

PLATEFORME POUR L'ANALYSE AVANTAGES-COÛTS EN ÉROSION ET SUBMERSION (PANACÉES)

Guide de l'utilisateur
Version 2.0

Février 2021

Canada



FEDERATION
OF CANADIAN
MUNICIPALITIES

FÉDÉRATION
CANADIENNE DES
MUNICIPALITÉS

Québec

PLATEFORME POUR L'ANALYSE AVANTAGES-COÛTS EN ÉROSION ET SUBMERSION (PANACÉES)

Guide de l'utilisateur

Février 2021

ÉQUIPE DE RÉALISATION :

Nathalie Bleau, Coordonnatrice scientifique, Responsable du projet, Ouranos
Chantal Quintin, Géographe, Spécialiste - Mobilisation des Connaissances, Ouranos
Charles-Antoine Gosselin, Économiste - Analyses socio-économiques, Ouranos
Ursule Boyer-Villemaire, Chef d'équipe - Analyses socio-économiques, Ouranos
Trevor James Smith, Géographe, Spécialiste - Plateformes climatiques, données et opérations, Ouranos
Travis Logan, Chef d'équipe- Plateformes climatiques, données et opérations, Ouranos

Titre du projet Ouranos :

Plateforme pour l'Analyse Avantages-Coûts en Érosion Et Submersion (PANACÉES)

Numéro du projet Ouranos :

580004

Citation suggérée : Bleau, N., Quintin C., Gosselin, C.-A., Boyer-Villemaire, U., Smith, T., Logan, T (2021), *Guide de l'utilisateur - Plateforme pour l'analyse avantages-coûts en érosion et submersion (PANACÉES)*. Montréal. Ouranos. 39 p. + annexes

Les résultats et opinions présentés dans cette publication sont entièrement la responsabilité des auteurs et n'engagent pas Ouranos ni ses membres. Toute utilisation ultérieure du document sera au seul risque de l'utilisateur sans la responsabilité ou la poursuite juridique des auteurs.

© 2021 Ouranos. Tous droits réservés.

Remerciements

Ouranos tient à remercier toutes les personnes qui ont contribué à la réalisation de ce guide et de la **Plateforme d'ANalyse Avantages-Coûts en Érosion côtière Et Submersion (PANACÉES)**. En particulier, nous remercions les représentants des MRCs de Rivière-du-Loup et de La Mitis ainsi que les municipalités pour leur support ainsi que pour leurs suggestions et commentaires sur les versions préliminaires de PANACÉES.

Ouranos tient aussi à remercier tous les partenaires ayant fourni des données primaires à l'analyse économique. L'équipe de recherche tient à remercier particulièrement le Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières (LDGIZC) de l'Université de Québec à Rimouski (UQAR) ainsi que le Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les Changements climatiques (MELCC), le Ministère des Transports du Québec (MTQ), le Ministère des Forêts, de la Faune et de Parcs (MFFP) et le Ministère de la Sécurité publique (MSP) pour les données primaires fournies. Rappelons que PANACÉES constitue un outil d'aide à la décision dont la valeur dépend à la fois de la qualité des données utilisées et de l'analyse réalisée, mais également de la transparence des hypothèses formulées. Ceci est particulièrement important dans un contexte de changements climatiques marqué pour l'instant par des incertitudes significatives.

Ce projet a été exécuté avec l'aide du gouvernement du Canada et de la Fédération canadienne des municipalités, dans le cadre de son programme de subventions aux partenaires pour la réalisation d'un projet d'adaptation aux changements climatiques. Malgré ce soutien, les opinions exprimées sont celles de leurs auteurs, et la Fédération canadienne des municipalités et le gouvernement du Canada rejettent toute responsabilité à cet égard.

Ce projet a également été financé par le Plan d'action 2013-2020 sur les changements climatiques du gouvernement du Québec.

© 2021 Ouranos. Tous droits réservés.

Les résultats et opinions présentés dans cette publication sont entièrement la responsabilité des auteurs et n'engagent pas Ouranos ni ses membres. Toute utilisation ultérieure du document sera au seul risque de l'utilisateur sans la responsabilité ou la poursuite juridique des auteurs.



Table des matières

1. Introduction	6
1.1. Mise en contexte	6
1.2. Quelques concepts clefs	7
2. Un aperçu de PANACÉES	10
2.1. PANACÉES, de quoi s'agit-il ?	10
2.2. En quoi PANACÉES contribue à faciliter l'adaptation aux CC en milieu côtier?	10
2.3. Quels sont les éléments méthodologiques de PANACÉES ?	11
3. PANACÉES étape par étape	18
3.1. La priorisation des secteurs selon les scénarios choisis	19
3.2. La sélection du segment côtier	20
3.3. Le choix des scénarios et des mesures d'adaptation	22
3.4. La visualisation des résultats	25
3.5. Interprétation des données	27
4. Vers une mise en œuvre de mesures d'adaptation	34
4.1. Comment concrétiser vos scénarios ?	34
4.2. Des ressources pour vous guider dans vos démarches de mise en œuvre	35
5. Références	36
Annexes	40
Annexe 1 : Scénarios d'érosion et de submersion	40
Annexe 2 : Estimation des dommages liés à l'érosion et la submersion	43
Annexe 3 : Identification et estimation des coûts des mesures d'adaptation.	51
Annexe 4 : Comparaison des coûts et des avantages	73
Annexe 5 : Analyse de sensibilité	74
Annexe 6 : Architecture/arborescence de la base de données	75
Annexe 7 : Source des principales données utilisées	76

Liste des tableaux

Tableau 1 - Définition des concepts clés utilisés tout au long du guide	7
Tableau 2 - Valeur du facteur en fonction scénario d'érosion	12
Tableau 3 - Indicateurs de dommage retenus pour l'analyse économique selon les secteurs d'activités d'intérêt.....	15
Tableau 4 - Mesures d'adaptation proposées dans PANACÉES	16
Tableau 5 - Paramètres des scénarios d'érosion et de submersion côtières.....	40
Tableau 6 - Réurrence et scénarios utilisés dans PANACÉES des niveaux d'eau du fleuve Saint-Laurent (en mètre) selon les MRCs	42
Tableau 7 - Régression linéaire simple entre la hauteur de submersion et le taux d'endommagement au contenu des résidences selon le type de bâtiment.....	44
Tableau 8 - Valeurs des études consultées sur le coût de construction au mètre linéaire pour différentes mesures d'adaptation.....	47
Tableau 9 - Coût d'entretien annuel pour différentes mesures d'adaptation	49

1. Introduction

1.1. Mise en contexte

Afin d'appuyer les municipalités côtières dans leur prise de décision en matière d'adaptation aux changements climatiques, Ouranos a amorcé en 2014 [des analyses économiques](#). L'objectif ultime était d'utiliser les analyses coûts-avantages (ACA) pour évaluer la rentabilité et l'intérêt des mesures d'adaptation à l'érosion et la submersion côtière pour cinq régions de l'Est-du-Québec. Cette initiative a permis de progresser significativement en matière d'adaptation. Sur plusieurs sites où une ACA a été réalisée, les recommandations émises ont été mises en place, notamment pour Percé et Carleton. La pertinence de mettre à disposition un outil d'aide à la décision semblable destiné aux professionnels en aménagement du territoire s'est confirmée lors d'activités de transfert de connaissances et d'échanges avec les différents intervenants responsables de l'aménagement du territoire de la région du Bas-Saint-Laurent en 2016.

En 2020, la [Plateforme d'ANalyse Avantages-Coûts en Érosion côtière Et Submersion](#) (PANACÉES) est lancée sur deux régions pilotes, soit les MRCs de Rivière-du-Loup et de La Mitis, avec un potentiel de généralisation pour d'autres municipalités du Québec, qui font face à ces deux aléas. Basée selon une approche de co-construction avec les acteurs municipaux et régionaux, et sur les avancées scientifiques réalisées au courant des dernières années, PANACÉES permet de visualiser les résultats d'analyses économiques dans une interface graphique que les professionnels en aménagement du territoire peuvent eux-mêmes utiliser pour appuyer une meilleure prise de décisions dans le choix des interventions en zone côtière. PANACÉES est complémentaire aux outils d'aide à la décision déjà existants et permet d'ajuster les scénarios d'adaptation selon les avancées scientifiques et les avis d'experts.

Le présent guide a été conçu pour les professionnels en aménagement du territoire afin de présenter de façon claire et concise l'utilisation de PANACÉES. Il vise à renforcer les capacités des intervenants en aménagement du territoire à mener de telles analyses en présentant un cadre simplifié pour la réalisation d'une ACA. Le guide est divisé en trois parties :

- La première partie présente brièvement les fondements théoriques à la base d'une ACA, le détail de la démarche et la méthodologie.
- La deuxième partie présente la démarche étape par étape pour la réalisation d'une ACA au sein de PANACÉES.
- La troisième partie explique comment l'utilisateur peut utiliser les résultats générés par PANACÉES afin de mettre en œuvre les scénarios choisis.

1.2. Quelques concepts clefs

La définition des concepts clés (tableau 1) est nécessaire afin de faciliter la compréhension commune de ces divers concepts ainsi que leur utilisation par les multiples acteurs de l'adaptation aux changements climatiques.

Tableau 1 - Définition des concepts clés utilisés tout au long du guide

ADAPTATION CLIMATIQUE	Initiatives, mesures et processus pour réduire la vulnérabilité des systèmes naturels et humains ainsi que les dommages associés à la variabilité du climat et aux changements climatiques présents ou attendus.
ALÉAS	Phénomène, manifestation physique ou activité humaine susceptible d'occasionner des pertes en vies humaines ou des blessures, des dommages aux biens, des perturbations sociales et économiques ou une dégradation de l'environnement (Ministère de la Sécurité publique, 2008. Concepts de base en sécurité civile). Dans le cadre de ce projet, les aléas sont l'érosion et la submersion côtières.
ANALYSE COÛTS-AVANTAGES	Étude d'un programme ou d'une activité par l'analyse qualitative et quantitative de tous les avantages et de tous les coûts relatifs à l'implantation et au fonctionnement de ce programme ou de cette activité (Office québécois de la langue française, 1998).
ANALYSE DE SENSIBILITÉ	Analyse qui permet d'examiner la robustesse de la valeur actuelle nette obtenue lorsque des hypothèses ou paramètres importants de l'analyse varient. Les différentes valeurs utilisées dans l'analyse de sensibilité visent à refléter le degré d'incertitude relatif à chacune des variables utilisées. En particulier, des analyses de sensibilité relatives au niveau de submersion et la vitesse d'érosion sont réalisées (Circé et al., 2016).
CAPACITÉ D'ADAPTATION	Capacité d'un système à mettre en œuvre des mesures d'adaptation aux changements climatiques y compris la variabilité et les extrêmes du climat (donneesclimatiques.ca, 2020)
CHANGEMENTS CLIMATIQUES	Augmentation ou diminution à long terme de variables climatiques comme la température et les précipitations (Charron, 2016).
DOMMAGES DIRECTS	Les dommages directs sont liés à l'impact physique immédiat d'un aléa climatique. Les dommages directs sont les dommages matériels, structurels, aux contenus des résidences, aux stocks commerciaux et le coût de débris (Penning-Rowse et al., 2013).
DOMMAGES INDIRECTS	Les dommages indirects sont liés à l'interruption du maillage économique en réaction d'un aléa climatique et surviennent généralement à retardement. Les dommages indirects sont les pertes de revenus et l'ensemble des impacts sociosanitaires. (Penning-Rowse et al., 2013)

ÉROSION CÔTIÈRE	L'érosion côtière se définit comme la perte graduelle de matériaux qui entraîne le recul de la côte et l'abaissement des plages. Il s'agit d'un phénomène naturel qui a contribué tout au long de l'histoire géologique à façonner le littoral. Les principaux facteurs en jeu dans le processus d'érosion sont les vagues, les courants marins, les glaces, les précipitations et le vent. C'est un processus lent et graduel qui, en plus des pertes de terrains publics ou privés, peut causer des dommages aux équipements, aux infrastructures ainsi qu'aux ouvrages de protection des côtes (Ministère de la Sécurité publique, 2019).
EXPOSITION	Présence de personnes, de moyens de subsistance, d'espèces ou d'écosystèmes, de fonctions, ressources ou services environnementaux, d'éléments d'infrastructure ou de biens économiques, sociaux ou culturels dans un lieu ou dans un contexte susceptible de subir des dommages (GIEC, 2014).
HORIZON	Période future à l'étude pour laquelle les scénarios futurs sont produits (Charron, 2016). Dans PANACÉES l'horizon temporel couvre la période entre 2020 à 2100.
INCERTITUDE	Exprime à quel point une valeur (p. ex. l'état futur du système climatique) est inconnue. L'incertitude peut provenir du manque d'information ou d'un désaccord sur ce qui est connu ou même connaissable. Elle peut avoir plusieurs sources, allant d'erreurs quantifiables dans les données jusqu'à des concepts ou une terminologie définis de manière ambiguë, en passant par des projections incertaines du comportement humain (Charron, 2016).
MESURE D'ADAPTATION	Mesures pour réduire la vulnérabilité des systèmes naturels et humains aux effets des changements climatiques présents ou attendus. Dans le cadre de PANACÉES, vingt et une mesures ont été prises en considération dans l'analyse.
RATIO AVANTAGE/COÛTS	Quotient obtenu en divisant la valeur quantitative des avantages tirés d'une activité, d'un programme ou d'un projet, par les coûts afférents à cette activité, ce programme ou ce projet (Office québécois de la langue française, 2006).
RÉCURRENCE	Les récurrences ou « période de retour » font référence à la probabilité d'un niveau d'eau extrême donné. Par exemple, un niveau d'eau de récurrence 20 ans devrait survenir en moyenne une fois au courant des 20 prochaines années. Les récurrences peuvent être également exprimées en termes de probabilités annuelles. Un événement de récurrence 20 ans aura 5 % de probabilité de survenir chaque année (Circé et al., 2016).
RISQUE	Combinaison de la probabilité d'occurrence d'un aléa et des conséquences pouvant en résulter sur les éléments vulnérables d'un milieu donné (Ministère de la Sécurité publique, 2008).

SCÉNARIO D'ÉROSION	Représentation plausible de l'évolution future de l'érosion basée sur les connaissances scientifiques actuelles. Cinq scénarios d'érosion ont été modélisés dans PANACÉES. Ils sont extrapolés des données fournies par le Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières, Université du Québec à Rimouski.
SCÉNARIO DE SUBMERSION	Représentation plausible de l'évolution future de la submersion basée sur les connaissances scientifiques actuelles. Trois scénarios de submersion ont été modélisés dans PANACÉES. Ils sont extrapolés des données observées des inondations côtières survenues lors de la tempête du 6 décembre 2010 et de leur récurrence selon les cotes de crues.
SECTEUR D'INTÉRÊT	Un secteur d'intérêt représente un groupe d'agents économiques relativement homogène.
SUBMERSION CÔTIÈRE	Phénomène d'inondation des terres basses en bordure de la mer soit de manière graduelle par la hausse du niveau marin, soit de manière soudaine lors d'ondes de tempête. Les niveaux d'eau élevés associés à de fortes vagues poussées vers la côte par des vents violents provoquent l'inondation de la côte et accélèrent l'érosion de celle-ci (Ministère de la Sécurité publique, 2019).
TYPE DE COÛT	Indicateur exprimant le résultat monétaire de la modélisation d'un impact d'aléa ou d'une mesure d'adaptation.
VALEUR ACTUALISÉE NETTE (VAN)	Différence entre les avantages et les coûts actualisés découlant de la mise en place d'un projet, d'un programme ou d'une politique. L'actualisation est l'opération consistant à ramener les avantages et les coûts survenant à différents moments dans l'horizon d'étude à une année de référence (Circé <i>et al.</i> , 2016).
VULNÉRABILITÉ	Condition résultant de facteurs physiques, sociaux, économiques ou environnementaux, qui prédispose les éléments exposés à la manifestation d'un aléa à subir des préjudices ou des dommages (Ministère de la Sécurité publique, 2008).
ZÉRO GÉODÉSIQUE	Repère d'altitude basé sur le positionnement en trois dimensions d'un point dans un système géodésique sélectionné, lui-même dépendant d'une projection de la surface terrestre; en Amérique du Nord, les systèmes de référence géodésique les plus utilisés sont WGS84 (world geodetic system), notamment utilisé par le système mondial GPS, et le NAD83 (North American datum) (Circé <i>et al.</i> , 2016).
ZÉRO MARÉGRAPHIQUE	Aussi appelé zéro hydrographique ou zéro des cartes, la référence de niveau commune pour les mesures de profondeur en mer (ou plan de référence des sondes) sur une carte marine ainsi que pour les prédictions de marée) (Circé <i>et al.</i> , 2016).

2. Un aperçu de PANACÉES

2.1. PANACÉES, de quoi s'agit-il ?

PANACÉES est un outil basé sur l'analyse coûts-avantages (ACA) pour supporter la prise de décision en matière d'adaptation aux changements climatiques du milieu côtier, tant pour la submersion que pour l'érosion. PANACÉES permet à l'utilisateur de réaliser une analyse économique en comparant monétairement, au regard des différentes composantes de la société, les coûts et les avantages encourus au niveau économique, social et environnemental de différentes mesures d'adaptation.

PANACÉES, un outil d'aide à la décision

Qui répond à un besoin : PANACÉES a été conçue afin de répondre à un besoin exprimé par les intervenants en aménagement du territoire soit de mettre à leur disposition un outil d'aide à la décision basé sur les ACA pour les supporter en matière d'adaptation aux changements climatiques en milieu côtier.

Qui est fondé sur la collaboration : PANACÉES a été développée par Ouranos, conjointement avec les municipalités des MRCs de Rivière-du-Loup et de La Mitis.

Qui est approuvé par ses utilisateurs : PANACÉES a été développée et testée avec les acteurs du milieu sur deux régions pilotes et a un potentiel de généralisation à l'échelle du Québec.

Qui est interactif : PANACÉES est une structure informatique interactive qui permet une navigation intuitive à travers un vaste ensemble de bases de données précalculées et emmagasinées dans un serveur. PANACÉES permet à l'utilisateur d'ajuster lui-même les hypothèses de scénarios d'érosion et de submersion côtière selon les avancées scientifiques. L'intégration de nouvelle couche d'information requiert toutefois une mise à jour des bases de données sources.

2.2. En quoi PANACÉES contribue à faciliter l'adaptation aux CC en milieu côtier?

PANACÉES permet de mieux comprendre les liens existants entre un projet d'intervention en milieu côtier et sa contribution à l'adaptation aux changements climatiques. Dans ce sens, une intervention en milieu côtier fait partie d'un processus itératif qui comporte quatre grandes phases : la reconnaissance des enjeux, la préparation, la mise en œuvre de solutions d'adaptation et l'ajustement (figure 1). Ce mode de gestion permet d'intégrer de nouvelles informations ou de nouveaux scénarios lorsque ceux-ci deviennent disponibles. PANACÉES s'inscrit particulièrement dans la phase de préparation du cycle de l'adaptation. L'approche de co-construction en quatre étapes a permis de développer un outil représentatif des besoins des usagers et de la réalité terrain. Les résultats permettent d'amorcer l'étape de mise en œuvre du choix de la mesure d'adaptation.

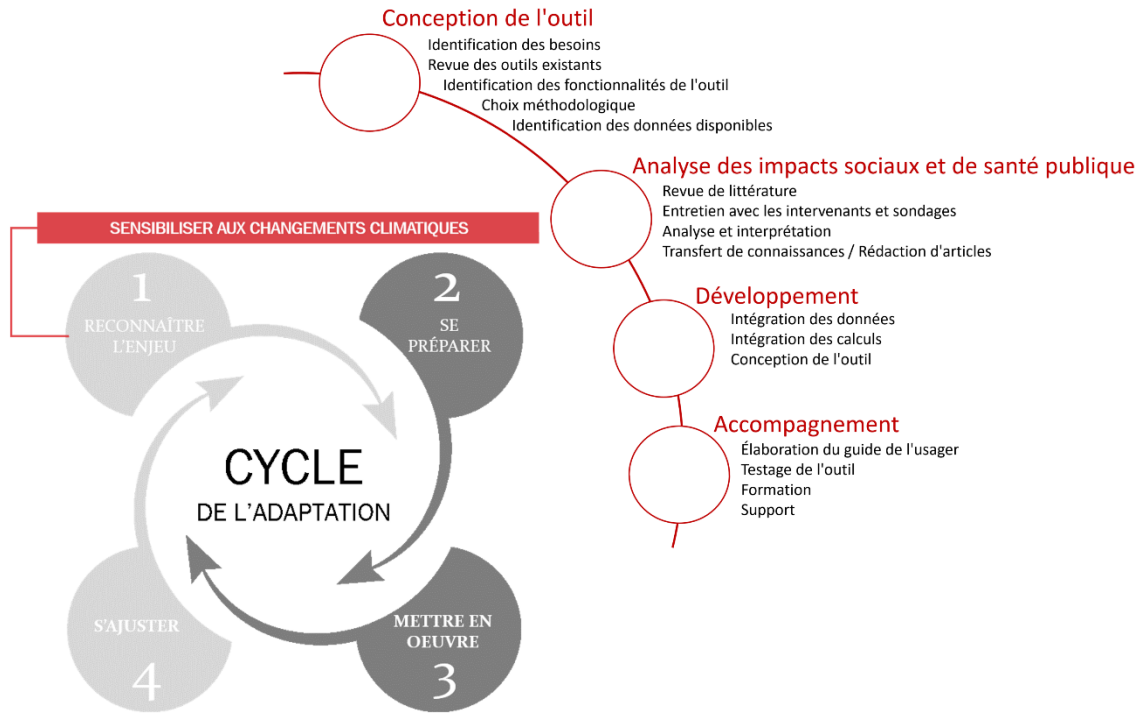


Figure 1 - Cycle de l'adaptation et approche de PANACÉES

2.3. Quels sont les éléments méthodologiques de PANACÉES ?

La méthodologie associée à PANACÉES repose sur trois grandes étapes d'une analyse économique pour lesquelles l'utilisateur joue un rôle afin de le mener vers le choix de mesures d'adaptation appropriées (figure 2).

