



$$VAN = \sum_{t=1}^T \frac{avantages_t}{(1+\rho)^t} - \sum_{t=1}^T \frac{coûts_t}{(1+\rho)^t}$$

ANALYSE COÛTS-AVANTAGES DES OPTIONS D'ADAPTATION EN ZONE CÔTIÈRE À *MARIA*

Rapport final
Mars 2016



Ressources naturelles
Canada

Natural Resources
Canada

Canada



Québec



ANALYSE COÛTS-AVANTAGES DES OPTIONS D'ADAPTATION EN ZONE CÔTIÈRE À MARIA

**PROJET : ÉVALUATION ÉCONOMIQUE DES RÉPERCUSSIONS
DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES ET ANALYSE COÛTS-
AVANTAGES DES OPTIONS D'ADAPTATION EN ZONE CÔTIÈRE
AU QUÉBEC**

Directrice de projet : Manon Circé, Ouranos

Équipe de réalisation :

Laurent Da Silva, Ouranos
Xavier Mercier, Ouranos
François Morneau, Ouranos
Claude Desjarlais, Ouranos
Ursule Boyer-Villemaire, Ouranos
Travis Logan, Ouranos

Principaux collaborateurs :

Pascal Bernatchez, UQAR
Steeve Dugas, UQAR
Christian Fraser, UQAR
Jean-Pierre Savard, Ouranos
Philippe Roy, Ouranos
Frédéric Guay, Ouranos
Municipalité de Maria

Révision et mise en page : Beatriz Osorio, Ouranos, et Katherine Pineault, Ouranos

Numéro de projet : 5400010-000

Citation suggérée : Circé, M., Da Silva, L. Mercier, X., Boyer-Villemaire, U., Desjarlais, C. et Morneau, F. (2016) Analyse coûts-avantages des options d'adaptation en zone côtière à Maria. Ouranos, Montréal. 169 pages et annexes.

Mars 2016



REMERCIEMENTS

La présente étude a été réalisée avec le soutien du Groupe de travail sur l'économie de la Plateforme canadienne d'adaptation au changement climatique, présidée par Ressources naturelles Canada. Elle a également bénéficié de l'appui financier du Fonds vert du Québec dans le cadre du Plan d'action 2013-2020 sur les changements climatiques.

Cette étude a été rendue possible grâce à de nombreuses collaborations, dont notamment celle de Pascal Bernatchez et de son équipe du Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières (LDGIZC) de l'Université du Québec à Rimouski (UQAR), qui ont partagé avec Ouranos leur expérience et leurs connaissances approfondies des processus hydrosédimentaires et de la dynamique des vagues sur les côtes du Québec.

Nous tenons à remercier la municipalité de Maria pour la collaboration exceptionnelle qui s'est installée entre l'équipe de projet et les différents intervenants. En particulier, nous voulons saluer l'aide précieuse de monsieur le maire Christian Leblanc ainsi que de Gilbert Leblanc et Serge Normandeau. Un remerciement particulier à Gaston Chouinard pour le partage des données.

Nous tenons également à souligner la contribution des membres des différents comités mis en place dans le cadre du projet. Leur participation a permis, entre autres, de mieux comprendre et d'intégrer l'ensemble des enjeux de la zone d'étude :

Josée Michaud (Bureau des Changements climatiques), Nick Xenos (Ressources naturelles Canada), Jean-Pierre Revéret (UQAM), Adam Fenech (UPI), Dominique Bérubé (UNB), Élisabeth Marceau (MPO), Graham Frank (Baird), Marcel Roussy (MAPAQ), Rénauld Méthot (MAMOT), Jacinthe Girard (MDDELCC), Laurence Laperrière (MDDELCC), Jean-Denis Bouchard (MDDELCC), François Hazel (MPO), Michel Michaud (Transports Québec), Guylène Chouinard (Transports Québec), Hélène Latérière (MCC) et Paul Gingras (MRC La Mitis).

Finalement, nous remercions toutes les organisations et firmes qui ont fourni des données essentielles à cette analyse, notamment la firme Pesca Environnement et la firme W.F. Baird & Associates Coastal Engineers.



RÉSUMÉ EXÉCUTIF

Peu d'études ont porté jusqu'à maintenant sur l'évaluation économique des impacts des changements climatiques et des options d'adaptation en zone côtière dans l'Est-du-Québec. Un programme de travail a ainsi été lancé par le Groupe de travail sur l'économie de la Plateforme canadienne d'adaptation au changement climatique, présidée par Ressources naturelles Canada. Ce programme vise à développer des connaissances économiques et des outils afin d'aider les décideurs des secteurs privés et publics au Canada à faire de meilleurs choix d'investissement et décisions de politique publique. Dans le cadre de ce programme, le projet de recherche *Évaluation économique des répercussions des changements climatiques et analyse coûts-avantages des options d'adaptation* visait l'étude des régions côtières du Québec et des provinces atlantiques.

Au Québec, l'étude a été réalisée par Ouranos avec comme partenaire de recherche principal le Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières (LDGIZC) de l'Université du Québec à Rimouski (UQAR), celui-ci ayant développé un imposant bagage de connaissances en matière d'érosion et de submersion sur les côtes du Québec. Les objectifs de l'étude étaient d'évaluer les impacts économiques de l'érosion sur les régions maritimes du Québec dans un contexte de changement climatique et d'analyser les coûts et les avantages de différentes options d'adaptation à l'érosion et à la submersion côtières.

Dans le cadre de cette étude, cinq sites ont fait l'objet d'analyses coûts-avantages (ACA). Il s'agit de Maria, de Percé, des Îles-de-la-Madeleine, de Carleton-sur-Mer et de

Kamouraska. Le présent rapport s'intéresse au littoral de la municipalité de Maria située dans la baie des Chaleurs.

Maria subit déjà d'importants impacts liés aux changements climatiques qui se traduisent par la montée du niveau marin, l'adoucissement hivernal et la perte du couvert de glace dans la baie des Chaleurs ainsi que la modification du régime des tempêtes. Le courant de dérive littorale d'ouest vers l'est additionné à la présence de basses terrasses de sols meubles rendent les côtes de Maria très vulnérables à l'érosion et à la submersion, comme les impacts des tempêtes de 2005 et de 2010 l'ont illustré.

Approche méthodologique

Cette étude vise à déterminer, en utilisant l'analyse coûts-avantages, les options d'adaptation les plus avantageuses pour protéger la zone côtière de Maria des impacts de l'érosion et de la submersion qui s'intensifient à cause des changements climatiques. L'étude s'appuie sur des projections d'érosion future fournies par le LDGIZC de l'UQAR de même que sur des projections de niveaux d'eau extrêmes développées conjointement par Ouranos et le LDGIZC.

L'analyse coûts-avantages (ACA) consiste à comparer d'un point de vue économique l'ensemble des avantages et des coûts de différentes options d'adaptation techniquement réalisables. Pour cette analyse, deux indicateurs économiques ont été retenus afin de comparer les options d'adaptation à la non-intervention : la valeur actualisée nette (VAN) et le ratio avantages-coûts.

L'étude présente une évaluation des impacts économiques, environnementaux et sociaux ainsi que des coûts des options d'adaptation. Ces derniers comprennent à la fois les coûts des études préparatoires, de construction et d'entretien des différentes options. Quant aux avantages de l'adaptation, ils proviennent en majeure partie des coûts évités et des gains liés à l'usage du littoral.

Les avantages et les coûts des différentes options d'adaptation proposées sont actualisées à 4 % sur la période d'étude, soit de 2015 à 2064. Ils sont évalués dans une perspective régionale, c'est-à-dire pour l'ensemble de la Gaspésie.

Zone d'étude

La zone d'étude de Maria a été divisée en 4 segments : Maria Centre-Ouest, Maria Centre-Est, Pointe-Verte Ouest et Pointe-Verte Est. Les segments ont été définis selon les caractéristiques physiques de la côte et l'occupation du sol. Les limites de ces segments sont identifiées à la figure A.



Figure A – Localisation de la zone d'étude et des 4 segments étudiés

Options d'adaptation

Les options d'adaptation qui ont été retenues pour analyse proviennent d'une étude réalisée pour Ouranos par la firme W.F. Baird & Associates Coastal Engineers (Baird). Compte tenu des différents paramètres biophysiques, géomorphologiques et océanographiques de la côte à Maria, Baird a identifié de façon préliminaire des ouvrages qui pourraient protéger le littoral de Maria contre des événements de 500 ans de récurrence.

Les options d'adaptation étudiées dans chacun des segments sont présentées au tableau A.

Tableau A – Options d'adaptation étudiées dans chaque segment de côte

Segment	Structure côtière rigide	Structure côtière mobile	Option sans structure côtière
Maria Centre-Ouest	Mur de palplanche		Immunisation et relocalisation stratégique
Maria Centre-Est	Mur de béton	Recharge de plage Recharge de plage avec épis	Immunisation et relocalisation stratégique
Pointe-Verte Ouest	Mur de béton	Recharge de plage Recharge de plage avec épis	Immunisation et relocalisation stratégique
Pointe-Verte Est	Mur de béton (côté mer) Digues (côté terre)	Recharge de plage Recharge de plage avec épis	Immunisation

Les principales conclusions relatives à chacun des segments sont exposées ci-dessous.

Maria Centre-Ouest

Le premier segment étudié à Maria est celui du Centre-Ouest, localisé à partir du point où la route 132 quitte le littoral jusqu'au parc du Vieux-Quai. Il est constitué d'une terrasse de plage sablonneuse emmurée ou enrochée sur la majorité du segment. Le taux d'érosion probable est de -0,24 m/an et le niveau de submersion de récurrence 20 ans est estimé à 3,95 m¹, 4,16 m et 4,43 m, respectivement pour les périodes 2015-2029, 2030-2054 et 2055-2064. Le segment compte 17 bâtiments qui seront

¹ Toutes les valeurs de submersion sont exprimées en mètre (m) géodésique soit l'élévation par rapport au zéro géodésique.

partiellement ou totalement touchés par l'érosion ou la submersion sur un horizon de 50 ans, dont une résidence pour personnes âgées et le magasin Coop-IGA.

Les résultats de l'ACA montrent que les dommages anticipés sont de l'ordre de 4,5 M\$, à un taux d'actualisation de 4 % sur 50 ans. La submersion est responsable de 95 % de ces dommages. Parmi les options d'adaptation étudiées, l'immunisation combinée à la relocalisation stratégique constitue la mesure la moins coûteuse avec une VAN de - 3,5 M\$ sur 50 ans, ce qui représente un avantage net d'environ 1,0 M\$ par rapport à la non-intervention.

Maria Centre-Est

Entre le parc du Vieux-Quai et la rue des Pluviers, le segment Maria Centre-Est est constitué d'une terrasse de plage de sédiments de diverses tailles. Le segment est caractérisé par un fort taux de recul probable (-0,83 m/an) et une grande vulnérabilité à la submersion, puisque l'élévation moyenne y est sous les 3 mètres alors que les niveaux de récurrence 20 ans sont estimés à 2,81 m, 3,02 m et 3,29 m, respectivement pour les périodes 2015-2029, 2030-2054 et 2055-2064.

Puisque la majeure partie du segment est occupé par le parc du Vieux-Quai, seuls neuf bâtiments résidentiels seront touchés par l'érosion ou la submersion au cours de la période d'étude. Dans l'ensemble, le coût de la non-intervention est évalué à 1,4 M\$ sur 50 ans, lorsqu'actualisé à 4 %.

En raison du faible nombre de bâtiments menacés, les options d'adaptation basées sur des structures d'ingénierie mobiles ou rigides, telles que la recharge de plage et un mur de béton, ne sont pas justifiées économiquement dans ce segment. L'immunisation combinée à la relocalisation stratégique apparaît être l'option à privilégier par rapport à la non-intervention, ce que confirment les différentes analyses de sensibilité. Toutefois, les avantages nets de cette option par rapport à la non-intervention sont relativement faibles, soit de l'ordre de 25 000 \$ sur 50 ans.

Pointe-Verte Ouest

Situé entre la rue des Pluviers et le début de la zone où la plage commence à s'élargir (après la courbe sur la rue des Tournepierres), le segment Pointe-Verte Ouest est composé pour un quart d'une terrasse de plage et pour les trois quarts d'une flèche littorale dominée par les graviers.

Du côté de la submersion, les niveaux de récurrence 20 ans sont de 2,81 m, 3,02 m et 3,29 m, respectivement pour les périodes 2015-2029, 2030-2054 et 2055-2064. L'évolution du trait de côte y est assez importante, avec un taux de recul probable de -0,76 m/an. Ce segment présente d'ailleurs le plus haut niveau d'artificialisation de la ligne de rivage.

Pointe-Verte Ouest compte le plus grand nombre de bâtiments directement exposés à l'érosion ou à la submersion sur 50 ans, soit 35. En l'absence d'intervention, les dommages attendus sont de l'ordre de 4,5 M\$, actualisés à 4 % sur 50 ans. Pour ce segment, la recharge de plage avec épis est l'option privilégiée d'un point de vue économique, avec des avantages nets de 1,2 M\$ par rapport à la non-intervention. Toutefois, l'analyse des options plus avantageuses dans les segments voisins suggère que l'immunisation combinée à la relocalisation stratégique devrait aussi être considérée dans un souci de cohérence. Les avantages nets de l'option d'immunisation et de relocalisation stratégique par rapport à la non-intervention sont d'environ 430 000 \$.

Pointe-Verte Est

Commençant à la limite de la zone d'accrétion et s'étendant jusqu'au bout de la Pointe Verte, ce quatrième segment est caractérisé par sa dynamique de flèche littorale. En effet, contrairement aux autres segments, cette flèche devrait accumuler des sédiments à un taux de 0,51 m/an durant les prochaines années, en raison des apports associés au courant de dérive littorale. Par contre, le recul maximal pouvant être enregistré en un seul événement y est très élevé, puisqu'il atteint -17,2 m/événement. Quant à la submersion, les niveaux de récurrence 20 ans sont les mêmes que dans les deux segments précédents, soit 2,81 m, 3,02 m et 3,29 m, respectivement pour les périodes 2015-2029, 2030-2054 et 2055-2064.

Les dommages attendus en l'absence d'intervention sur 50 ans, actualisés à 4 %, sont de 865 000 \$. L'analyse économique ne permet pas d'établir qu'il est mieux d'intervenir que de ne rien faire en laissant les propriétés subir les assauts de la mer. Cela s'explique essentiellement par le fait que la valeur foncière du cadre bâti à protéger, soit 9 bâtiments, et les dommages potentiellement évités sont relativement faibles. De plus, l'option d'adaptation la moins coûteuse, soit l'immunisation, ne protégerait que deux bâtiments des dommages de submersion compte tenu du critère d'intervention retenu qui est d'immuniser un bâtiment lorsque le rez-de-chaussée pourrait être atteint par un événement de récurrence 20 ans. Les analyses de sensibilité sur les niveaux d'eau et sur le taux d'évolution de la côte indiquent cependant que des aléas plus sévères favoriseraient largement l'intervention par rapport à la non-intervention.

Approche systémique

Dans les quatre segments à l'étude à Maria, 70 bâtiments résidentiels ou commerciaux sont vulnérables à l'érosion ou à la submersion sur un horizon de 50 ans. L'inaction pourrait engendrer des coûts et dommages chiffrés à 11,3 M\$, à un taux d'actualisation de 4 %. Les trois quarts de ce montant (8,8 M\$) sont attribuables aux dommages de submersion causés aux bâtiments.

Un scénario présentant des options de protection rigide sur l'ensemble des segments au coût de 16,0 M\$, impliquerait des coûts nets de 4,7 M\$ par rapport à l'inaction, ce qui rend un tel scénario non viable économiquement. Par contre, favoriser l'immunisation et la relocalisation stratégique sur l'ensemble des segments conduirait à des avantages nets actualisés de 1,3 M\$ par rapport à la non-intervention.

L'immunisation et la relocalisation sur tous les segments est un peu moins avantageuse que la mise en œuvre des options privilégiées par l'ACA pour chacun des segments pris individuellement. Par ailleurs, la mise en œuvre de l'option d'immunisation et de relocalisation stratégique dans l'ensemble de la zone d'étude préviendrait les impacts négatifs que pourrait avoir la recharge de plage avec épis du segment Pointe-Verte Ouest sur le segment Pointe-Verte Est. D'un point de vue systémique, l'implantation de la même option sur l'ensemble des quatre segments étudiés à Maria devrait être considérée.

Conclusion

La figure B résume les résultats de l'ACA pour Maria. Ces résultats permettent de déterminer que la solution la plus avantageuse économiquement pour l'ensemble de la société est l'immunisation combinée à la relocalisation stratégique pour Maria Centre-Ouest, Maria Centre-Est et Pointe-Verte Est. Pour ces segments, l'immunisation et la relocalisation stratégique est l'option qui entraîne le moins de coûts et de pertes économiques, sociales ou environnementales. Toutefois, pour les segments Maria Centre-Est et Pointe-Verte Est, les avantages nets de cette option sont de moins de 25 000 \$ par rapport à la non-intervention. Les analyses de sensibilité indiquent que si les aléas côtiers étaient plus sévères que ceux projetés dans le cadre de cette étude, alors l'immunisation combinée à la relocalisation stratégique serait l'option à privilégier.

Enfin, d'un point de vue systémique, l'option qui se classe deuxième dans le segment Pointe-Verte Ouest devrait être privilégiée par rapport à la recharge de plage avec épis. La dimension systémique sera importante à prendre en considération lorsque les décideurs devront choisir les meilleures options d'adaptation pour les quatre segments à l'étude à Maria.

