_ [dommages_]` : Dommages totaux entraînés par l'érosion au sein d'une section d'un profil transversal et attribuables à une perte de plage en raison du recul et à la période de récurrence au courant de l'horizon temporel.
4. `transect_id [id_transect]` : Identificateur du transect d'un profil transversal (pour établir un lien avec des ensembles de données précédents).
5. `area_loss_ [perte_surface_]` : Surface de plage perdue en mètres carrés (m²) en raison de la tempête (événement de tempête unique).
6. `vol_loss_ [perte_vol_]` : Volume de plage perdu en mètres cubes (m³) en raison de la tempête (événement de tempête unique).
7. `retreat_pct_ [recul_pct]` : Pourcentage de recul de la plage (distance de recul latéral divisée par la largeur de la berme).
8. `retreat_index_ [indice_recul_]` : Score de l'indice de recul de la plage (1 à 5).



Sous-modèle 7. Flood Rasters [Matrices d'inondation]

Cette fonction génère des surfaces de matrices d'inondation et de profondeur d'eau à partir des contours de l'inondation et de l'événement de tempête.

1. **TopoBathy** : Modèle altimétrique numérique topographique et bathymétrique de classe « RasterLayer » [CoucheMatricielle].
2. **mean_high_water [pleine_mer_moyenne]** : Niveau moyen de la marée de pleine mer au-dessus du zéro des cartes.
3. **total_wsl_adj** : Niveau global de la surface de l'eau au-dessus du zéro des cartes. Rappelons que le zéro des cartes et les MAN topographiques et bathymétriques ont été conçus de manière à ce que la valeur « 0 » corresponde à la basse mer. Il est donc suggéré de régler cette valeur au niveau moyen de la mer au-dessus du zéro des cartes ou à une élévation de marée d'intérêt précise.
4. **erosion [érosion]** : Objet sommaire d'érosion tiré du sous-modèle 6 « Beach Erosion » [Érosion de la plage].
5. Ce sous-modèle fournit des matrices d'inondation et des contours d'inondation au panneau de couche.



Sous-modèle 8. Flood Depth Damage [Profondeur-dommages des inondations]

Cette fonction génère des estimations des dommages causés par les inondations pour une communauté en fonction de la remontée locale des vagues modélisée pour chaque profil et du niveau d'eau statique.

(Les données des fonctions ci-dessus sont transmises dans les champs d'arguments supplémentaires.)

1. **Bldgs [Bâtiments]** : Objet spatial polygonal des empreintes des structures de bâtiment. Cet ensemble de données doit comporter les identificateurs des courbes profondeur-dommages (DDID) de l'outil HAZUS des États-Unis pour chaque structure, ainsi que des estimations du coût de la valeur de remplacement pour chaque structure en dollars (VAL). Veuillez consulter la section « data(Bldgs) » [données(Bâtiments)] pour obtenir un exemple

d'entrées.

2. *Résultats : Résumés des coûts des dommages causés par les inondations pour l'événement de tempête avec le nombre de structures inondées, la profondeur moyenne de l'inondation et le coût total des dommages. Les valeurs sont fournies pour les scénarios avec et sans végétation submergée.*
 1. nStructure : Nombre de structures inondées.
 2. MedianDepth [ProfondeurMédiane] : Profondeur médiane de la structure inondée.
 3. MaxDepth [ProfondeurMax] : Profondeur d'inondation maximale pour l'ensemble des structures.
 4. Damage [dommages] : Coût total des dommages structurels causés par l'inondation en dollars.