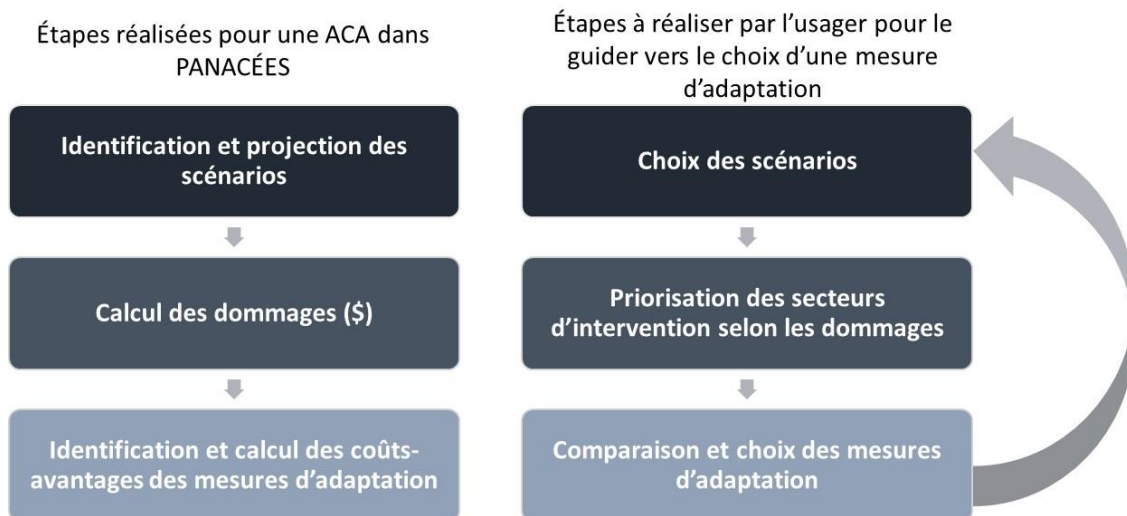


Figure 2 - Étapes méthodologiques de PANACÉES

Identification et projection des scénarios

Basée selon les plus récentes connaissances scientifiques disponibles, PANACÉES permet de projeter un éventail de scénarios d'érosion et de submersion côtières sur un horizon temporel de 2020 à 2100. Les choix méthodologiques des scénarios proposés reposent sur l'importance de permettre à l'utilisateur d'ajuster lui-même les hypothèses concernant les taux de recul ainsi que les hauteurs et fréquences de submersion les plus plausibles pour le territoire qui l'intéresse selon les avancées scientifiques. Pour plus de détails sur la méthodologie veuillez consulter l'annexe 1.

Scénarios d'érosion

Cinq scénarios d'érosion ont été modélisés dans PANACÉES. Ils sont extrapolés des données fournies par le Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières (LDGIZC) de l'Université de Québec à Rimouski (UQAR). Les fichiers de traits de côte fournis ont été ajustés à l'horizon 2020 puisque ceux-ci datent de 2010 pour la MRC de La Mitis et de 2015 pour la MRC de Rivière-du-Loup. Pour y arriver, on effectue une translation géomatique équivalente au produit du taux de recul enregistré à la borne et la différence entre l'année d'origine du trait de côte fourni et l'année de référence choisi pour le projet, soit 2020 (par exemple, si le taux de recul enregistré sur le segment X à Rivière-du-Loup est de 0,1 mètre/an, on réalise une translation de 1 mètre vers l'intérieur du littoral pour simuler la dynamique du trait de côte entre 2010 et 2020).

Au sein de PANACÉES, le taux de recul moyen annuel (TR/an) fourni par le Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières (LDGIZC) de l'Université de Québec à Rimouski (UQAR) a été décliné par un facteur variable selon le scénario d'érosion sélectionné. Les valeurs du facteur sont présentées dans le Tableau 2. Par exemple, lorsque que l'utilisateur sélectionne un scénario très pessimiste, le taux de recul moyen annuel est multiplié par 1,5, ce qui accélère la vitesse projetée de l'érosion et devance l'année estimée des dommages économiques relatifs à cet aléa. Cette méthode permettrait éventuellement à l'utilisateur d'ajuster les hypothèses de scénarios d'érosion selon les nouvelles connaissances scientifiques pouvant entraîner une accélération ou une décélération du taux de recul moyen annuel de la côte.

Tableau 2 - Valeur du facteur en fonction scénario d'érosion

Très pessimiste	Pessimiste	Moyen	Optimiste	Très optimiste
(TR/an)*1,5	(TR/an)*1,25	(TR/an)*1	(TR/an)*0,75	(TR/an)*0,5

L'érosion un phénomène complexe

Il est important de noter que même si l'érosion est un processus naturel et graduel, les reculs observés ne sont pas nécessairement constants dans le temps en raison, notamment des tempêtes. Par exemple, lors de la tempête du 6 décembre 2010, des reculs de plusieurs mètres ont été observés en quelques heures. Toutefois, puisqu'il est impossible de prévoir l'année exacte où aura lieu une tempête, le taux de recul moyen annuel est la mesure la plus réaliste pour estimer le déplacement futur de la côte. Ce taux est estimé à partir de données sur plusieurs décennies.

Pour en savoir plus :

[Le laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières](#)

Scénarios de submersion

Trois scénarios de submersion ont été modélisés dans PANACÉES. Les scénarios ont été réalisés à partir des connaissances actuelles. Ils offrent à l'utilisateur de projeter la submersion selon la hausse graduelle du niveau marin relatif et la probabilité qu'un niveau d'eau, lors d'onde de tempête, puisse engendrer des dommages tous les 2, 20 ou 100 ans. Pour chacune de ces récurrences, l'utilisateur doit pouvoir apprécier l'étendue des incertitudes. Ainsi, à l'aide de l'approche des extrêmes, des hauteurs minimales et maximales pour chacune des récurrences sont proposées. Elles représentent une étendue de valeurs jugées susceptibles de contenir la hauteur de submersion observée. Voici les définitions qui ont permis de les construire :

- **La borne minimale:** il s'agit d'un niveau de submersion très fréquent, par exemple à tous les deux ans (50 % ou 1:2), qui se définit pour cette étude comme la ligne où la végétation aurait de la difficulté à s'implanter, soit la ligne des hautes eaux (ou ligne de rivage en milieu maritime); d'ailleurs, cette définition se base sur la possibilité réglementaire de déterminer la ligne des hautes eaux (LHE) par la probabilité de 1:2;
- **La borne maximale:** il s'agit du maximum de la plus faible récurrence (1 % ou 1:100) et se définit comme le niveau observé localement lors de l'onde de tempête historique de 2010 ; ce choix se base sur les études préalables qui ont établi que cette onde de tempête n'avait jamais été observé depuis les 110 dernières années (Lefavre, 2011) et est considérée comme conservatrice au regard de l'intégration des changements climatiques ;
- **La borne intermédiaire de 5 % (ou 1:20) :** elle a été construite sur des valeurs intermédiaires entre les minimums et maximums.

L'approche par étendue projette forcément des résultats qui surestiment ou sous-estiment la réalité. Nous préférons plutôt que l'utilisateur teste lui-même la robustesse des scénarios sous diverses hypothèses. De plus, cette méthode permet d'ajuster les hypothèses selon les nouvelles connaissances scientifiques pouvant entraîner une accélération de la hausse du niveau de la mer ou une augmentation de la récurrence d'onde de tempête.

La submersion côtière un phénomène encore peu étudié

Les connaissances sur la submersion sont limitées comparativement à l'érosion en raison de sa complexité. La submersion est une inondation des terres basses en bordure de la mer soit de manière graduelle par la hausse du niveau marin, soit de manière soudaine lors d'ondes de tempête. Par exemple, lors de la tempête de 2010 une surcote de 1,04 cm a été enregistrée à la station marégraphique de Rimouski entraînant des inondations et des dommages importants. Or les ondes de tempête d'une telle ampleur ne surviennent pas chaque année. Celle de 2010 correspond à une onde de tempête qui a 1% de risque de se reproduire à chaque année.

Pour en savoir plus :

Lefavre, D. 2011. [Débordement et déferlement des eaux : cas du 6 décembre 2010](#). Infocéans, 14(1)

Projections économiques

Les projections économiques résultant des scénarios d'érosion et de submersion côtières sont réalisées à partir du trait de côte et du niveau géodésique terrestre. Les projections d'érosion sont effectuées par le trait de côte qui a été ajusté afin d'obtenir l'année de référence soit 2020 et celles de la submersion sont fonction de l'altitude atteinte par l'eau, dans un référentiel géodésique terrestre mixte. L'ensemble des projections tient compte du segment côtier homogène, approche préconisée par le LDGIZC de l'UQAR (voir encadré).

Le segment côtier homogène pour une représentativité de la réalité terrain

Le littoral du Saint-Laurent est très diversifié. Cette diversité entraîne une variabilité de l'impact de l'érosion et de la submersion sur la côte. Par exemple pour un secteur donné, on peut observer des zones de forte érosion, des zones de moindre recul ainsi que des zones d'avancées. Afin de représenter la réalité terrain, l'échelle d'analyse spatiale choisie pour la projection des scénarios d'érosion et de submersion est le segment côtier homogène, une approche préconisée par le LDGIZC de l'UQAR. Les segments côtiers homogènes sont définis notamment par le type de côte.

Pour en savoir plus :

Bernatchez, P., Dugas, S., Fraser, C., Da Silva, L. (2015). [Évaluation économique des impacts potentiels de l'érosion des côtes du Québec maritime dans un contexte de changements climatiques](#). Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières, Université du Québec à Rimouski. Rapport remis à Ouranos, 45 p. et annexes.

Calcul des dommages anticipés et de la VAN

Une estimation des coûts des dommages anticipés a été réalisée pour les MRCs de Rivière-du-Loup et de La Mitis. Les coûts se comptabilisent annuellement en dollars constants de 2018 pour chaque élément exposé en fonction du rôle d'évaluation foncier.

L'estimation des coûts des dommages anticipés tient compte d'une vingtaine d'indicateurs de dommage classés en sept secteurs d'activités d'intérêt (tableau 3). Ce choix méthodologique s'inspire de l'approche multisectorielle de quantification des dommages directs et indirects préconisée dans l'analyse coûts-bénéfices des mesures d'adaptation aux inondations dans le bassin versant du Lac Champlain et de la Rivière Richelieu de la Commission mixte internationale (voir <https://www.ijc.org/fr/lcrr/plan-de-travail>), une étude auquel contribue Ouranos.

Tableau 3 - Indicateurs de dommage retenus pour l'analyse économique selon les secteurs d'activités d'intérêt

SECTEURS D'ACTIVITÉS D'INTÉRÊT	INDICATEURS DE DOMMAGE ¹	ÉROSION	SUBMERSION
RÉSIDENTIEL Comprend l'ensemble des dommages matériels aux résidences et les coûts de nettoyage. Les dommages sont supportés par les résidents permanents ou temporaires.	Dommages matériels Dommages aux contenus des résidences Dommages structurels aux résidences Coûts des débris	X	X X X
COMMERCIAL ET INDUSTRIEL Comprend l'ensemble des dommages matériels et des pertes des revenus subis par les commerces et industries de la zone d'intérêt. Les dommages sont supportés par les commerçants.	Dommages matériels Dommages structurels aux commerces Pertes de revenus commerciaux Dommages aux contenus des commerces	X X	X X
AGRICOLE Comprend l'ensemble des bâtiments agricole et les pertes en superficie cultivable. Il est important de noter que les dommages aux cultures relatifs à la submersion ne sont pas comptabilisés.	Dommages matériels	X	
INSTITUTIONS / INFRASTRUCTURES PUBLIQUES / TRANSPORTS Ensemble des dommages économiques aux bâtiments et infrastructures publiques.	Dommages matériels	X	
RÉCRÉATIF	Dommages matériels	X	
ADAPTATION Comprend tous les coûts relatifs à la démolition, la construction et l'entretien d'ouvrages de protection.	Achat(s) de terrain(s) Achat(s) de terrain(s) et de propriété(s) Coûts de construction Coûts de démolition Coûts de transport Coûts d'entretien Coûts d'immunisation Coûts de démantèlement Frais afférents Pertes de valeur d'usage Contribution exigée à titre de compensation pour la perte d'un milieu humide ou hydrique	Intégré que lors du choix de mesure d'adaptation	
SOCIOSANITAIRE Somme conservatrice des coûts moyens de soins de santé relatifs aux impacts sociosanitaires des inondations; troubles respiratoires associés à la présence de moisissures, stress, anxiété, dépression et syndrome du stress post-traumatique.	Frais de santé		X

Le choix, par l'utilisateur, de mettre en œuvre une mesure d'adaptation plutôt qu'une autre permet dans le cas d'une analyse coûts-avantages une comparaison en évaluant comment les indicateurs de dommage des secteurs d'activités d'intérêt seront affectés par l'option choisie et quelle est la plus rentable à court, moyen et long terme. Ainsi, à la lumière des connaissances actuelles, vingt et une mesures d'adaptation sont intégrées dans PANACÉES (tableau 4).

¹ Les secteurs d'activités d'intérêt et les indicateurs sont définis à l'annexe 3

Le tableau 4 présente l'exposition des actifs à l'érosion et la submersion selon les choix de mesures d'adaptation. S'il n'y a actuellement pas d'ouvrage rigide en place sur la côte, des dommages d'érosion et de submersion sont comptabilisés pour le scénario statuquo. Si un ouvrage est déployé ou construit, le taux d'érosion est considéré comme nul jusqu'en 2100 puisque nous assumons que tout l'entretien et les reconstructions nécessaires à son bon fonctionnement sont réalisés. Ainsi, dans la modélisation, les mesures rigides et structurelles vont freiner complètement l'érosion, mais les dommages de submersion sont toujours appliqués. Quant à elles, les options de valorisation écologique vont généralement réduire l'exposition des actifs. On assume que l'entretien de la recharge sédimentaire permet de freiner complètement l'érosion. On assume que la végétalisation réduit d'environ 25% la vitesse d'érosion (par exemple, si le scénario d'érosion choisi est très pessimiste, on affiche les dommages d'érosion du scénario pessimiste) et annule le coût des débris de submersion (MSP, 2012). On assume que le capteur sédimentaire réduit la vitesse d'érosion seulement. On assume que la valorisation complète freine entièrement l'érosion et annule le coût des débris de submersion. La gestion des mesures d'urgence et l'approche réglementaire laissent aussi plusieurs actifs exposés aux aléas, mais visent à immuniser certains actifs contre certains types de tempête par exemple. Les détails de modélisation sont expliqués dans les fiches individuelles de scénarios contenues à l'annexe 3.

Tableau 4 - Mesures d'adaptation proposées dans PANACÉES

TYPES DE MESURE	MESURES	LES ACTIFS SONT EXPOSÉS À L'ALÉA	
		ÉROSION	SUBMERSION
STATU QUO	Option de référence qui implique le maintien des conditions actuelles	X	X
RIGIDES ET STRUCTURELLES	Enrochement		X
	Blocs de bétons déversés		X (-)
	Riprap		X
	Caissons		X
	Muret de roche		X
	Muret de béton		X
	Muret de métal		X
	Muret de bois		X
	Épis		X
	Brise-lame		
VALORISATION ÉCOLOGIQUE	Recharge sédimentaire		X
	Végétalisation	X	X (-)
	Capteur sédimentaire	X (-)	X
	Valorisation complète (recharge sédimentaire + végétalisation)		X (-)
GESTION DES MESURES D'URGENCE	Programme d'indemnisation du MSP	X	X
POLITIQUES RÉGLEMENTAIRES ET AMÉNAGEMENT DU TERRITOIRE	Retrait des structures existantes	X	X
	Immunsation du bâtiment	X	X
	Relocalisation stratégique	X	X
	Abandon stratégique	X	X
	Zonage	X	X

L'indication X(-) signifie que les actifs sont exposés, mais de manière moins importantes. Veuillez-vous référer aux fiches de mesures en annexe pour connaître les spécificités de chacun de scénarios.

La comparaison des mesures s'effectue à l'aide de trois visualisations graphiques de la valeur actuelle nette (VAN) par année, par secteur d'activités d'intérêt et par indicateur de dommage. La méthode utilisée pour agréger les avantages et les coûts liés à une option d'adaptation donnée pour l'horizon temporel considéré est l'actualisation de ces derniers. Cette méthode permet de ramener les valeurs considérées pour chacune des années sur une même base à l'aide d'un facteur d'actualisation. La formule ci-dessous est utilisée pour estimer la valeur actualisée nette (VAN) de chaque flux (f) :

$$VAN = f / (1 + r)^i$$

Où;

VAN : Valeur actualisée nette

f: Flux monétaire (avantages ou coûts)

i : période à laquelle le flux monétaire est observé

r : taux d'actualisation

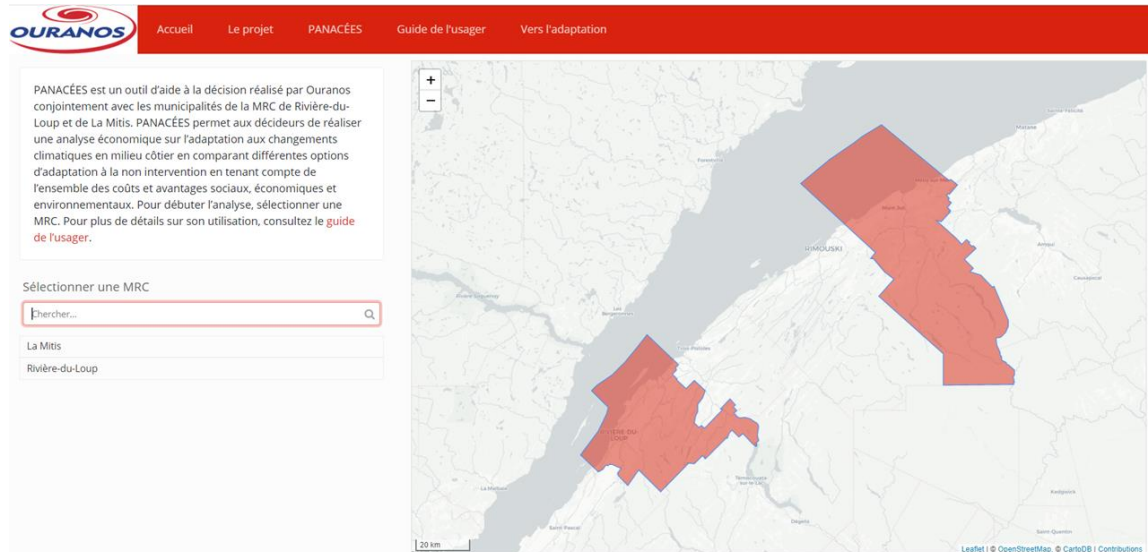
Le taux d'actualisation (r) représente le coût d'opportunité des fonds engagés tout au long de l'horizon considéré. Un taux d'actualisation plus élevé signifie que la valorisation des coûts et avantages futurs est moindre. Dans le cas de cette étude, le taux d'actualisation choisi est de 4 %. Il s'agit du taux recommandé par Ouranos dans son guide de l'évaluation des avantages et des coûts de l'adaptation (Webster et al., 2008) et retenu pour la réalisation des analyses économique en 2016 (Circé et al., 2016).

Pour plus de détails sur la méthodologie de l'analyse économique veuillez consulter les annexes 2 à 5.

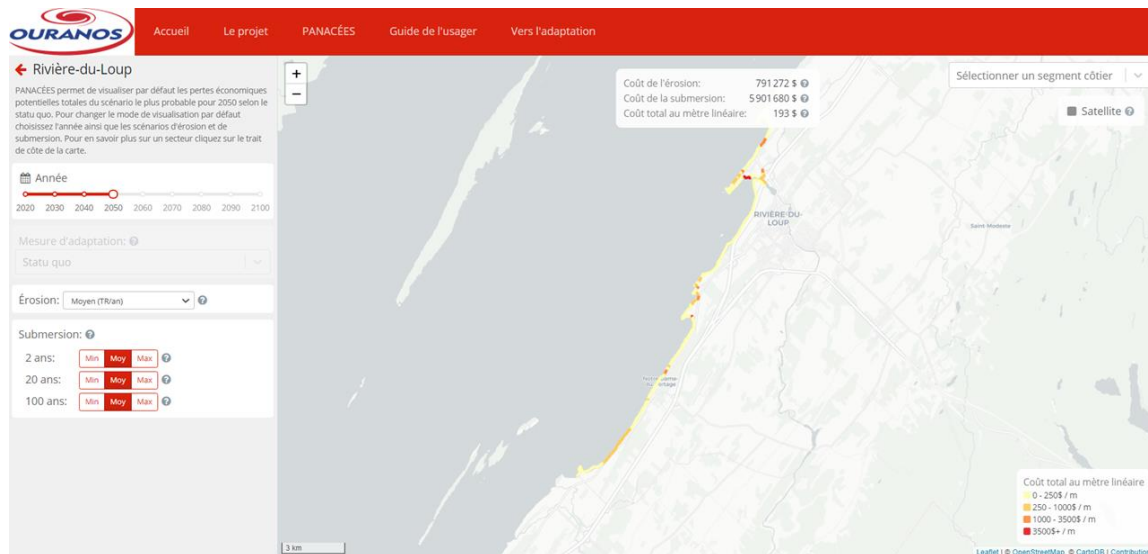
3. PANACÉES étape par étape

PANACÉES est disponible à l'adresse suivante : <https://panacees.ouranos.ca/#/>

En cliquant sur le lien vous arriverez sur la page suivante :



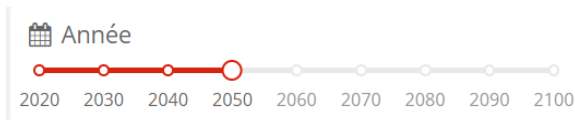
Vous devez, pour accéder au territoire souhaité, sélectionner une des deux MRC en cliquant directement sur la carte ou dans le menu déroulant situé à gauche de la carte « Sélectionner une MRC ». Le territoire sélectionné s'affiche. Voici par exemple la MRC de Rivière-du-Loup :



Par défaut, les résultats affichés à l'écran représentent les pertes économiques potentielles totales selon les scénarios d'érosion et de submersion côtières les plus probables d'ici 2050 impliquant le maintien des conditions actuelles (Statu quo).

Pour changer le mode de visualisation par défaut vous pouvez sélectionner les éléments suivants. Les pertes économiques potentielles totales seront automatiquement ajustées selon votre sélection.

L'horizon temporel:



Erosion: Moyen (TR/an) ?

- Très optimiste (TR/an * 0,5)
- Optimiste (TR/an * 0,75)
- Moyen (TR/an)**
- Pessimiste (TR/an * 1,25)
- Très pessimiste (TR/an * 1,5)

Le scénario d'érosion :

Le scénario de submersion :

Submersion: ?

2 ans: Min Moy Max ?

20 ans: Min Moy Max ?

100 ans: Min Moy Max ?

Remarque :

Une première aide est directement disponible dans l'écran via un pictogramme ? ; en cliquant sur ce pictogramme, vous obtiendrez une description d'un élément particulier de l'écran, par exemple :

Erosion: Moyen (TR/an) ?

Submersion: ?

2 ans: Min Moy Max ?

20 ans: Min Moy Max ?

100 ans: Min Moy Max ?

Les scénarios de submersion modélisés dans PANACÉES sont extrapolés des données observées des inondations côtières survenues lors de la tempête du 6 décembre 2010. Ils inclut la hausse graduelle du niveau de la mer et la probabilité qu'un niveau d'eau lors d'onde de tempête pourrait engendrer des dommages à tous les 2, 20 ou 100 ans. Pour plus de détails consultez le [guide de l'utilisateur](#).