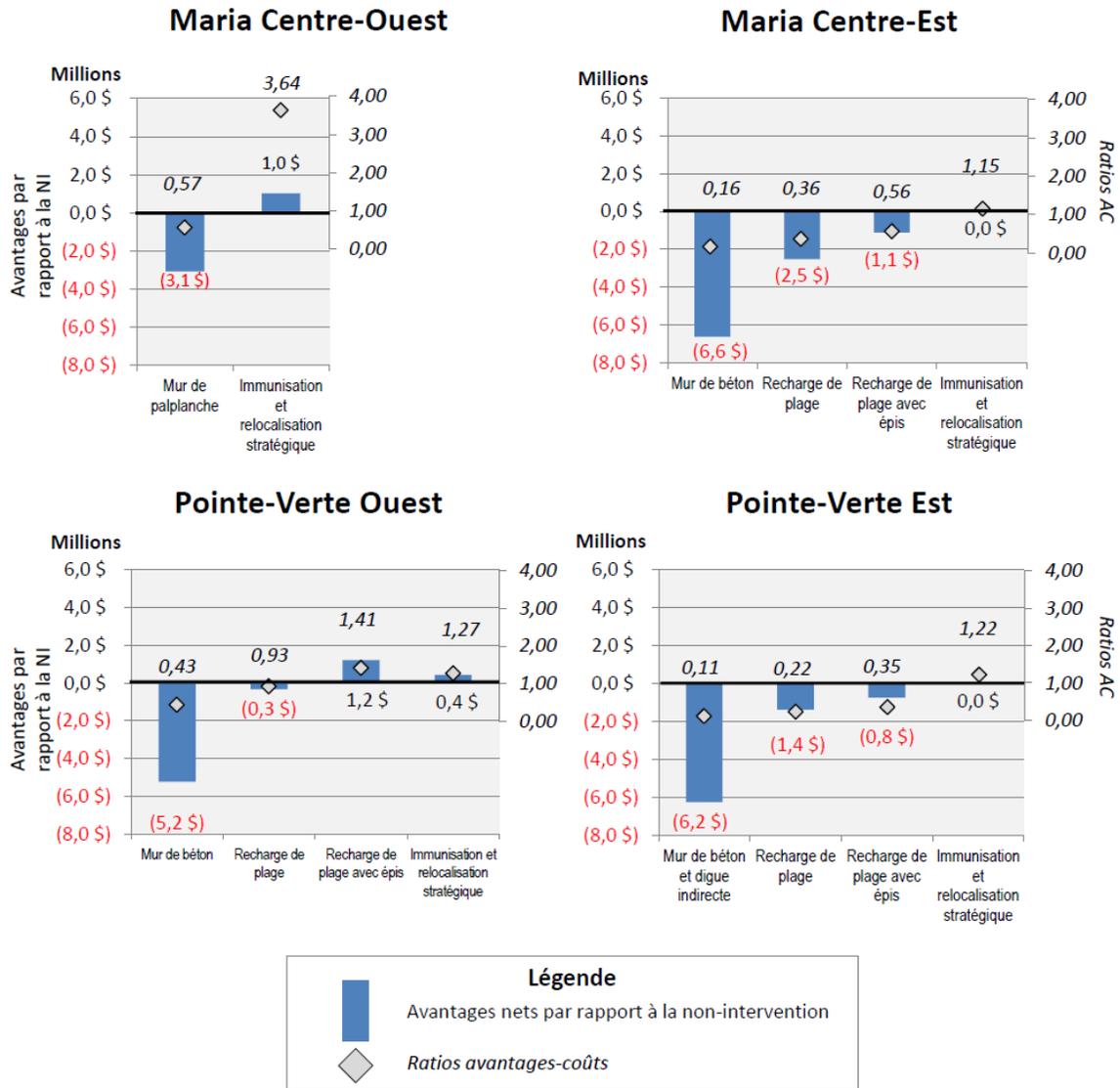


Figure B – VAN par rapport à la non-intervention et ratio avantages-coûts par segment



TABLE DES MATIÈRES

- 1. INTRODUCTION..... 1**
- 2. CONTEXTE DE L'ÉTUDE.....4**
 - 2.1 ZONE D'ÉTUDE4
 - 2.2 PROBLÉMATIQUES LIÉES AUX ALÉAS CÔTIERS.....8
 - 2.2.1 Submersion.....9
 - 2.2.2 Érosion..... 10
 - 2.3 PROCÉDURE DE SEGMENTATION ET DE SÉLECTION..... 11
 - 2.4 SEGMENTS À L'ÉTUDE..... 12
 - 2.4.1 Maria Centre-Ouest 12
 - 2.4.2 Maria Centre-Est..... 13
 - 2.4.3 Pointe-Verte Ouest 13
 - 2.4.4 Pointe-Verte Est..... 14
- 3 APPROCHE MÉTHODOLOGIQUE 16**
 - 3.1 PROCESSUS CONSULTATIF 16
 - 3.2 ANALYSE HYDRODYNAMIQUE 18
 - 3.2.1 Hypothèses relatives à la submersion..... 18
 - 3.2.2 Hypothèses relatives à l'érosion 22
 - 3.3 ANALYSE ÉCONOMIQUE 25
 - 3.3.1 Identification des options d'adaptation 26
 - 3.3.2 Identification des impacts appréhendés 27
 - 3.3.3 Monétisation des impacts appréhendés 29
 - 3.3.4 Estimation des dommages par submersion 29
 - 3.3.5 Estimation des dommages causés par l'érosion 30

3.3.6	Estimation des coûts des options d'adaptation	30
3.3.7	Comparaison des coûts et des avantages	31
3.3.8	Analyse de sensibilité des résultats.....	33
4	SEGMENT MARIA CENTRE-OUEST	34
4.1	DESCRIPTION GÉNÉRALE.....	34
4.1.1	Problématique.....	36
4.1.2	Option de non-intervention	37
4.1.3	Options d'adaptation	37
4.1.4	Impacts appréhendés	39
4.2	ESTIMATION MONÉTAIRE DES IMPACTS	42
4.2.1	Impacts directs.....	42
4.2.2	Impacts économiques.....	47
4.2.3	Impacts environnementaux.....	48
4.2.4	Impacts sociaux	48
4.2.5	Estimation du coût des options d'adaptation	50
4.3	ANALYSE COÛTS-AVANTAGES	51
4.3.1	Calcul des coûts sur 50 ans.....	51
4.3.2	Calcul des avantages sur 50 ans	53
4.3.3	Valeur actualisée nette et comparaison des options	53
4.4	ANALYSE DE SENSIBILITÉ	55
4.4.1	Taux d'actualisation	56
4.4.2	Niveaux d'eau extrêmes	57
4.4.3	Immunisation retardée	58
4.4.4	Synthèse de l'analyse de sensibilité	59
4.5	CONCLUSION.....	60
5	SEGMENT MARIA CENTRE-EST	61
5.1	DESCRIPTION GÉNÉRALE.....	61
5.1.1	Problématique.....	63
5.1.2	Option de non-intervention	64
5.1.3	Options d'adaptation	64
5.1.4	Impacts appréhendés	67
5.2	ESTIMATION MONÉTAIRE DES IMPACTS	70
5.2.1	Impacts directs.....	70
5.2.2	Impacts économiques.....	73

5.2.3	Impacts environnementaux.....	73
5.2.4	Impacts sociaux	75
5.2.5	Estimation du coût des options d'adaptation	78
5.3	ANALYSE COÛTS-AVANTAGES	79
5.3.1	Calcul des coûts sur 50 ans.....	79
5.3.2	Calcul des avantages sur 50 ans	82
5.3.3	Valeur actualisée nette et comparaison des options	82
5.4	ANALYSE DE SENSIBILITÉ.....	85
5.4.1	Taux d'actualisation	85
5.4.2	Niveaux d'eau extrêmes	87
5.4.3	Valeur d'usage du littoral	88
5.4.4	Immunisation retardée	89
5.4.5	Synthèse de l'analyse de sensibilité	91
5.5	CONCLUSION.....	91
6	SEGMENT POINTE-VERTE OUEST	93
6.1	DESCRIPTION GÉNÉRALE.....	93
6.1.1	PROBLÉMATIQUE	95
6.1.2	Option de non-intervention	96
6.1.3	Options d'adaptation	96
6.1.4	Impacts appréhendés	99
6.2	ESTIMATION MONÉTAIRE DES IMPACTS	102
6.2.1	Impacts directs.....	102
6.2.2	Impacts économiques.....	104
6.2.3	Impacts environnementaux.....	105
6.2.4	Impacts sociaux	105
6.2.5	Estimation du coût des options d'adaptation	107
6.3	ANALYSE COÛTS-AVANTAGES	109
6.3.1	Calcul des coûts sur 50 ans.....	109
6.3.2	Calcul des avantages sur 50 ans	112
6.3.3	Valeur actualisée nette et comparaison des options	113
6.4	SENSIBILITÉ DES RÉSULTATS.....	115
6.4.1	Taux d'actualisation	115
6.4.2	Niveaux d'eau extrêmes	117
6.4.3	Valeur d'usage du littoral	118
6.4.4	Immunisation retardée	119

6.4.5	Synthèse de l'analyse de sensibilité	121
6.5	CONCLUSION	121
7	SEGMENT POINTE-VERTE EST	123
7.1	DESCRIPTION GÉNÉRALE	123
7.1.1	Problématique	125
7.1.2	Option de non-intervention	126
7.1.3	Options d'adaptation	126
7.1.4	Impacts appréhendés	131
7.2	ESTIMATION MONÉTAIRE DES IMPACTS	133
7.2.1	Impacts directs	133
7.2.2	Impacts environnementaux	135
7.2.3	Impacts sociaux	136
7.2.4	Estimation du coût des options d'adaptation	138
7.3	ANALYSE COÛTS-AVANTAGES	140
7.3.1	Calcul des coûts sur 50 ans	140
7.3.2	Calcul des avantages sur 50 ans	143
7.3.3	Valeur actualisée nette et comparaison des options	143
7.4	ANALYSE DE SENSIBILITÉ	146
7.4.1	Taux d'actualisation	147
7.4.2	Niveaux d'eau extrêmes	148
7.4.3	Valeur d'usage du littoral	149
7.4.4	Immunisation retardée	150
7.4.5	Scénario d'érosion	152
7.4.6	Synthèse de l'analyse de sensibilité	153
7.5	CONCLUSION	153
8	ANALYSE SYSTÉMIQUE	155
9	CONCLUSION	158
10	GLOSSAIRE	161
11	RÉFÉRENCES	166



LISTE DES TABLEAUX

Tableau 2.1 – Nombre et valeur des bâtiments à risque compris dans la zone d'étude ..	7
Tableau 3.1 – Processus consultatif et rôle des comités.....	17
Tableau 3.2 – Résumé des hypothèses sous-tendant les probabilités de submersion pour Maria	20
Tableau 3.3 – Niveaux de submersion pour le secteur à l'ouest du IGA	22
Tableau 3.4 – Niveaux de submersion pour le secteur à l'est du IGA	22
Tableau 3.5 – Taux d'érosion fournis par l'UQAR pour Maria	23
Tableau 3.6 – Options d'adaptation étudiées dans chacun des segments	27
Tableau 3.7 – Ensemble des impacts appréhendés à Maria.....	28
Tableau 4.1 – Nombre et valeur des bâtiments – Maria Centre-Ouest.....	34
Tableau 4.2 – Comparaison des impacts appréhendés selon les options	40
Tableau 4.3 – Nombre de bâtiments affectés par l'érosion ou la submersion – Maria Centre-Ouest.....	45
Tableau 4.4 – Coûts actualisés nets et VAN – Maria Centre-Ouest.....	54
Tableau 4.6 – Variation de la VAN en fonction du taux d'actualisation – Maria Centre-Ouest.....	56
Tableau 4.7 – Variation de la VAN suite à une hausse de 50 cm des niveaux d'eau extrêmes – Maria Centre-Ouest.....	57
Tableau 4.8 – Variation de la VAN suite au report de l'immunisation – Maria Centre-Ouest.....	59
Tableau 4.9 – Options les plus avantageuses selon les analyses de sensibilité – Maria Centre-Ouest.....	60
Tableau 5.1 – Nombre et valeur des bâtiments – Maria Centre-Est.....	61

Tableau 5.2 – Impacts appréhendés selon les options d’adaptation – Maria Centre-Est	68
Tableau 5.3 – Perte ou gain de vue ou d’accès à la mer – Maria Centre-Est	75
Tableau 5.4 – Coûts nets actualisés et VAN – Maria Centre-Est	84
Tableau 5.5 – Paramètres des analyses de sensibilité – Maria Centre-Est	85
Tableau 5.6 – Variation de la VAN avec des taux d’actualisation de 2 % et 6 % – Maria Centre-Est	86
Tableau 5.7 – Variation de la VAN avec l’augmentation de la submersion – Maria Centre-Est	87
Tableau 5.8 – Variation de la VAN suite à l’augmentation de la valeur d’usage de 50 % – Maria Centre-Est	89
Tableau 5.9 – Variation de la VAN suite au report de l’immunisation – Maria Centre-Est	90
Tableau 5.10 – Options les plus avantageuses selon les analyses de sensibilité – Maria Centre-Est	91
Tableau 6.1 – Nombre et valeur des bâtiments – Pointe-Verte Ouest	95
Tableau 6.2 – Impacts appréhendés selon les options d’adaptation – Pointe-Verte Ouest	100
Tableau 6.3 – Coûts associés à la perte ou gain de vue ou d’accès sur la mer – Pointe-Verte Ouest	106
Tableau 6.4 – Coûts actualisés nets – Pointe-Verte Ouest	114
Tableau 6.5 – Paramètres des analyses de sensibilité – Pointe-Verte Ouest	115
Tableau 6.6 – Variation de la VAN avec un taux d’actualisation de 2 % et 6 % – Pointe-Verte Ouest	116
Tableau 6.7 – Variation de la VAN avec l’augmentation des niveaux d’eau extrêmes de +50 cm – Pointe-Verte Ouest	117
Tableau 6.8 – Variation de la VAN avec hausse de la valeur d’usage du littoral de 50 % – Pointe-Verte Ouest	119
Tableau 6.9 – Variation de la VAN avec le report de l’immunisation – Pointe-Verte Ouest	120
Tableau 6.10 – Options les plus avantageuses selon les analyses de sensibilité – Pointe-Verte Ouest	121
Tableau 7.1 – Nombre et valeur des bâtiments à risque – Pointe-Verte Est	123
Tableau 7.2 – Comparaison des impacts appréhendés selon les options d’adaptation – Pointe-Verte Est	132
Tableau 7.3 – Coûts associés à la perte ou gain de vue ou d’accès sur la mer – Pointe-Verte Est	137
Tableau 7.4 – Coûts actualisés nets – Pointe-Verte Est	144

Tableau 7.5 – Paramètres des analyses de sensibilité – Pointe-Verte Est.....	146
Tableau 7.6 – Variation de la VAN avec des taux d’actualisation de 2 % et 6 % – Pointe-Verte Est	148
Tableau 7.7 – Variation de la VAN avec l’augmentation de la submersion – Pointe-Verte Est.....	149
Tableau 7.8 – Variation de la VAN avec l’augmentation de la valeur d’usage du littoral de 50 % – Pointe-Verte Est	150
Tableau 7.9 – Variation de la VAN avec le retardement de l’immunisation – Pointe-Verte Est.....	151
Tableau 7.10 – Variation de la VAN en situation d’érosion – Pointe-Verte Est	152
Tableau 7.11 – Option les plus avantageuses selon les analyses de sensibilité – Pointe-Verte Est	153
Tableau 8.1 – Options les plus avantageuses pour chacun des segments de Maria...	155



LISTE DES FIGURES

Figure 2.1 – Carte de la zone d'étude.....	5
Figure 2.2 – Maria vue du vieux quai.....	6
Figure 2.3 – Dynamique hydrosédimentaire de l'unité de la baie de Cascapédia	8
Figure 2.4 – Localisation des surfaces submergées en 2005 et 2010.....	9
Figure 2.5 – Localisation du segment Maria Centre-Ouest	12
Figure 2.6 – Localisation du segment Maria Centre-Est	13
Figure 2.7 – Localisation du segment Pointe-Verte Ouest	14
Figure 2.8 – Localisation du segment Pointe-Verte Est	15
Figure 3.1 – Exemple de muret brisé par les vagues lors de la tempête du 2 décembre 2005, secteur de la Pointe-Verte	24
Figure 3.2 – Exemple de recul événementiel de plusieurs mètres dans le secteur de la Pointe-Verte suite à la tempête du 6 décembre 2010	25
Figure 4.1 – Pertes de terrain projetées jusqu'en 2064 – Maria Centre-Ouest.....	35
Figure 4.2 – Coupe-type d'un mur de palplanche – Maria Centre-Ouest	38
Figure 4.3 – Ventilation des coûts nets actualisés et VAN (4 %) – Maria Centre-Ouest	55
Figure 5.1 – Pertes de terrains projetées jusqu'en 2064 – Maria Centre-Est	62
Figure 5.2 – Coupe-type du mur de béton – Maria Centre-Est.....	65
Figure 5.3 – Coupe-type d'une recharge de plage avec épis – Maria Centre-Est	66
Figure 5.4 – Inondation du parc du Vieux-Quai et de la maison Mowatt lors de l'épisode du 6 décembre 2010.....	72
Figure 5.5 – Impact du vieux quai sur la dynamique sédimentaire.....	74
Figure 5.6 – Ventilation des coûts nets actualisés et VAN (4 %) – Maria Centre-Est	83
Figure 6.1 – Pertes de terrains projetées jusqu'en 2064 – Pointe-Verte Ouest	94

Figure 6.5 – Coupe-type d'un mur de béton – Pointe-Verte Ouest.....	97
Figure 6.3 – Coupe-type d'une recharge de plage avec épis – Pointe-Verte Ouest	98
Figure 6.4 – Ventilation des coûts nets actualisés et VAN (4 %) – Pointe-Verte Ouest	113
Figure 7.1 – Évolution projetée de la côte jusqu'en 2064 – Pointe-Verte Est	124
Figure 7.2 – Tracés des options d'adaptation étudiées sur la Pointe Verte.....	128
Figure 7.3 – Coupe-type du mur de béton – Pointe-Verte Est.....	128
Figure 7.4 – Coupe-type de la digue– Pointe-Verte Est	129
Figure 7.5 – Coupe-type d'une recharge de plage avec épis – Pointe-Verte Est	130
Figure 7.6 – Ventilation des coûts nets actualisés et VAN (4 %) – Pointe-Verte Est ...	145
Figure 8.1 – Ventilation des coûts actualisés pour différentes combinaisons d'options d'adaptation pour tous les segments de Maria.....	157
Figure 9.1 – VAN par rapport à la non-intervention et ratio avantages-coûts pour chaque segment	160



LISTE DES ANNEXES

ANNEXE A – PROBLÉMATIQUE SÉDIMENTAIRE

ANNEXE B – ESTIMATION DES DOMMAGES DE SUBMERSION

ANNEXE C – DÉTAILS DES COÛTS POUR MARIA CENTRE-OUEST

ANNEXE D – DÉTAILS DES COÛTS POUR MARIA CENTRE-EST

ANNEXE E – DÉTAILS DES COÛTS POUR POINTE-VERTE OUEST

ANNEXE F – DÉTAILS DES COÛTS POUR POINTE-VERTE EST



LISTE DES ACRONYMES

ACA :	Analyse coûts-avantages
CA :	Comité aviseur
CC :	Changements climatiques
CLO :	Comité local d'orientation
CR :	Comité régional
CT :	Comité technique
DAM :	Domage annuel moyen
LDGIZC :	Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières
MAMOT :	Ministère des Affaires municipales et de l'Occupation du territoire
MAPAQ :	Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec
MCC :	Ministère de la Culture et des Communications
MDELCC :	Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques
MPO :	Pêches et Océans Canada
MRC :	Municipalité régionale de comté
MTQ :	Ministère des Transport du Québec
NI :	Non-intervention
NMM :	Niveau moyen des mers
PIB :	Produit intérieur brut
Ratio A/C :	Ratio avantages-coûts
RS :	Relocalisation stratégique
UNB :	Université du Nouveau-Brunswick
UPI :	Université de l'Île-du-Prince-Édouard
UQAM :	Université du Québec à Montréal
UQAR :	Université du Québec à Rimouski
VAN :	Valeur actualisée nette



SYMBOLES ET UNITÉS

mm :	millimètre
cm :	centimètre
m :	mètre
km :	kilomètre
m. lin. :	mètre linéaire
min. :	minutes
\$:	dollars de 2012 à moins d'indication contraire



1. INTRODUCTION

Le Québec possède plus de 3 000 kilomètres de littoral dans l'Est de son territoire. Cette zone maritime, qui comprend la Côte-Nord, le Bas-Saint-Laurent, la Gaspésie, les Îles-de-la-Madeleine et l'île d'Anticosti, comptait en 2014 une population de 388 000 habitants répartie en 212 municipalités dont 110 sont situées sur la côte (ISQ, 2014a). Plus du tiers de cette population vit à moins de 500 mètres des berges et plus de 90 %, à moins de 5 km (Bourque et Simonet, 2008). Le produit intérieur brut (PIB) de la zone maritime en 2013 atteignait 17,1 milliards de dollars avec comme principales industries la pêche, le tourisme, les alumineries et des installations portuaires assurant le transport des produits miniers en plus d'importantes infrastructures de transport terrestre (ISQ, 2014b).