Boîte à outils « Flood Vulnerability Study » [Étude de la vulnérabilité aux inondations]



Flood Vulnerability Study [Étude de la vulnérabilité aux inondations]

La « vulnérabilité aux inondations » est un outil simple à grande capacité de traitement qui permet aux communautés de mieux comprendre leur vulnérabilité aux inondations côtières. Cet outil fonctionne en augmentant graduellement le niveau d'eau selon un taux déterminé, puis en recalculant le coût des dommages structurels causés par une inondation à ce niveau d'eau. Les utilisateurs définissent une plage d'élévation (p. ex., de zéro à cinq mètres au-dessus du zéro des cartes) ainsi qu'une quantification pour l'augmentation graduelle du niveau d'eau (p. ex., 0,15 m), puis la fonction calcule le coût total des dommages à chaque intervalle de 0,15 m. Un rapport HTML est exporté avec trois graphiques illustrant les courbes profondeur-dommages utilisées pour l'évaluation, le nombre de structures touchées et le coût total des dommages pour chaque niveau d'eau (figure E-1). L'objectif de cet outil est d'examiner le coût global des dommages causés par différentes tempêtes. Si le nombre de structures touchées et le coût total des dommages augmentent rapidement à des niveaux d'eau bas, les utilisateurs peuvent supposer que la zone est très vulnérable aux inondations côtières. Inversement, si le coût des dommages n'affiche pas une valeur considérable jusqu'à ce que l'eau atteigne des niveaux extrêmes, les utilisateurs peuvent conclure que la communauté est naturellement résiliente aux inondations. Les utilisateurs peuvent également évaluer des points de basculement pour lesquels le coût des dommages augmente considérablement pour un niveau d'eau donné. Par exemple, si une communauté ne devait subir aucun dommage structurel tant que les eaux de crue n'atteignent pas 2,1 m au-dessus du zéro des cartes, mais qu'elle subit ensuite des millions de dollars de dommages de 2,1 à 2,5 m, les utilisateurs peuvent alors conclure que toute force pouvant faire monter les niveaux d'eau au-dessus de deux mètres représente une source de préoccupation importante pour leurs communautés.

output_dir [sortie_rép] : Répertoire pour les fichiers de sortie, dont le rapport.

start_elev [élev_départ] : Valeur numérique. Valeur de l'élévation au départ en mètres; habituellement l'élévation de la laisse de haute mer (marée haute moyenne).

end_elev [élev_fin] : Valeur numérique. Fin de l'élévation en mètres; limite jusqu'à laquelle la fonctionnalité doit rechercher une valeur. Habituellement, cette valeur est inférieure à 10 mètres. Plus la valeur est basse, meilleur sera le temps de traitement.

step_size [valeur_échelon] : Valeur numérique. Valeur de l'échelon pour l'évaluation cumulative en mètres (granularité). Habituellement, cette valeur est fixée à 0,2 m, bien qu'elle doive être aussi grande (grossière) que possible pour accélérer le temps de traitement.

Bldgs [Bâtiments] : Objet spatial polygonal des empreintes des structures de bâtiment. Cet ensemble de données doit comporter les identificateurs des courbes profondeur-dommages (DDID) de l'outil HAZUS des États-Unis pour chaque structure, ainsi que des estimations du coût de la valeur de remplacement pour chaque structure en dollars (VAL). Veuillez consulter la section « data(Bldgs) » [données(Bâtiments)] pour obtenir un exemple d'entrées.

TopoBathy : Modèle altimétrique numérique topographique et bathymétrique de classe « RasterLayer » [CoucheMatricielle].

Ce sous-modèle fournit un dossier de fichiers en format cvs correspondant aux résultats.