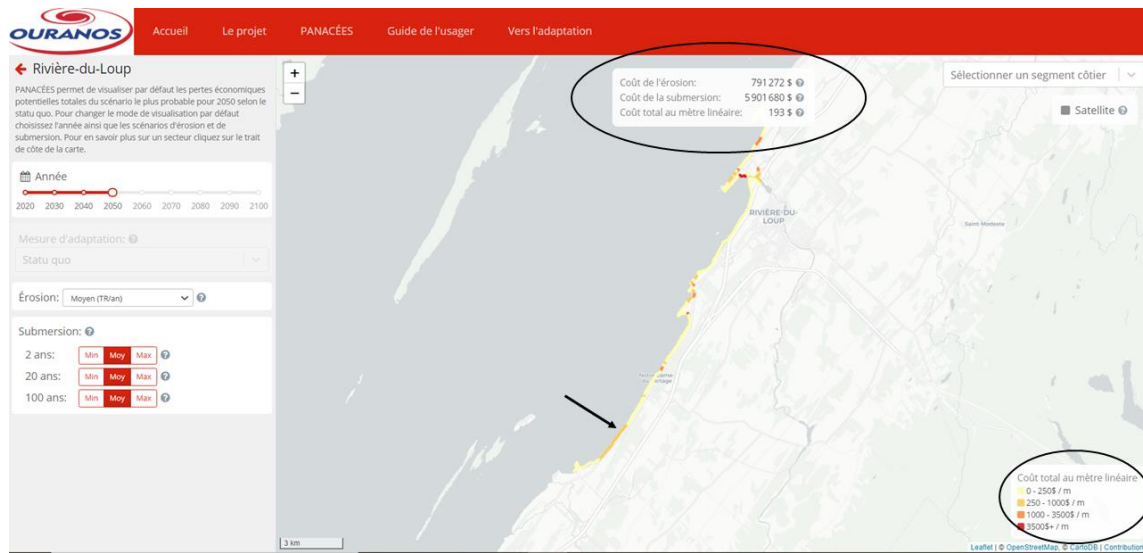


Pour des renseignements sur la méthodologie des scénarios d'érosion et de submersion côtières, veuillez consulter la section 2.3 et l'annexe 3 du présent guide.

3.1. La priorisation des secteurs selon les scénarios choisis

PANACÉES permet de visualiser et d'estimer les pertes économiques potentielles sur l'ensemble du territoire sélectionné (la MRC) par segment côtier homogène. Ainsi pour chacun des segments une couleur est attribuée selon le niveau de pertes économiques au mètre linéaire (légende située au coin inférieur droit). Cette catégorisation permet de guider l'utilisateur dans le choix d'un

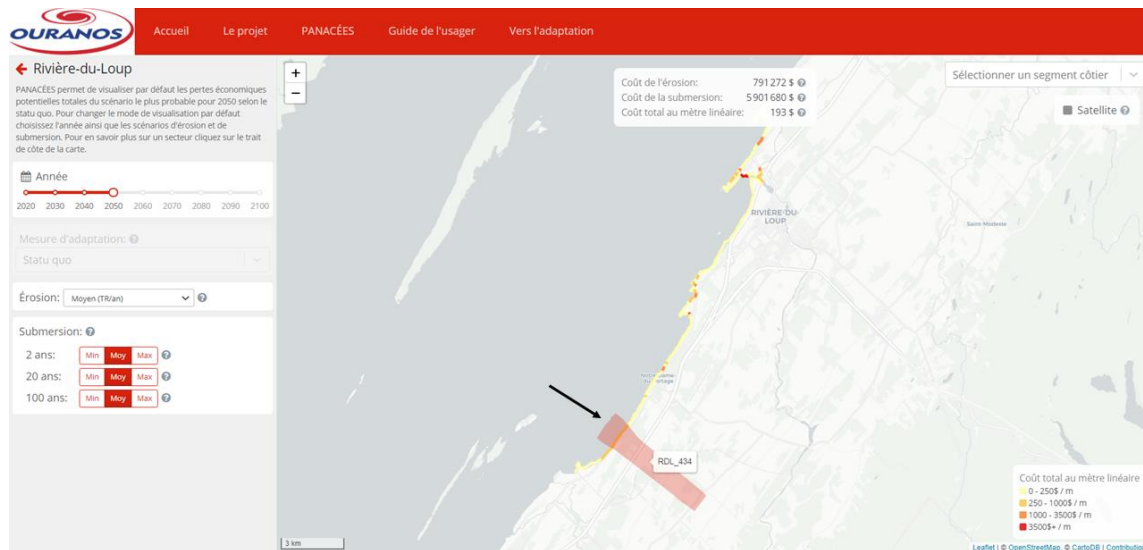
secteur pour mettre en œuvre des mesures d'adaptation dans le but d'atténuer les pertes économiques potentielles à l'érosion et la submersion côtière.



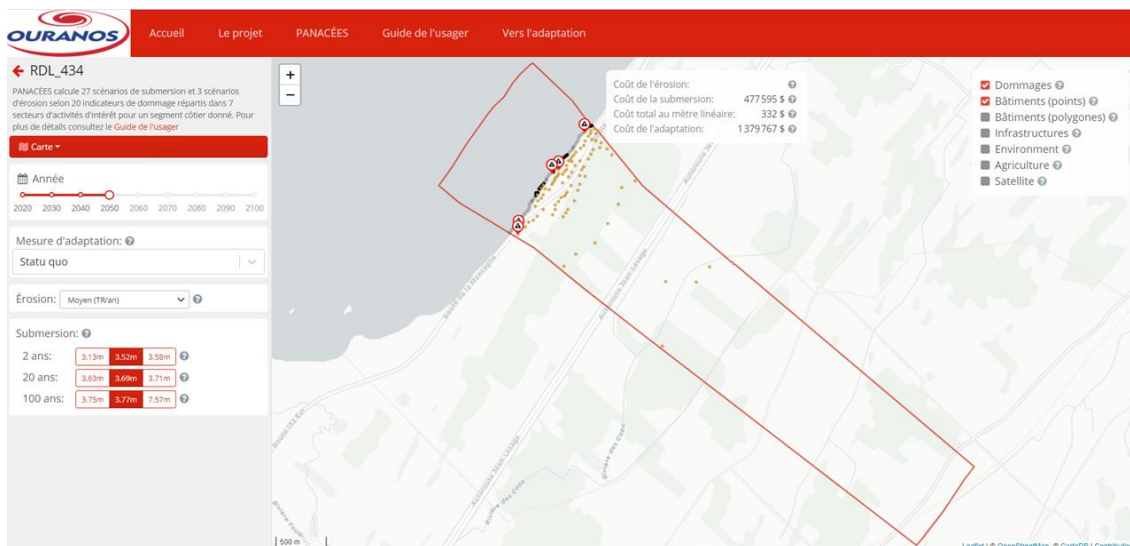
3.2. La sélection du segment côtier

Vous devez, pour accéder au secteur souhaité, sélectionner le segment côtier en cliquant directement sur la carte ou en sélectionnant le numéro du segment dans le menu déroulant situé au coin supérieur droit « Sélectionner un segment ».

Par exemple, sélection du segment RDL_434 en cliquant sur la carte.




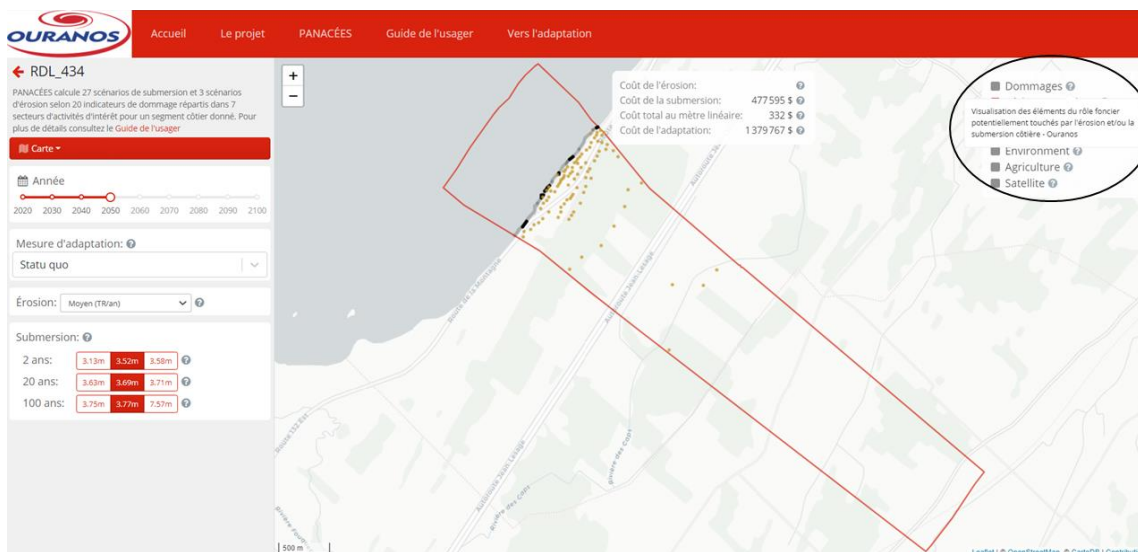
Le segment sélectionné s'affiche à l'écran. Par exemple RDL_434. À ce niveau, de nouvelles informations sont visibles afin de guider l'utilisateur dans le choix d'une mesure d'adaptation.



PANACÉES permet de visualiser plusieurs couches d'information. Ces informations peuvent être sélectionnées ou désélectionnées dans la fenêtre située au coin supérieur droit de la carte. La couche « Dommages » et « Bâtiments (points) » s'affiche par défaut.

- Dommages
- Bâtiments (points)
- Bâtiments (polygones)
- Infrastructures
- Environnement
- Agriculture
- Satellite

Remarque : En cliquant sur le  ; vous obtiendrez une description de la couche d'information ainsi que sa ou ses sources, par exemple :

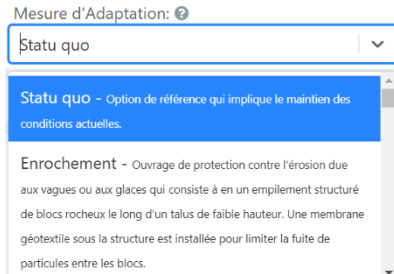


Pour l'ensemble des sources de données utilisées dans PANACÉES, veuillez consulter l'annexe 7 du présent guide.

3.3. Le choix des scénarios et des mesures d'adaptation

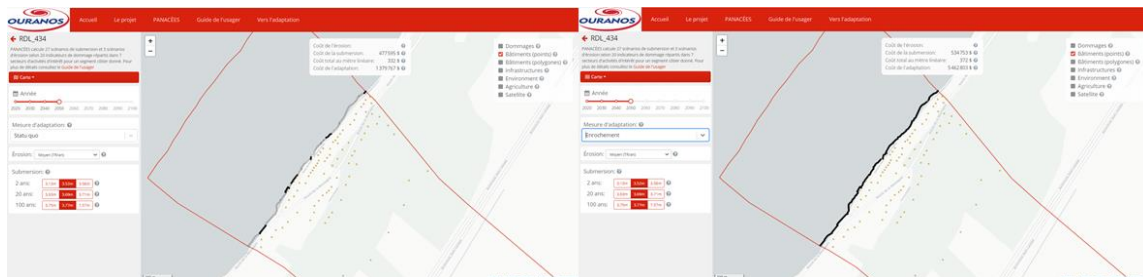
Comme proposé à l'échelle précédente il est encore possible de changer l'horizon temporel ainsi que les scénarios d'érosion et de submersion côtière. S'ajoute ici l'option de sélection d'une mesure d'adaptation.

Vous devrez, pour changer la mesure d'adaptation, sélectionner la mesure souhaitée dans le menu déroulant situé dans la fenêtre à gauche de la carte « Mesure d'adaptation ».



PANACÉES propose vingt et une mesures d'adaptation. Pour plus de renseignements sur la façon dont les mesures d'adaptation sont prises en compte dans l'analyse coûts-avantages, veuillez consulter la section 2.3 du présent guide et les annexes 2 et 3.

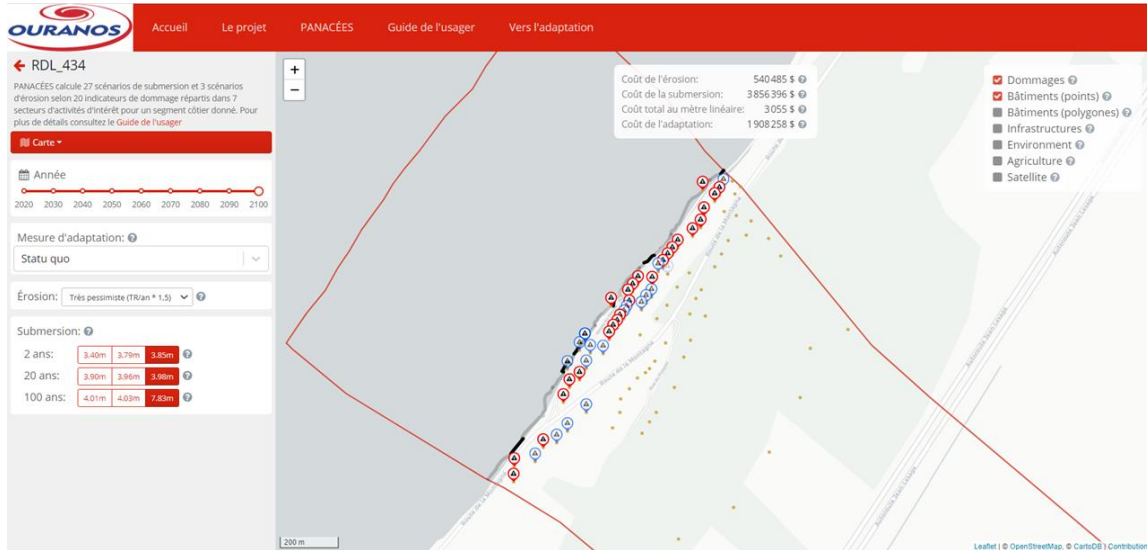
La mesure d'adaptation sélectionnée s'affiche à l'écran (trait noir sur le segment côtier) et les pertes économiques potentielles totales seront automatiquement ajustées selon votre sélection. Voici par exemple le changement de la mesure d'adaptation « Statu quo » (image à gauche) à celle de « l'enrochement » (image à droite) pour le segment RDL_434.



Remarque :

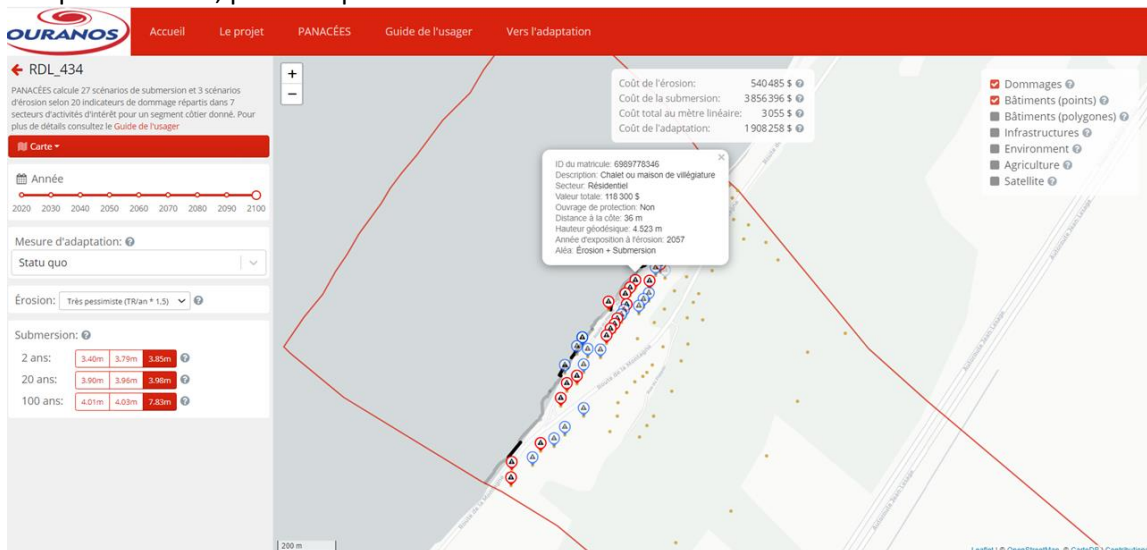
En scénario « Statu quo » le segment côtier de couleur noir signifie la présence de structure de protection côtière et le segment côtier de couleur gris signifie l'absence de structure de protection côtière. L'année de référence correspond à l'année 2015 pour la MRC de Rivière-du-Loup et à l'année 2010 pour la MRC de La Mitis.

Selon le scénario choisi, les éléments provenant du rôle d'évaluation foncier exposés à l'érosion s'affichent en rouge et à la submersion en bleu. Voici par exemple les éléments exposés pour un scénario d'érosion « Très pessimiste » et de submersion « Max » sur un horizon de 2100 impliquant le maintien des conditions actuelles (Statu quo) pour le segment côtier RDL_434.

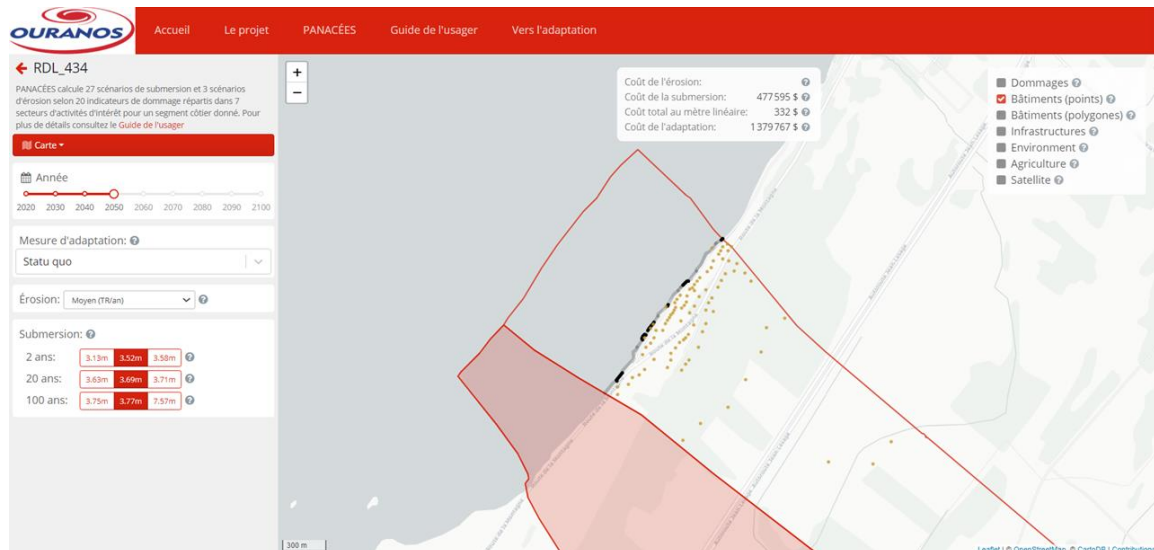


Remarque :

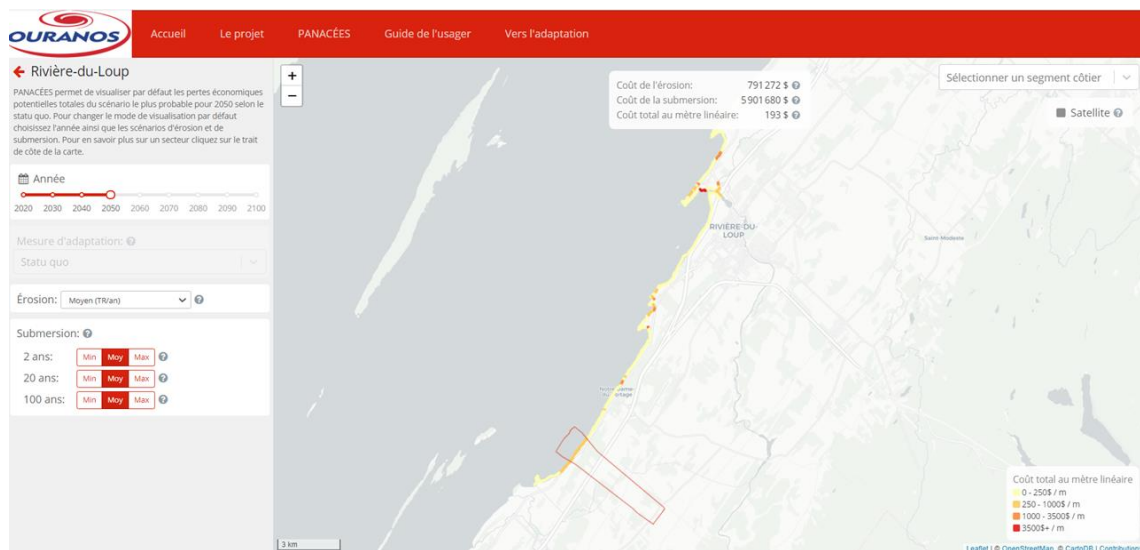
En cliquant sur le pictogramme des éléments exposés; vous obtiendrez des informations complémentaires, par exemple :



Pour accéder aux segments côtiers adjacents, vous devez cliquer directement sur la carte sur le segment souhaité. Ce dernier apparaît alors ombragé; par exemple :

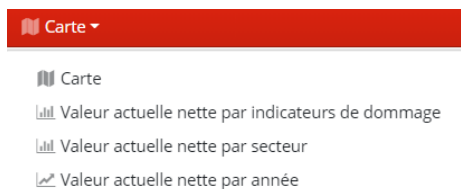


Pour accéder à nouveau à l'échelle de la MRC, vous devez cliquer sur la flèche au coin supérieur gauche de la fenêtre des scénarios ← RDL_434 . Le territoire de la MRC s'affiche à nouveau (selon les scénarios d'érosion et de submersion les plus probables sur un horizon de 2050 en impliquant le maintien des conditions actuelles « Statu quo ») tout en indiquant la localisation du dernier segment choisi.