Ces collectivités font face à une transformation sans précédent de leur environnement côtier causée par les changements climatiques (CC). En modifiant les principaux paramètres à la base des processus côtiers, les CC menacent l'intégrité des zones côtières. À titre d'exemple, la tempête maritime de décembre 2010 a généré des dommages évalués à plus de 30 millions de dollars aux infrastructures publiques et à quelque 740 propriétés riveraines de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent ainsi que de la baie des Chaleurs (Quintin C. et al., 2015). C'est dans ce contexte qu'Ouranos a entrepris l'analyse des options d'adaptation à l'érosion et à la submersion marine qui menacent les côtes du Québec.

La présente étude fait partie d'un projet de recherche appuyé par le Groupe de travail économique de la Plateforme canadienne d'adaptation au changement climatique, présidée par Ressources naturelles Canada et le Fonds vert du Québec, qui s'intéresse aux impacts des CC et aux options d'adaptation pouvant protéger les actifs et les usages du littoral. Ce projet inclut une évaluation globale des répercussions de l'érosion sur le littoral du Québec maritime qui a déjà été publiée. (Bernatchez et al., 2015) Il comporte également cinq études de cas qui visent à déterminer la viabilité économique de différentes options d'adaptation pour protéger le littoral. Les coûts et les avantages de différentes options d'adaptation sont comparés afin de déterminer lesquelles parmi ces options offrent un avantage net.

Ce rapport s'intéresse particulièrement à la municipalité de Maria. Située sur la rive nord de la baie des Chaleurs en Gaspésie, Maria, qui compte 2 500 habitants, est ceinturée par les caps de Maria à l'ouest et l'estuaire de la rivière Cascapédia à l'est. Elle constitue un lieu de transit important pour les touristes qui vont en Gaspésie, puisque la route 132 longe la côte sur quelques kilomètres de part et d'autre du cœur du village. Elle est dotée d'un quartier résidentiel littoral, d'un parc historique en bord de mer et d'une flèche littorale protégeant un marais offrant un refuge pour les oiseaux aquatiques.

Depuis les années 2000, on a pu observer à Maria une modification des conditions hydroclimatiques augmentant la vulnérabilité de la municipalité aux CC. La réduction du couvert de glace a entraîné davantage d'impacts des tempêtes hivernales, entraînant des reculs importants de la ligne de rivage (Bernatchez et Fraser, 2012; Bernatchez et al., 2008). Le secteur résidentiel littoral, mais aussi le cordon où est sise la route 132, ont été particulièrement touchés notamment au cours des tempêtes de décembre 2005 et 2010. Ces dernières ont entraîné d'importantes submersions qui ont paralysé la circulation de la route 132 et forcé l'évacuation de résidents durant plusieurs heures. Elles ont aussi provoqué des refoulements et des dommages physiques aux maisons qui totalisent plusieurs millions de dollars (LDGIZC-UQAR, 2015).

Le deuxième chapitre de ce rapport présente la zone d'étude et ses principales caractéristiques géographiques, socioéconomiques et biophysiques. Il expose ensuite la problématique côtière à Maria en expliquant les processus d'érosion et de submersion à

l'œuvre. Enfin, il présente les critères ayant conduit au choix des segments à l'étude et décrit sommairement chacun d'eux.

Le troisième chapitre présente la démarche méthodologique de l'étude. Ce chapitre débute en rappelant l'approche participative qui a été privilégiée tout au cours de cette étude, entre autres, afin d'identifier les enjeux, les impacts et les options d'adaptation. Ensuite, les grandes lignes des méthodologies hydrodynamique et économique et les principales hypothèses utilisées dans le cadre plus précis de cette étude sont résumées.

Les quatre chapitres suivants présentent, plus en détail, l'approche méthodologique et les résultats de l'analyse coûts-avantages (ACA) réalisée pour chaque segment étudié. Chaque chapitre comprend une description précise du segment, au niveau de ses caractéristiques et des enjeux. Ensuite, les solutions envisagées et leurs impacts potentiels sont discutés. Ces impacts sont quantifiés, puis monétisés afin de pouvoir réaliser l'analyse coûts-avantages. Les résultats de l'ACA sont présentés en détail et leur robustesse testée à l'aide d'analyses de sensibilité. Chaque chapitre se termine par une synthèse des options d'adaptation les plus avantageuses au plan économique.

Le chapitre 8 expose les résultats de l'analyse systémique qui a été réalisée, afin de vérifier la cohérence entre les options privilégiées par l'ACA pour les différents segments. Enfin, la conclusion présente un bref résumé des principaux résultats de l'ACA réalisée à Maria.



2. CONTEXTE DE L'ÉTUDE

Le présent chapitre décrit d'abord les principales caractéristiques de la zone d'étude, suivies d'une description des problématiques liées aux aléas côtiers à Maria. Le processus de segmentation du littoral est ensuite exposé, de même que les critères ayant conduit au choix des segments à l'étude. Les caractéristiques générales des segments retenus sont finalement présentées.²

2.1 ZONE D'ÉTUDE

Couvrant près de 95 km², la municipalité de Maria est située au quart ouest de la côte Sud de la péninsule gaspésienne. Village linéaire situé de part et d'autre de la route 132, Maria longe la rive Nord de la baie des Chaleurs et fait partie de la MRC d'Avignon (figure 2.1). Elle est délimitée à l'ouest par les caps de Maria et s'étend à l'est jusqu'à l'embouchure de la rivière Cascapédia. Maria comptait environ 2 500 habitants en 2014. La réserve micmaque de Gesgapegiag est enclavée dans ce territoire.

² Le lecteur est invité à consulter les chapitres consacrés à chacun des segments à l'étude afin d'obtenir la description détaillée de chaque segment.



Figure 2.1 – Carte de la zone d'étude

Le site d'étude couvre le littoral du cœur urbain de Maria, soit depuis le bureau de poste à l'ouest, correspondant à la fin du tronçon littoral de la route 132, jusqu'à la pointe de la flèche littorale de la Pointe-Verte à l'est. Le secteur s'étend sur 2,1 km et présente d'abord des côtes en terrasse de plage (55 %) sur la portion ouest, suivies d'une flèche littorale (45 %) sur la portion est (LDGIZC-UQAR, 2015). L'accès au littoral se fait par les rues transversales des Mouettes, des Balbuzards et des Pluviers. Cette dernière devient la rue des Tournepierres qui longe le littoral de la Pointe-Verte. La zone a été découpée en 4 segments comme l'indique la figure 2.1.

Historiquement, Maria s'est développée grâce aux activités agricoles et de pêche (figure 2.2). La vocation de Maria s'est ensuite cristallisée autour des soins de santé avec la construction de l'hôpital régional en 1946 (Municipalité de Maria, 2015). Maria est aussi reconnue localement pour ses commerces et son parc au bout de la flèche littorale de Pointe-Verte, abritant le marais du même nom, qui constitue un refuge pour les oiseaux aquatiques et un lieu de récréation et d'éducation à la nature.



Tiré de <http://www.mariaquebec.com/photographiespatrimoniales.aspx>

Figure 2.2 Maria vue du vieux quai

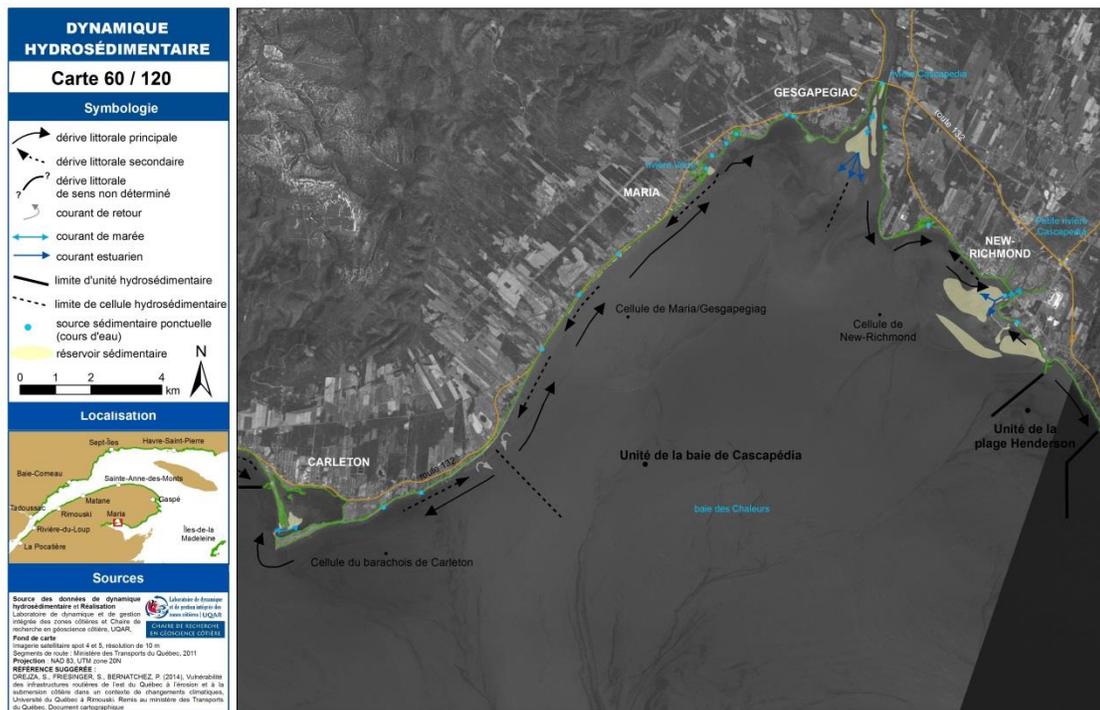
La zone littorale abrite l'essentiel des infrastructures du village, ainsi que la route 132, sous la responsabilité du ministère des Transports du Québec. Dans l'ensemble, 78 bâtiments sont compris dans la zone d'étude et leur valeur foncière totale est de 15,1 M\$ (rôle d'évaluation 2014), dont 68 bâtiments résidentiels principaux, 5

secondaires et 5 commerces (tableau 2.1). Plusieurs de ces bâtiments sont situés le long de la rue des Tournepierres sur la flèche de la Pointe-Verte.

Tableau 2.1 – Nombre et valeur des bâtiments à risque compris dans la zone d'étude

Type de bâtiments	Nombre	Valeur foncière 2014
Résidentiel principal	64	11 081 766 \$
Commercial	6	1 061 703 \$
Total	70	12 143 469 \$

Au niveau de la dynamique côtière, Maria est située dans la cellule hydrosédimentaire de Maria/Gesgapegiag, comprise entre les caps de Maria et la rivière Cascapédia. La dynamique y est caractérisée par une dérive littorale principale vers l'est originaire des caps de Maria et se dirigeant vers l'estuaire de la rivière Cascapédia, et une dérive secondaire à l'opposé (Fraser et Bernatchez, 2006) (figure 2.3). L'annexe A fournit des informations plus détaillées concernant la dérive sédimentaire le long du littoral de Maria.



Tiré de Drejza et al., 2014

Figure 2.3 – Dynamique hydrosédimentaire de l'unité de la baie de Cascapédia

2.2 PROBLÉMATIQUES LIÉES AUX ALÉAS CÔTIERS

La localisation de Maria en amont de la baie des Chaleurs la protège contre l'effet direct de la plupart des tempêtes du golfe du Saint-Laurent, mais l'orientation du littoral la rend particulièrement exposée aux tempêtes avec des vents du sud-est et de l'est. Dans cette direction, le *fetch* atteint facilement plus de 100 km et est suffisant pour générer des vagues de plus d'un mètre lors de dépressions météorologiques. De plus, le marnage moyen à Maria est de 1,7 m et de 2,8 m lors des grandes marées (Bernatchez, Fraser et Lefavre, 2008). L'addition de ces phénomènes lors des marées de vives-eaux de solstices et d'équinoxes peut entraîner des niveaux d'eau extrêmes de près de 3 m supérieurs à la prévision de marée astronomique (Didier et al., 2014).

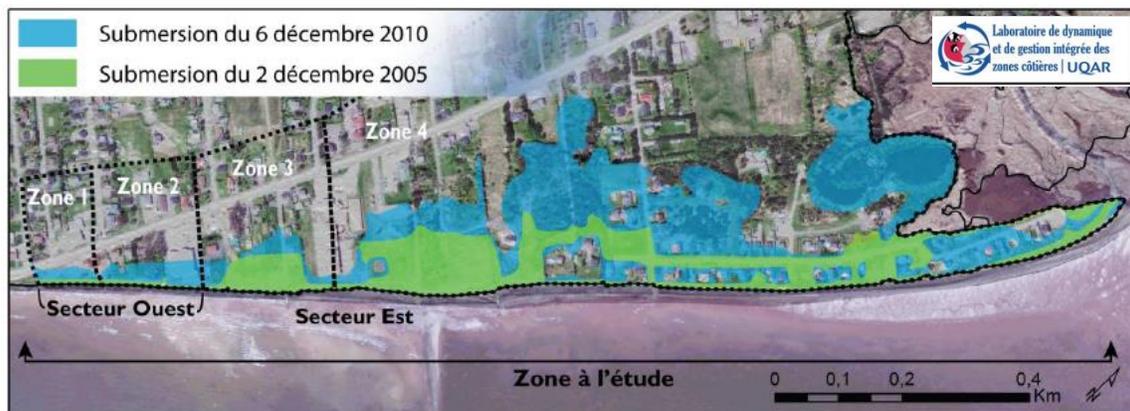
Maria est déjà confrontée au rehaussement marin qui provient de la combinaison de deux phénomènes soit d'une part, *l'ajustement eustatique* mondial découlant majoritairement de l'expansion thermique des océans, et d'autre part, de *l'ajustement isostatique* du continent suivant la dernière glaciation (Khoozare et al., 2008, Slangen et

al., 2012). Ainsi, la station marégraphique située en face de Maria, à Belledune, a enregistré un rehaussement du niveau moyen autour de 30 cm lors du dernier siècle (Bernatchez et al., 2008). Quant aux conditions futures, les projections récentes prévoient une accélération de cette hausse qui totalisera entre 26 à 98 cm d'ici 2100, selon les scénarios (GIEC, 2013).

Dans ce contexte, les problèmes liés à la submersion et à l'érosion côtière s'intensifieront au cours des prochaines années et l'artificialisation des côtes contribuera à amplifier ces problèmes.

2.2.1 Submersion

Les côtes de Maria sont caractérisées par un faible gradient altitudinal et une fragilité des dépôts de surface. Une grande superficie est exposée à la submersion lors de niveaux d'eau extrêmes, comme ce fut le cas durant les épisodes de submersion de décembre 2005 et 2010 (Bernatchez et Fraser, 2012) (figure 2.4).



Tiré de Didier et al., 2014.

Figure 2.4 – Localisation des surfaces submergées en 2005 et 2010

Dans les années à venir, il est anticipé que la récurrence des événements de submersion augmentera en raison de trois causes principales :

- 1) l'augmentation prévue du niveau marin entre 26 cm et 98 cm d'ici 2100, selon respectivement les scénarios de rehaussement du niveau marin global le plus conservateur (RCP 2.6) et le plus pessimiste (RCP 8.5) (GIEC, 2013);

- 2) l'ajustement isostatique postglaciaire qui fait que le continent s'enfonce à une vitesse de -1,75 mm/an (Didier et al., 2014).
- 3) la diminution du couvert de glace suite au réchauffement des températures (Ruest et al., 2015).

Pour sa part, l'artificialisation de la côte contribuera à accroître les dommages causés par les événements de submersion. La présence de structures rigides entraîne un effet de *jet de rive* accru qui augmente les superficies inondées (Didier et al., 2014). Ce sujet sera abordé plus en détail dans la section sur les hypothèses reliées à la submersion.

2.2.2 Érosion

Du point de vue de l'érosion, Maria est sise en côte meuble et est donc très sensible à cet aléa. La zone habitée de Maria a connu un recul moyen de -20 cm/an entre 1934 et 2006³. Le secteur est d'ailleurs caractérisé par une artificialité forte et hétérogène, témoignant des processus actifs d'érosion dans le secteur.

Le cœur de la municipalité de Maria est artificialisé à 49 %, principalement à l'aide d'ouvrages de protection privés (murets de bois et de béton, enrochement) (LDGIZC-UQAR, 2015). Or, les structures mises en place par des propriétaires privés sont « probablement non efficaces en cas d'événements » (LDGIZC-UQAR, 2015). Des études poussées ont démontré l'augmentation des risques d'érosion et de submersion causés par ces structures (Bernatchez et Fraser, 2012; Fraser et Bernatchez, 2006). En effet, la rigidité des structures augmente la réflexivité des vagues, ce qui entraîne une perte de sédiments au pied des structures et l'aplanissement du profil de plage. D'ailleurs, Fraser et Bernatchez (2006) ont démontré cette différence entre les côtes naturelles et artificielles à Maria : la largeur du haut *estran* est significativement plus étroite devant les structures (12,9 m contre 18,5 m).

Puisque les structures de protection installées par les propriétaires privés sont éparses et disparates, la rigidité du trait de côte est hétérogène et cela provoque d'importants effets de bout en concentrant la force des vagues vers les protections les plus faibles.

³ En excluant la zone non habitée de la Pointe-Verte, d'après une moyenne pondérée pour les années issues des données Bernatchez et Fraser, 2006.

D'ailleurs, d'importants reculs événementiels, estimés à 2-3 mètres à Maria d'après des photographies de résidents, ont été enregistrés lors d'événements de tempête en 2005 et 2010.

En résumé, Maria est soumise à d'importants risques d'érosion côtière et de submersion, en particulier lors de tempêtes provenant de l'est ou du sud-est. Les hausses prévues du niveau marin relatif augmentent les probabilités d'occurrence de ces aléas naturels. De plus, comme les échanges sédimentaires entre les segments sont orientée principalement de l'ouest vers l'est, jusqu'à la flèche littorale de la Pointe-Verte, toute intervention à l'ouest influencera l'intégrité du bilan sédimentaire des segments les plus à l'est.

2.3 PROCÉDURE DE SEGMENTATION ET DE SÉLECTION

Le littoral du village de Maria a fait l'objet d'une segmentation de manière à ce que chaque segment du littoral soit suffisamment homogène pour y appliquer une même option d'adaptation (LDGIZC-UQAR, 2015). Une solution d'adaptation envisagée pour une terrasse de plage ne sera évidemment pas la même que pour une flèche littorale ou un marais maritime, par exemple. Les critères de segmentation utilisés sont le type de côte, la dynamique hydrosédimentaire, l'état de la côte, les protections existantes et l'environnement bâti. Ce processus de segmentation a permis de scinder la côte de Maria en 4 segments homogènes, tel qu'identifiés à la figure 2.1.

Sur la base de cette segmentation, une sélection des segments a été faite afin de conserver seulement les segments où des infrastructures sont à risque à l'intérieur de l'horizon temporel de l'étude. Dans le cas de la municipalité de Maria, les 4 segments sont aux prises avec une problématique de submersion à divers degrés. L'érosion affecte également trois segments sur quatre. Il est à noter que la portion ouest du littoral de Maria, qui abrite un long corridor routier longeant la baie des Chaleurs, a été exclue de l'analyse. Cette exclusion est basée sur l'hypothèse que le ministère des Transports du Québec continuera de maintenir l'intégrité de la structure routière sur l'horizon temporel retenu.