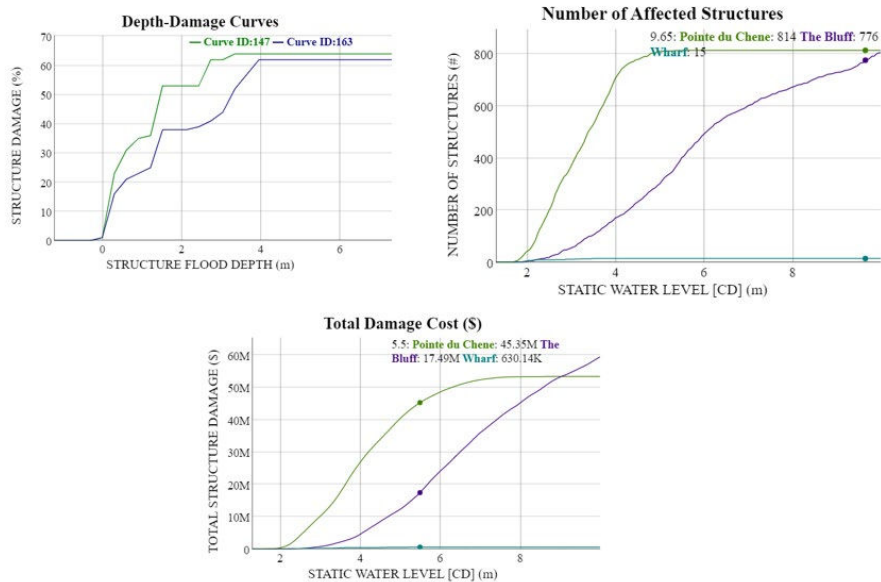


Figure E-1. Graphiques illustrant les courbes profondeur-dommages, le nombre de structures touchées et le coût total des dommages pour chaque niveau d'eau.



Boîte à outils « Exploration in Sandbox Mode » [Exploration en mode bac à sable]



Mode « Single-Profile Sandbox » [bac à sable à profil unique] (application R-Shiny)

Le mode « Single-Profile Sandbox » [bac à sable à profil unique] peut être utilisé pour afficher et manipuler rapidement les conditions le long d'un profil unique. Tout ce dont vous avez besoin pour utiliser cet outil est un fichier de sortie en format csv correspondant à un profil transversal unique obtenu à partir d'un scénario quelconque. Les utilisateurs peuvent trouver les fichiers de sortie en format csv dans les dossiers de sortie en exécutant la fonction BOC complète (www\data\profile_csv). L'application « Single-Profile Sandbox » [bac à sable à profil unique] est accessible en utilisant l'adresse URL suivante dans un navigateur Web Chrome :

<https://essa.shinyapps.io/ProfileSandboxExplorer/>.

Si vous souhaitez accéder au code source de cette application Shiny pour la modifier ou l'exécuter sur votre propre ordinateur, veuillez télécharger le contenu du répertoire suivant :

<https://github.com/essatech/CPBTPProfileSandboxExplorer>.

Le fichier csv du profil transversal d'entrée doit comprendre les colonnes suivantes (voir l'exemple ci-dessous) :

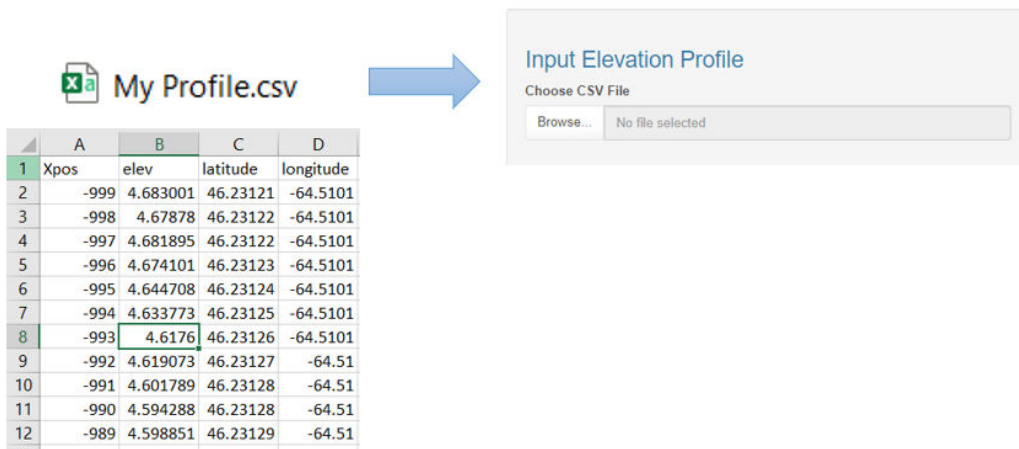
Xpos [posX] : Distance horizontale du profil transversal en mètres depuis le littoral. La valeur « 0 » correspond au bord de l'eau. Les valeurs négatives sont des distances vers la terre, tandis que les valeurs positives sont des distances vers la mer depuis le littoral (p. ex., une valeur « Xpos » de 200 correspond à 200 mètres au large et une valeur « Xpos » de -200 correspond à 200 mètres du littoral sur la terre).