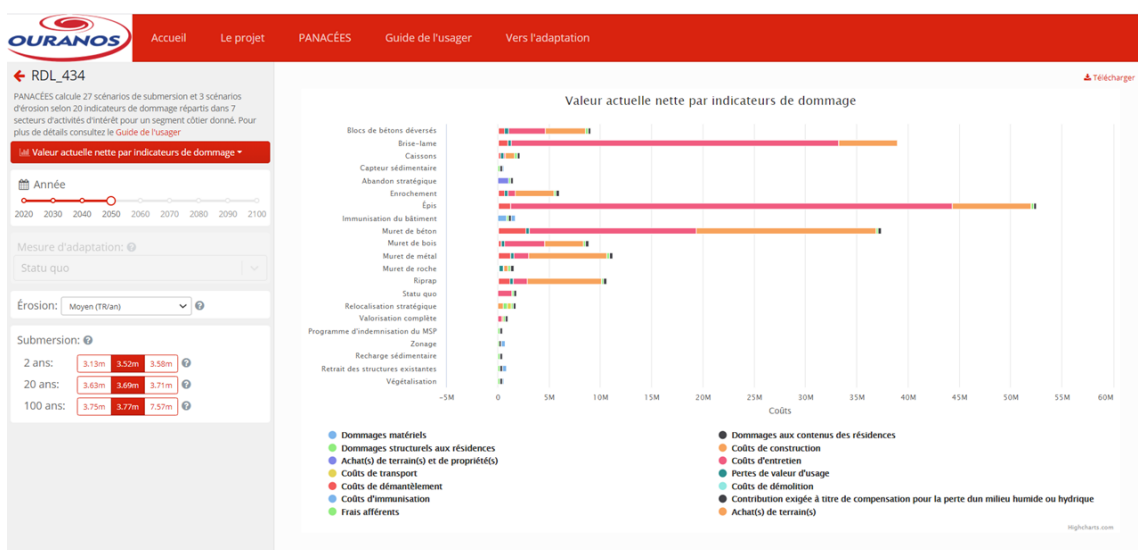


3.4. La visualisation des résultats

Panacées permet la visualisation des résultats des choix des scénarios en mode carte et en mode graphique. **Pour accéder au mode graphique, vous devez sélectionner le graphique souhaité dans le menu déroulant situé à gauche dans la fenêtre des scénarios.**



Le graphique sélectionné s'affiche à l'écran, par exemple celui de la Valeur actuelle nette par indicateurs de dommage pour le segment côtier RDL_434. L'ensemble des mesures d'adaptation sont automatiquement affichées dans le graphique.



Remarque :

Comme proposé à l'échelle précédente il est encore possible de changer l'horizon temporel ainsi que les scénarios d'érosion et de submersion côtière. Les pertes économiques potentielles totales seront automatiquement ajustées selon votre sélection. Voici par exemple le changement de la Valeur actuelle nette par Indicateurs de dommage du scénario le plus optimiste (image à gauche) à celui du plus pessimiste (image à droite) pour l'horizon 2050 pour le segment côtier RDL_434. Les éléments de la légende des graphiques peuvent être sélectionnés ou désélectionnés afin de permettre un affichage que pour les éléments souhaités.

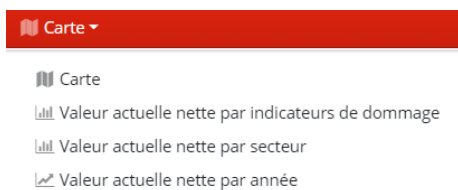


A noter que les couleurs et l'échelle changent lors d'une modification du choix du scénario pour les indicateurs de dommage d'une même mesure d'adaptation.

Pour sauvegarder les données du graphique, vous devez cliquer sur le bouton situé au coin supérieur droit du graphique. [Télécharger](#)

Un fichier en format csv est par la suite téléchargé. Vous pouvez ouvrir le fichier dans Excel et afficher les colonnes en fractionnant ces dernières par des virgules.

Pour changer de type de graphique ou pour revenir au mode carte, vous devez sélectionner le mode souhaité dans le menu déroulant situé à gauche dans la fenêtre des scénarios.



PANACÉES estime les valeurs actuelles nettes à l'aide de vingt indicateurs de dommage classés en 7 secteurs d'activités d'intérêt. Pour des renseignements sur la méthodologie de l'estimation des coûts, veuillez consulter la section 2.3 du présent guide et les annexes 2 à 5.

3.5. Interprétation des données

La présente section vise à accompagner les usagers de PANACÉES dans la réalisation des résultats et de leur interprétation.

Étape 1 : Quel segment côtier est considéré prioritaire ?

L'identification du segment côtier sur lequel il est serait prioritaire à intervenir peut se faire à l'aide des éléments suivants :

1. À l'échelle de la MRC, nous vous proposons de noter les coûts d'érosion, de submersion au mètre linéaire (voir la boîte de coûts*) dans l'intérêt de contextualiser la problématique à l'échelle de votre territoire. Vous pouvez faire varier les années ainsi que les scénarios de submersion et d'érosion pour comprendre comment la problématique évoluera.
2. Identifier les segments prioritaires en vous référant à la couleur du coût total au mètre linéaire. Plus la couleur est foncée, plus on estime des dommages anticipés importants sur ce segment.

Se référer à la section 3.1 pour vous guider dans la navigation de PANACÉES durant cette étape

*La boîte de coûts est située dans la partie supérieure de la fenêtre au centre :

Coût de l'érosion:	791 272 \$
Coût de la submersion:	5 901 680 \$
Coût total au mètre linéaire:	193 \$

Étape 2 : Quel est le contexte du segment prioritaire identifié ?

Lorsque le segment prioritaire est identifié il est suggéré de débiter l'analyse sur la base des critères suivants :

1. **Le coût total des dommages au mètre linéaire** pour le segment. Le coût total anticipé du segment au mètre linéaire selon les scénarios choisis est identifié dans la boîte de coûts. Il est le premier élément à observer.
2. **L'historique de la problématique d'érosion et/ou de submersion** du segment. L'outil PANACÉES ne peut répondre à ce critère. Or, il importe ici de documenter et de caractériser les dommages économiques passés en consultant des articles de journaux, des rapports ou toute autre information pertinente. Combien de bâtiments ont été touchés? Quel est l'état de la côte et des ouvrages de protection côtière ? Quelles infrastructures retrouve-t-on? etc.
3. **Les problématiques anticipées** : Quelles sont vos préoccupations, ou celles des citoyens, à l'égard de ce segment pour les années à venir?

A cette étape-ci il est également suggéré de faire varier l'horizon temporel pour observer les actifs exposés à l'érosion (éléments en rouge) et à la submersion (éléments en bleu) et les changements des coûts (boîte de coûts). Vous pouvez également tester différentes hypothèses (par ex. l'érosion : très optimiste à très pessimiste et la submersion 2 ans min à 100 max). Rappelons que:

- Le scénario 100 max correspond à la hauteur maximale enregistrée lors de la tempête 2010.
- En raison des vagues et de la présence de sous-sol, les dommages de submersion surviennent même si la hauteur de submersion est inférieure à l'élévation du rez-de-chaussée.
- Il est recommandé d'appuyer le constat d'intervention selon les paramètres par défaut :
 - Mesure d'adaptation : Statu quo
 - Érosion : Moyen
 - Submersion : Moyen pour 2 ans, 20 ans et 100 ans

Se référer à la section 3.2 et 3.3 pour vous guider dans la navigation de PANACÉES durant cette étape

Étape 3 : Quels aléas auront le plus d'impact ?

À cette étape il est proposé de déterminer quels aléas (érosion ou submersion) est le plus problématique en comparant les coûts économiques potentiels (voir la boîte de coûts). Les coûts de submersion sont généralement plus importants.

Étape 4 : Quelles mesures devrait-on prioriser ?

Selon les observations de l'étape précédente nous vous proposons de prioriser les mesures suivantes en fonction des aléas:

Quels aléas affectent le plus le segment ?	Prioriser les mesures...
Érosion	Mesures rigides Mesures végétales Mesures de gestion d'urgence Mesures réglementaires ou d'aménagement du territoire
Submersion	Brise-lame Mesures végétales Mesures de gestion d'urgence Mesures réglementaires ou d'aménagement du territoire

Étape 5 : Comment interpréter la Valeur actuelle nette (VAN) par secteur ?



Le graphique à bande *Valeur actuelle nette par secteur* indique quel secteur de l'économie sont les plus impactés par le scénario envisagé. Les valeurs représentées sont les impacts économiques cumulatifs actualisés par secteur pour une année et un scénario choisi. Dans cet exemple ci, les coûts d'adaptations sont tellement importants pour certaines mesures qu'il importe de retenir des mesures d'adaptation comme l'installation de caissons, de capteurs sédimentaires, de murets de roches ou alors de viser des méthodes plus douces, comme le programme d'indemnisation du MSP, le zonage ou le retrait des structures existantes. À noter

que le secteur *Adaptation* représente la somme des coûts directs et indirects relatifs à la mise en place de mesure d'adaptation. Les autres secteurs représentent des dommages.

Il est recommandé de toujours débiter l'analyse du graphique en désélectionnant l'ensemble des secteurs. Ceci facilite son interprétation en sélectionnant dans un premier temps le secteur résidentiel puis en ajoutant graduellement les autres secteurs afin de comparer les impacts.

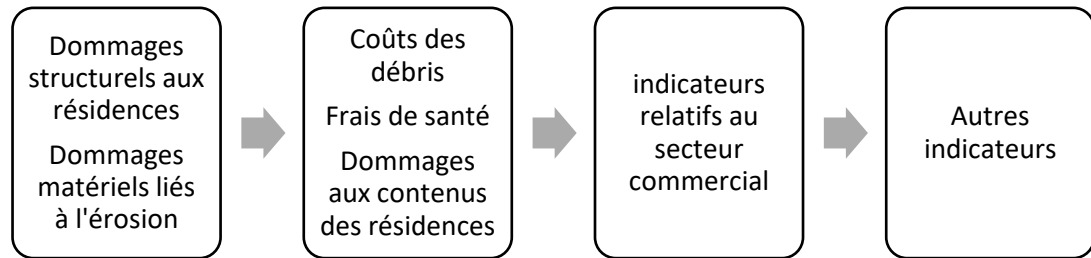
Se référer à la section 3.4 pour vous guider dans la navigation de PANACÉES durant cette étape

Étape 6 : Comment interpréter la Valeur actuelle nette (VAN) par indicateurs de dommage ?



Le graphique à bande *Valeur actuelle nette par indicateurs de dommages* indique quel type de dommages est le plus important. Les valeurs représentées sont les impacts économiques cumulatifs actualisés par indicateurs de dommage pour une année et un scénario choisi.

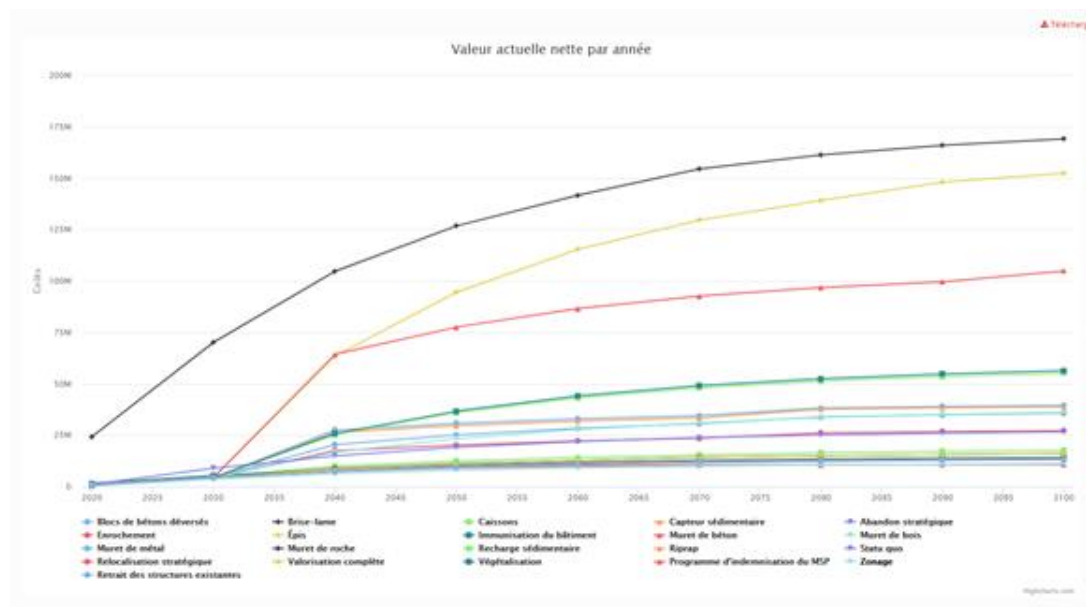
Nous recommandons d'observer les résultats de ce graphique par incrément, c'est-à-dire en désélectionnant d'abord tous les indicateurs de dommage, puis en sélectionnant en étapes certains indicateurs pour faciliter l'interprétation. Voici la séquence proposée :



Finalement, nous suggérons de comparer les coûts de construction avec les coûts d'entretien. Si la construction d'un ouvrage vaut parfois la peine par rapport aux dommages attendus, il n'est pas rare que les coûts d'entretien rendent l'exercice non-rentable, comme dans l'exemple ci-dessus. L'utilisateur pourrait alors comparer d'autres options moins coûteuses en intégrant d'autres indicateurs.

Se référer à la section 3.4 pour vous guider dans la navigation de PANACÉES durant cette étape.

Étape 7 : Comment interpréter la Valeur actuelle nette (VAN) par année ?



Le graphique à ligne brisée indique la valeur actuelle nette cumulée des différentes mesures proposées selon un horizon temporel. Les valeurs représentées sont les impacts économiques cumulatifs actualisés par mesures pour une année et un scénario choisi. Dans l'intérêt de minimiser les coûts d'adaptation et les dommages économiques, il est préférable d'envisager des scénarios où les coûts sont bas (représentés par les lignes situées dans la zone inférieure du graphique).

L'ensemble des mesures se trouvant au-dessus de la barre des XM\$ (seuil à déterminer par l'utilisateur voir Circé et al. 2016 pour des exemples) pourrait être rejeté, en raison de leur non-rentabilité. Les mesures sous la barre de ce seuil pourraient faire l'objet d'analyse plus approfondie (voir exemple suivant).

La forme lisse de la courbe s'explique par le fait que la valeur représentée est cumulative, c'est-à-dire que le montant représente toute la valeur monétaire associée au déploiement d'une mesure pour l'année X. L'actualisation de ces montants contribue aussi à lisser cette courbe. En raison de l'actualisation, dépenser 100M\$ en 2020 représente une valeur plus importante que 100M\$ en 2100.

Rappelons que les valeurs des coûts représentées sont supportées par divers agents (par exemple le Ministère de la Sécurité publique, les résidents touchés, la municipalité, etc.).

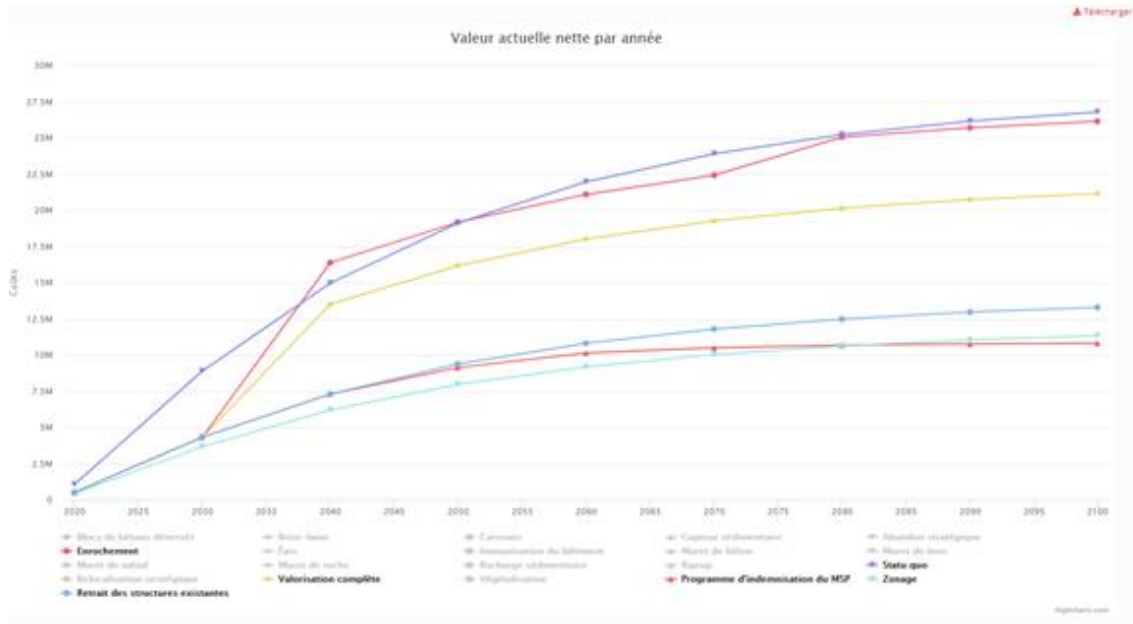
Dans cet exemple, on constate une flexion dans les courbes aux alentours de 2040. Généralement, cette flexion est attribuable au coût de construction (ou aux autres coûts fixes d'adaptation) et aux scénarios d'érosion, plus l'érosion est rapide, plus on doit construire rapidement une mesure d'adaptation rigide. Il est recommandé de noter à quelle année cette flexion survient.

Les écarts entre les scénarios s'attribuent aux coûts d'entretien et aux dommages de submersion qui sont récurrents.

Se référer à la section 3.4 pour vous guider dans la navigation de PANACÉES durant cette étape.

Comment interpréter l'ensemble des résultats (Étude de cas) ?

La réalisation des étapes précédentes permet d'approfondir l'analyse des résultats. Cette analyse sera illustrée à l'aide du graphique de Valeur actuelle nette par année.



Pour réaliser une analyse plus approfondie, nous recommandons de sélectionner uniquement l'ensemble des mesures qui performant bien côté rentabilité ou qui nous intéressent, tout simplement. Cette opération permet de voir plus clairement les différences entre les courbes pertinentes.

Dans cet exemple, il a été retenu les mesures suivantes : *Statu quo*, *Enrochement*, *Valorisation complète*, *Retrait des structures existantes*, *Programme d'indemnisation du MSP* et *Zonage*. Assumons que plusieurs mètres de ce segment de côte sont déjà artificialisés et nécessitent des coûts considérables d'entretien. Les mesures d'artificialisation existantes ont été déployés par des résidents et sont multiples : muret de roche, de bétons, enrochement, muret de métal, etc. Les conclusions de cet exemple pourraient s'appliquer à plusieurs segments sur le territoire. Les prochains paragraphes expliquent chacune de ces mesures.

Statu quo : Dans cet exemple le statu quo est le moins rentable au point de vue de la société, et ce jusqu'en 2040 environ. L'entretien récurrent des structures existantes fait en sorte que ce scénario restera dans les moins rentables jusqu'à la fin du siècle. Il importe de revoir la stratégie.

Enrochement : On remarque deux flexions dans la courbe, associées à deux constructions attendues en 2040 et 2080, ce qui correspond à la durée de vie de l'ouvrage. Les coûts de construction importants de l'ouvrage font en sorte que la mesure est comparable à celle du statu quo, mais légèrement inférieur. Enrocher l'ensemble du segment serait potentiellement une mesure envisageable par rapport au statu quo, à mesure de réaliser les travaux à des coûts inférieurs ou égaux à ceux indiqués au tableau 8 de l'annexe 2.

Valorisation complète : La valorisation complète permettrait de freiner l'érosion et valoriser une portion du secteur considéré comme un milieu public sableux. Dans cet exemple, il s'agit d'un scénario plus rentable que l'enrochement ou le statuquo, probablement en raison des coûts moins importants de réalisation et d'entretien.

Retrait des structures existantes : Le retrait des structures existantes exposerait l'ensemble des actifs protégés à l'érosion, mais permettrait de ne pas payer des coûts d'entretien et de construction de façon récurrente. Dans cet exemple, il s'agit d'une solution plus rentable au point de vue collectif que l'enrochement, la valorisation ou le statuquo. Il est primordial de rappeler que les mesures les plus rentables au point de vue collectif ne sont pas toujours les plus acceptables au point de vue de la société. Cet arbitrage doit impliquer les citoyens concernés qui sont en premier lieu; les résidents et commerçants touchés par les aléas et en second lieu, les citoyens contribuables au programme de soutien et aux ouvrages existants.

Programme d'indemnisation du MSP : Le design actuel du programme d'indemnisation du MSP (en date de janvier 2020) incite les citoyens résidents indemnisés à déménager lorsque les demandes financières d'indemnisation ont excédé un certain seuil par bâtiment. Le fait que ce programme soit déjà en vigueur réduit la rentabilité relative des autres mesures d'adaptation à long terme. La différence entre la courbe d'une mesure rigide et la courbe du programme d'indemnisation peut être utilisée pour inciter davantage de résidents et de commerçants à déménager de la zone exposée. Dans notre exemple, le programme est plus rentable que le retrait des structures existantes puisque certains dommages récurrents liés à la submersion ne sont pas subis indéfiniment. Nous recommandons d'observer les résultats de la valeur actuelle nette par indicateurs de dommage pour valider cette information.

Zonage : La mesure de zonage est plus avantageuse pour les premières années puis devient moins rentable que le programme d'indemnisation vers 2080. Cette observation s'explique par les dommages évités en incitant les résidents exposés à déménager en début de période au lieu d'attendre que le seuil d'indemnisation soit atteint. Il est important de rappeler que le zonage est une mesure *ex ante* et s'appuie sur les cotes de crues actuelles dont l'incertitude demeure un enjeu. Si les tempêtes sont plus graves et plus coûteuses dans le futur, le programme de zonage devient moins rentable relativement par rapport au programme d'indemnisation du MSP, qui lui, est plus flexible en raison de son caractère *ex post* — après les faits. À l'inverse, si les dommages économiques subis sont moins importants que les dommages économiques prévus, le programme de zonage force le retrait d'un peu trop d'actifs. Finalement, si les dommages économiques subis s'avèrent égaux aux dommages économiques prévus, le programme de zonage est plus avantageux dans la mesure où il permet d'éviter de payer tous les dommages jusqu'à l'atteinte du seuil fixé par le programme d'indemnisation financière du MSP.

Voici quelques constats que nous pouvons émettre suite à cette analyse :

- Actuellement, les dommages liés à la submersion sont :
 - Considérables pour le secteur résidentiel et commercial.
 - Préoccupants pour les indicateurs structurels et aux contenus des résidences
 - Significatifs pour les frais de santé occasionnés par les aléas
- Plusieurs mesures envisageables ont des impacts économiques élevés. Toutefois, d'un point de vue de la collectivité, il existe des mesures plus rentables que le scénario statuquo, soit celui d'entretenir et de reconstruire les différents ouvrages déjà existants.
- Par ordre de rentabilité des alternatives étudiées, les mesures sont les suivantes : *Zonage, Programme d'indemnisation du MSP, Retrait des ouvrages existants, Valorisation et Enrochement.*

Suite à ces constats nous pouvons émettre certaines recommandations. Ces dernières doivent toutefois s'appuyer sur une compréhension du contexte de la problématique. De plus, il est primordial d'être cohérent envers les politiques, les outils de planification en aménagement du territoire et les mesures déjà en place. Voici les principales recommandations émises suite à l'analyse des résultats.