Ainsi, les quatre segments définis initialement ont été retenus et ils sont brièvement décrits à la section suivante.

2.4 SEGMENTS À L'ÉTUDE

2.4.1 Maria Centre-Ouest

Le premier segment à l'étude est celui de Maria Centre-Ouest qui s'étend sur près de 550 m (figure 2.5). Le segment s'amorce à l'ouest à la rue des Colibris, soit à la fin du corridor routier longeant la baie des Chaleurs, et se termine avant le parc du Vieux-Quai. Le type de côte est une terrasse de plage constituée de gravier, galets et sable. La côte est dotée de murets de protection ou d'enrochements contre l'érosion. Ces structures assurent notamment la protection de la Coop IGA.



Figure 2.5 – Localisation du segment Maria Centre-Ouest

2.4.2 Maria Centre-Est

Directement contigu au précédent, le segment Maria Centre-Est est d'une longueur de 382 mètres et se compose de terrasse de plage de graviers, galets et sable (figure 2.6). Il est compris entre le parc du Vieux-Quai et la rue des Pluviers. Ce secteur est reconnu pour ses chalets de villégiature.



Figure 2.6 – Localisation du segment Maria Centre-Est

2.4.3 Pointe-Verte Ouest

Le segment Pointe-Verte Ouest est situé entre la rue des Pluviers et le début de la zone d'accrétion où la pointe Verte se sépare davantage du trait de côte (figure 2.7). Ce secteur de 487 m est divisé en deux parties distinctes selon les types de côte. La première est constituée d'une terrasse de plage de graviers et de sable, sur 146 m de

long, et la deuxième d'une flèche littorale sablonneuse sur 341 m. Ce secteur comporte le plus haut niveau d'artificialisation de la ligne de rivage.



Figure 2.7 – Localisation du segment Pointe-Verte Ouest

2.4.4 Pointe-Verte Est

Commençant à la limite de la zone d'accrétion, ce secteur a une longueur de 590 m (figure 2.8). Il est caractérisé par sa dynamique de flèche littorale. Il est constitué essentiellement de sable et de graviers. Ce segment a la côte la plus naturelle des quatre et comporte le moins de bâtiments. La flèche joue un rôle vital dans la protection contre les événements de tempête pour le marais et le littoral derrière.



Figure 2.8 – Localisation du segment Pointe-Verte Est



3 APPROCHE MÉTHODOLOGIQUE

Ce chapitre présente d'abord le processus consultatif mis en place par Ouranos afin de s'assurer de la pertinence de l'étude pour les décideurs locaux et régionaux. Les approches méthodologiques privilégiées dans le cadre de cette étude pour effectuer l'analyse hydrodynamique et l'analyse économique sont ensuite exposées.

3.1 PROCESSUS CONSULTATIF

La réalisation d'une analyse coûts-avantages nécessite une bonne compréhension des enjeux économiques, environnementaux et sociaux présents sur le territoire d'étude, de même que de la façon dont ces enjeux seront affectés par les interventions proposées.

Dans le cadre de ce projet, quatre comités ont été mis sur pied pour assister l'équipe de projet dans l'avancement de l'analyse : un comité local d'orientation, un comité régional, un comité technique et un comité avisé. Le tableau 3.1 résume l'implication de chacun de ces quatre comités dans les différentes activités réalisées.

Dans chaque municipalité ciblée par l'étude, un comité local d'orientation (CLO) composé d'intervenants du milieu, de décideurs, de fonctionnaires et d'élus a été mis sur pied par la municipalité, afin d'orienter les travaux de l'étude en fonction des besoins et des réalités locales. Dans le cas de Maria, le comité local d'orientation était composé essentiellement de fonctionnaires municipaux et du maire de la municipalité. En plus de fournir de nombreuses données à l'équipe de projet, les membres du comité local

d'orientation se sont réunis à quatre reprises au cours de la réalisation de l'étude. La première rencontre a eu lieu en début d'étude afin de discuter des objectifs et de la méthodologie de l'ACA, de définir avec précision les différents segments biophysiques retenus et de discuter de façon préliminaire des options d'adaptation envisagées pour chacun des segments.

Tableau 3.1 – Processus consultatif et rôle des comités

	Activités	CLO	CR	CT	CA
1	Définition de l'approche méthodologique				X
2	Validation des segments biophysiques	X			
3	Validation des scénarios d'érosion				X
4	Identification d'options d'adaptation	X	X	X	
5	Identification des impacts des options retenues	X	X		
6	Évaluation économique des coûts et avantages	X		X	
7	Analyses coûts-avantages à l'horizon 2065				X

CLO : Comité local d'orientation, CR : Comité régional, CT : Comité technique, CA : Comité avisé

La deuxième rencontre a permis d'échanger sur les options d'adaptation à retenir pour chacun des segments étudiés et d'identifier les impacts potentiels de ces options sur les milieux humain et biophysique. La troisième rencontre du comité local d'orientation visait, quant à elle, à discuter des hypothèses posées pour estimer la valeur économique des impacts.

Enfin, une dernière rencontre visait à présenter les résultats préliminaires de l'étude au CLO, afin de prendre en considération leurs commentaires et suggestions. Tous les élus du conseil municipal ont été invités à cette dernière rencontre afin qu'ils puissent se familiariser avec l'approche méthodologique et s'approprier les résultats.

Le comité régional (CR), pour sa part, a participé à l'identification des options d'adaptation potentielles et des impacts que ces options pourraient avoir sur la faune, la flore, les infrastructures et les activités locales. Les résultats préliminaires de l'étude ont aussi été discutés avec le CR afin de valider certaines conclusions.

Les cinq ministères québécois représentés sur le comité régional incluent le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation, le ministère des Affaires municipales et de l'Occupation du territoire, le ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques ainsi que le ministère des Transports. Des représentants du ministère Pêches et Océans Canada siégeaient également sur ce comité.

Quant au comité technique (CT), il était composé de spécialistes dans le domaine côtier, dont deux ingénieurs côtiers, deux géomorphologues, un océanographe et des économistes. Le comité s'est rencontré une fois en début d'étude lors d'une séance de remue-méninges afin de proposer, pour chacun des segments, des options d'adaptation aux problématiques côtières en jeu.

Enfin, le comité aviseur (CA) regroupait des spécialistes du milieu côtier et de l'analyse coûts-avantages, ainsi que des représentants des organismes finançant le projet. Ce comité avait comme mandat de valider les grandes orientations de recherche du projet et la méthodologie adoptée pour réaliser les différentes étapes de l'étude. Le comité s'est réuni deux fois au cours du projet.

3.2 ANALYSE HYDRODYNAMIQUE

L'érosion et la submersion sont des phénomènes complexes auxquels sont exposés les actifs et activités en bordure du littoral de Maria. Cette section présente d'abord les hypothèses reliées à la submersion (3.2.1) suivies de celles relatives à l'érosion des côtes (3.2.2). Dans les deux cas, les informations géomorphologiques de même que celles concernant les structures de protection proviennent directement ou sont dérivées de la *Base de données d'évolution, de classification et d'utilisation des zones côtières du Québec* (LDGIZC-UQAR, 2015).

3.2.1 Hypothèses relatives à la submersion

Les épisodes de submersion résultent de niveaux d'eau extrêmes, lesquels proviennent de la conjugaison de deux phénomènes : la *surcote* de niveau d'eau marégraphique et les hautes vagues. La submersion se produit lorsque la hauteur du niveau d'eau,

combinée à la hauteur du niveau des vagues, excède la hauteur du terrain à l'arrière de la zone littorale. Une partie de ce débordement provient du *jet de rive* ou *runup*, c'est-à-dire du phénomène de transformation de l'énergie des vagues après leur déferlement en un courant ascendant vers la rive.

Les vagues se forment lors des épisodes de grands vents qui surviennent généralement lors des tempêtes. On s'attend donc généralement à ce qu'une surcote de tempête soit accompagnée de forts vents et donc de vagues (sauf lorsqu'il y a un couvert de glace, que les vents ne sont pas suffisamment forts ou que les forts vents ne sont pas accompagné d'une dépression atmosphérique causant une surcote). Dans l'approche statistique pour déterminer les récurrences de niveaux d'eau totaux pouvant causer de la submersion à la côte, ces paramètres ont donc été considérés comme partiellement dépendants.

En ce qui concerne les conditions futures, les récurrences de niveaux d'eau totaux seront affectées par l'augmentation du niveau marin relatif et l'adoucissement hivernal. Le premier est dû principalement au réchauffement des océans (par expansion thermique) et à l'enfoncement du continent (*ajustement isostatique*). Quant à l'adoucissement des températures hivernales, il est anticipé qu'il réduira la superficie de glace de mer, ce qui laissera libre cours à la formation de vagues pendant une période annuelle plus longue (Bernatchez et al. 2008).

À la lumière de ces fondements, l'approche générale a consisté à élaborer des périodes de retour de hauteurs de submersion pour la situation actuelle de même que pour les horizons temporels de 2030 et 2055, afin de soutenir le développement de projections de niveaux d'eau extrêmes (voir section 3.3). Les hypothèses concernant les niveaux d'eau extrêmes sont majoritairement tirées du rapport de Didier et al. (2014), qui a bénéficié de certaines données provenant de contributions spéciales de chercheurs d'Ouranos.

Dans leur rapport, Didier et al. (2014) séparent la zone d'étude en deux secteurs, avec la coop IGA pour frontière. Comme dans ce rapport Didier et al. ne fournissent des périodes de retour de niveaux d'eau que pour le secteur à l'est du IGA, il a été nécessaire d'adapter la démarche pour le secteur à l'ouest du IGA, en utilisant un

rapport *jet de rive* sur hauteur significative de vagues (Hs) de 0,89 (voir Boyer-Villemaire et al. (2016) pour plus de détails).

Ces niveaux d'eau incluent l'impact des changements climatiques. En effet, ils ont été calculés pour la période actuelle, 2030 et 2055, en s'appuyant sur une série d'hypothèses qui concernent:

- les probabilités de surcotes de tempête;
- les probabilités de vagues et le *jet de rive* associé;
- les paramètres qui feront varier les probabilités dans le futur, c'est-à-dire la hausse du niveau marin et le mouvement isostatique; et
- les probabilités conjointes de surcotes de tempête et de vagues dans le présent et le futur entre les extrêmes de niveaux d'eau et de vagues (hypothèse de paramètres partiellement dépendants).

Les hypothèses retenues sont résumées au tableau 3.2 et détaillées à dans Boyer-Villemaire et al. (2016).

Tableau 3.2 – Résumé des hypothèses sous-tendant les probabilités de submersion pour Maria

Paramètre	Hypothèses, explications et sources de données
Jet de rive	<ul style="list-style-type: none"> - Pour la zone à l'est de la coop IGA : Équation de Stockdon (2006), utilisant une moyenne de pentes issue de données empiriques de profils de plage obtenues en 2011 aux 50 m à l'aide d'un système mobile Lidar terrestre (SMLT) (n = 28). (Didier et al., 2014) - Pour la section la plus artificialisée à l'ouest de la Coop IGA : Ratio Hs: Jet de rive estimé, validé empiriquement Lidar+données in situ tempête décembre 2005 et 2010
Récurrence des niveaux d'eau extrêmes	<ul style="list-style-type: none"> - Données : niveaux d'eau modélisés à Carleton-sur-Mer issus du modèle de Z. Xu, Institut Maurice-Lamontagne / Pêches et Océans Canada, corrélations avec le marégraphe de Belledune, NB - Récurrence : analyse probabiliste par la méthode de dépassement de seuils basée sur l'estimation des paramètres et l'ajustement des résidus à une distribution de Pareto généralisée
Récurrence des hauteurs significatives de vagues (Hs)	<ul style="list-style-type: none"> - Données : modèle de vagues au large d'Environnement Canada - Récurrences : analyse probabiliste par la méthode de dépassement de seuils basée sur l'estimation des paramètres et l'ajustement des résidus à une distribution de Pareto généralisée
Récurrence des périodes des vagues (Ts)	<ul style="list-style-type: none"> - Données : Issues d'une régression linéaire entre hauteur et période sur les 30 événements de vagues ≥ 1 m pour la série modélisée 2003-2014 (Didier et al., 2014)

Paramètre	Hypothèses, explications et sources de données
Hausse du niveau marin	<p>- Scénario le plus pessimiste du GIEC (2013) : interpolation des valeurs annuelles à partir d'une polynomiale d'ordre 2 sur les valeurs décennales fournies par le GIEC, appliquées pour les intervalles 2010-2030 et 2010-2055 (Didier et al., 2014)</p> <p>- Hausses utilisées : 2005 : +4 cm; 2030 : +19 cm; 2055 : +40 cm</p>
Ajustement isostatique	<p>- Valeur de -1,75 mm/an à partir d'une interpolation au 0,25 mm depuis la carte de Koohzare et al., 2008 (Didier et al., 2014)</p>
Probabilités conjointes des niveaux d'eau extrêmes et des vagues dans le présent	<p>- Hypothèse des paramètres partiellement dépendants : basée sur une analyse statistique exploratoire, où :</p> <ul style="list-style-type: none"> *1/5 des événements présentant des niveaux extrêmes + vagues extrêmes *1/2 événements en eau libre *probabilité conjointe (niveau extrême + vague extrême) de 5 :1x2 :1 = 10 : 1 en eau libre (seuil niveau extrême = 3m marégraphique) *probabilité conjointe de 3 :1 en eau libre (seuil de niveau extrême = 4m marégraphique) *Facteur de correction linéaire des récurrences de niveau entre ces deux probabilités
Probabilités conjointes dans le futur : Impact de la réduction du couvert de glace sur les niveaux d'eau et vagues extrêmes et augmentation du niveau marin	<p>-Hypothèse des paramètres partiellement dépendants (voir Didier et al., 2014)</p> <p>-Saison libre de glace allongée : 3/4 des événements en eau libre</p> <p>-Ajustement des probabilités avec ce nouveau paramètre : augmentation des probabilités d'occurrence au cours d'une saison libre de glace allongée : 5 :1 x 4 :3 = 6,5 :1 (seuil extrême de 3 m)</p> <p>-Ajout du niveau marin à ces probabilités pour ajuster le facteur de correction des récurrences de niveau d'eau pour 2030 (+19 cm) et 2055 (+40 cm) (ajustement des calculs pour les intervalles de 2030 et 2055)</p>

À la lumière des hypothèses précédentes, les tableaux 3.3 et 3.4 présentent les niveaux de submersion actuels et futurs pour les secteurs respectivement à l'ouest et à l'est de la coop IGA de Maria. À partir de ces niveaux extrêmes pour diverses récurrences, il a été possible de créer des scénarios de probabilité d'occurrence et de les transformer en courbes de dommages à l'environnement bâti, comme il est décrit à la section 3.3.

Tableau 3.3 – Niveaux de submersion pour le secteur à l'ouest du IGA

Niveau extrême total (m géodésique)			
Période de retour	Actuel	2030	2055
2 ans	2,95	3,17	3,44
5 ans	3,39	3,61	3,88
10 ans	3,68	3,89	4,16
20 ans	3,95	4,16	4,43
25 ans	4,03	4,24	4,51
30 ans	4,14	4,34	4,62

Tableau 3.4 – Niveaux de submersion pour le secteur à l'est du IGA

Niveau extrême total (m géodésique)			
Période de retour	Actuel	2030	2055
2 ans	2,06	2,28	2,55
5 ans	2,36	2,58	2,85
10 ans	2,59	2,80	3,07
20 ans	2,81	3,02	3,29
25 ans	2,88	3,09	3,36
30 ans	2,95	3,15	3,43

3.2.2 Hypothèses relatives à l'érosion

Les taux d'érosion utilisés sont fournis par l'UQAR. Ils ont été calculés sur une base historique à l'aide de photographies aériennes, de bornes de mesures sur le terrain et d'imageries satellitaires. Le choix du taux de déplacement probable par l'UQAR est expliqué de manière détaillée dans Bernatchez et al. (2015). Il est essentiellement basé sur une évaluation d'experts du mode d'évolution de la côte et de la période historique la plus représentative de ce mode d'évolution, en tenant compte des impacts attendus des changements climatiques sur le mode d'évolution.

Les taux probables sont présentés au tableau 3.5. Ces taux indiquent que tous les secteurs sauf celui de la Pointe-Verte Est seront en érosion. Ces taux sont cohérents avec les mesures annuelles de bornes de suivi sur le terrain depuis 2004 (LDGIZC, données non publiées).

Tableau 3.5 – Taux d'érosion fournis par l'UQAR pour Maria

Segment	Taux probable (m/an)	Recul événementiel (m)
Maria Centre-Ouest	-0,24	-12,2
Maria Centre-Est	-0,83	-12,2
Pointe-Verte Ouest	-0,76	Terrasse de plage : -12,2 Flèche littorale : -17,2
Pointe-Verte Est	+0,51	-17,2

Malgré les mesures de protection, les segments restent exposés à des reculs importants lors d'un seul événement en raison d'événements extrêmes comme les tempêtes de décembre 2005 et 2010. Les reculs événementiels sont présentés à titre informatif seulement. De manière générale, ce taux de recul événementiel dépend du degré de consolidation de la côte; les côtes rocheuses étant les moins exposées à ce phénomène, alors que les flèches littorales et marais maritimes demeurent les plus exposés. Par ailleurs, les structures anthropiques complexifient les patrons de réfraction des vagues et peuvent concentrer ces phénomènes à certains endroits. Cependant, il n'est pas possible de prévoir l'occurrence de ces événements d'érosion et il n'existe pas de récurrences de ce type d'événement pour Maria, ni ailleurs dans la baie des Chaleurs. Ce type de risque ponctuel à la côte est inclus dans les taux historiques, mais ni sa probabilité ni le moment de son occurrence ne sont explicitement considérés dans la méthode basée sur les taux annuels probables.

Il y a tout lieu de croire que ce phénomène de recul événementiel affecte aussi la Pointe-Verte Est, comme cela s'est produit durant la tempête de décembre 2005 (figure 3.1) et de décembre 2010 (figure 3.2). De surcroît, une analyse plus détaillée des données des bornes implantées à la Pointe-Verte depuis 2004 indique qu'une seule

borne a connu un bilan positif au bout de la pointe. Ne pas considérer les taux événementiels constitue donc une limite importante. Ainsi, vu l'ambiguïté des conséquences prévues sur la Pointe-Verte Est, entre un taux d'évolution probable positif (+0,51 m/an) et un taux événementiel grandement négatif (-17,2 m/événement), la vitesse d'évolution de la ligne de rivage a fait l'objet d'une analyse de sensibilité.



Tiré de Fraser et Bernatchez, 2006

Figure 3.1 – Exemple de muret brisé par les vagues lors de la tempête du 2 décembre 2005, secteur de la Pointe-Verte



Source de la photo : C. Fraser.

Figure 3.2 – Exemple de recul événementiel de plusieurs mètres dans le secteur de la Pointe-Verte suite à la tempête du 6 décembre 2010

3.3 ANALYSE ÉCONOMIQUE

L'objet de cette étude est de comparer les différentes options d'adaptation à la non-intervention afin de déterminer s'il est préférable d'intervenir et quelle option d'adaptation serait la plus avantageuse économiquement, en tenant compte de l'ensemble des coûts et avantages sociaux, économiques et environnementaux.