elev [élev] : Élévation en mètres par rapport au zéro des cartes. La valeur « 0 » correspond à la laisse de basse mer inférieure.

latitude et **longitude** : Ces colonnes sont facultatives, mais recommandées pour montrer l'étendue de l'inondation. Ces valeurs doivent être affichées en degrés décimaux pour chaque point. Les valeurs de longitude sont négatives en Amérique du Nord.

Ces données peuvent être exportées du sous-modèle 2 (Extract Profile Elevations [Extraction des valeurs d'élévation

des profils]), mais chaque fichier cvs ne doit contenir que les données d'un profil unique.

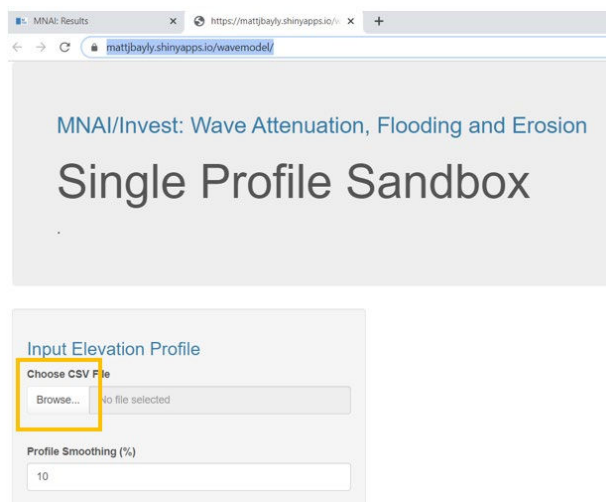


The diagram illustrates the process of uploading a CSV file to a web application. On the left, a file named 'My Profile.csv' is shown with a spreadsheet icon. An arrow points to a web interface titled 'Input Elevation Profile'. This interface has a section 'Choose CSV File' with a 'Browse...' button and a status 'No file selected'. Below this, a table shows the data structure of the CSV file:

	A	B	C	D
1	Xpos	elev	latitude	longitude
2	-999	4.683001	46.23121	-64.5101
3	-998	4.67878	46.23122	-64.5101
4	-997	4.681895	46.23122	-64.5101
5	-996	4.674101	46.23123	-64.5101
6	-995	4.644708	46.23124	-64.5101
7	-994	4.633773	46.23125	-64.5101
8	-993	4.6176	46.23126	-64.5101
9	-992	4.619073	46.23127	-64.51
10	-991	4.601789	46.23128	-64.51
11	-990	4.594288	46.23128	-64.51
12	-989	4.598851	46.23129	-64.51

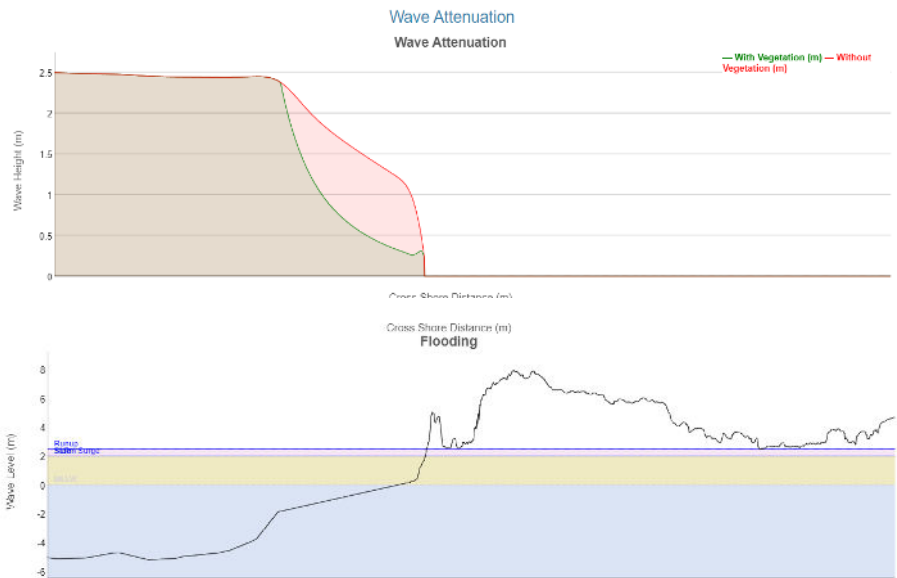
Consignes d'utilisation :