Mesure analysée	Recommandation	Commentaire
Zonage	Recommandée	<p>Permettrait d'éviter à plusieurs résidents et commerçants de subir certains dommages récurrents qui auront comme conséquence de les inciter à quitter en raison du programme d'indemnisation du MSP. La rentabilité de ce scénario s'appuie principalement sur le départ des actifs exposés, mais aussi sur des conditions sociales plus larges que des indicateurs économiques :</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ La collaboration/communication/transparence des parties prenantes (citoyens et organisations). Les actifs qui doivent prioritairement quitter sont ceux qui subissent le plus de dommages économiques. Il est impératif de valider les projections réalisées dans PANACÉES avec les montants du programme d'indemnisation du MSP et l'historique des dépenses non-réclamées. Les projections de dommages sont souvent plus importantes que les réclamations réellement réalisées.; ▪ Un soutien psychologique et financier suffisant; ▪ Un plan local d'atténuation des conséquences de la dévitalisation du secteur analysé. Cet impact dynamique n'est pas intégré dans l'outil PANACÉES. <p>Enfin, le départ de certains résidents pourrait éventuellement permettre de démanteler certains ouvrages devenus inutiles et d'ainsi éviter de payer leurs coûts d'entretien et de reconstruction.</p>
Valorisation des berges	Pourraient être recommandés	<p>La valorisation des berges et l'enrochement pourraient être envisagés à certains endroits suite aux conclusions d'une étude d'impact plus approfondie du retrait des actifs exposés visés par le zonage ou la politique d'indemnisation. Ces mesures sont potentiellement plus rentables que le zone ou l'indemnisation si la somme de l'impact économique de la dévitalisation du secteur et des soutiens financiers offerts à la délocalisation excède l'écart de rentabilité entre les scénarios <i>Valorisation/Enrochement</i> et <i>Zonage</i></p>
Enrochement		
Statu quo	Non recommandée	<p>En raison de la possibilité que certaines mesures soient plus rentables du point de la vue de la collectivité sur le segment étudié, nous recommandons de considérer le réaménagement du secteur. Les détails de ce réaménagement devront faire l'objet d'une étude plus approfondie et impliquer les acteurs concernés.</p>

4. Vers une mise en œuvre de mesures d'adaptation

4.1. Comment concrétiser vos scénarios ?

PANACÉES offre un cadre opérationnel, simple et flexible qui permet à l'utilisateur de comprendre et d'analyser les mesures d'adaptation qui pourraient être mises en place afin d'atténuer les risques côtiers.

Elle permet à l'utilisateur de télécharger des données puis de les adapter selon ses besoins. Les résultats permettent d'appuyer les demandes d'autorisations et peuvent également servir d'argumentaire sur la mesure la plus rentable.

Il s'agit d'un outil d'aide à la décision qui devra forcément être utilisé conjointement avec d'autres outils. Les résultats doivent être interprétés comme des estimations monétaires des dommages potentiels de l'érosion et la submersion côtière pour les territoires des municipalités partenaires. Les analyses de PANACÉES donnent un ordre de grandeur des impacts selon différents scénarios et ne devraient qu'alimenter les réflexions de priorisation de segments côtiers à protéger. Par exemple, dans l'éventualité où les résultats recommanderaient un type d'ouvrage de protection, une estimation produite par une firme de génie côtier devra être réalisée pour obtenir une estimation plus juste des coûts à déboursier. Dans la [série d'ACA](#) réalisée par Ouranos en 2016, plusieurs municipalités ont suivi les recommandations émises, dont celle de Percé (voir encadré), de Carleton-sur-Mer et des Îles-de-la-Madeleine (secteur La Grave).

L'exemple de Percé

Percé avait été sélectionné pour faire partie des cinq municipalités dont les solutions d'adaptation aux changements climatiques allaient faire l'objet d'une analyse coûts-avantages (ACA). L'ACA a été réalisée afin d'évaluer la solution la plus rentable pour la période de 2015 à 2064 en tenant compte des impacts économiques, environnementaux et sociaux ainsi que des coûts de mise en place de ces mesures d'adaptation. Les recommandations émises par l'ACA ont permis d'appuyer la ville vers l'option de recharge de plage qui était la solution la plus avantageuse économiquement, notamment par les gains touristiques de l'implantation de cette mesure. Environ deux ans après cette étude, la ville a amorcé les travaux qui visaient la protection et la réhabilitation du littoral de l'Anse du Sud afin d'assurer la sécurité et la pérennité des infrastructures du centre-ville de Percé et d'intégrer la structure de protection de la rive à une structure récréotouristique mettant en valeur le paysage côtier.

Pour en savoir plus : [Ville de Percé](#)

4.2. Des ressources pour vous guider dans vos démarches de mise en œuvre

Pour vous mettre à jour sur les avancées scientifiques ou vous accompagner dans les démarches d'autorisation et les programmes de financement, voici quelques liens qui pourraient vous être utiles.

Avancées scientifiques et diagnostic :

[Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières](#)

[Ouranos](#)

[Stratégies Saint-Laurent -érosion](#)

[Ministère de la Sécurité publique du Québec -érosion](#)

[Ministère de la Sécurité publique du Québec -inondation](#)

[Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques -l'état de l'eau et des écosystèmes aquatiques](#)

Programmes de financement :

[Ministère des Affaires municipales et de l'Habitation](#)

[Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques](#)

[Ministère de la Sécurité publique du Québec -cadre pour la prévention des sinistres 2013-2022](#)

[Fédération canadienne des municipalités](#)

Autorisations :

[Pêches et Océans Canada](#)

[Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs](#)

[Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques](#)

5. Références

Bachand E., Comtois S. (2016). *Recharge en sable et revégétalisation de 2 plages de l'estuaire du Saint-Laurent, Québec*. Le Naturaliste Canadien vol. 140 no.2, 12 p.

Bernatchez, P., Dugas, S., Fraser, C., Da Silva, L. (2015). *Évaluation économique des impacts potentiels de l'érosion des côtes du Québec maritime dans un contexte de changements climatiques*. Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières, Université du Québec à Rimouski. Rapport remis à Ouranos. 45 pages et annexes.

Disponible à : https://www.ouranos.ca/publication-scientifique/RapportBernatchez2015_FR.pdf

Bernatchez, P., Jolicoeur, S. et Savard, J.-P. (2016). *Impacts des changements climatiques et des contraintes physiques sur le réajustement des écosystèmes côtiers (coastal squeeze) du golfe et de l'estuaire du Saint-Laurent (GESL) et évaluation des mesures d'atténuation de ces impacts*. Rapport remis à Ouranos. 189 pages et annexes.

Disponible à : <https://www.ouranos.ca/publication-scientifique/RapportBernatchez2016.pdf>

Bonnifait, L. (2005). *Développement de courbes submersion-dommages pour l'habitat résidentiel québécois*. Mémoire. Institut national de la recherche scientifique. 80 p.

Boyer-Villemaire, U., Quintin, C. et Gosselin, C.A. (en préparation). *Estimation de la submersion pour le projet PANACÉES*. Note technique présentée à Ouranos. Montréal.

Boyer-Villemaire, U., Savard, J.-P. et Roy, P. (2016). *Évaluation des niveaux d'eau extrêmes causant des dommages de submersion en zone côtière au Québec*. Ouranos, Montréal. 30 p.

Disponible à : <https://www.ouranos.ca/publication-scientifique/Rapport-Submersion.pdf>

Bouchard St-Amand. P.-A. et Dumais G. (2020). *Development of the depth-damage functions for the commercial, industrial and recreational sector*. École Nationale d'Administration Publique. Document de travail remis au Groupe d'étude la rivière Richelieu et du Lac Champlain à la Commission mixte internationale. 21p.

Charron, I. (2016). *Guide sur les scénarios climatiques : Utilisation de l'information climatique pour guider la recherche et la prise de décision en matière d'adaptation*. Édition 2016. Ouranos, 94 p.

Disponible à : https://www.ouranos.ca/publication-scientifique/GuideScenarios2017_FR.pdf

Circé, M., Da Silva, L., Boyer-Villemaire, U., Duff, G., Desjarlais, C. et Morneau, F. (2016). *Analyse coûts-avantages d'options d'adaptation en zone côtière au Québec – Rapport synthèse*. Ouranos. Montréal. 92 pages et annexes.

Disponible à : <https://www.ouranos.ca/publication-scientifique/Rapport-synthese-ACA-Quebec-final.pdf>

Drejza, S., Friensinger, S. et Bernatchez, P. (2014). *Vulnérabilité des infrastructures routières de l'Est du Québec à l'érosion et à la submersion côtière dans un contexte de changements climatiques : Caractérisation des côtes, dynamique hydrosédimentaire et exposition des infrastructures routières à l'érosion et à la submersion, Est du Québec, Volume I, Projet X008.1*. Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières, Université du Québec à Rimouski. Remis au ministère des Transports du Québec. 226 pages et annexes.

Disponible à : http://www.bv.transports.gouv.qc.ca/mono/1166760/01_Volume_1.pdf

Federal Emergency Management Agency. (2013). *Multi-hazard Loss Estimation Methodology – Hazus Flood Model*. Rapport technique. 569 p.

Groupe d'étude la rivière Richelieu et du Lac Champlain à la Commission mixte internationale. (2017). *Plan de travail pour la détermination des mesures d'atténuation des inondations et leurs effets dans le bassin versant du Lac Champlain et de la rivière Richelieu*. Rapport. 84 p.

GIEC. (2014). *Changements climatiques 2014: Incidences, adaptation et vulnérabilité – Résumé à l'intention des décideurs*. Contribution du Groupe de travail II au cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat [sous la direction de Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel,

A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea et L.L. White]. Organisation météorologique mondiale, Genève (Suisse). 34 p.

Disponible à : https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/ar5_wgII_spm_fr-2.pdf

Gosselin C.-A. et Dumais. G. (2019). *Estimation du fardeau économique des impacts sociosanitaires des inondations au Québec*. Ouranos. Document de travail remis au Groupe d'étude la rivière Richelieu et du Lac Champlain à la Commission mixte internationale. 16 p.

Gosselin C.-A. (2020). *Development of complementary depth-damage functions for the primary and secondary residential sector*. Ouranos. Document de travail remis au Groupe d'étude la rivière Richelieu et du Lac Champlain à la Commission mixte internationale. 15 p.

Hoffmann, E. (2016) The Costs of Shoreline Stabilization. Governor's South Atlantic Alliance. Consulté en ligne 2021/02/26.

Disponible à : <http://southatlantcalliance.org/wp-content/uploads/2016/04/17-Hoffman-The-Costs-of-Shoreline-Stabilization.pdf>

Houde-Poirier, M., Didier, D., Bernatchez, P. et Touchette, M. (2018). *Méthode de détermination de la ligne des hautes eaux pour le domaine maritime dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent dans un contexte de changements climatiques : Rapport final*. Chaire de recherche en géoscience côtière, Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières, Université du Québec à Rimouski. Rapport final remis au ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques et au ministère des Transports, de la Mobilité durable et de l'Électrification des transports du Québec. 222 pages et annexes.

Kopp, R. E., DeConto, R. M., Bader, D. A., Hay, C. C., Horton, R. M., Kulp, S. et Strauss, B. H. (2017). *Evolving understanding of Antarctic ice-sheet physics and ambiguity in probabilistic sea-level projections*. *Earth's Future*, 5(12), 1217-1233.

Lapointe, D. (1986). *Zones inondables – Fleuve Saint-Laurent : Tronçon Grondines – Sainte-Anne-des-Monts : Calcul des niveaux de récurrence 2, 5, 10, 20, 50 et 100 ans*. Ministère de l'environnement, Direction des relevés aquatiques. Numéro RA-86-02. 44 p.

Disponible à : [https://www.cehq.gouv.qc.ca/zones-inond/cartes-rapports/Fleuve St-Laurent - Grondines Ste-Anne-des-Monts RA-86-02.pdf](https://www.cehq.gouv.qc.ca/zones-inond/cartes-rapports/Fleuve_St-Laurent_-_Grondines_Ste-Anne-des-Monts_RA-86-02.pdf)

Lefavre, D. (2011). *Débordement et déferlement des eaux : cas du 6 décembre 2010*. *Infocéans*, 14(1), 3.

Disponible à : [https://inter-l01-uat.dfo-mpo.gc.ca/infoceans/sites/infoceans/files/2020-02/2011-02 INFOCEANS-fra.pdf](https://inter-l01-uat.dfo-mpo.gc.ca/infoceans/sites/infoceans/files/2020-02/2011-02_INFOCEANS-fra.pdf)

Marie, G. et al. (2017). *L'adaptation aux aléas côtiers dans un contexte de changements climatiques : portrait des besoins exprimés et des outils proposés à l'échelle des MRC de l'Est du Québec*. 114 p.

Disponible à : https://ldgizc.uqar.ca/Web/docs/default-source/default-document-library/portrait_besoins_outils_mrc_est_qc.pdf?sfvrsn=8471b646_2.

Marie, G., Bernatchez, P., Dugas, S., Fraser, C. et Drejza, S. (2014). *Marges de sécurité en érosion côtière : évolution historique et future du littoral des MRC de La Mitis et de La Matanie et des municipalités de Cap-Chat et Sainte-Anne-des-Monts*. Chaire de recherche en géoscience côtière, Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières, Université du Québec à Rimouski. Rapport remis au ministère de la Sécurité publique du Québec. 74 p.

McGrath, H., Stefanakis, E. et Nastev, M. (2015). *Sensitivity analysis of flood damage estimates: A case study in Fredericton, New Brunswick*. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 14, 379–387. doi:10.1016/j.ijdrr.2015.09.003

Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques. (2018) *Analyse d'impact réglementaire du Règlement sur la compensation pour l'atteinte aux milieux humides et hydriques*. 68 p.

Ministère de la Sécurité publique du Québec. (2019). *L'érosion côtière*.

Disponible à : <https://www.securitepublique.gouv.qc.ca/securite-civile/surveillance-du-territoire/erosion-cotiere.html>

Ministère de la Sécurité publique du Québec. (2019). *Érosion et submersion côtière*.

Disponible à : <https://www.securitepublique.gouv.qc.ca/securite-civile/se-preparer-aux-sinistres/sinistres/erosion-et-submersion-cotieres.html>

Nauels, A., Rogelj, J., Schleussner, C. F., Meinshausen, M. et Mengel, M. (2017). *Linking sea level rise and socioeconomic indicators under the Shared Socioeconomic Pathways*. Environmental Research Letters, 12(11), 114002.

Oubennaceurm K, Chokmani, K., Nastev M., Lhissou. R. et El Alem E. (2019). *Flood risk mapping for direct damage à residential buildings in Quebec, Canada*. International Journal of Disaster Risk Reduction, p.45-54. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2018.09.007>

Pêches et Océans Canada. *OCANEE, Outil canadien d'adaptation aux niveaux d'eau extrêmes*.

Disponible à : <https://www.bio.gc.ca/science/data-donnees/can-ewlat/index-fr.php>

Penning-Rowsell, E., Priest, S., Parker, D., Morris, J., Tunstall, S., Viavattene, C., Chatterton, J. et Owen, D. (2013). *Flood and Coastal Erosion Risk Management, A Manual for Economic Appraisal*. London, Routledge.

IBI Group. (2015). *Provincial Flood Damage Assessment Study*. Rapport remis au Gouvernement de l'Alberta, 73 pages et annexe

Quintin, C., Bernatchez, P. et Jolivet, Y. (2013). *Impacts de la tempête du 6 décembre 2010 sur les côtes du Bas-Saint-Laurent et de la baie des Chaleurs*. Rapport d'analyse : volume I. Présenté au ministère de la Sécurité publique du Québec. 48 p.

Disponible à : https://ldgizc.ugar.ca/Web/docs/default-source/default-document-library/quintin_bernatchez_jolivet_rapport-temp%C3%AAte-6-d%C3%A9cembre2010-vol-i_2013.pdf?sfvrsn=ec75c43e_0

Rozum, J. S. et Carr, S. D. (2013). *Tools for Coastal Climate Adaptation Planning: A Guide for Selecting Tools à Assist with Ecosystem-Based Climate Planning*.

Samson-Tshimbalanga J. et Rousseau, A. N. (2019). *Elaboration of Agricultural Performance Indicators for Use in Risk and Damage Evaluations Caused by Flooding in the Lake Champlain Richelieu River Basin*. Centre Eau Terre et Environnement, Institut national de la recherche scientifique (INRS-ETE). Rapport remis à la Commission mixte internationale. 55 p.

Savard, J.-P., Bernatchez, P., Morneau, F., Saucier, F., Gachon, P., Senneville, S., Fraser, C. et Jolivet, Y. (2008) *Étude de la sensibilité des côtes et de la vulnérabilité des communautés du golfe du Saint-Laurent aux impacts des changements climatiques Synthèses des résultats*. Rapport remis à Ouranos. 58 p.

Disponible à : https://www.ouranos.ca/publication-scientifique/RapportSavard2008_FR.pdf

Sauvé P. (2017). *Analyse multicritère des mesures de lutte contre l'érosion côtière : développement d'un outil d'aide à la décision*. Mémoire présenté à l'École de Technologie Supérieure. 136 p.

Solid Waste Association of North America – Section Québécoise et Réseau Environnement. (2018). *Plan de gestion des débris après sinistre – Guide à l'intention des organisations municipales*. 42 p.

Disponible à : <https://www.reseau-environnement.com/wp-content/uploads/2018/11/Guide-Gestion-des-de%CC%81bris.pdf>

United Kingdom Environment Agency. (2015). *Long term costing tool for flood and coastal risk management, Reaserches and analysis*. 17 vol.

United States Army Corps of Engineers (USACE) (2002), *Coastal Engineering Manual*. Engineer Manuals. 10 documents

Webster, A., Gagnon-Lebrun, F., Desjarlais, C., Nolet, J., Sauvé, C. et Uhde, S. (2008). *L'évaluation des avantages et des coûts de l'adaptation aux changements climatiques*. Rapport rédigé pour Ouranos avec l'aide de ÉcoRessources. 66 p.

Disponible à : https://www.ouranos.ca/publication-scientifique/RapportWebster2008_FR.pdf

Annexes

Annexe 1 : Scénarios d'érosion et de submersion

Les paramètres des scénarios d'érosion et de submersion côtières sont détaillés dans le tableau 5.

Tableau 5 - Paramètres des scénarios d'érosion et de submersion côtières

Aléa	Scénario	Horizon temporel	Échelle spatiale	Justification sur le choix méthodologique
Érosion	Cinq scénarios possibles selon une pondération des taux de recul moyen annuel contenus dans les fichiers de traits de côte de 2010 pour la MRC de la Mitis et 2015 pour la MRC de Rivière-du-Loup	De 2020 à 2100 (par tranche de 10 ans)	Segment côtier homogène	Permet à l'utilisateur d'ajuster le scénario choisi selon les nouvelles connaissances scientifiques
Submersion	Trois scénarios possibles d'hauteur de submersion selon la probabilité qu'une onde de tempête puisse survenir tous les 2, 20 ou 100 ans (cotes de crues en vigueur). La hausse du niveau marin relatif a été intégrée (RCP8.5+composante isostatique)	De 2020 à 2100 (par tranche de 10 ans)	Segment côtier homogène (adapté de la distance estimée des stations provinciales de référence pour les cotes de crues en vigueur jugées pertinentes entre Pointe-au-Père et Matane et aux alentours de Rivière-du-Loup)	Permet à l'utilisateur d'ajuster le scénario choisi selon les nouvelles connaissances scientifiques.

Projections de l'érosion

Généralement, les études économiques des impacts économiques de l'érosion vont uniquement projeter le taux de recul moyen annuel et comptabiliser les dommages espérés (Circé et al., 2016, Bernatchez et al., 2015). Cette projection correspond au scénario d'érosion moyen. Le fait d'utiliser qu'une seule projection expose les résultats économiques à la désuétude si de nouvelles recherches confirment l'accélération ou la décélération du recul du littoral. Dans le cadre du projet actuel, il s'agissait d'un risque réel auquel nous étions exposés en raison de la sortie prochaine de nouveaux scénarios. Ainsi, le taux de recul moyen annuel a été pondéré en cinq scénarios. Les valeurs de recul de la côte ont été fournies par le Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières de l'Université du Québec à Rimouski. Pour les détails méthodologiques sur les projections d'érosion, le lecteur est invité à consulter le rapport suivant : [Bernatchez, P., Dugas, S., Fraser, C., Da Silva, L. \(2015\). Évaluation économique des impacts potentiels de l'érosion des côtes du Québec maritime dans un contexte de changements climatiques. Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières, Université du Québec à Rimouski. Rapport remis à Ouranos, 45 pages et annexes.](#)

Projections de la submersion

Dans PANACÉES, les hauteurs d'eau sont calculées par rapport à leur niveau et à leur récurrence, une approche utilisée actuellement pour déterminer les plaines inondables dans le cadre de la Politique de protection des rives, du littoral et des plaines inondables (Lapointe, 1986). Les cotes de crues de récurrence 2, 20 et 100 ans actuellement en vigueur pour ce tronçon du Fleuve St-Laurent ont été utilisées. Elles correspondent aux limites des crues qui ont 1 chance sur 2 (2 ans), 1 chance sur 20 (20 ans) et 1 chance sur 100 (100 ans) de se produire chaque année.

Les récurrences ont ensuite été déclinées en trois scénarios : minimum (min), moyen (moy), et maximum (max). Cette déclinaison est réalisée pour tester l'impact de l'incertitude associée au cote de crues actuellement en vigueur. La déclinaison des scénarios a été réalisée en calculant les terciles, c'est-à-dire chacune des deux valeurs qui divisent une distribution statistique ordonnée en trois groupes d'effectifs égaux. Dans notre cas, les deux valeurs correspondent aux scénarios maximum et minimum entre deux récurrences. Concrètement, cela signifie que l'écart d'hauteur entre deux cotes de crues de récurrence différentes est séparé en trois. Par exemple, si les cotes de crues en vigueur pour les récurrences 2 ans et 20 ans sont respectivement 2 m et 3 m, les terciles correspondent à 2,33m et 2,66 m. Dans cet exemple, les hauteurs de submersion pour les événements de récurrences 2 ans pour un scénario moyen serait 2 m, pour un scénario maximum serait 2,33m, pour un scénario minimum pour les événements de récurrence 20 ans serait de 2,66 et 3m pour les événements de récurrence 20 ans avec scénario moyen.

La déclinaison par terciles confère deux avantages :

1. Pour n'importe quel segment de côte, les déclinaisons minimales ou maximales d'une cote de crue n'excèdent jamais la cote supérieure de crues, peu importe la déclinaison sélectionnée pour ces deux récurrences (par exemple, la cote de crue de la récurrence 2 ans n'excède jamais la cote de crue 20 ans) ;
2. Pour n'importe quel segment de côte et en absence complète d'information sur la direction du biais d'estimation des cotes de crues actuellement en vigueur (les hauteurs pourraient être en réalité plus basses ou plus hautes) les déclinaisons par tercile maximisent la couverture possible des scénarios de cotes de crues. Cet avantage est important puisque la variation de la hauteur d'eau est potentiellement un facteur modifiant considérablement les dommages totaux (H. McGrath et al. 2015).

Toutefois, nous recommandons aux utilisateurs d'utiliser les valeurs moyennes (tableau 6) et d'ensuite tester des déclinaisons maximales et minimales pour chacune des récurrences (2, 20 et 100 ans). Bien que le calcul des cotes de crues actuellement en vigueur date de plusieurs années, il s'agit tout de même de l'information la plus fiable et la plus reconnue à ce jour. L'option de déclinaison permet à l'utilisateur de tester la robustesse des résultats devant cette incertitude.