La méthode utilisée est l'analyse coûts-avantages (ACA) qui permet de comparer la somme des avantages nets de chaque mesure d'adaptation, du point de vue de l'ensemble de la société. Il s'agit d'une méthode largement utilisée en analyse économique, notamment par les différents ordres de gouvernement depuis plusieurs décennies et dont les modalités sont bien connues des utilisateurs. Sur une période donnée, elle permet de prendre en compte les composantes économiques, environnementales et sociales d'un projet en estimant la valeur monétaire des impacts du projet sur ces différentes composantes. L'ACA permet de comparer dans le temps différentes options d'adaptation sur une base commune à l'aide d'indicateurs, comme la

valeur actualisée nette (VAN) et le ratio avantages-coûts (ratio A/C). Il devient alors possible de classer les options étudiées en fonction de leur performance économique.

Il est important de préciser qu'une ACA n'est pas une analyse financière. L'ACA prend en considération les avantages et les coûts directs et indirects d'une option, alors qu'une analyse financière s'intéresse seulement aux flux monétaires pour le promoteur. Ainsi, les coûts des externalités liées à la réalisation d'un projet, tels que les impacts sociaux et environnementaux, ne sont pas inclus dans une analyse financière, alors qu'ils le sont dans le cadre d'une analyse coûts-avantages.

La réalisation d'une ACA inclut six étapes principales : 1) identification des options d'adaptation possibles 2) identification des impacts appréhendés des options d'adaptation et de la non-intervention; 3) monétisation des impacts négatifs (coûts) et des impacts positifs (avantages); 4) estimation des coûts de mise en œuvre des options d'adaptation; 5) comparaison des coûts et des avantages; 6) analyse de sensibilité des résultats.

3.3.1 Identification des options d'adaptation

À la lumière du contexte de la zone d'étude et des rencontres du comité local, régional et technique, trois types d'options d'adaptation ont été sélectionnées pour chacun des segments à l'étude : des structures côtières rigides, des structures côtières mobiles et des options ne nécessitant pas de structure côtière (tableau 3.6). Les structures rigides représentent des structures d'ingénierie côtière classiques, telles que des murs et des digues, qui modifient en profondeur la dynamique sédimentaire. Les structures mobiles permettent un certain degré de mobilité naturelle des sédiments, alors que les options sans structure côtière visent plutôt à réduire l'exposition des actifs aux aléas en agissant sur les actifs à risque plutôt que sur le milieu. Le détail de la mise en œuvre, les coûts et les implications techniques de chacune des options sont abordés dans les chapitres consacrés à chacun des segments.

Tableau 3.6 – Options d’adaptation étudiées dans chacun des segments

Segment	Structure côtière rigide	Structure côtière mobile	Option sans structure côtière
Maria Centre-Ouest (Chapitre 0)	Mur de palplanche		Immunisation et relocalisation stratégique
Maria Centre-Est (Chapitre 5)	Mur de béton	Recharge de plage Recharge de plage avec épis	Immunisation et relocalisation stratégique
Pointe-Verte Ouest (Chapitre 6)	Mur de béton	Recharge de plage Recharge de plage avec épis	Immunisation et relocalisation stratégique
Pointe-Verte Est (Chapitre 7)	Mur de béton (côté mer) Digues (côté terre)	Recharge de plage Recharge de plage avec épis	Immunisation

3.3.2 Identification des impacts appréhendés

Une fois que les options d’adaptation pour un segment donné du littoral sont choisies, l’analyse économique peut alors débiter. Compte tenu que chaque option exige d’intervenir dans un milieu où il existe déjà des activités économiques et sociales, il est essentiel d’évaluer comment ces activités seront affectées par l’option proposée. Il en va de même pour l’environnement naturel qui est souvent perturbé par l’intervention humaine.

Un premier groupe d’impacts provient des aléas côtiers (érosion et submersion) et leurs conséquences directes. Il s’agit, entre autres, des pertes ou dommages aux terrains et aux bâtiments, ainsi que des coûts entraînés par le nettoyage des débris, les mesures d’urgence et les coûts d’évacuation. Ces impacts sont appelés dans le cadre de cette étude les impacts directs de l’érosion et de la submersion. Ils seront amplifiés par les changements climatiques dans la municipalité de Maria.

En plus des impacts liés à l'érosion et à la submersion, il y a les impacts économiques, environnementaux⁴ et sociaux. Le tableau 3.7 présente les impacts positifs et négatifs appréhendés à Maria.

Tableau 3.7 – Ensemble des impacts appréhendés à Maria

Impacts	Impacts négatifs	Impacts positifs
Liés à l'érosion	<ul style="list-style-type: none"> - Perte de terrains - Perte totale ou partielle de bâtiments résidentiels ou commerciaux - Perte ou dommages aux infrastructures publiques - Évacuation d'urgence 	
Liés à la submersion	<ul style="list-style-type: none"> - Dommages aux terrains - Dommages aux bâtiments résidentiels ou commerciaux - Dommages aux infrastructures publiques - Évacuation d'urgence - Congestion routière ou détour - Nettoyage de débris 	
Économiques	<ul style="list-style-type: none"> - Diminution de la valeur économique des propriétés - Perte de marchandises et de revenus commerciaux 	
Environnementaux	<ul style="list-style-type: none"> - Perte d'habitats naturels - Perte de sites pour la fraie des poissons 	<ul style="list-style-type: none"> - Amélioration des sites pour la fraie des poissons
Sociaux	<ul style="list-style-type: none"> - Perte de vue sur la mer - Perte d'accès à la mer - Détérioration de l'usage récréatif du littoral - Diminution de la qualité de vie (anxiété, insécurité, etc.) - Détérioration du paysage - Détérioration du patrimoine historique et culturel 	<ul style="list-style-type: none"> - Amélioration de l'usage récréatif du littoral - Amélioration de la qualité de vie (sécurité) - Amélioration du paysage

⁴ Les impacts environnementaux considérés dans le cadre de cette étude se limitent aux impacts à moyen et long termes des options d'adaptation sur le milieu biophysique. Les impacts appréhendés pendant la réalisation des travaux sont exclus, car ils sont généralement de durée trop limitée pour avoir un effet significatif sur la VAN. Toutefois, les études d'impact environnemental, dont les coûts sont pris en compte dans l'ACA, considéreront ces impacts comme il se doit selon les pratiques reconnues dans le domaine.

3.3.3 Monétisation des impacts appréhendés

Une fois les impacts des options d'adaptation identifiés et quantifiés, il est nécessaire d'estimer leur valeur monétaire. Dans le cadre de cette étude, plusieurs méthodes d'évaluation ont été utilisées selon la nature des impacts à valoriser et la disponibilité des données.

La monétisation des impacts à partir de transactions réalisées sur le marché a été privilégiée. Toutefois, en l'absence d'un marché pour le type d'impact considéré, les méthodes qui s'appuient sur l'existence d'un marché connexe permettant de monétiser indirectement la valeur d'un impact ont été utilisées. Il s'agit, entre autres, de la méthode des prix hédoniques et celle des coûts de transport. Enfin, faute de données provenant de transactions directes ou indirectes, la monétisation de certains impacts a nécessité de recourir à des méthodes basées sur un marché hypothétique comme l'évaluation contingente.

Les hypothèses relatives à la monétisation des impacts des options d'adaptation sont présentées dans le chapitre portant sur chaque segment à l'étude. Quant aux principales hypothèses pour estimer les dommages causés par la submersion et l'érosion, elles sont brièvement expliquées ci-dessous.

3.3.4 Estimation des dommages par submersion

L'estimation des dommages probables causés par les événements de submersion est basée sur une approche par analyse de risque. Dans le cadre de cette étude, le risque est défini comme étant la combinaison des dommages causés par un aléa et la probabilité que se produise ce même aléa, et ce, pour l'ensemble des aléas possibles. Dans le domaine côtier plus spécifiquement, le risque est donc la combinaison des dommages associés aux épisodes de niveaux d'eau extrêmes et de leurs probabilités d'occurrence.

Pour chacun des bâtiments présents dans la zone d'étude, la projection des niveaux d'eau extrêmes de 2, 5, 10, 20, 25 et 30 ans de récurrence ont été établis et les dommages correspondant ont été estimés. Pour ce faire, la hauteur d'eau atteinte a été

comparée à la cote d'élévation du plancher principal d'un bâtiment pour ensuite calculer le dommage monétaire à l'aide de courbes de dommages-hauteur d'eau. Ces courbes proviennent de Bonnifait (2005) et elles ont été construites de sorte à prendre en compte les principales caractéristiques du bâtiment qui ont une influence sur les dommages :

- Nombre d'étages
- Présence d'un sous-sol ou non
- Sous-sol aménagé ou non-aménagé

Une fois les dommages établis pour chaque évènement, le dommage annuel moyen pour chaque bâtiment est calculé à l'aide de l'approximation de Riemann. Essentiellement, l'idée est de multiplier le dommage associé à chaque évènement par la probabilité d'occurrence de l'évènement. Le détail de cette approche se trouve à l'annexe B.

3.3.5 Estimation des dommages causés par l'érosion

Les dommages annuels liés à la perte de terrain sont calculés à partir de la projection linéaire des taux d'érosion probable, au prorata de la valeur de la superficie perdue. La valeur de la superficie totale provient du rôle d'évaluation 2014 qui reflète les prix du marché de 2012.

En cas de non-intervention, la perte économique est calculée à partir du moment où le trait de côte rejoint le point du bâtiment le plus près de la côte. Lorsqu'un bâtiment est exposé, une perte équivalente à la valeur foncière du bâtiment est comptabilisée. En fonction de la superficie de terrain restante au moment de la perte, une perte résiduelle de valeur du terrain est également enregistrée. Si la superficie restante de terrain est encore suffisamment grande pour qu'une nouvelle construction soit bâtie sur le terrain, ce sont plutôt les pertes annuelles de terrain qui continuent à être comptabilisées.

3.3.6 Estimation des coûts des options d'adaptation

En plus des coûts liés aux impacts appréhendés, l'analyse coûts-avantages exige d'estimer les coûts de mise en œuvre et d'entretien des options d'adaptation. En général, ces coûts sont déterminés à partir de projets similaires ou en faisant appel à

des ingénieurs spécialisés dans la conception des options considérées. Quoique ces coûts soient relativement faciles à estimer, puisqu'ils sont basés sur des projets déjà réalisés, ils sont tout de même approximatifs.

Dans ce cas-ci, les coûts des options d'adaptation qui impliquent des travaux de génie ont été estimés par la firme W.F. Baird & Associates Coastal Engineers Ltd. (Baird, 2015) dans le cadre d'un mandat visant à identifier de façon préliminaire les ouvrages qui pourraient protéger le littoral de Maria. Étant donné la portée du mandat, l'estimation des coûts des ouvrages a été effectuée sur la base des normes de bonne pratique dans le domaine côtier de même qu'en fonction des expériences passées de la firme dans le domaine.

Par ailleurs, en ce qui concerne le coût de l'immunisation ou du déplacement des actifs, la firme Héneault et Gosselin a fourni des coûts unitaires (au mètre linéaire) en fonction du type de revêtement des bâtiments. Ces coûts unitaires sont conformes aux coûts de mobilisation des équipements dans la région gaspésienne.

3.3.7 Comparaison des coûts et des avantages

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.

i) Population d'intérêt

Dans le cadre de cette étude, la population considérée afin d'estimer les coûts et les avantages est la population gaspésienne. Le choix de la population d'intérêt se fait généralement sur la base des individus qui vont le plus bénéficier du projet parce qu'ils sont des usagers directs des infrastructures à risque ou qu'ils profitent indirectement des retombées économiques de la zone d'étude. Dans ce cas-ci, la protection du littoral à Maria profitera non seulement à la population de Maria, mais également aux habitants des villages environnants qui bénéficient des services offerts à Maria, tant commerciaux qu'environnementaux (ex : marais de la Pointe-Verte).

ii) Horizon temporel

L'horizon temporel retenu pour cette étude est de 50 ans, soit de 2015 à 2064. Le choix de cet horizon est lié à la durée de vie des infrastructures côtières classiques. Une période de 50 ans représente une durée de vie réaliste pour de telles infrastructures, de sorte que les options d'adaptation considérées puissent permettre de protéger le littoral pendant l'ensemble de la période d'étude.

iii) 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 :

$$VAN = \frac{f_i}{(1+r)^i}$$

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 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. Puisque le taux d'actualisation peut influencer les résultats de l'ACA, une analyse de sensibilité de $\pm 2\%$ est également réalisée. Une telle analyse permet de vérifier si le résultat obtenu (soit la VAN) est robuste à un changement de l'hypothèse.

Une autre hypothèse de cette étude est l'unité monétaire choisie, soit le dollar canadien de 2012. Il a été choisi en raison de la disponibilité des données économiques pour cette année de référence, notamment les valeurs foncières.

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. Le ratio avantages-coûts est aussi utilisé, lorsque cela est opportun, afin de présenter les résultats en termes relatifs. Ceci permet de favoriser les options les moins coûteuses parmi celles qui ont une VAN similaire.

3.3.8 Analyse de sensibilité des résultats

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.

Les quatre prochains chapitres présentent les analyses coûts-avantages réalisées pour chacun des segments à l'étude en se référant aux méthodologies et hypothèses précédemment énoncées dans ce chapitre.



4 SEGMENT MARIA CENTRE-OUEST

4.1 DESCRIPTION GÉNÉRALE

Le segment Maria Centre-Ouest s'étend sur 520 m entre la rue des Colibris et le parc de l'Ancien Quai (figure 4.1). Il est constitué de terrasses de plage composées de graviers, galets et sable, dont l'élévation varie entre 3,7 m et 4,2 m. Ce segment comprend 17 bâtiments à risque au sud de la route provinciale 132, dont une résidence pour personnes âgées et l'épicerie Coop IGA. Ces bâtiments représentent une valeur foncière totale de près 9,5 M\$ (tableau 4.1).

Tableau 4.1 – Nombre et valeur des bâtiments – Maria Centre-Ouest

Type de bâtiments	Nombre	Valeur foncière 2014
Résidentiel principal	15	4 837 296 \$
Commercial	2	560 105 \$
Total	17	5 397 401 \$



Figure 4.1 – Pertes de terrain projetées jusqu'en 2064 – Maria Centre-Ouest

4.1.1 Problématique

La majorité du segment est stabilisée par plusieurs petits ouvrages de protection privés. Les apports sédimentaires y sont faibles en raison des ouvrages de protection du tronçon routier en amont de la dérive (à l'ouest). Dans le segment adjacent à l'est, le transit est partiellement freiné par la présence des dépôts anciens dus à la présence d'un quai démolé en 1945, mais qui continue d'influencer le transit sédimentaire dans le secteur.

En raison de ce bilan sédimentaire négatif, le taux de recul probable est de -0,24 m/an, alors qu'il peut atteindre -12,2 m lors d'un événement en raison de la sensibilité des terrasses de plage. Comme l'illustre la figure 4.1 les pertes de terrain anticipées à l'horizon 2064 sans intervention correspondent à une bande de 12 m de large.

Considérant que plusieurs résidences et commerces se trouvent près du rivage, l'érosion prévue dans le secteur expose à moyen terme plusieurs de ces bâtiments. La démolition et le déménagement de résidences au cours des dernières années dans la portion ouest du segment de même que sur la rue des Mouettes témoignent de la vulnérabilité des infrastructures dans cette zone enclavée entre la mer et la route provinciale.

En ce qui concerne la vulnérabilité du secteur aux épisodes de submersion, elle est réduite par l'élévation moyenne des côtes qui varie entre 3,7 et 4,2 m. Dans ce segment, les cotes altitudinales sont légèrement plus élevées que sur les autres segments à l'étude à Maria. Cependant, puisque les structures de protection rigides accentuent le jet de rive, les événements de niveaux d'eau extrêmes produisent tout de même des accumulations d'eau dans la zone. La zone a d'ailleurs été submergée lors de la tempête de décembre 2010, alors que les niveaux d'eau atteignaient plus de 4 m à plusieurs endroits du segment.

Par ailleurs, entre la Coop IGA et la rue des Mouettes, le terrain est en pente descendante vers l'intérieur des terres ce qui permet un écoulement de l'eau provenant du jet de rive. De la même manière, l'eau franchissant les structures de protection dans la portion ouest du secteur tend à s'accumuler au niveau de la route 132 devant le

bureau de poste. Ce faisant, lors d'épisodes de niveaux d'eau extrêmes, la route provinciale doit être fermée et un détour par l'intérieur des terres doit être mis en place.

4.1.2 Option de non-intervention

L'option de non-intervention servant de référence dans cette étude suppose essentiellement que la situation actuelle se perpétuera pour les 50 prochaines années. Cela implique un recul graduel de la côte à un rythme de - 24 cm par année, de même que des épisodes de submersion venant endommager les bâtiments ayant une faible élévation ou étant trop près de la rive.

Plus concrètement, à mesure que la côte s'érodera, il y aura des pertes de terrain et un bâtiment se retrouvera exposé. Ce bâtiment à risque est celui de l'épicerie Coop IGA. Il est supposé qu'il sera partiellement modifié lorsque la côte le touchera en son point le plus près du rivage, puisqu'il ne sera plus sécuritaire d'utiliser la partie exposée. Pour les bâtiments n'étant pas exposés à l'érosion sur l'horizon de 50 ans, mais qui sont aux prises avec des problèmes de submersion, il est supposé que les propriétaires répareront les dommages à chaque épisode de submersion. Ainsi, l'hypothèse sous-jacente est que la submersion n'entraîne pas la perte totale d'un bâtiment en situation de non-intervention. Il est plutôt prévu qu'il soit réparé en fonction des dommages subis.

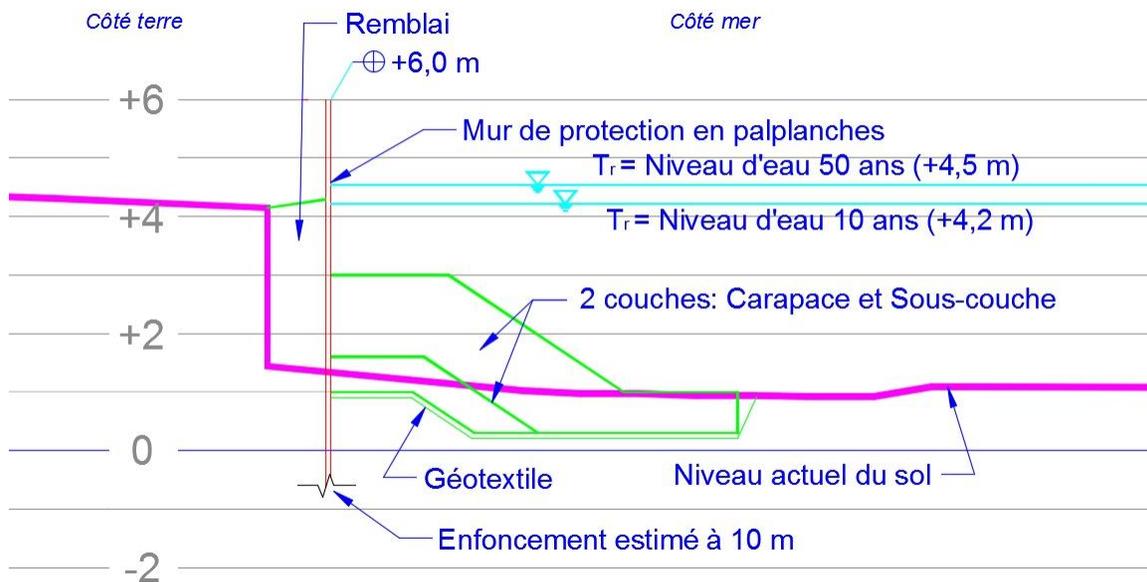
4.1.3 Options d'adaptation

Étant donné la problématique conjointe d'érosion et de submersion, les options d'adaptation étudiées pour ce segment visent à réduire les impacts de ces deux phénomènes. Considérant les côtes relativement basses et meubles de ce segment, les options d'adaptation envisagées sont de deux types : structures côtières rigides ou immunisation et relocalisation stratégique des actifs.

i) Structures côtières rigides

Étant donné la proximité des bâtiments de la rive et la nécessité de combattre à la fois les processus érosifs et la submersion, la solution privilégiée en matière de structure rigide consiste à construire un mur de palplanche (figure 4.2). Le mur d'une hauteur de

6m empièterait d'environ 1m du côté mer à partir des structures existantes. Cet empiètement serait comblé par un remblai qui assurerait le drainage et la stabilité de l'ouvrage (Baird, 2015). Cette solution permettrait de freiner l'érosion dans le secteur et serait en mesure d'éviter tous les dommages de submersion pour des événements de 500 ans de récurrence.