1. Choisissez un fichier de sortie en format cvs obtenu au moyen de la fonction BOC complète (www\data\profile_csv) ou préparez un fichier cvs pour un profil transversal unique conformément au format ci-dessus (veuillez noter que les colonnes « latitude » et « longitude » sont facultatives).
2. Cliquez sur le bouton « Browse » [Parcourir] sous « Choose CSV file » [Choisir un fichier CVS], puis téléchargez le profil transversal en format cvs qui vous intéresse.
3. Mettez ensuite à jour les valeurs par défaut des élévations de marée et des paramètres de l'estran pour qu'elles correspondent aux conditions de base pour votre zone d'intérêt. *Il n'est pas recommandé de conserver les conditions de base par défaut, car les amplitudes des marées peuvent varier considérablement pour votre région.*
4. Des parcelles de végétation submergée, comme des herbiers de zostères, peuvent être ajoutées à des distances déterminées le long du profil. Veuillez simplement définir les valeurs de départ et de fin des distances « Xpos » pour chaque herbier. De multiples parcelles peuvent être ajoutées ou supprimées pour un seul profil.
5. Finalement, lorsque vous êtes satisfait des paramètres d'entrée, cliquez sur le bouton bleu « Update Predictions » [Mettre les prédictions à jour] pour exécuter la simulation de tempête.



The screenshot shows a web browser window with the URL <https://mattibayly.shinyapps.io/wavemodel/>. The page title is 'MNAI/Invest: Wave Attenuation, Flooding and Erosion' and the main heading is 'Single Profile Sandbox'. Below this, there is a section titled 'Input Elevation Profile' which contains a 'Choose CSV File' section with a 'Browse...' button and a 'No file selected' status. Below that is a 'Profile Smoothing (%)' input field with the value '10'.

6. Le premier graphique obtenu présente l'atténuation des vagues attribuables à la tempête le long du profil selon la distance définie. Le modèle est exécuté deux fois avec et sans végétation submergée pour montrer les différences potentielles. À mesure que les vagues se rapprochent du littoral, elles s'atténuent et leur hauteur diminue. Dans l'exemple ci-dessous, une parcelle de végétation d'une densité irréaliste a été ajoutée au profil pour mettre en évidence les différences.
7. Le graphique suivant montre le profil d'élévation transversale du profil actuel. La laisse de basse mer moyenne inférieure représente le zéro des cartes (0 m d'élévation – marée basse). Les lignes horizontales supplémentaires montrent le niveau cumulatif d'eau calme à la suite d'une onde de tempête, d'une remontée de vagues et de toute élévation du niveau de la mer.
8. Le dernier graphique représente la distribution de la végétation submergée définie par l'utilisateur le long du profil.



9. Le tableau récapitulatif fournit une estimation du retrait horizontal de la plage, de la remontée des vagues et des dommages dus à l'érosion avec et sans végétation submergée.

Horizontal Beach Retreat (m)	
Without Vegetation 2.6m	With Vegetation 2.2 m
Vertical Wave Runup (m)	
Without Vegetation 0.7m	With Vegetation 0.6 m
Erosion Damage (\$)	
Without Vegetation \$206,028.0	With Vegetation \$170,938.0

10. Une carte est également incluse pour permettre à l'utilisateur de voir où se situe le profil le long du trait de côte. La ligne bleue s'étendra vers le rivage jusqu'à l'étendue maximale de l'inondation.



**DAVID SUZUKI
FOUNDATION**
One nature.



août, 2021