Quant à elle, les cotes de crues minimales (récurrence 2 ans, scénario minimum) et maximales (récurrence 100 ans, scénario maximum) proposées dans l'outil ont été attribués de manière arbitraire. La hauteur 100 ans du scénario maximum correspond toutefois au niveau d'eau maximum enregistré dans la MRC lors de la tempête de 2010.

Ces cotes de crues ont été par la suite projetées selon le contexte de changements climatiques qui tient compte l'augmentation du niveau marin relatif. Les données choisies sont celles du gouvernement fédéral de OCANEE (Pêches et Océans Canada). Elles ont été conçues pour une couverture des ports et petits bateaux, donc point par point. Elles combinent les deux effets de rehaussement mondial et isostatique. Le scénario de rehaussement mondial correspond au RCP 8.5. Le RCP8.5 est le scénario mondial le plus plausible concernant le niveau des océans (Kopp et al., 2017 ; Nauels et al., 2017).

Tableau 6 - Récurrence et scénarios utilisés dans PANACÉES des niveaux d'eau du fleuve Saint-Laurent (en mètre) selon les MRCs

Récurrences	Scénarios	Rivière-du-Loup			La Mitis		
		Actuel	2050 (0,13 m)*	2100 (0,47 m)*	Actuel	2050 (0,13m)*	2100 (0,49m)*
2 ans (50% de probabilité d'occurrence chaque année)	Min Valeur arbitraire	3	3,13	3,47	2	2,13	2,49
	Moy Cotes de crue 2 ans en vigueur	3,3 à 3,43	3,43 à 3,56	3,77 à 3,9	2,58 à 2,69	2,71 à 2,82	3,2 à 3,18
	Max Premier tercile de l'écart entre la cote de crue 2 ans et 20 ans en vigueur	3,35 à 3,49	3,48 à 3,62	3,82 à 3,96	2,67 à 2,78	2,8 à 2,91	3,16 à 3,27
20 ans (5% de probabilité d'occurrence chaque année)	Min Second tercile de l'écart entre la cote de crue 2 ans et 20 ans en vigueur	3,4 à 3,56	3,53 à 3,69	3,87 à 4,03	2,76 à 2,86	2,89 à 2,99	3,25 à 3,35
	Moyen Cotes de crue 20 ans en vigueur	3,45 à 3,62	3,58 à 3,75	3,92 à 4,09	2,85 à 2,95	2,98 à 3,08	3,34 à 3,44
	Max Premier tercile de l'écart entre la cote de crue 20 ans et 100 ans en vigueur	3,46 à 3,65	3,59 à 3,78	3,93 à 4,12	2,89 à 2,98	3,02 à 3,11	3,38 à 3,47
100 ans (1% de probabilité d'occurrence chaque année)	Min Second tercile de l'écart entre la cote de crue 20 ans et 100 ans en vigueur	3,48 à 3,67	3,61 à 3,8	3,95 à 4,14	2,93 à 3,02	3,06 à 3,15	3,42 à 3,51
	Moy Cotes de crue 100 ans en vigueur	3,49 à 3,7	3,62 à 3,83	3,96 à 4,17	2,96 à 3,06	3,09 à 3,19	3,45 à 3,55
	Max Maximum enregistrée lors de la tempête de 2010	7,43	7,56	8,2	3,88 à 6,69	4,01 à 6,82	4,37 à 7,18

*Valeur du rehaussement du niveau marin relatif, source : OCANEE

Annexe 2 : Estimation des dommages liés à l'érosion et la submersion

On considère la perte économique associée à l'érosion lorsque la distance entre un actif (élément du rôle d'évaluation foncière) et le trait de côte est franchie. Ainsi, plus le taux de recul moyen annuel du segment côtier est rapide, plus la perte économique survient tôt. Toutefois, si un ouvrage de protection est mis en place, on considère le taux de recul moyen annuel comme étant nul (conditionnellement à l'investissement nécessaire à l'entretien de l'ouvrage en question). La perte économique associée correspond à la valeur totale du rôle d'évaluation foncière. Par exemple, pour un bâtiment résidentiel, on considère la somme de la valeur du terrain et du bâtiment. Pour la submersion, la perte économique est comptabilisée annuellement pour chaque actif à risque en fonction de l'altitude atteinte par l'eau. L'altitude atteinte de l'eau est simulée avec les cotes de crues en vigueur et les données LIDAR disponibles pour l'Est du Québec.

L'estimation des dommages liés à l'érosion et la submersion côtières est basée sur vingt indicateurs de dommage regroupés en sept secteurs d'activités d'intérêt. Cette approche multisectorielle de quantification des dommages directs et indirects est inspirée des travaux du Groupe d'étude du lac Champlain et de la rivière Richelieu de la Commission mixte internationale (rapport à venir), un groupe dont Ouranos est membre. Cette nécessité d'élargir la portée de l'étude économique à d'autres secteurs, comme le secteur sociosanitaire et de détailler la distribution des coûts et des impacts économiques, allait de soi pour les partenaires du projet. Traditionnellement, ce genre d'étude adressait uniquement les dommages directs à l'environnement bâti. La section suivante décrit comment les dommages liés à l'érosion et la submersion ont été estimés pour chacun des indicateurs intégrés dans PANACÉES selon les sept secteurs d'activités d'intérêt : le secteur résidentiel, commercial/industriel, agricole, institutionnel/ infrastructure publique/transport, sociosanitaire et adaptation.

1. Résidentiel

Le secteur résidentiel comprend à l'ensemble des dommages matériels aux résidences et les coûts de nettoyage. Les dommages sont supportés par les résidents permanents ou temporaires.

Dommages matériels liés à l'érosion

Les dommages matériels correspondent à la somme actualisée des bâtiments exposés à l'érosion uniquement.

Dommages aux contenus des résidences

Somme actualisée des dommages causés par la submersion à la valeur totale des meubles d'une résidence primaire ou secondaire. Le taux d'endommagement est d'abord estimé à partir de relation statistique linéaire entre la hauteur de submersion et la valeur totale de l'endommagement estimée dans le Provincial Flood Damage Assessment d'Alberta (PFDAS, 2015) (tableau 7). La valeur totale du contenu d'une résidence est estimée selon les montants retenus dans la politique actuelle d'assistance financière du Ministère de la Sécurité publique du Québec. La valeur totale du contenu varie entre 17 975\$ et 47 775\$ dépendamment du nombre d'étages de la résidence et de la taille du ménage. Pour en savoir davantage sur le développement méthodologique des courbes, le document technique d'Ouranos (Gosselin, note technique) lié à l'étude sur les inondations du Richelieu est disponible sur demande.

Tableau 7 - Régression linéaire simple entre la hauteur de submersion et le taux d'endommagement au contenu des résidences selon le type de bâtiment

Type de bâtiments résidentiels	Hauteur de submersion (h, en m)	Fonction d'endommagement (en % de la valeur totale du bâtiment)	R ²
Avec un sous-sol	-2,7 à -2,6	2,2623h+6,1081	1
	-2,6 à -2,1	0,2842h+0,9863	0,8448
	-2,1 à 0	0,1577h+0,5939	0,8057
	0 à 0,3	1,2407h+0,5368	0,9112
	0,3 à 0,9	0,1802h+0,8322	0,9927
	0,9 et plus	1	0,9705
Sans sous-sol	0 à 0,1	5h	1
	0,1 à 0,3	1,4h+0,36	1
	0,3 à 0,9	0,352h+0,6763	0,9988
	0,9 à 2,4	1	1

Dommmages structurels aux résidences

Le dommage aux bâtiments est un indicateur monétaire estimé à partir des courbes de submersion-dommmage en fonction de la hauteur de l'eau. Dépendamment du nombre d'étages du bâtiment et du type de finition de son sous-sol, on estime un taux d'endommagement en fonction de la hauteur de submersion lors d'un évènement qui est ensuite multiplié par la valeur totale du bâtiment. En raison du mandat et des contraintes du présent projet, nous n'avons pas estimé de nouvelles courbes de submersion-dommmage à partir de données empiriques. Comme plusieurs autres études québécoises d'estimation des impacts des inondations (Circé et al., 2016; Oubennaceur et al., 2019), les coefficients utilisés pour estimer le taux d'endommagement sont ceux estimés par Bonnifait (2005) en contexte d'inondation. La hauteur de submersion est extraite du centroïde du bâtiment lorsque celui-ci était disponible. Si le bâtiment est une résidence primaire ou un commerce, celui-ci est éligible à une aide financière du Ministère de la Sécurité publique (MSP) du Québec.

Coûts des débris

On calcule un coût de nettoyage en fonction du volume de débris généré par un bâtiment lors d'un épisode de submersion seulement. La *Solid Waste Association of North America* a récemment émis un guide destiné aux acteurs du milieu municipal canadien et aux aménagistes qui adressent les opérations de nettoyage des débris à la suite des désastres naturels. Il s'agit d'un guide fortement inspiré par les travaux de deux organismes américains; *l'Environment Protection Agency (EPA)* et la *Federal Emergency Management Agency (FEMA)*. Ce guide propose une formule pour projeter le volume de débris généré après une inondation basée sur le type de bâtiment touché.

Ainsi, un bâtiment résidentiel

- Sans sous-sol génèrera entre 19 et 23 m³ de débris² et;
- Avec sous-sol génèrera entre 34 et 38 m³.

Le coût unitaire de 135\$/tonnes par tonne de débris généré est ensuite estimé à partir de la valeur médiane du coût de la collecte et de l'assimilation des déchets pour les municipalités de moins de

² <http://www.reseau-environnement.com/wp-content/uploads/2018/11/Guide-Gestion-des-de%CC%81bris.pdf>

³ Ibid.

2000 habitants provenant des plus récentes données accessibles indicateurs de gestion municipaux de base du Québec. On utilise aussi un facteur de conversion de masse volumique de 65 kg/m^3 pour les matières résiduelles développées par Recyc-Québec. Cet indicateur monétaire n'est modélisé que pour l'aléa de submersion.

2. Commercial et Industriel

Le secteur commercial comprend l'ensemble des dommages matériels et des pertes des revenus subis par les commerces et industries de la zone d'intérêt. Les dommages sont supportés par les commerçants.

Dommages matériels liés à l'érosion

Les dommages matériels correspondent à la somme actualisée des bâtiments exposés à l'érosion uniquement.

Dommages structurels aux commerces

On procède d'une manière similaire à l'estimation des dommages aux résidences primaires et secondaires pour estimer les dommages matériels du secteur commercial. Différents types de fonctions de réponse ont été adaptés du *Provincial Flood Damage Assessment albertain (2015)* et du modèle américain HAZUS (2013) au contexte québécois. Ces relations statistiques estiment un niveau d'endommagement de la structure et du stock pour un niveau de submersion donné qui doit être ensuite mis en relation à la valeur totale enregistrée au rôle foncier. Les pertes de stocks ne sont pas considérées pour l'érosion, puisqu'on considère qu'un entrepreneur sortira son contenu du bâtiment pour éviter qu'il soit détruit.

Pertes de revenus commerciaux (\$)

Pour le secteur commercial, les pertes de revenus représentent souvent un fardeau plus important lors d'un désastre naturel que les pertes matérielles subies. Les pertes de revenus sont fonction du nombre de jours de fermeture et du revenu moyen journalier. La méthode pour estimer le nombre de jours perdus est similaire à la méthode d'estimation américaine HAZUS pour les inondations, qui estime 45 jours de fermeture par pied d'eau.

Nous utilisons une approche conservatrice pour déterminer le revenu moyen journalier qui s'appuie sur le principe que le revenu moyen journalier doit au moins excéder les dépenses moyennes en salaire. Ainsi, le revenu moyen journalier correspond au nombre moyen d'employés par entreprise dans la région administrative multiplié par le salaire moyen par personne.

On ne considère que les pertes de revenus temporaires provoquées par les épisodes de submersion.

Dommages aux contenus des commerces

Somme actualisée des dommages causés par la submersion à la valeur totale des meubles, de l'inventaire et autres contenus d'un commerce. Le taux d'endommagement est d'abord estimé à partir de relation statistique linéaire entre la hauteur de submersion et la valeur totale de l'endommagement estimée dans le *Provincial Flood Damage Assessment d'Alberta (PFDAS, 2015)* (tableau 7). La valeur totale des dommages au contenu d'un commerce est estimée selon le taux d'endommagement par type de commerce (23 catégories, ex. hôtel, commerce de détail, épicerie, restaurant, ...), multiplié par la valeur du bâtiment. Pour en savoir davantage sur le développement méthodologique des courbes, veuillez consulter Bouchard-St-Amant et Dumais, 2020, il s'agit de la méthodologie de l'ÉNAP réalisée dans le cadre l'étude LCRR-IJC.

3. Institutions/Infrastructures publiques/Transports

Ensemble des dommages économiques aux bâtiments et infrastructures publiques.

Dommages matériels

Les dommages matériels correspondent à la somme actualisée des infrastructures et des bâtiments exposés à l'érosion uniquement.

Dommages structurels aux bâtiments institutionnels

On procède d'une manière similaire à l'estimation des dommages aux résidences primaires et secondaires pour estimer les dommages matériels du secteur commercial. Différents types de fonctions de réponse ont été adaptés du *Provincial Flood Damage Assessment albertain (2015)* et du modèle américain HAZUS (2013) au contexte québécois. Ces relations statistiques estiment un niveau d'endommagement de la structure et du stock pour un niveau de submersion donné qui doit être ensuite mis en relation à la valeur totale enregistrée au rôle foncier. Les pertes de stocks ne sont pas considérées pour l'érosion, puisqu'on considère qu'un entrepreneur sortira son contenu du bâtiment pour éviter qu'il soit détruit.

4. Agricole

Le secteur agricole comprend l'ensemble des bâtiments agricole et les pertes en superficie cultivable. Il est important de noter que les dommages aux cultures relatifs à la submersion ne sont pas comptabilisés.

Dommages matériels

Les dommages matériels correspondent à la somme actualisée des infrastructures et des bâtiments exposés à l'érosion uniquement.

5. Sociosanitaire

Frais de santé

Somme conservatrice des coûts moyens de soins de santé relatifs aux impacts sociosanitaires de la submersion; troubles respiratoires associés à la présence de moisissures, stress, anxiété, dépression et syndrome du stress post-traumatique, équivalent à 369\$ par épisode de submersion dans un bâtiment résidentiel primaire. Le montant provient d'une revue de littérature disponible sur demande.

Les impacts sociosanitaires de l'érosion ne sont pas comptabilisés.

6. Récréatifs

Dommages matériels

Les dommages matériels correspondent à la somme actualisée des infrastructures et des bâtiments exposés à l'érosion uniquement.

7. Adaptation

Le secteur de l'adaptation comprend tous les coûts relatifs à la démolition, la construction et l'entretien d'ouvrages de protection. Les impacts indirects, comme l'atteinte aux MHH et les pertes d'usage du littoral n'y sont pas inclus.

L'impact dynamique des structures de protection des berges sur l'érosion est un intérêt de recherche en soi et il serait impossible dans le cadre du projet PANACÉES de systématiser un algorithme simulant la modification de dynamique côtière engendrée par l'adoption de mesure de mitigation pour un territoire de la taille du Bas-Saint-Laurent. Cette difficulté explique pourquoi la modélisation de l'érosion vis-à-vis des différents scénarios de mitigation repose sur l'hypothèse

économique suivante : à condition d'investir le montant nécessaire et d'entretenir suffisamment un ouvrage, n'importe quel ouvrage rigide peut freiner complètement le recul du littoral.

De plus, les ouvrages de protection et les interventions de naturalisation des berges modifient les impacts de la submersion, mais ils ne modifient pas la probabilité d'observer ce phénomène météorologique. Par exemple, les ouvrages rigides comme les murs de protection vont généralement empirer les dommages économiques. Un facteur de pénalité fondé sur les hypothèses émises lors du projet ACA Zone côtière est appliqué. Quant à elle, les ouvrages structurels maritimes vont réduire la vitesse des vagues et donc la hauteur géodésique d'inondation sur la côte.

Afin d'attribuer des valeurs aux composantes des coûts de mitigation, nous avons en premier lieu réalisé une revue de littérature nous permettant de lister un ensemble de coût au mètre linéaire pour chacune des mesures d'adaptation contenues dans la base de données du trait de côte soumis par l'UQAR. En second lieu, nous avons recensé l'ensemble des avis publiés sur le système électronique d'appel offre (SEAO) québécois depuis 2011 et que nous considérons pertinents pour documenter davantage les déterminants des coûts économiques associés aux ouvrages de protection côtière. L'objectif premier de ces travaux est de fournir une valeur médiane et une étendue des coûts d'adaptation qui soient appuyées sur une recherche empirique. Le but second est de documenter davantage des questions économiques complexes, mais cruciales pour nos partenaires.

Selon le *UK Environmental Agency*⁴, le coût total d'un ouvrage de valorisation ou de protection côtière se décompose en trois parties : le coût des études préparatoires, le coût d'installation et le coût opérationnel et de maintenance.

Coûts de construction

Dans la modélisation, le coût d'installation, ou coût en capital correspond au coût à déboursier pour initialement construire un ouvrage de protection de rigide (tableau 8). Ce coût doit être déboursé à chaque début de durée de vie d'un ouvrage. Pour les ouvrages rigides, l'année de construction est planifiée un an avant la destruction de l'actif le plus exposé.

La durée de vie des projets dépend du type d'ouvrage considéré. Dans les guides consultés, notamment ceux produits par le *UK Environmental Agency*, il est clairement indiqué que la durée de vie d'un ouvrage dépend des tempêtes auxquelles elle fait face. Pour la modélisation dans PANACÉES, nous utilisons la valeur médiane des intervalles de durée de vie des ouvrages proposés par le *UK Environmental Agency*.

Tableau 8 - Valeurs des études consultées sur le coût de construction au mètre linéaire pour différentes mesures d'adaptation

Catégorie de la mesure	Type de mesure	Durée de vie estimée	Valeur minimale	Valeur médiane	Valeur maximale	Nombre d'études consultées
Mesures d'urgence	Barrières temporaires	Entre 30 et 50 ans	862 \$	1 445 \$	2 352 \$	5
Rigide côtier	Caissons	Entre 30 et 50 ans	647 \$	647 \$	647 \$	1
Rigide côtier	Muret de roche	Entre 31 et 42 ans	305 \$	305 \$	305 \$	1
Rigide côtier	Gabions	Entre 30 et 50 ans	100 \$	642 \$	1 012 \$	4
Rigide côtier	Blocs de béton déversés	Entre 30 et 50 ans	971 \$	2 812 \$	4 217 \$	3
Rigide côtier	Riprap	Entre 30 et 50 ans	2 000 \$	5 200 \$	11 129 \$	3
Rigide côtier	Muret de bois	Entre 5 et 10 ans	40 \$	1 002 \$	18 448 \$	5

⁴ <https://www.gov.uk/government/publications/long-term-costing-tool-for-flood-and-coastal-risk-management>

Rigide côtier	Muret de métal	Entre 43 et 53 ans	858 \$	5 513 \$	23 061 \$	12
Rigide côtier	Muret de béton	Entre 60 et 65 ans	2 640 \$	12 616 \$	38 719 \$	14
Rigide côtier	Enrochement	Entre 30 et 50 ans	59 \$	2 707 \$	41 471 \$	26
Rigide maritime	Brise-lame	Entre 40 et 60 ans	4 119 \$	4 119 \$	4 119 \$	1
Rigide maritime	Épis	Entre 40 et 60 ans	2 895 \$	5 548 \$	32 808 \$	3
Valorisation	Végétalisation	Permanent	139 \$	139 \$	139 \$	1
Valorisation	Capteur de sable	Permanent	4 \$	24 \$	40 \$	4
Valorisation	Valorisation complète	Permanent	4 014 \$	5 187 \$	11 330 \$	9
Valorisation	Recharge de plage	Permanent	3 871 \$	5 024 \$	11 150 \$	4

Coûts d'entretien

Le coût d'entretien (tableau 9) représente le montant à dépenser annuellement pour assurer la pérennité et la fonctionnalité de la mesure d'adaptation tout au long de sa durée de vie.

Tableau 9 - Coût d'entretien annuel pour différentes mesures d'adaptation

Catégorie de mesure	Type de mesure	Valeur retenue	Nombre de coûts retenus
Mesures d'urgence	Barrières temporaires	9%	1
Rigide côtier	Caissons	1%	1
Rigide côtier	Muret de roche	1%	1
Rigide côtier	Gabions	5%	1
Rigide côtier	Blocs de béton déversés	5%	1
Rigide côtier	Riprap	1%	1
Rigide côtier	Muret de bois	15%	1
Rigide côtier	Muret de métal	1%	1
Rigide côtier	Muret de béton	5%	1
Rigide côtier	Enrochement	1%	1
Rigide maritime	Brise-lame	30%	1
Rigide maritime	Épis	30%	1
Valorisation	Végétalisation seulement	25%	1
Valorisation	Capteur de sable	25%	1
Valorisation	Valorisation complète	25%	1
Valorisation	Recharge de plage	25%	1

Achat(s) de terrain(s) et de propriété(s)

Somme minimale forfaitaire à prévoir pour s'assurer que les résidents affectés acquièrent une propriété (terrain+bâtiment) de valeur égale à celle démolie.

Modélisation réalisée uniquement pour l'érosion

Coûts de démolition

Dans le cas de l'option de l'abandon stratégique, les coûts de démolition sont d'environ 54\$/m² et sont dépensés qu'une seule fois. Dans le cas du retrait des structures existantes, le coût de démolition correspond à 15% du coût de construction.

Coûts d'immunisation

Le coût d'immunisation correspond aux frais totaux à déboursier pour élever de 1 mètre, l'ensemble des bâtiments exposés à la submersion pour les crues centenaires. Le calcul pour estimer l'exposition des bâtiments est appuyé sur les côtes de crues en vigueur (scénario moyen de l'événement 100 ans). Le coût d'immunisation est calculé en fonction du périmètre estimé de la résidence à 3 871\$/m.

Frais afférents

Les frais afférents représentent la somme des coûts à déboursier en lien avec la relocalisation stratégique (par exemple, les rebranchements). Il s'agit d'un montant forfaitaire par résidence de 58 639\$.

Coûts de transport

Cette somme représente les coûts de transport des bâtiments vers un autre site. Ce montant est de 1700\$/m du périmètre estimé de la maison.

Achat(s) de terrain(s)

Somme minimale à prévoir pour s'assurer que les résidents affectés aient accès à un terrain de valeur égale à celui abandonné.

Pertes de valeur d'usage

Une régression linéaire simple réalisée pour le projet d'ACA Zone Côtière (Circé et al., 2016) a permis d'extraire l'influence de la vue sur la mer et de l'accès à la mer sur le prix des terrains de trois municipalités côtières en contrôlant les autres facteurs pouvant affecter le prix des terrains, comme la proximité des installations (ex : Cégep) ou du centre-ville. En utilisant cette méthode, les primes moyennes obtenues, de vue sur la mer et d'accès à la mer, sont respectivement de 8 797 \$ et 19 131 \$ par bâtiment.