Tiré de Baird, 2015

Figure 4.2 – Coupe-type d'un mur de palplanche – Maria Centre-Ouest

ii) Immunisation et relocalisation stratégique des actifs

L'immunisation est une solution envisageable seulement pour les bâtiments qui ne seront pas exposés à l'érosion au cours des 50 prochaines années. Ces bâtiments seront immunisés afin de limiter leur vulnérabilité aux épisodes de submersion. L'immunisation proposée se fait sur le même terrain et consiste essentiellement à surélever la résidence en remblayant le terrain à une élévation suffisante afin que le bâtiment ne puisse plus subir de dommages liés à la submersion.

Lorsque le niveau d'eau extrême engendré par une tempête de récurrence 20 ans peut atteindre le rez-de-chaussée d'un bâtiment, il est prévu qu'il soit immunisé. Il est à noter que ces niveaux d'eau représentent des projections plutôt que des réalisations. Donc,

c'est en fonction de la vulnérabilité aux tempêtes que les bâtiments sont immunisés selon cette option. Pour les périodes de rehaussement marin⁵ étudiées, au total 6 bâtiments (résidentiels et commerciaux) seraient touchés au niveau du rez-de-chaussée par un événement de tempête de récurrence 20 ans. Plus précisément, 3 bâtiments seraient touchés lors de la première période, s'ajoutent ensuite 2 autres bâtiments dans la seconde période et un autre lors de la dernière période.

Dans l'éventualité où l'érosion menace l'intégrité du bâtiment pendant la période d'étude (2015-2064), qu'il soit vulnérable à la submersion ou non, il est prévu qu'il soit relocalisé sur un autre terrain. Les bâtiments faisant face à une telle problématique seront relocalisés dès qu'ils se retrouveront à moins de 5 mètres de la rive ou que le critère d'immunisation mentionné plus tôt s'applique.

4.1.4 Impacts appréhendés

Les impacts appréhendés sont de deux types. Les premiers, les impacts directs sont associés aux aléas côtiers. Ils comprennent essentiellement l'ensemble des dommages causés aux infrastructures et aux terrains, de même que les coûts de réponse d'urgence. Les seconds, les impacts indirects, découlent principalement des impacts des options d'adaptation. Ces impacts peuvent être de nature économique, environnementale ou sociale. Le tableau 4.2 compare les impacts appréhendés des trois options étudiées dans le cadre de cette analyse coûts-avantages, soit la non-intervention (NI), le mur de palplanche (MP) ainsi que l'immunisation et la relocalisation stratégique (IRS).

La non-intervention implique évidemment des pertes de terrain, des dommages aux bâtiments ainsi que des coûts associés au nettoyage des débris et de réponse d'urgence lors des événements de tempête. Les bâtiments dans le segment sont desservis par les services municipaux d'aqueduc et d'égouts qui peuvent être endommagés lors des épisodes de submersion. Des travaux de démolition ont aussi été

⁵ Trois périodes de rehaussement marin sont considérées, soit 2015-2029, 2030-2054 et 2055-2064. Celles-ci mènent à des hauteurs d'eau croissantes d'une période à l'autre au fil du temps.

considérés pour la partie de l'épicerie Coop IGA touchée par l'érosion, puisque cette partie ne sera plus sécuritaire.

Tableau 4.2 – Comparaison des impacts appréhendés selon les options

Type d'impact	Impact	NI	MP	IRS
Impacts liés à l'érosion et à la submersion	1. Pertes de terrain	X		X
	2. Dommages ou pertes de bâtiments résidentiels	X		X
	3. Dommages ou pertes de bâtiments commerciaux	X		X
	4. Dommages ou pertes d'infrastructures publiques	X		X
	5. Nettoyage des débris	X		X
	6. Intervention d'urgence	X		X
	7. Congestion routière ou détour	X		X
Impacts économiques	8. Modification de la valeur des propriétés	X		X
	9. Pertes de marchandises et revenus commerciaux	X		X
Impacts environnementaux	10. Modification d'habitats naturels		X	
	11. Perturbation de frayères à poissons		X	
	12. Érosion de sol contaminé	X		X
Impacts sociaux	13. Qualité de vie (anxiété, insécurité, dérangement)	X		X
	14. Perte ou gain de vue sur la mer	X	X	X

NI : Non-intervention; MP : Mur de palplanche; IRS : Immunisation et relocalisation stratégique.

Le mur de palplanche permet d'éviter l'ensemble des impacts associés à l'érosion et à la submersion dans le secteur. Quant à la relocalisation, bien qu'elle ne freine pas directement les processus érosifs et les ondes de tempêtes, elle réduit, malgré tout, les

dommages aux bâtiments liés à l'érosion. L'immunisation, pour sa part, permet de diminuer les dommages globaux causés par la submersion. Par contre, l'immunisation ne procure aucun avantage supplémentaire par rapport à la non-intervention pour ce qui est des pertes de terrain annuelles.

Quant aux impacts économiques, ils touchent la perte de valeur économique des terrains lorsque ceux-ci sont déclarés non constructibles. Cela se produit lorsqu'un bâtiment est exposé à l'érosion et que la superficie restante du terrain est trop petite pour être constructible. Aussi, lorsqu'un bâtiment est relocalisé sur un autre terrain, le terrain actuel perd alors son statut de terrain constructible.

Autres impacts économiques potentiel, des pertes de marchandises et de revenus commerciaux sont possibles lors d'épisodes de submersion. Enfin, étant donné la topographie du segment, l'eau franchissant les murets de protection lors des tempêtes ruisselle vers la route provinciale. Les tempêtes de décembre 2005 et 2010 ont révélé d'importants impacts sur le réseau routier. En effet, la route 132 a été inondée et fermée durant 5 heures en décembre 2010.

Quant aux impacts environnementaux potentiels, les entrevues réalisées auprès d'experts en environnement de la firme Pesca et les rencontres avec le CLO et le CR n'ont pas permis d'identifier d'enjeu environnemental majeur à Maria Centre (Ouest et Est confondus). Cela reste toutefois à confirmer dans le cadre d'une étude d'impact environnemental.

Finalement, en ce qui concerne les enjeux sociaux, le risque lié à l'érosion et aux tempêtes peut nuire à la qualité de vie des résidents habitant en bord de mer. Chacune des options d'adaptation viendrait modifier le niveau de risque et en conséquence la qualité de vie de certains résidents. Parallèlement à cette diminution du risque, certaines options pourraient mener à une modification du paysage ou encore à une perte d'accès ou de vue sur la mer. C'est notamment le cas de la mise en place d'un mur de palplanche qui pourrait obstruer la vue des riverains.

4.2 ESTIMATION MONÉTAIRE DES IMPACTS

4.2.1 Impacts directs

Les impacts directs de l'érosion et de la submersion associés à la non-intervention correspondent globalement aux avantages qu'offrent certaines des options d'adaptation, puisque celles-ci visent souvent à arrêter les processus érosifs et de submersion. En monétisant ces impacts, cela permet de mettre en perspective les enjeux relatifs aux infrastructures et terrains à risque si aucune option n'est mise en place. À moins d'avis contraire, tous les impacts présentés dans les paragraphes qui suivent sont associés à la situation de non-intervention.

i) Pertes physiques de terrain

Des pertes de terrain sont prévues annuellement en raison de l'érosion dans le segment Maria Centre-Ouest. La superficie perdue est calculée en se basant sur le taux d'érosion probable fourni par l'UQAR, soit - 24 cm par année (voir figure 4.1 en début de chapitre). La valeur économique des terrains a été estimée en se référant au rôle d'évaluation de Maria de 2014, lequel est représentatif des conditions de marché de 2012.

Les pertes de terrain sont comptabilisées jusqu'à ce que le bâtiment principal d'une unité d'évaluation soit considéré exposé. À partir de ce moment, la valeur du terrain restant est considérée perdue et les pertes de terrain des années subséquentes ne sont plus comptabilisées, car il est considéré non constructible. Il est à noter que la valeur résiduelle d'un terrain, lorsqu'il est considéré non constructible, est déterminée en soustrayant de la valeur initiale du terrain la valeur des pertes annuelles déjà estimées en lien à l'érosion.

Des pertes de terrain ont été comptabilisées pour l'option de non-intervention de même que pour l'option d'immunisation et relocalisation stratégique. Des pertes liées à l'érosion sont aussi comptabilisées pour l'option du mur de palplanche, mais seulement pour la période précédant la construction du mur.

Pour l'ensemble du segment, les coûts associés aux pertes de terrain sont de 43 502 \$ en dollars de 2012 escomptés à un taux de 4 % sur la période d'étude de 50 ans.

ii) Pertes de bâtiments résidentiels

Les pertes de bâtiments causés par l'érosion ont été comptabilisées en fonction de l'exposition des bâtiments résidentiels. Cette exposition est constatée une fois que le point du bâtiment le plus près de la côte est touché par le recul de la ligne de rivage. Normalement, une fois que le bâtiment est exposé, celui-ci est considéré comme une perte totale et la valeur inscrite au rôle d'évaluation est utilisée pour comptabiliser cette perte. Si aucun autre bâtiment résidentiel n'est présent sur le lot, le terrain est également considéré comme non constructible et perd sa valeur résiduelle (valeur totale du terrain - pertes annuelles de terrain enregistrées). Les pertes de bâtiments reliées à l'érosion sont seulement constatées en cas de non-intervention.

Selon le scénario d'érosion probable retenu, aucun bâtiment résidentiel ne sera exposé à l'érosion d'ici 2064.

iii) Dommages ou pertes de bâtiments commerciaux

Le segment Maria Centre-Ouest comprend une bonne partie des services essentiels de la ville de Maria. On recense au sud de la route 132 la principale épicerie de la municipalité, de même que des restaurants et une résidence de personnes âgées de grande capacité, alors qu'au nord de la route 132 on retrouve de nombreux bâtiments, dont le bureau de poste.

La tempête de 2010 n'a causé que des dégâts mineurs au bâtiment de l'épicerie Coop IGA, sans mettre en péril l'infrastructure. Après la tempête, l'établissement a renforcé son muret de protection, car le bâtiment est localisé très près de la côte (7,2 m) et potentiellement exposé à des épisodes d'érosion événementiels dans le futur. Pour sa part, la résidence pour personnes âgées n'a pas subi de dommages importants lors de l'épisode de 2010 puisqu'elle est située assez loin (à plus de 12 m) de la ligne de rivage et que la côte n'est pas artificialisée à cet endroit.

Le seul bâtiment commercial touché par le recul prévu de la côte est l'épicerie Coop IGA. Toutefois, la partie touchée de l'épicerie Coop IGA n'est pas assez importante pour qu'une perte totale soit considérée. Donc, seule une perte proportionnelle à la portion du bâtiment devant être démolie est comptabilisée. Ainsi, la valeur totale des dommages liés à l'érosion s'élève à 147 632 \$ actualisés à 4 %, soit la perte de 460 m² du bâtiment de l'épicerie Coop IGA sur une superficie totale de 1 580 m².

iv) Dommages de submersion

Les dommages découlant des épisodes de submersion sont plus complexes à estimer. Leur approximation est réalisée grâce à la méthode présentée dans la section 3.3. Ainsi, pour chaque classe d'événement retenue (2, 5, 10, 20, 25, et 30 ans) et pour chaque bâtiment résidentiel ou commercial dans le segment, le dommage correspondant est calculé grâce aux courbes hauteurs d'eau-dommages développées par Bonnifait (2005).

Ces courbes permettent ensuite par l'approximation de Riemann de calculer un dommage annuel moyen pour chaque infrastructure dans le segment. Ce dommage annuel moyen est constant à travers le temps à l'intérieur des chacun des trois horizons de projection des niveaux marins (2015-2029, 2030-2054, 2055-2064). Le dommage annuel moyen est alors recalculé afin de tenir compte de la hausse du niveau marin prévue pour la région. Le segment Maria Centre-Ouest comprend 17 bâtiments résidentiels ou commerciaux pour lesquels les dégâts liés à la submersion sont considérés.

Dans le cadre de cette étude, l'analyse a été effectuée en considérant simultanément les aléas d'érosion et de submersion, afin de ne pas comptabiliser en double certains dommages. Ainsi, dès qu'une résidence est exposée à l'érosion, le dommage annuel moyen de submersion pour celle-ci n'est plus comptabilisé, car la résidence est considérée comme étant une perte totale et le bâtiment démoli.

La valeur totale des dommages anticipés pour les événements de submersion s'élève à 4 270 530 \$ actualisés à 4 % sur l'horizon de 50 ans. Ces coûts incluent le dommage annuel moyen de chacun des bâtiments résidentiels et commerciaux du parc immobilier du segment Maria Centre-Ouest.

Tableau 4.3 – Nombre de bâtiments affectés par l'érosion ou la submersion – Maria Centre-Ouest

Type de bâtiment	Érosion* seulement	Submersion seulement	Érosion* et submersion	Total
Résidentiel principal	0	12	3	15
Commercial	0	1	1	2
Total	0	13	4	17

*Érosion : les bâtiments sont affectés par l'érosion lorsque la ligne de rivage touche au bâtiment à l'intérieur de l'horizon de 50 ans.

v) Dommages ou pertes d'infrastructures publiques

L'ensemble des bâtiments présents dans le segment est desservi par les services publics d'aqueduc et d'égouts. Le système d'égouts de Maria est vulnérable à la submersion mais, dans ce segment, le réseau est suffisamment loin du littoral et à une altitude qui minimise les risques de dommage.

vi) Coûts d'intervention d'urgence

Les coûts d'intervention d'urgence comprennent principalement les coûts associés à la prise en charge des sinistrés par les autorités. Cela peut comprendre les mesures d'évacuation lors de l'évènement de même que la mise en place des services d'hébergement des sinistrés et la préparation des repas.

Les informations recueillies à Maria suggèrent que ces montants ont été marginaux lors des épisodes de submersion qui se sont produits au cours des dernières années. Par exemple, lors de l'épisode de décembre 2010, un employé de la municipalité de même qu'un citoyen qui s'était porté volontaire ont coordonné l'évacuation des gens dans les zones à risque. L'utilisation d'une pelle mécanique a été nécessaire pour se rendre chez certains résidents.

Comme la submersion dure généralement le temps d'une ou deux marées, donc tout au plus 24 heures, la prise en charge des sinistrés est généralement de courte durée. Lors de l'épisode de 2010, la municipalité avait ouvert le centre communautaire et était prête

à héberger les sinistrés au besoin. Les services publics ayant été remis en place le soir même de la tempête, les résidents dont la propriété n'avait pas subi de dommages trop importants ont pu réintégrer leur domicile. Pour les autres, ils ont été hébergés chez des amis ou de la famille, de sorte que personne ne s'est prémuni des services offerts par la municipalité.

Ainsi, les coûts engendrés par la réponse d'urgence sont trop faibles pour faire l'objet d'une quantification précise et n'ont donc pas été considérés.

vii) Congestion routière

La tempête de décembre 2010 a forcé les autorités du ministère des Transports du Québec (MTQ) à fermer la route nationale (route 132), entre Maria et Carleton-sur-Mer. Étant donné la probabilité qu'un tel événement se reproduise ainsi que la problématique de submersion sévissant sur l'ensemble du segment du corridor routier longeant la baie des Chaleurs, le MTQ a identifié une route de contournement qui passe par la rue des Hirondelles et se termine à la rue Bernard à Carleton-sur-Mer. La différence de kilométrage entre l'utilisation de la route provinciale et la voie de contournement est estimée à seulement 2,5 km (13,1 km versus 15,6 km) ; toutefois étant donné les limites de vitesse réduites, le temps de déplacement augmente d'environ 18 minutes (10 min. versus 28 min.).

En considérant que le débit journalier est de près de 6 000 véhicules (Ministère des Transports du Québec, 2005) et que le salaire horaire moyen régional est de 19,85\$/h (ISQ, 2015b), une perte correspondant à 8 933 \$ par événement de tempête a été estimée. Ainsi, pour les événements de tempêtes de l'envergure de celle de décembre 2010 ou plus, un coût actualisé d'environ 16 000 \$ a été comptabilisé à cause de la congestion routière liée aux tempêtes dans le cas de la non-intervention ainsi que pour l'option d'immunisation et de relocalisation stratégique. Pour le mur de palplanche, les coûts de congestion routière ont été comptabilisés jusqu'au moment de la construction de l'ouvrage, soit en 2018.

4.2.2 Impacts économiques

Les impacts économiques dans le segment Maria Centre-Ouest sont liés à la modification de la valeur des propriétés et à la perte de marchandises et de revenus.

i) Modification de la valeur économique des terrains

La modification de la valeur d'un terrain survient lors du déménagement des bâtiments sur un autre terrain. Cette perte de valeur est enregistrée lorsqu'un terrain est déclaré non constructible, i.e. une fois que le bâtiment est déménagé selon l'option de l'immunisation et de la relocalisation stratégique. La perte de valeur des terrains s'applique seulement pour les terrains qui sont trop petits pour que les bâtiments soient déménagés sur le même terrain. Cela s'applique à 3 terrains pour un coût total estimé de 71 010 \$, actualisé à 4 % sur 50 ans.

ii) Perte de marchandises et de revenus commerciaux

Étant donné la proximité de l'épicerie Coop IGA de la côte, il est possible que les événements de tempêtes, en submergeant le bâtiment, mènent à des pertes de marchandises et/ou des pertes de revenus commerciaux. Or, l'événement de décembre 2010 n'a pas causé de pertes de marchandise étant donné que l'eau n'a pas pénétré dans le bâtiment.

En ce qui concerne les pertes de revenus commerciaux, une fermeture prolongée de l'épicerie Coop IGA pourrait mener à une perte de revenus pour l'établissement. Toutefois, étant donné les frontières de l'analyse fixées à la région gaspésienne, la présence de commerces substitués à des endroits comme New Richmond et Carleton-sur-Mer mènera simplement à un transfert de clientèle sans qu'une perte de revenus commerciaux au niveau de la Gaspésie ait à être considérée.

Considérant ces éléments, aucun dommage n'a été comptabilisé pour les pertes de marchandises et de revenus commerciaux.

4.2.3 Impacts environnementaux

La côte du segment Maria Centre-Ouest est composée d'une plage formée par un mélange de galets, de sable et de vase. Sur l'ensemble du secteur, la plage est très étroite sauf pour une petite portion juste avant un exutoire. La hauteur et la largeur actuelle de la plage font en sorte que celle-ci est presque constamment submergée, et ce, même à marée basse.

Les consultations effectuées ont indiqué que cette plage est boueuse et relativement abrupte en plus d'être inutilisable à marée haute. Aucun enjeu environnemental n'a été soulevé par les experts environnementaux au niveau de Maria Centre (Est et Ouest). Donc, aucun impact environnemental n'a été considéré pour le segment Maria Centre-Ouest.

4.2.4 Impacts sociaux

i) Perte ou gain de vue ou d'accès à la mer

La mise en place d'un mur de palplanche de 6 mètres de haut de même que le déplacement de certains actifs dans le segment Maria Centre-Ouest pourraient mener à la perte d'accès et/ou de vue sur la mer pour certains terrains résidentiels.

Afin d'établir la valeur de la vue et de l'accès à la mer, les données d'évaluations de plusieurs terrains résidentiels ont été analysées. Ces évaluations provenaient d'une firme d'évaluateurs agréés de la région gaspésienne. Les données permettaient de comparer des terrains de plusieurs municipalités, dont Maria, New Richmond, Carleton-sur-Mer, etc. Une régression linéaire simple a permis d'extraire l'influence de la vue sur la mer et de l'accès à la mer sur le prix des terrains 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 de vue sur la mer et d'accès à la mer obtenues sont respectivement de 8 797 \$ et 19 131 \$ par bâtiment.

En cas de non-intervention, aucune perte de vue ou d'accès à la mer n'aura lieu. Toutefois, la construction d'un mur de palplanche aura pour effet de faire perdre la vue

et l'accès à la mer offerts par 6 terrains sur lesquels sont construits des bâtiments résidentiels. À partir de l'évaluation mentionnée précédemment une valeur de 27 928 \$ a été utilisée pour quantifier la perte de vue et d'accès de ces propriétés. Cela représente un coût actualisé de 148 971 \$. Dans le cas de l'immunisation et de la relocalisation stratégique, seulement la perte d'accès a été considérée pour les résidences relocalisées, puisqu'il peut y avoir un transfert de vue à un voisin. Donc, le coût actualisé de cette perte dans le cas de l'immunisation et de la relocalisation stratégique est de 3 275 \$.

ii) Qualité de vie

Les impacts sur la qualité de vie sont liés à l'anxiété, à l'insécurité et au dérangement de vivre dans un milieu où il y a un risque de sinistre. Plusieurs résidences privées sont établies en bord de mer à Maria Centre-Ouest et leurs propriétaires doivent vivre au quotidien avec le risque d'une tempête majeure qui pourrait endommager leur propriété. Ce risque ne fera qu'augmenter dans le futur en raison des changements climatiques.

Toutefois, l'évaluation monétaire de la réduction de l'insécurité est difficile et une étude plus poussée de l'aversion au risque des résidents et commerçants serait nécessaire afin d'y arriver. Ainsi, dans le cadre de cette analyse, il a été choisi de traiter seulement qualitativement cet impact en soulignant que toutes les options d'adaptation étudiées devraient améliorer à des niveaux variables la qualité de vie des résidents et des commerçants en diminuant l'insécurité. Le mur de palplanche devrait faire disparaître l'anxiété et l'insécurité. Quant à l'immunisation et à la relocalisation, elles auraient également pour effet de faire disparaître l'anxiété liée à la submersion pour les propriétaires ayant recours à ces options.

Enfin, l'impact des options d'adaptation sur le paysage n'a pas été quantifié, faute de données permettant de le faire.

4.2.5 Estimation du coût des options d'adaptation

Les options d'adaptation envisagées impliquent toutes des coûts de différentes envergures. Le coût de chacune des options a été estimé à partir de consultations auprès d'experts dans le domaine.

Dans le cas de Maria Centre-Ouest, il existe un coût commun à la situation de non-intervention et à l'immunisation et relocalisation stratégique : celui résultant de la démolition partielle de l'épicerie Coop IGA. Cette action est nécessaire en raison de l'impossibilité de déménager ce bâtiment et de son exposition à l'érosion prévue en 2044. Le coût de démolition de bâtiments a été estimé à environ 54 \$ le mètre carré⁶, soit un coût total actualisé de près de 28 800 \$ encouru en cas de non-intervention ainsi que d'immunisation et relocalisation stratégique. Le mur de palplanche, quant à lui, permet d'éviter la démolition partielle de l'épicerie coop IGA.

Pour ce qui est des coûts de relocalisation ou d'immunisation, ils ont été estimés par la firme de déménagement Héneault et Gosselin Inc. qui a effectué une visite à Maria. Les prix fournis au mètre linéaire varient entre 1 300 \$ et 2 100 \$ selon les différents revêtements de bâtiments et trois différentes options : transport sur route et fondation, relocalisation sur le même terrain et fondations ou encore le rehaussement des fondations. Ces coûts unitaires ont été appliqués à chacun des bâtiments nécessitant d'être relocalisé ou immunisé en fonction de leur revêtement extérieur respectif. Pour certains bâtiments, l'option de la relocalisation est impossible. C'est le cas notamment de l'épicerie Coop IGA. Le coût total de l'immunisation et de la relocalisation stratégique est de 318 072 \$ en dollars de 2012 actualisés à 4 %.

Dans le cas du mur de palplanche, le coût de réalisation a été établi par une firme d'ingénierie (Baird, 2015). Le coût du mur de palplanche est estimé à 8 600 \$ du mètre linéaire pour un total de 4 472 000 \$. À ce montant, il faut ajouter 10 % de frais d'ingénierie et de surveillance de chantier, 10 % pour les études préparatoires et 30 % de frais de contingence. Le mur de palplanche nécessite également un entretien qui

⁶ Chiffre provenant d'une ACA similaire réalisée à Sept-Îles par TecSult (2008) qui a été converti en dollars de 2012 à l'aide de l'indice des prix à la consommation.

coûte environ 2-3 % du coût de construction annuellement sur l'horizon de 50 ans. Le coût total du mur de palplanche en incluant l'ensemble des frais de construction et d'entretien est égal à 6 908 139 \$ en dollars de 2012 actualisés à 4 %.

4.3 ANALYSE COÛTS-AVANTAGES

Ce chapitre présente l'ensemble des coûts et avantages estimés sur un horizon temporel de 50 ans pour la non-intervention et chacune des options d'adaptation. Une comparaison des coûts et avantages est effectuée dans le cadre du calcul de la VAN, de manière à comparer la performance économique de chaque option.

4.3.1 Calcul des coûts sur 50 ans

Cette section porte sur les coûts totaux de non-intervention et de la mise en œuvre de chacune des options d'adaptation. Tous les coûts sont actualisés à un taux de 4 %.

i) Coûts liés à la non-intervention

Les coûts liés à la non-intervention concernent essentiellement les dommages encourus par la submersion de même que l'érosion. Le dommage annuel moyen (DAM) associé à la submersion est égal en moyenne à 200 000 \$ sur l'ensemble de la période d'étude. Le DAM augmente progressivement à mesure que le rehaussement marin influence les récurrences de tempêtes. Les dommages totaux de la submersion représentent ainsi une valeur actualisée de 4 270 530 \$ sur l'horizon 2015-2064. À ces dommages s'ajoutent les coûts annuels liés à la congestion routière, lorsque la submersion empêche la circulation sur la route 132, qui représentent 16 144 \$ sur 50 ans.

Les dommages dus à l'érosion s'appliquent, quant à eux, de manière ponctuelle à mesure que les bâtiments sont exposés à l'érosion. Dans ce cas-ci, seule une perte de bâtiment partielle est prévue, et ce, en 2044 pour un coût actualisé de 147 632 \$. À cette perte de bâtiment est lié un coût de démolition actualisé de 28 733 \$. Finalement, les pertes de terrains sont calculées annuellement et représentent un coût actualisé de 43 502 \$.

Ainsi, en tenant compte de tous ces éléments, l'ensemble des coûts liés à la non-intervention actualisés à 4 % sur une période de 50 ans représente une somme de 4 506 541 \$. L'annexe C présente les coûts annuels par catégorie.

ii) Coûts liés au mur de palplanche

Dès les premières années de l'horizon d'étude, l'option du mur de palplanche implique des coûts d'ingénierie, d'études environnementales et de construction représentant une somme actualisée de 4 832 655 \$. Un entretien annuel de 112 320 \$ est ensuite requis jusqu'à la fin de vie utile de l'infrastructure qui représente aussi la fin de l'horizon d'étude. Au total, le mur représente un investissement de 6 908 139 \$ sur 50 ans.

La mesure de protection par mur de palplanche permet d'éviter tous les coûts liés à l'érosion et à la submersion dès sa construction. Toutefois, celle-ci n'ayant lieu qu'à partir de 2018, des dommages liés à ces éléments ont été considérés de 2015 à 2017. Ceux-ci sont équivalents à ceux subis en non-intervention pour cette même période. Ils représentent donc des sommes actualisées de 3 093 \$ et 512 284 \$ pour l'érosion et la submersion respectivement (en incluant les coûts de congestion routière).

De plus, pour ce qui est des impacts sociaux d'un mur de palplanche, cette option engendre des coûts liés à la perte de vue et d'accès à la mer pour les résidents localisés directement sur la côte. Ces pertes sont encourues dès la construction du mur et s'élèvent à 148 971 \$ en dollars de 2012 actualisés à 4 %.

Ainsi, les coûts totaux actualisés liés à la mise en place d'un mur de palplanche sont estimés à 7 572 486 \$ sur l'horizon temporel 2015-2064. L'annexe C présente les coûts annuels par catégorie.

iii) Coûts liés à l'immunisation et à la relocalisation stratégique

L'immunisation et la relocalisation des bâtiments engendrent des coûts dès 2015 alors que deux bâtiments doivent être immunisés. L'immunisation est réévaluée à chaque période de rehaussement marin. C'est pourquoi les coûts lui étant liés surviennent en 2015, 2030 et 2055. En incluant la relocalisation également, les coûts totaux de cette

mesure sont estimés à 318 072 \$. Ce montant comprend les coûts actualisés de 28 733 \$ pour la démolition partielle de l'épicerie Coop IGA.

Par ailleurs, les coûts reliés à la perte de valeur économique de terrains déclarés non constructibles après la relocalisation des bâtiments sont de l'ordre de 71 010 \$ actualisés à 4 %.

Quant aux dégâts liés à l'érosion et à la submersion, ils représentent des sommes actualisées respectives de 184 422 \$ et 2 879 657 \$ sur l'horizon temporel considéré, puisque cette option ne permet pas d'éviter l'érosion et la submersion. Les pertes d'accès à la mer et de vue sur la mer résultant de la relocalisation sont de l'ordre de 3 275 \$ actualisés en dollars de 2012. Enfin, les pertes liées à la congestion routière causée par les événements de tempêtes sont estimées à 16 144 \$ actualisés.

Dans l'ensemble, les coûts totaux actualisés liés à l'immunisation et relocalisation stratégique sont de 3 472 581 \$ sur l'horizon temporel 2015-2064. L'annexe C présente les coûts annuels par catégorie.

4.3.2 Calcul des avantages sur 50 ans

Les options d'adaptation étudiées dans le segment Maria Centre-Ouest ne génèrent pas d'avantages en termes environnementaux, touristiques, récréatifs ou sociaux. Les avantages des options sont essentiellement les coûts évités en matière d'érosion et de submersion par rapport à la non-intervention.

4.3.3 Valeur actualisée nette et comparaison des options

La valeur actualisée nette (VAN) a été calculée pour chacune des options d'adaptation étudiées, en utilisant les coûts quantifiés et monétisés auparavant. La VAN permet, entre autres, de discriminer les options en fonction de leur performance économique, et ce, même s'il y a absence d'avantages directs. La ventilation des VAN de chaque option d'adaptation est présentée au tableau 4.4 et à la figure 4.3.

Tableau 4.4 – Coûts actualisés nets et VAN – Maria Centre-Ouest

Impacts actualisés nets	Non-intervention	Mur de palplanche	Immunisation et relocalisation stratégique
Érosion*	(191 134 \$)	(3 093 \$)	(184 422 \$)
Submersion*	(4 270 530 \$)	(510 350 \$)	(2 879 657 \$)
Tempêtes*	(16 144 \$)	(1 934 \$)	(16 144 \$)
Coûts des mesures	(28 733 \$)	(6 908 139 \$)	(318 072 \$)
Impacts économiques	- \$	- \$	(71 010 \$)
Impacts environnementaux	- \$	- \$	- \$
Impacts sociaux	- \$	(148 971 \$)	(3 275 \$)
VAN	(4 506 541 \$)	(7 572 486 \$)	(3 472 581 \$)
Avantages nets par rapport à la non-intervention	-	(3 065 945 \$)	1 033 960 \$

*« Érosion » et « Submersion » incluent les dommages aux bâtiments et terrains; « Tempêtes » inclut les dommages liés à la congestion routière - détour.

Comme on peut le voir au tableau 4.4, l'absence d'intervention coûterait 4,5 M\$ à la société sur 50 ans, essentiellement en raison des dommages entraînés par la submersion. Le mur de palplanche est l'option la moins avantageuse pour la population gaspésienne. En effet, il comporterait des coûts actualisés de plus de 3 M\$ supérieurs à ceux de la non-intervention, dont plus de 90 % sont dus aux coûts de construction et d'entretien. L'option de l'immunisation et de la relocalisation stratégique, quant à elle, présente un avantage de près de 1 M\$ sur 50 ans par rapport à la non-intervention. En somme, l'immunisation et la relocalisation stratégique apparaît plus avantageuse que la non-intervention pour le secteur Maria Centre-Ouest, alors que le coût du mur est prohibitif comparé à la réduction des coûts liés à l'érosion et à la submersion qu'il entraînerait.

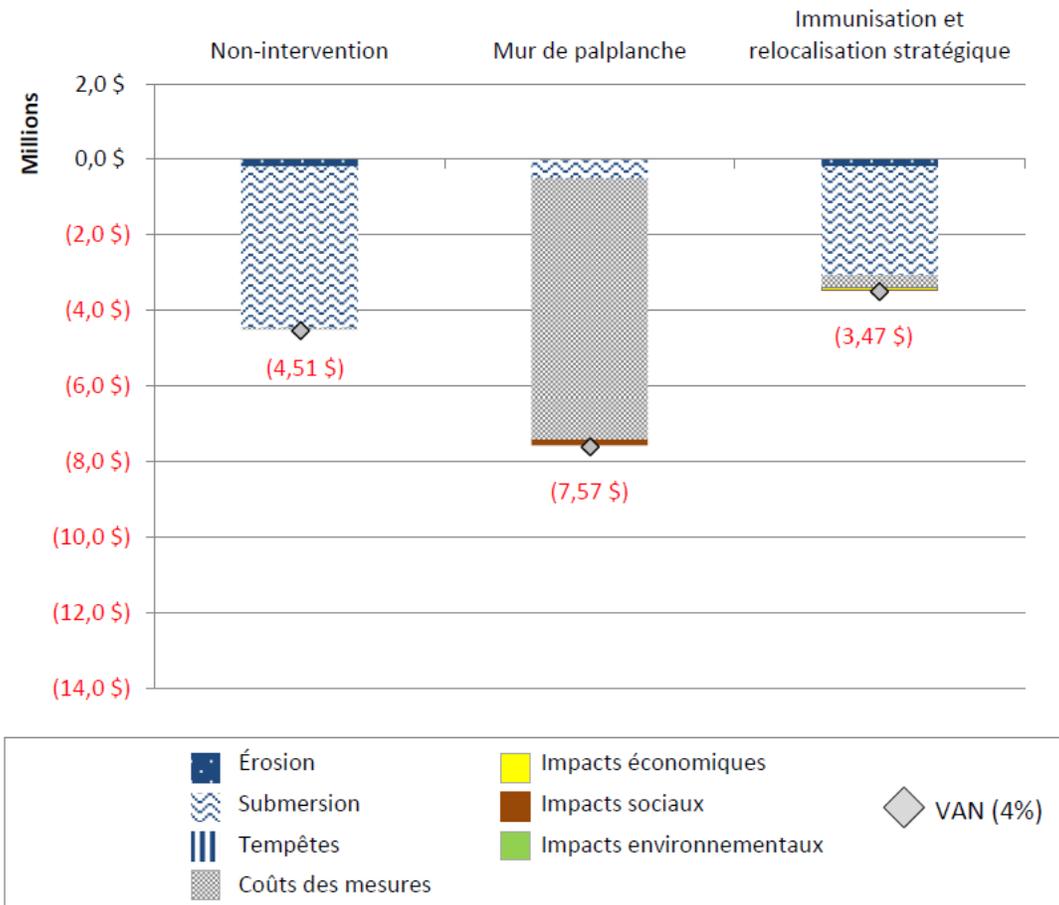


Figure 4.3 – Ventilation des coûts nets actualisés et VAN (4 %) – Maria Centre-Ouest

4.4 ANALYSE DE SENSIBILITÉ

Le présent chapitre présente les VAN obtenues lorsque des hypothèses clés sont modifiées. L'objectif de cette analyse est d'examiner la robustesse de la VAN suite à de telles modifications. Les hypothèses ciblées incluent le taux d'actualisation, les niveaux d'eau extrêmes ainsi que le moment où les immunisations sont planifiées. Le tableau 4.5 résume les analyses de sensibilité réalisées.

Les résultats des analyses de sensibilité sont présentés ci-après, et ce, pour chaque modification apportée aux hypothèses comme indiqué au tableau 4.5.

Tableau 4.5 – Paramètres des analyses de sensibilité – Maria Centre-Ouest

Paramètre	Variation
Taux d'actualisation	± 2 %
Niveaux d'eau extrêmes	+50 cm
Immunsation retardée	À mi-période (2022, 2042 et 2059) plutôt qu'en début de période (2015, 2030, 2055)

4.4.1 Taux d'actualisation

L'utilisation d'un taux d'actualisation plus faible a pour effet d'accorder une importance relative plus grande aux impacts ayant lieu à des moments plus avancés dans l'horizon temporel, alors que c'est l'inverse pour un taux d'actualisation plus élevé. Le tableau 4.6 présente les résultats de l'analyse de sensibilité sur le taux d'actualisation.

Tableau 4.6 – Variation de la VAN en fonction du taux d'actualisation – Maria Centre-Ouest

Options d'adaptation	Taux d'actualisation		
	2 %	4 % (base)	6 %
VAN non-intervention	(6 638 769 \$)	(4 506 541 \$)	(3 288 072 \$)
VAN mur de palplanche	(8 913 519 \$)	(7 572 486 \$)	(6 698 630 \$)
VAN Immunsation et relocalisation stratégique	(4 610 739 \$)	(3 472 581 \$)	(2 692 854 \$)
Mur de palplanche - Avantage net par rapport à la non-intervention	(2 274 750 \$)	(3 065 945 \$)	(3 410 558 \$)
Immunsation et relocalisation stratégique - Avantage net par rapport à la non-intervention	1 865 873 \$	1 033 960 \$	595 219 \$

Comme l'indique le tableau 4.6, la VAN de chaque option varie à la hausse lorsque le taux d'actualisation diminue, alors qu'elle augmente lorsque le taux atteint 6 %. Dans les deux cas, la non-intervention et le mur de palplanche demeurent des options non avantageuses. Par contre, l'immunsation et la relocalisation stratégique demeure plus avantageuse par rapport à la non-intervention. Ainsi, l'ordre des options ne change pas suite à une variation du taux d'actualisation.