Quant à elle, la valeur d'usage du littoral retenue provient d'une estimation réalisée pour le projet ACA Zone côtière sur la valorisation par les résidents de la municipalité d'avoir accès au littoral. Cette valeur se chiffre à environ 13,20 \$/100m/an/résident.

Coûts de démantèlement

Les coûts de démantèlement représentent des coûts pour déconstruire les actifs et sont imputés à la catégorie « adaptation ». Les principaux postes de dépenses sont la main d'œuvre, les matériaux et l'enfouissement. L'estimation est de 15% du coût de construction de la mesure, exprimé en mètre linéaire (Hoffmann, 2016).

Contribution exigée à titre de compensation pour la perte d'un milieu humide ou hydrique

La contribution exigée à titre de compensation pour la perte d'un milieu humide ou hydrique se base sur le calcul de la contribution financière liée au Règlement sur la compensation pour l'atteinte aux milieux humides et hydriques. Ce montant varie selon la qualité initiale du milieu concerné, selon la zone géographique et la valeur du terrain. Ce montant par superficie (au m²) est ensuite multiplié par la superficie du milieu touché. Considérant la valeur moyenne des terrains vagues de Rivière-du-Loup, les montants unitaires varient de 3,18 \$/m² à 19,14 \$/m².

Annexe 3 : Identification et estimation des coûts des mesures d'adaptation.

À la lumière des connaissances actuelles, 21 mesures d'adaptation ont été sélectionnées pour chacun des segments à l'étude. Afin de déterminer à quelle année une mesure d'adaptation rigide ou de valorisation écologique devrait être mise en œuvre, on calcule l'année où le premier actif inscrit au rôle foncier sera touché par l'érosion en l'absence de présence d'ouvrage de protection. Les murs brise-lames sont installés le plus tôt possible, puisque ceux-ci visent à réduire les impacts de la submersion et qu'il est impossible de prédire l'année où une tempête risque de frapper.

S'il y a déjà présence d'un ouvrage rigide, on considère les coûts d'entretien de l'ouvrage en question jusqu'au changement de mesures. Dans l'intérêt de ne pas surestimer les coûts d'adaptation, nous assumons que les ouvrages actuels sont en début de vie.

Pour les mesures de gestion des mesures d'urgence et de politiques réglementaires et aménagement du territoire, les années d'implémentation dépendent du niveau d'exposition des bâtiments aux aléas et du design de la politique. Les critères d'admissibilité des actifs sont décrits dans les tableaux suivants résumant les principales hypothèses de scénarios.

La mise en place d'une mesure de protection peut dans certains cas accélérer l'érosion et la submersion côtière si elle n'est pas située dans un environnement favorable à son emplacement. Ainsi pour les ouvrages rigides et naturels proposés, les options varient selon le type de côte.

Finalement, chaque mesure d'adaptation exige d'intervenir dans un milieu où il existe déjà des activités économiques et sociales. Ainsi, il est essentiel d'évaluer comment ces activités seront affectées par la mesure proposée.

Les tableaux suivants décrivent les paramètres utilisés dans l'estimation des coûts pour chacune des mesures d'adaptation.

Statu quo - Statu quo

Option de référence qui implique le maintien des conditions actuelles.

Type de côte	<ul style="list-style-type: none"> • Tous les types de côte
Les actifs sont exposés aux aléas suivants :	<ul style="list-style-type: none"> • Submersion • Érosion
Impacts quantifiés selon les indicateurs des secteurs d'intérêt	<p>Résidentiel</p> <ul style="list-style-type: none"> • Dommages matériels liés à l'érosion • Dommages aux contenus des résidences • Dommages structurels aux résidences • Coûts des débris <p>Commercial/Industriel</p> <ul style="list-style-type: none"> • Dommages matériels liés à l'érosion • Dommages structurels aux commerces • Pertes de revenus commerciaux • Dommages aux contenus des commerces <p>Agricole</p> <ul style="list-style-type: none"> • Dommages matériels liés à l'érosion <p>Institutions/Infrastructures publiques/Transports</p> <ul style="list-style-type: none"> • Dommages matériels <p>Adaptation</p> <ul style="list-style-type: none"> • Coûts d'entretien • Démantèlement <p>Sociosanitaire</p> <ul style="list-style-type: none"> • Frais de santé
Durée de vie	Variable selon l'ouvrage présent
Coût de construction	Variable selon l'ouvrage présent
Coût d'entretien	Variable selon l'ouvrage présent

Enrochement - Structure rigide et structurée

Ouvrage de protection contre l'érosion due aux vagues ou aux glaces qui consiste à en un empilement structuré de blocs rocheux le long d'un talus de faible hauteur. Une membrane géotextile sous la structure est installée pour limiter la fuite de particules entre les blocs.

Type de côte	<ul style="list-style-type: none">• Artificialisée• Basse falaise meuble• Basse falaise rocheuse• Rocheuse sans falaise• Rocheuse sans falaise/Marais maritime• Terrasse de plage (base rocheuse)• Terrasse de plage (base rocheuse/marais maritime)• Terrasse de plage/marais maritime
Les actifs sont exposés aux aléas suivants :	<ul style="list-style-type: none">• Submersion
Impacts quantifiés	<p>Résidentiel</p> <ul style="list-style-type: none">• Dommages aux contenus des résidences• Dommages structurels aux résidentiels• Coûts des débris <p>Commercial/industriel</p> <ul style="list-style-type: none">• Dommages structurels aux commerces• Pertes de revenus commerciaux• Dommages aux contenus des commerces <p>Adaptation</p> <ul style="list-style-type: none">• Coûts de construction• Coûts d'entretien• Pertes de valeur d'usage• Contribution exigée à titre de compensation pour la perte d'un milieu humide ou hydrique• Démantèlement <p>Sociosanitaire</p> <ul style="list-style-type: none">• Frais de santé
Durée de vie	Entre 30 et 50 ans
Coût de construction	Coûts médian de 2700\$/mètre linéaire (entre 60\$ et 42 000\$ le mètre linéaire)
Coût d'entretien	1% du coût de construction

Blocs de béton déversés - Structure rigide et structurale

Ouvrage de protection contre l'érosion due aux vagues ou aux glaces qui consiste à en un empilement déstructuré de blocs rocheux le long d'un talus de faible hauteur.

Type de côte	<ul style="list-style-type: none">• Artificialisée• Basse falaise meuble• Basse falaise rocheuse• Rocheuse sans falaise• Rocheuse sans falaise/Marais maritime• Terrasse de plage (base rocheuse)• Terrasse de plage (base rocheuse/marais maritime)• Terrasse de plage/marais maritime
Les actifs sont exposés aux aléas suivants :	<ul style="list-style-type: none">• Submersion
Impacts quantifiés	<p>Résidentiel</p> <ul style="list-style-type: none">• Dommages aux contenus des résidences• Dommages structurels aux résidences• Coûts des débris <p>Commercial/industriel</p> <ul style="list-style-type: none">• Dommages structurels aux commerces• Pertes de revenus commerciaux• Dommages aux contenus des commerces <p>Adaptation</p> <ul style="list-style-type: none">• Coûts de construction• Coûts d'entretien• Pertes de valeur d'usage• Contribution exigée à titre de compensation pour la perte d'un milieu humide ou hydrique• Démantèlement <p>Sociosanitaire</p> <ul style="list-style-type: none">• Frais de santé
Durée de vie	Entre 30 et 50 ans
Coût de construction	971\$/mètre linéaire (entre 970\$ et 4200\$ le mètre linéaire)
Coût d'entretien	5% du coût de construction

Riprap - Structure rigide et structurelle

Ouvrage de protection contre l'érosion due aux vagues ou aux glaces qui consiste à déverser une couche de roches ou d'autres matériaux disposés en vrac, dont les tailles granulométriques sont diversifiées, et qui sert à absorber et diffuser l'énergie des vagues avant qu'elles n'atteignent la structure à protéger.

Type de côte	<ul style="list-style-type: none">• Artificialisée• Basse falaise meuble• Basse falaise rocheuse• Rocheuse sans falaise• Rocheuse sans falaise• Rocheuse sans falaise/marais maritime• Terrasse de plage• Terrasse de plage (base rocheuse)• Terrasse de plage (base rocheuse/marais maritime)• Terrasse de plage/marais maritime
Les actifs sont exposés aux aléas suivants :	<ul style="list-style-type: none">• Submersion
Impacts quantifiés	<p>Résidentiel</p> <ul style="list-style-type: none">• Dommages aux contenus des résidences• Dommages structurels aux résidences• Coûts des débris <p>Commercial/industriel</p> <ul style="list-style-type: none">• Dommages structurels aux commerces• Pertes de revenus commerciaux• Dommages aux contenus des commerces <p>Adaptation</p> <ul style="list-style-type: none">• Coûts de construction• Coûts d'entretien• Pertes de valeur d'usage• Contribution exigée à titre de compensation pour la perte d'un milieu humide ou hydrique• Démantèlement <p>Sociosanitaire</p> <ul style="list-style-type: none">• Frais de santé
Durée de vie	Entre 30 et 50 ans
Coût de construction	5200\$/mètre linéaire (entre 2000\$ et 11 100\$ le mètre linéaire)
Coût d'entretien	1% du coût de construction

Caissons - Structure rigide et structurelle

Ouvrage de protection contre l'érosion due aux vagues ou aux glaces qui consiste à installer des caissons composés de roches le long d'un talus de faible hauteur.

Type de côte	<ul style="list-style-type: none">• Artificialisée• Basse falaise meuble• Basse falaise rocheuse• Rocheuse sans falaise• Rocheuse sans falaise/Marais maritime• Terrasse de plage (base rocheuse)• Terrasse de plage (base rocheuse/marais maritime)• Terrasse de plage/marais maritime
Les actifs sont exposés aux aléas suivants :	<ul style="list-style-type: none">• Submersion
Impacts quantifiés	<p>Résidentiel</p> <ul style="list-style-type: none">• Dommages aux contenus des résidences• Dommages structurels aux résidences• Coûts des débris <p>Commercial/industriel</p> <ul style="list-style-type: none">• Dommages structurels aux commerces• Pertes de revenus commerciaux• Dommages aux contenus des commerces <p>Adaptation</p> <ul style="list-style-type: none">• Coûts de construction• Coûts d'entretien• Pertes de valeur d'usage• Contribution exigée à titre de compensation pour la perte d'un milieu humide ou hydrique• Démantèlement <p>Sociosanitaire</p> <ul style="list-style-type: none">• Frais de santé
Durée de vie	Entre 30 et 50 ans
Coût de construction	640\$ mètre linéaire (distribution inconnue)
Coût d'entretien	1% du coût de construction

Muret de roche - Structure rigide et structurale

Ouvrage de protection contre l'érosion due aux vagues ou aux glaces qui consiste à installer une structure verticale composée de roches le long d'un talus de faible hauteur.

Type de côte	<ul style="list-style-type: none">• Artificialisée• Basse falaise meuble• Basse falaise rocheuse• Rocheuse sans falaise• Rocheuse sans falaise/marais maritime• Terrasse de plage• Terrasse de plage (base rocheuse)• Terrasse de plage (base rocheuse/marais maritime)• Terrasse de plage/marais maritime
Les actifs sont exposés aux aléas suivants :	<ul style="list-style-type: none">• Submersion
Impacts quantifiés	<p>Résidentiel</p> <ul style="list-style-type: none">• Dommages aux contenus des résidences• Dommages structurels aux résidences• Coûts des débris <p>Commercial/industriel</p> <ul style="list-style-type: none">• Dommages structurels aux commerces• Pertes de revenus commerciaux• Dommages aux contenus des commerces <p>Adaptation</p> <ul style="list-style-type: none">• Coûts de construction• Coûts d'entretien• Pertes de valeur d'usage• Contribution exigée à titre de compensation pour la perte d'un milieu humide ou hydrique• Démantèlement <p>Sociosanitaire</p> <ul style="list-style-type: none">• Frais de santé
Durée de vie	Entre 31 et 42 ans
Coût de construction	300\$/mètre linéaire (entre 60\$ et 42 000\$ le mètre linéaire)
Coût d'entretien	1% du coût de construction

Muret de béton - Structure rigide et structurale

Ouvrage de protection contre l'érosion due aux vagues ou aux glaces qui consiste à installer une structure verticale composée de béton le long d'un talus de faible hauteur.

Type de côte	<ul style="list-style-type: none">• Artificialisée• Basse falaise meuble• Basse falaise rocheuse• Rocheuse sans falaise• Rocheuse sans falaise/marais maritime• Terrasse de plage• Terrasse de plage (base rocheuse)• Terrasse de plage (base rocheuse/marais maritime)• Terrasse de plage/marais maritime
Les actifs sont exposés aux aléas suivants :	<ul style="list-style-type: none">• Submersion
Impacts quantifiés	<p>Résidentiel</p> <ul style="list-style-type: none">• Dommages aux contenus des résidences• Dommages structurels aux résidences• Coûts des débris <p>Commercial/industriel</p> <ul style="list-style-type: none">• Dommages structurels aux commerces• Pertes de revenus commerciaux• Dommages aux contenus des commerces <p>Adaptation</p> <ul style="list-style-type: none">• Coûts de construction• Coûts d'entretien• Pertes de valeur d'usage• Contribution exigée à titre de compensation pour la perte d'un milieu humide ou hydrique• Démantèlement <p>Sociosanitaire</p> <ul style="list-style-type: none">• Frais de santé
Durée de vie	Entre 60 et 65 ans
Coût de construction	12 600\$/mètre linéaire (entre 2 640\$ et 38 700\$ le mètre linéaire)
Coût d'entretien	5% du coût de construction

Muret de métal - Structure rigide et structurale

Ouvrage de protection contre l'érosion due aux vagues ou aux glaces qui consiste à installer une structure verticale composée de métal le long d'un talus de faible hauteur.

Type de côte	<ul style="list-style-type: none">• Artificialisée• Basse falaise meuble• Basse falaise rocheuse• Rocheuse sans falaise• Rocheuse sans falaise/marais maritime• Terrasse de plage• Terrasse de plage (base rocheuse)• Terrasse de plage (base rocheuse/marais maritime)• Terrasse de plage/marais maritime
Les actifs sont exposés aux aléas suivants :	<ul style="list-style-type: none">• Submersion
Impacts quantifiés	<p>Résidentiel</p> <ul style="list-style-type: none">• Dommages aux contenus des résidences• Dommages structurels aux résidences• Coûts des débris <p>Commercial/industriel</p> <ul style="list-style-type: none">• Dommages structurels aux commerces• Pertes de revenus commerciaux• Dommages aux contenus des commerces <p>Adaptation</p> <ul style="list-style-type: none">• Coûts de construction• Coûts d'entretien• Pertes de valeur d'usage• Contribution exigée à titre de compensation pour la perte d'un milieu humide ou hydrique• Démantèlement <p>Sociosanitaire</p> <ul style="list-style-type: none">• Frais de santé
Durée de vie	Entre 43 et 53 ans
Coût de construction	5 500\$/mètre linéaire (entre 860\$ et 23 000\$ le mètre linéaire)
Coût d'entretien	1% du coût de construction

Muret de bois - Structure rigide et structurelle

Ouvrage de protection contre l'érosion due aux vagues ou aux glaces qui consiste à installer une structure verticale composée de bois le long d'un talus de faible hauteur.

Type de côte	<ul style="list-style-type: none">• Artificialisée• Basse falaise meuble• Basse falaise rocheuse• Rocheuse sans falaise• Rocheuse sans falaise/marais maritime• Terrasse de plage• Terrasse de plage (base rocheuse)• Terrasse de plage (base rocheuse/marais maritime)• Terrasse de plage/marais maritime
Les actifs sont exposés aux aléas suivants :	<ul style="list-style-type: none">• Submersion
Impacts quantifiés	<p>Résidentiel</p> <ul style="list-style-type: none">• Dommages aux contenus des résidences• Dommages structurels aux résidences• Coûts des débris <p>Commercial/industriel</p> <ul style="list-style-type: none">• Dommages structurels aux commerces• Pertes de revenus commerciaux• Dommages aux contenus des commerces <p>Adaptation</p> <ul style="list-style-type: none">• Coûts de construction• Coûts d'entretien• Pertes de valeur d'usage• Contribution exigée à titre de compensation pour la perte d'un milieu humide ou hydrique• Démantèlement <p>Sociosanitaire</p> <ul style="list-style-type: none">• Frais de santé
Durée de vie	Entre 5 et 10 ans
Coût de construction	1 000\$/mètre linéaire (entre 40\$ et 18 500\$ le mètre linéaire)
Coût d'entretien	15% du coût de construction

Épis - Structure rigide et structurale

Ouvrage de protection contre l'érosion côtière, positionné de manière perpendiculaire à la côte et formée d'empilements de roches ou de pieux verticaux enfouis dans le sol et placés les uns à côté des autres, visant à retenir les particules de sédiments transportées par les vagues, tout en permettant une certaine circulation de l'eau.

Type de côte	<ul style="list-style-type: none">• Artificialisée• Base falaise meuble• Base falaise rocheuse• Rocheuse sans falaise• Terrasse de plage• Terrasse de plage (base rocheuse)• Terrasse de plage (base rocheuse)/marais maritime)
Les actifs sont exposés aux aléas suivants :	<ul style="list-style-type: none">• Submersion
Impacts quantifiés	<p>Résidentiel</p> <ul style="list-style-type: none">• Dommages aux contenus des résidences• Dommages structurels aux résidences• Coûts des débris <p>Commercial/industriel</p> <ul style="list-style-type: none">• Dommages structurels aux commerces• Pertes de revenus commerciaux• Dommages aux contenus des commerces <p>Adaptation</p> <ul style="list-style-type: none">• Coûts de construction• Coûts d'entretien• Contribution exigée à titre de compensation pour la perte d'un milieu humide ou hydrique• Démantèlement <p>Sociosanitaire</p> <ul style="list-style-type: none">• Frais de santé
Durée de vie	Entre 40 et 60 ans
Coût de construction	5 500\$/mètre linéaire (entre 2 900\$ et 32 800\$ le mètre linéaire)
Coût d'entretien	30% du coût de construction

Brise-lame - Structure rigide et structurale

Ouvrage de protection contre l'érosion due aux vagues ou aux glaces qui consiste à en un empilement structuré de roches installé parallèlement à la côte. Les structures souvent détachées de la côte peuvent être émergées ou submergées. La structure brise-lame modélisée à un critère de conception 0-20 ans, c'est-à-dire qu'elle bloque les tempêtes qui ont une hauteur inférieure ou égale à la récurrence 0-20 ans en vigueur.

Type de côte	<ul style="list-style-type: none"> • Artificialisée • Basse falaise meuble • Basse falaise rocheuse • Rocheuse sans falaise • Rocheuse sans falaise/marais maritime • Terrasse de plage • Marais maritime • Marais maritime à base rocheuse • Terrasse de plage (base rocheuse) • Terrasse de plage (base rocheuse) / marais maritime • Terrasse de plage / marais maritime
Les actifs sont exposés aux aléas suivants :	<ul style="list-style-type: none"> • Submersion (pour les tempêtes plus hautes que la récurrence 20 ans)
Impacts quantifiés	<p>Résidentiel</p> <ul style="list-style-type: none"> • Dommages aux contenus des résidences • Dommages structurels aux résidences • Coûts des débris <p>Commercial/industriel</p> <ul style="list-style-type: none"> • Dommages structurels aux commerces • Pertes de revenus commerciaux • Dommages aux contenus des commerces <p>Adaptation</p> <ul style="list-style-type: none"> • Coûts de construction • Coûts d'entretien • Pertes de valeur d'usage • Contribution exigée à titre de compensation pour la perte d'un milieu humide ou hydrique • Démantèlement <p>Sociosanitaire</p> <ul style="list-style-type: none"> • Frais de santé
Durée de vie	Entre 40 et 60 ans
Coût de construction	4100\$/mètre linéaire. Distribution inconnue
Coût d'entretien	30% du coût de construction

Recharge sédimentaire - Valorisation écologique

Méthode de protection contre l'érosion côtière qui consiste à transporter du sable et/ou du gravier sur une plage, soit en le déposant directement sur celle-ci ou en marge du site, pour produire un engraissement artificiel de la plage qui augmentera sa capacité à protéger la côte, en absorbant l'énergie des vagues. Cette méthode nécessite un entretien récurrent.

Type de côte	<ul style="list-style-type: none">• Milieux sableux publics
Les actifs sont exposés aux aléas suivants :	<ul style="list-style-type: none">• Submersion
Impacts quantifiés	<p>Résidentiel</p> <ul style="list-style-type: none">• Dommages matériels liés à l'érosion• Dommages aux contenus des résidences• Dommages structurels aux résidences• Coûts des débris <p>Commercial/industriel</p> <ul style="list-style-type: none">• Dommages matériels liés à l'érosion• Dommages structurels aux commerces• Pertes de revenus commerciaux• Dommages aux contenus des commerces <p>Agricole</p> <ul style="list-style-type: none">• Dommages matériels liés à l'érosion <p>Institutions/Infrastructures publiques/Transports</p> <ul style="list-style-type: none">• Dommages matériels <p>Adaptation</p> <ul style="list-style-type: none">• Coûts de construction• Coûts d'entretien• Gains de valeur d'usage• Démantèlement <p>Récréatif</p> <ul style="list-style-type: none">• Dommages matériels <p>Sociosanitaire</p> <ul style="list-style-type: none">• Frais de santé
Durée de vie	Permanent
Coût de construction	5 000\$/mètre linéaire (entre 390\$ et 11 200\$ le mètre linéaire)
Coût d'entretien	25% du coût de construction

Végétalisation - Valorisation écologique

Méthode de protection contre l'érosion côtière qui consiste à planter des végétaux adaptés au milieu côtier qui retiennent les sédiments grâce à leurs racines; il peut s'agir de ballots de terre et de matières végétales ou de plantations de plantes et d'arbustes en bordure de la côte, dont les racines doivent être denses et profondes (exemple les rosiers, les framboisiers pour les plages, l'ammophile ou « foin de mer » pour les milieux dunaires).

Type de côte	<ul style="list-style-type: none"> • Basse falaise meuble • Basse falaise rocheuse • Flèche littorale • Tombolo (base rocheuse) / marais maritime • Marais maritime • Terrasse de plage • Basse falaise meuble (base rocheuse) • Basse falaise meuble (base rocheuse) / marais maritime • Basse falaise meuble / marais maritime • État de la côte : végétalisation inférieure à 75% ou côte active (obligatoire)
Les actifs sont exposés aux aléas suivants :	<ul style="list-style-type: none"> • Submersion • Érosion (avec réduction d'environ 25% du taux de recul)
Impacts quantifiés	<p>Résidentiel</p> <ul style="list-style-type: none"> • Dommages matériels liés à l'érosion • Dommages aux contenus des résidences • Dommages structurels aux résidences • Coûts des débris <p>Commercial/industriel</p> <ul style="list-style-type: none"> • Dommages matériels liés à l'érosion • Dommages structurels aux commerces • Pertes de revenus commerciaux • Dommages aux contenus des commerces <p>Agricole</p> <ul style="list-style-type: none"> • Dommages matériels liés à l'érosion <p>Institutions/Infrastructures publiques/Transports</p> <ul style="list-style-type: none"> • Dommages matériels liés à l'érosion <p>Adaptation</p> <ul style="list-style-type: none"> • Coûts de construction • Coûts d'entretien • Contribution exigée à titre de compensation pour la perte d'un milieu humide ou hydrique • Démantèlement <p>Récréatif</p> <ul style="list-style-type: none"> • Dommages matériels <p>Sociosanitaire</p> <ul style="list-style-type: none"> • Frais de santé
Durée de vie	Permanent
Coût de construction	139\$/mètre linéaire. Distribution inconnue.
Coût d'entretien	25% du coût de construction

Capteur sédimentaire - Valorisation écologique

Méthode de protection contre l'érosion côtière qui consiste à installer des structures dans la partie supérieure des environnements sableux (exemple clôture de bois) favorisant le captage puis l'accumulation de sable.

Type de côte	<ul style="list-style-type: none"> • Milieux sableux publics
Les actifs sont exposés aux aléas suivants :	<ul style="list-style-type: none"> • Submersion • Érosion (avec réduction d'environ 25% du taux de recul)
Impacts quantifiés	<p>Résidentiel</p> <ul style="list-style-type: none"> • Dommages matériels liés à l'érosion • Dommages aux contenus des résidences • Dommages structurels aux résidences • Coûts des débris <p>Commercial/industriel</p> <ul style="list-style-type: none"> • Dommages matériels liés à l'érosion • Dommages structurels aux commerces • Pertes de revenus commerciaux • Dommages aux contenus des commerces <p>Agricole</p> <ul style="list-style-type: none"> • Dommages matériels liés à l'érosion <p>Institutions/Infrastructures publiques/Transports</p> <ul style="list-style-type: none"> • Dommages matériels liés à l'érosion <p>Adaptation</p> <ul style="list-style-type: none"> • Coûts de construction • Coûts d'entretien • Contribution exigée à titre de compensation pour la perte d'un milieu humide ou hydrique • Démantèlement <p>Récréatif</p> <ul style="list-style-type: none"> • Dommages matériels <p>Sociosanitaire</p> <ul style="list-style-type: none"> • Frais de santé
Durée de vie	Entre 5 à 10 ans
Coût de construction	24\$/mètre linéaire (entre 4\$ 40\$ le mètre linéaire)
Coût d'entretien	25% du coût de construction

Valorisation complète - Valorisation écologique

Méthode de protection contre l'érosion côtière qui consiste à la combinaison d'une recharge sédimentaire et d'une revégétalisation.

Type de côte	<ul style="list-style-type: none"> • État de la côte : végétalisation inférieure à 75% ou côte active (obligatoire) • Basse falaise meuble • Basse falaise rocheuse • Flèche littorale • Tombolo (base rocheuse) / marais maritime • Marais maritime • Terrasse de plage • Basse falaise meuble (base rocheuse) • Basse falaise meuble (base rocheuse) / marais maritime • Basse falaise meuble / marais maritime
Les actifs sont exposés aux aléas suivants :	<ul style="list-style-type: none"> • Submersion
Impacts quantifiés	<p>Résidentiel</p> <ul style="list-style-type: none"> • Dommages matériels liés à l'érosion • Dommages aux contenus des résidences • Dommages structurels aux résidences • Coûts des débris <p>Commercial/industriel</p> <ul style="list-style-type: none"> • Dommages matériels liés à l'érosion • Dommages structurels aux commerces • Pertes de revenus commerciaux • Dommages aux contenus des commerces <p>Agricole</p> <ul style="list-style-type: none"> • Dommages matériels liés à l'érosion <p>Institutions/Infrastructures publiques/Transports</p> <ul style="list-style-type: none"> • Dommages matériels liés à l'érosion <p>Adaptation</p> <ul style="list-style-type: none"> • Coûts de construction • Coûts d'entretien • Gains de valeur d'usage • Contribution exigée à titre de compensation pour la perte d'un milieu humide ou hydrique • Démantèlement <p>Récréatif</p> <ul style="list-style-type: none"> • Dommages matériels liés à l'érosion <p>Sociosanitaire</p> <ul style="list-style-type: none"> • Frais de santé
Durée de vie	Permanente
Coût de construction	5 200\$/mètre linéaire (entre 4000\$ et 11 300\$ le mètre linéaire)
Coût d'entretien	1% du coût de construction

Retrait des structures existantes - Politiques réglementaires et aménagement du territoire

Option d'adaptation qui implique le retrait des structures existantes à la fin de leur durée de vie utile.

Type de côte	<ul style="list-style-type: none">• Avec structure de protection rigide
Les actifs sont exposés aux aléas suivants :	<ul style="list-style-type: none">• Submersion• Érosion
Impacts quantifiés	<p>Résidentiel</p> <ul style="list-style-type: none">• Dommages matériels liés à l'érosion• Dommages aux contenus des résidences• Dommages structurels aux résidences• Coûts des débris <p>Commercial/industriel</p> <ul style="list-style-type: none">• Dommages matériels liés à l'érosion• Dommages structurels aux commerces• Pertes de revenus commerciaux• Dommages aux contenus des commerces <p>Agricole</p> <ul style="list-style-type: none">• Dommages matériels liés à l'érosion <p>Institutions/Infrastructures publiques/Transports</p> <ul style="list-style-type: none">• Dommages matériels liés à l'érosion <p>Récréatif</p> <ul style="list-style-type: none">• Dommages matériels liés à l'érosion <p>Sociosanitaire</p> <ul style="list-style-type: none">• Frais de santé
Durée de vie	Mesure permanente (modélisée à la fin de la durée de vie des ouvrages actuellement déployés)
Coût de déconstruction	Environ 15% de la valeur de la construction de l'ouvrage
Coût d'entretien	Aucun

Relocalisation stratégique - Politiques réglementaires et aménagement du territoire

Option d'adaptation à l'érosion et/ou à la submersion qui consiste à déplacer les bâtiments à risque vers des zones sécuritaires (non exposées aux aléas). Les seuils utilisés sont les suivants : lorsque les bâtiments sont à moins de 5 mètres du littoral ou que l'élévation de leur rez-de-chaussée est inférieure au niveau d'eau extrême de récurrence 20 ans.

Type de côte	<ul style="list-style-type: none">• Tous les types de côte avec présence de bâtiments à risque
Les actifs sont exposés aux aléas suivants :	<ul style="list-style-type: none">• Submersion• Érosion
Impacts quantifiés	<p>Résidentiel</p> <ul style="list-style-type: none">• Dommages aux contenus des résidences• Dommages structurels aux résidences• Coûts des débris <p>Commercial/industriel</p> <ul style="list-style-type: none">• Dommages structurels aux commerces• Pertes de revenus commerciaux• Dommages aux contenus des commerces <p>Adaptation</p> <ul style="list-style-type: none">• Frais afférents• Achat de terrain• Coût de transport <p>Sociosanitaire</p> <ul style="list-style-type: none">• Frais de santé
Durée de vie	Mesure permanente (modélisée l'année avant où on estime les premiers dommages d'aléas)
Coût fixe	Des frais afférents d'environ 60 000\$, un coût variable de transport de 1700\$/mètre linéaire de périmètre du bâtiment ainsi qu'un frais d'achat de terrain sont à considérer.
Coût d'entretien	Aucun

Abandon stratégique - Politiques réglementaires et aménagement du territoire

Option d'adaptation à l'érosion et/ou à la submersion qui consiste à démolir les bâtiments à risque. Les seuils utilisés sont les suivants : lorsque les bâtiments sont à moins de 5 mètres du littoral ou que l'élévation de leur rez-de-chaussée est inférieure à la cote de crue en vigueur actuellement pour les événements de récurrence 20 ans.

Type de côte	<ul style="list-style-type: none">• Tous les types de côte avec présence de bâtiments à risque
Les actifs sont exposés aux aléas suivants :	<ul style="list-style-type: none">• Submersion• Érosion
Impacts quantifiés	<p>Résidentiel</p> <ul style="list-style-type: none">• Dommages aux contenus des résidences• Dommages structurels aux résidences• Coûts des débris <p>Commercial/industriel</p> <ul style="list-style-type: none">• Dommages structurels aux commerces• Pertes de revenus commerciaux• Dommages aux contenus des commerces <p>Adaptation</p> <ul style="list-style-type: none">• Achat de terrain et de propriété• Coût de démolition <p>Sociosanitaire</p> <ul style="list-style-type: none">• Frais de santé
Durée de vie	Mesure permanente
Coût fixe	Les bâtiments doivent être démolis au coût de 54\$/m ² par rapport à la surface au sol estimée. On y ajoute l'achat d'un terrain de valeur égal au terrain actuel.
Coût d'entretien	Aucun

Programme d'indemnisation du MSP

Cette mesure représente la mise en œuvre du programme d'indemnisation du ministère de la Sécurité publique, assumant relocalisation au-delà d'un certain seuil de dommages de submersion ou d'imminence d'érosion (marge de sécurité de 5 mètres). Pour le seuil lié à la submersion : si la somme de l'aide financière du MSP (basé sur les dommages cumulatifs) sont égaux ou supérieur à 50% de la valeur foncière de l'immeuble, jusqu'à un maximum de 100 000\$; dans ce cas, le MSP offre une allocation de départ (jusqu'à 205 000\$ par bâtiment selon la valeur foncière) ou une aide équivalente pour le déplacement du bâtiment.

Type de côte	<ul style="list-style-type: none">• Tous les types de côte avec présence de bâtiments à risque
Les actifs sont exposés aux aléas suivants :	<ul style="list-style-type: none">• Submersion• Érosion
Impacts quantifiés	<p>Résidences primaires et secondaires</p> <ul style="list-style-type: none">• Dommages au contenu des résidences• Dommages résidentiels structurels• Coût des débris• Pertes de valeur d'usage <p>Commercial/industriel</p> <ul style="list-style-type: none">• Dommages aux stocks des commerces/industries• Dommages structurels aux commerces/industries• Pertes de revenus commerciaux <p>Adaptation</p> <ul style="list-style-type: none">• Coûts de construction• Coûts d'entretien <p>Sociosanitaire</p> <ul style="list-style-type: none">• Frais de santé
Durée de vie	Mesure permanente
Coût d'achat	Ces coûts dépendent de la valeur foncière du bâtiment

Immunsation du bâtiment - Politiques réglementaires et aménagement du territoire

Mesure d'adaptation à la submersion qui consiste à rehausser les bâtiments par un remblayage du terrain jusqu'à une élévation suffisante afin d'éliminer ou de réduire les dommages causés par la submersion.

Type de côte	<ul style="list-style-type: none">• Tous les types de côte avec présence de bâtiments à risque
Les actifs sont exposés aux aléas suivants :	<ul style="list-style-type: none">• Submersion• Érosion
Impacts quantifiés	<p>Résidentiel</p> <ul style="list-style-type: none">• Dommages matériels liés à l'érosion• Dommages aux contenus des résidences• Dommages structurels aux résidences• Coûts des débris <p>Commercial/industriel</p> <ul style="list-style-type: none">• Dommages matériels liés à l'érosion• Dommages structurels aux commerces• Pertes de revenus commerciaux• Dommages aux contenus des commerces <p>Agricole</p> <ul style="list-style-type: none">• Dommages matériels liés à l'érosion <p>Institutions/Infrastructures publiques/Transports</p> <ul style="list-style-type: none">• Dommages matériels liés à l'érosion <p>Adaptation</p> <ul style="list-style-type: none">• Coûts d'immunsation <p>Récréatif</p> <ul style="list-style-type: none">• Dommages matériels liés à l'érosion <p>Sociosanitaire</p> <ul style="list-style-type: none">• Frais de santé
Durée de vie	Permanente
Coût de construction	3 871\$/mètre linéaire du périmètre estimé du bâtiment
Coût d'entretien	Aucun

Zonage - Politiques réglementaires et aménagement du territoire

Scénario hypothétique où aucun bâtiment résidentiel exposé à la submersion n'a de sous-sol fini.

Type de côte	<ul style="list-style-type: none">• Tous les types de côte avec présence de bâtiments à risque
Les actifs sont exposés aux aléas suivants :	<ul style="list-style-type: none">• Submersion• Érosion
Impacts quantifiés	<p>Résidentiel</p> <ul style="list-style-type: none">• Dommages matériels liés à l'érosion• Dommages aux contenus des résidences• Dommages structurels aux résidences• Coûts des débris <p>Commercial/industriel</p> <ul style="list-style-type: none">• Dommages matériels liés à l'érosion• Dommages structurels aux commerces• Pertes de revenus commerciaux• Dommages aux contenus des commerces <p>Agricole</p> <ul style="list-style-type: none">• Dommages matériels liés à l'érosion <p>Institutions/Infrastructures publiques/Transports</p> <ul style="list-style-type: none">• Dommages matériels liés à l'érosion <p>Récréatif</p> <ul style="list-style-type: none">• Dommages matériels liés à l'érosion <p>Sociosanitaire</p> <ul style="list-style-type: none">• Frais de santé
Durée de vie	Permanente
Coût de construction	Aucun
Coût d'entretien	Aucun

Annexe 4 : Comparaison des coûts et des avantages

La comparaison des coûts et des avantages dans PANACÉES utilise les prémisses et méthodes utilisées dans l'ACA maritime⁵, voici donc des extraits, en italique, de ce rapport qui nous semblent d'intérêts pour la compréhension de l'utilisateur.

Après avoir estimé les différents coûts et avantages de chacune des options d'adaptation et de la non-intervention, la prochaine étape consiste à calculer la somme des avantages nets sur la période d'étude afin de pouvoir comparer les options entre elles. Ce calcul est basé sur des hypothèses de base qui sont décrites ci-dessous.

Horizon temporel

L'horizon temporel retenu pour cette étude dépend du choix de l'utilisateur. Les paramètres de PANACÉES permettent d'analyser les résultats par tranche de 10 ans, entre 2020 et 2100.

Actualisation

La méthode utilisée pour agréger les avantages et les coûts liés à une option d'adaptation donnée pour l'horizon temporel considéré est l'actualisation de ces derniers. Cette méthode permet de ramener les valeurs considérées pour chacune des années sur une même base à l'aide d'un facteur d'actualisation. La formule ci-dessous est utilisée pour estimer la valeur actualisée de chaque flux.

Le taux d'actualisation représente le coût d'opportunité des fonds engagés tout au long de l'horizon considéré. Un taux d'actualisation plus élevé signifie que la valorisation des coûts et avantages futurs est moindre. Dans le cas de cette étude, le taux d'actualisation choisi est de 4 %. Il s'agit du taux recommandé par Ouranos dans son guide de l'évaluation des avantages et des coûts de l'adaptation (Webster, A. et al., 2008) et retenu pour la réalisation des études régionales lancées par Ressources naturelles Canada.

Une autre hypothèse de cette étude est l'unité monétaire choisie, soit le dollar canadien de 2018. Quant aux résultats de l'ACA, ils sont présentés à l'aide de la valeur actualisée nette, soit la VAN. La VAN a l'avantage de présenter directement la perte ou le gain économique lié à chaque option en plus de l'ampleur de cet élément. Les VAN sont aussi exprimées selon trois manières : par année, par type de coûts et par secteurs touchés. La visualisation par année permet de comparer la rentabilité de chacune des mesures entre l'année 2020 et 2100. La visualisation par indicateur de dommages permet de déterminer quels types d'impacts est le plus problématique. Quant à lui, l'affichage par secteur permet de comprendre quel secteur de l'économie est le plus touché.

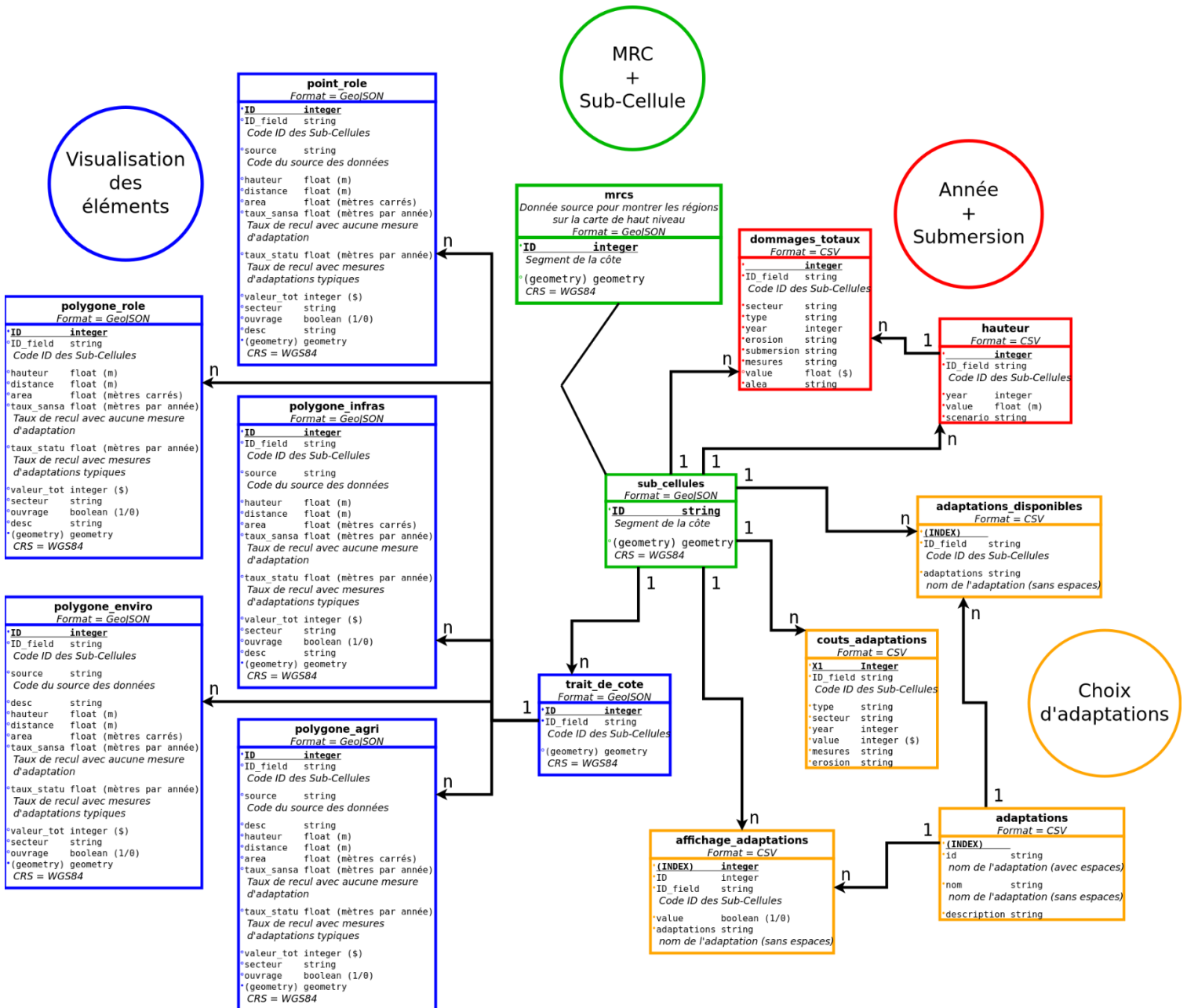
⁵ Pour plus de détails : <https://www.ouranos.ca/publication-scientifique/Rapport-ACA-Maria.pdf>

Annexe 5 : Analyse de sensibilité

L'analyse de sensibilité permet d'examiner la robustesse de la VAN obtenue lorsque les hypothèses importantes de l'analyse varient. Ainsi, les paramètres ou hypothèses ciblés par une telle analyse sont choisis par rapport à l'influence qu'ils peuvent avoir sur les résultats de l'ACA. Cela apporte une information complémentaire sur la variabilité potentielle des résultats, aidant ainsi les décideurs à faire des choix mieux informés.

PANACÉES intègre les principales fonctions d'analyse de sensibilité pour plusieurs hypothèses centrales à l'aléa : la vitesse d'érosion, le niveau de submersion, l'horizon d'étude. De plus, il est possible de soustraire différents types de coûts ou secteur à l'analyse économique. Les résultats sont aussi téléchargeables, si on voulait tester la robustesse d'autres résultats face à d'autres hypothèses détaillées dans le présent rapport.

Annexe 6 : Architecture/arborescence de la base de données



Annexe 7 : Source des principales données utilisées

Noms	Attributs d'intérêts	Sources
Trait de côte (2010, 2015)	Type de côte, État de la côte, Taux de déplacement moyen, Artificialisation	Université du Québec à Rimouski (UQAR) via le Laboratoire de Dynamique et de Gestion Intégrée des Zones Côtières (LDGIZC)
Rôle foncier (2018)	Matricule, Code d'usage, Type de bâtiments (nombre d'étages, présence d'un sous-sol, type), Valeur du terrain, Valeur du bâtiment, Valeur de l'immeuble	MRCs de La Mitis et de Rivière-du-Loup
LIDAR (2009 à 2013)	Modèle numérique de terrain	Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les Changements climatiques (MELCC) du Québec
Relevé bathymétrique (1900 à aujourd'hui)	Profondeur du fleuve Saint-Laurent	Services hydrographiques Canada (SHC)
Recensement	Profil du recensement	Statistique Canada
Atlas des milieux côtiers d'intérêt pour la conservation dans l'estuaire du golfe Saint-Laurent (2019)	Description des écosystèmes	Environnement et Changements Climatiques Canada (ECCC)
Faune et Flore en danger (2018)	Habitats fauniques et floristiques vulnérables	Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs (MFFP) du Québec
Milieux humides potentiels (2018)	Caractérisation des milieux humides	MRCs de La Mitis et de Rivière-du-Loup
Environnement (2019)	Description des écosystèmes	Open Street Map (OSM)
Usages reliés aux milieux aquatiques (2015)	Description des usages reliés aux milieux aquatiques	Ministère des affaires municipales et de l'habitation (MAMH) du Québec
Infrastructures routières (2019)	Débits, vitesse et description des principaux axes routiers	Ministère des Transports du Québec (MTQ)
Infrastructures de transports informels (2019)	Localisation et description des usages	Open Street MAP (OSM)
Infrastructures souterraines (2019)	Localisation, longueur et description des usages	MRCs de La Mitis et de Rivière-du-Loup
Parcelles agricoles (2019)	Description des cultures	Financière agricole du Québec (FADQ)
Revenus et effectifs d'entreprise par code SCIAN (2016)	Revenus et effectifs d'entreprises	Statistique Canada
Biens meubles essentiels (2019)	Valeur et descriptions des meubles	Ministère de la Sécurité publique (MSP)
Changement dans le niveau marin (2019)	Niveau marin	Institut océanographique de Bedford - Outil canadien d'adaptation aux niveaux d'eau extrêmes (OCANEE)
Avis et contrats publics (2012 à 2019)	Description du contrat, lieu, organisme émetteur et soumissionnaire, montants et date	Système électronique d'appel d'offres du Québec, via Données ouvertes Qc