4.4.2 Niveaux d'eau extrêmes

La projection des niveaux d'eau extrêmes et de leurs périodes de retour est un exercice très complexe qui dépend à la fois de la disponibilité et de la qualité des données dans les secteurs à l'étude. Cette projection implique de combiner de nombreux facteurs biophysiques ayant des niveaux d'incertitude à différents degrés. Le rehaussement marin, les valeurs extrêmes de vagues et de niveaux d'eau sont des paramètres pour lesquels la plage de valeurs possibles dans le futur n'est pas connue avec certitude.

Afin de mettre en perspective ces incertitudes, les niveaux d'eau extrêmes retenus pour les fins de l'analyse ont été augmentés de 50 cm par rapport aux hypothèses de base. Cette analyse de sensibilité a une limite importante, car il est possible que les options d'adaptation étudiées ne soient plus suffisantes pour protéger contre des niveaux d'eau extrêmes augmentés de 50 cm. Néanmoins, cette analyse a l'avantage de comparer les résultats dans un contexte où les dommages associés à la submersion seraient beaucoup plus élevés que ceux anticipés aux niveaux d'eau extrêmes utilisés dans le cadre de cette étude. En effet, les dommages anticipés aux bâtiments dus à la submersion augmenteraient de 53 % avec des niveaux d'eau extrêmes supérieurs de 50 cm et passeraient de 4,3 M\$ à 6,6 M\$.

Les résultats de cette analyse de sensibilité sont présentés au tableau 4.7.

Tableau 4.7 – Variation de la VAN suite à une hausse de 50 cm des niveaux d'eau extrêmes – Maria Centre-Ouest

Options d'adaptation	Hypothèses de base	Niveaux d'eau +50cm
VAN non-intervention	(4 506 541 \$)	(6 792 070 \$)
VAN mur de palplanche	(7 572 486 \$)	(7 841 794 \$)
VAN Immunisation et relocalisation stratégique	(3 472 581 \$)	(3 750 917 \$)
Mur de palplanche - Avantage net par rapport à la non-intervention	(3 065 945 \$)	(1 049 724 \$)
Immunisation et relocalisation stratégique - Avantage net par rapport à la non-intervention	1 033 960 \$	3 041 153 \$

L'influence de la hausse des niveaux d'eau sur la VAN diffère selon les options d'adaptation étudiées. Dans le cas de l'immunisation et relocalisation stratégique, la VAN augmente de 8 % puisqu'il faudrait déplacer ou immuniser davantage de bâtiments et que les dommages liés à la submersion augmentent. Toutefois, cette option est encore plus avantageuse par rapport à la non-intervention puisque les coûts associés à la non-intervention augmentent de 34 %.

Dans le cas du mur de palplanche, les coûts ne sont pas fondamentalement différents et il demeure moins avantageux que la non-intervention.

Au final, l'influence de plus hauts niveaux d'eau sur la VAN comparée à la non-intervention est majeure, mais elle ne change pas l'ordre des options. L'immunisation et relocalisation stratégique reste l'option d'adaptation privilégiée, alors que les avantages nets par rapport à la non-intervention s'accroissent de 1,0 M\$ à 3,0 M\$.

4.4.3 Immunisation retardée

Selon les hypothèses de base, les bâtiments pouvant être atteints par un événement de submersion de récurrence 20 ans pendant l'une des trois périodes considérées, soit 2015-2029, 2030-2054 et 2055-2064, sont immunisés en début de période⁷. Ces périodes représentent trois scénarios de niveaux d'eau extrêmes évoluant dans le temps en fonction des effets des changements climatiques.

L'analyse de sensibilité suppose qu'au lieu d'immuniser les bâtiments ayant besoin d'être protégés de la submersion en début de période, ceux-ci seraient immunisés en milieu de période, soit en 2022, 2042 et 2059 plutôt qu'en 2015, 2030 et 2055.

Le Tableau 4.8 présente les résultats de ce report de l'immunisation sur la VAN de l'option d'immunisation et de relocalisation stratégique, seule option affectée par cette analyse de sensibilité. D'une part, les coûts actualisés d'immuniser les bâtiments diminueraient et, d'autre part, les dommages causés par la submersion augmenteraient

⁷ La relocalisation peut avoir lieu si, au cours de l'horizon temporel considéré, le bâtiment touché par la submersion se retrouve à 5 mètres du trait de côte dû à l'érosion.

puisque les bâtiments seraient immunisés plus tardivement. La résultante est que les coûts nets de l'immunisation et de la relocalisation stratégique augmentent de plus d'un demi-million de dollars (0,54 M\$) (tableau 4.8). La VAN de cette option par rapport à la non-intervention diminue d'autant, mais elle demeure positive. Ainsi, l'analyse indique qu'il est moins avantageux de retarder l'immunisation des bâtiments, même si c'est encore plus avantageux que l'inaction. Ceci implique que le moment choisi pour l'immunisation n'affecte pas le choix de l'option, mais chaque année passée sans immuniser diminue l'avantage lié à cette option.

Tableau 4.8 – Variation de la VAN suite au report de l'immunisation – Maria Centre-Ouest

Options d'adaptation	Hypothèses de base	Immunisation retardée (2022, 2042 et 2059)
VAN non-intervention	(4 506 541 \$)	(4 506 541 \$)
VAN mur de palplanche	(7 572 486 \$)	(7 572 486 \$)
VAN Immunisation et relocalisation stratégique	(3 472 581 \$)	(3 964 616 \$)
Mur de palplanche - Avantage net par rapport à la non-intervention	(3 065 945 \$)	(3 065 945 \$)
Immunisation et relocalisation stratégique - Avantage net par rapport à la non-intervention	1 033 960 \$	541 925 \$

4.4.4 Synthèse de l'analyse de sensibilité

Dans l'ensemble, les résultats des analyses de sensibilité indiquent que les résultats de l'ACA sont robustes. L'option de l'immunisation et de la relocalisation stratégique est toujours la plus avantageuse par rapport à la non-intervention dans le segment Maria Centre-Ouest même lorsque des hypothèses clés varient (tableau 4.9). Cependant, il est à noter que l'avantage se réduit considérablement par rapport à non-intervention lorsque l'immunisation est retardée.

Tableau 4.9 – Options les plus avantageuses selon les analyses de sensibilité – Maria Centre-Ouest

Hypothèse modifiée	Option la plus avantageuse
Hypothèses de base	Immunisation et relocalisation stratégique
Taux d'actualisation de 2 %	Immunisation et relocalisation stratégique
Taux d'actualisation de 6 %	Immunisation et relocalisation stratégique
Immunisation retardée	Immunisation et relocalisation stratégique
Niveaux d'eau extrêmes +50 cm	Immunisation et relocalisation stratégique

4.5 CONCLUSION

Le segment Maria Centre-Ouest comprend plusieurs infrastructures importantes pour cette municipalité. Toutefois, les pertes liées à l'érosion y demeurent relativement faibles. Ce sont plutôt les dommages dus à la submersion qui représentent la majorité des impacts dans ce segment. La mise en place du mur de palplanche permet de les éviter, mais le coût de cette option est prohibitif par rapport aux pertes anticipées en situation de non-intervention.

Ainsi, en tenant compte de tous les impacts des différentes options, il apparaît que l'option la plus avantageuse économiquement est l'immunisation et la relocalisation stratégique. En utilisant un taux d'actualisation de 4 % sur un horizon temporel de 50 ans, cette option présente un avantage net d'environ 1 M\$ par rapport à la non-intervention. Elle demeure également la plus avantageuse lorsque certaines hypothèses clés, telles que le taux d'actualisation, les niveaux d'eau extrêmes et le moment de l'immunisation, sont modifiées.



5 SEGMENT MARIA CENTRE-EST

5.1 DESCRIPTION GÉNÉRALE

Directement contigu au segment Maria Centre-Ouest, le segment Maria Centre-Est est d'une longueur de 440 mètres et se compose de terrasses de plage, de graviers et de sable (figure 5.1). Il est compris entre le parc du Vieux-Quai et la rue des Pluviers.

Ce segment est beaucoup plus naturel que le précédent, mais la côte est tout de même active et le segment connaît des reculs historiques importants. Le recul probable est estimé à - 0,83 m/an. De plus, en raison de sa situation sur une côte basse et meuble, le recul événementiel enregistré peut s'élever à -12,2 m, alors qu'une superficie importante jusqu'à une centaine de mètres à l'intérieur des terres est exposée à la submersion.

Le segment compte neuf bâtiments résidentiels à risque se retrouvant à moins de 150 mètres du trait de côte dont la valeur foncière représente près de 1,9 M\$ (tableau 5.1).

Tableau 5.1 – Nombre et valeur des bâtiments – Maria Centre-Est

Type de bâtiments	Nombre	Valeur foncière 2014
Résidences principales	9	1 689 351 \$



Figure 5.1 – Pertes de terrains projetées jusqu'en 2064 – Maria Centre-Est

Le parc du Vieux-Quai occupe une place centrale dans la vie sociale et culturelle de Maria. D'ailleurs, il s'agit d'un des parcs les plus fréquentés de la municipalité. La maison Mowatt, déménagée en 2004 sur le site du parc, est un important bien patrimonial et culturel. Le segment comprend aussi un relais d'information touristique et est le site de plusieurs activités comme la pêche récréative, la marche et le nautisme léger (canot et kayak).

5.1.1 Problématique

Le segment est aux prises avec une problématique conjointe d'érosion et de submersion. L'absence de protection de la côte combinée à une artificialisation de celle-ci de part et d'autre du segment ont contribué à diminuer l'apport de sédiments dans le secteur et à accélérer les processus érosifs à l'œuvre. Fraser et Bernatchez (2006) ont noté une importante accélération de l'érosion pour ce secteur :

« Vis-à-vis le terrain du parc municipal [...] le taux d'érosion a donc augmenté de 50 % durant les 14 dernières années comparées aux 58 années précédentes. Cette donnée est intéressante, car cette portion de côte n'est pas artificialisée et rend donc compte de l'augmentation récente des processus d'érosion. » (Fraser et Bernatchez, 2006, p. 16)

Bien que le segment soit moins densément urbanisé que les segments adjacents, 9 résidences privées s'y trouvent et plusieurs ont subi des dommages lors de la tempête de 2010. La faible élévation et l'absence d'une plage assez large pour dissiper l'énergie des vagues expliquent en partie la vulnérabilité du segment aux épisodes de niveaux d'eau extrêmes.

Le segment comprend également quelques commerces au sud de la route 132, dont une institution financière, un fleuriste, une agence de voyages, un cabinet de médecin et un salon de coiffure. Cependant, étant donné que la route 132 se détache graduellement de la côte en allant vers l'est, ces 5 commerces sont suffisamment loin pour ne pas être vulnérables à l'érosion et à la submersion lors des 50 prochaines années, selon les projections utilisées dans cette étude.

5.1.2 Option de non-intervention

L'option de non-intervention servant de référence dans cette étude suppose essentiellement que la situation actuelle se perpétuera pour les 50 prochaines années. Cela implique un recul graduel de la côte à un rythme de -83 cm par année, de même que des épisodes de submersion venant endommager les bâtiments ayant une faible élévation ou étant trop près de la rive.

Plus concrètement, à mesure que la côte s'érodera, il y aura des pertes de terrain et certains bâtiments se retrouveront exposés. Les bâtiments à risque sont compris dans la portion est du segment. Il est supposé que chaque bâtiment à risque sera démoli lorsque la côte touchera le bâtiment en son point le plus près du rivage, puisqu'il ne sera plus sécuritaire d'y demeurer. Pour les bâtiments n'étant pas exposés à l'érosion à l'horizon de 50 ans, mais qui sont aux prises avec des problèmes de submersion, il est supposé que les propriétaires répareront les dommages à chaque épisode de submersion. En d'autres mots, contrairement à l'érosion, en situation de non-intervention, la submersion n'entraînera jamais la démolition du bâtiment. Elle causera plutôt des dommages en fonction des hauteurs d'eau atteintes lors des différents événements de tempête.

5.1.3 Options d'adaptation

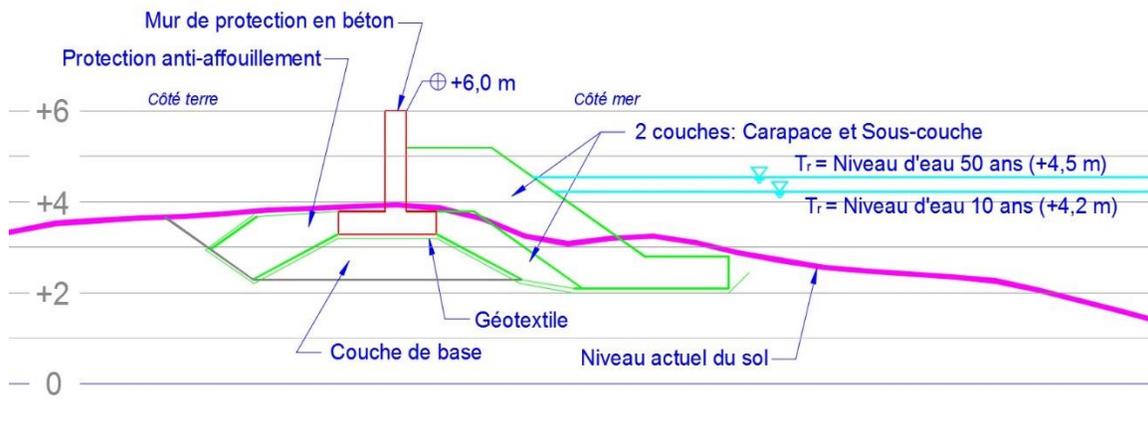
Étant donné la problématique conjointe d'érosion et de submersion, les options d'adaptation étudiées pour ce segment visent à réduire les impacts de ces deux phénomènes. Considérant les côtes basses et meubles de ce segment, les options d'adaptation envisagées sont de trois types :

i) Structures côtières rigides

L'option privilégiée en matière de structure côtière rigide dans ce segment consiste à l'installation d'un mur de béton. Le mur d'une hauteur de 6 m sera construit sur une base de gravier et nécessitera de l'excavation afin de mettre en place une clé qui retiendra le mur en place (figure 5.2). Un système de drainage adéquat permettra à l'ouvrage de

supporter un certain niveau de déferlement sans remettre en cause l'intégrité de la structure.

Cette option permettrait de freiner l'érosion dans le secteur et serait en mesure d'éviter les dommages de submersion pour des événements de 500 ans de récurrence (Baird, 2015).



Tiré de Baird, 2015

Figure 5.2 – Coupe-type du mur de béton – Maria Centre-Est

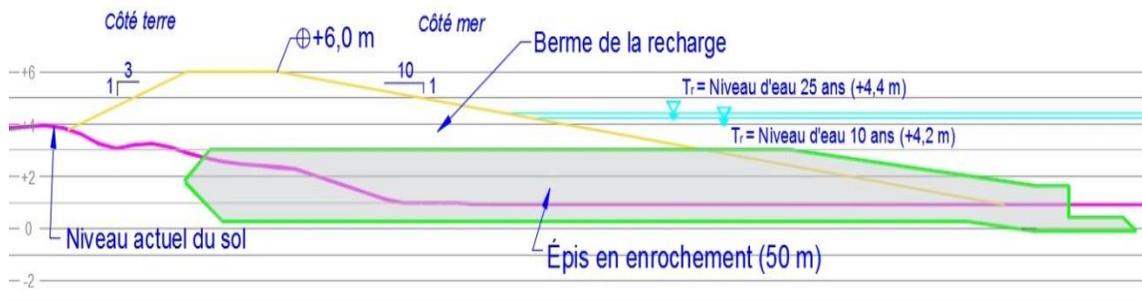
Il est à noter que, pour que cette mesure d'étanchéité de la côte soit efficace, elle doit obligatoirement s'inscrire dans un système de défense étanche sur l'ensemble des segments. La viabilité économique d'un tel système est donc analysée de façon systémique au chapitre 8.

ii) Structures côtières mobiles

La protection de la rive par une recharge de plage avec épis est également envisageable dans ce segment. Les études préliminaires suggèrent qu'entre 100 et 150 m³ de sédiments sont nécessaires par mètre linéaire de côte. Des épis viendraient stabiliser les sédiments et accroître la durée de vie de la recharge à 25 ans. Sur un horizon de 50 ans, il faut donc envisager de faire une recharge complète après 25 ans.

La figure 5.3 présente la coupe-type d'une recharge de plage avec épis qui s'appliquerait sur le littoral de Maria Centre-Est. Considérant les niveaux d'eau extrêmes

prévus dans ce segment, la conception préliminaire suggère que la recharge devrait atteindre 6 mètres de hauteur pour offrir une protection efficace.



Tiré de Baird, 2015

Figure 5.3 – Coupe-type d'une recharge de plage avec épis – Maria Centre-Est

Une recharge de plage sans épis pourrait également être envisagée. Toutefois, une telle recharge aurait une durée de vie plus courte, étant donné que le matériel déposé sur la plage pourrait circuler plus facilement et donc s'éroder plus rapidement. Selon la conception préliminaire, l'absence d'épis entraînerait une perte de matériel de l'ordre de $10 \text{ m}^3/\text{année}$ par mètre linéaire. Ces pertes signifient que le matériel devrait être redistribué ou qu'une nouvelle recharge devrait avoir lieu tous les 10 à 15 ans, faisant, par le fait même, grimper les coûts d'entretien d'une telle option. Aux fins de l'analyse, les deux types de recharge ont été considérés.

iii) Immunisation et relocalisation des actifs

L'immunisation est une option envisageable seulement pour les bâtiments qui ne seront pas exposés à l'érosion au cours des 50 prochaines années. Ces bâtiments seront immunisés afin de limiter leur vulnérabilité aux épisodes de submersion. L'immunisation proposée se fait sur le même terrain et consiste essentiellement à surélever la résidence en remblayant le terrain à une élévation suffisante afin que le bâtiment ne puisse plus subir de dommages liés à la submersion.

Lorsque le niveau d'eau extrême engendré par une tempête de récurrence 20 ans atteint le rez-de-chaussée d'un bâtiment, il est prévu qu'il soit immunisé. Il est à noter que ces niveaux d'eau représentent des projections plutôt que des réalisations. Donc,

c'est en fonction de la vulnérabilité aux tempêtes que les bâtiments sont immunisés selon cette option.

Dans l'éventualité où l'érosion menace l'intégrité du bâtiment pendant la période d'étude (2015-2064), qu'il soit vulnérable ou non à la submersion, il est prévu qu'il soit relocalisé sur un autre terrain. Les bâtiments faisant face à une telle problématique seront relocalisés dès qu'ils se retrouvent à moins de 5 mètres de la rive ou que le critère d'immunisation mentionné plus tôt s'applique.

Dans le segment Maria Centre-Est, deux des 9 bâtiments à risque doivent être immunisés, alors que 5 autres doivent être relocalisés. Les deux autres bâtiments ne sont pas à risque d'érosion et leur rez-de-chaussée ne devrait pas être atteint par un niveau d'eau de période de retour de 20 ans.⁸

5.1.4 Impacts appréhendés

Les impacts appréhendés sont de deux types. D'une part, les impacts directs sont associés aux effets des aléas côtiers. Ils comprennent essentiellement l'ensemble des pertes et dommages causés aux bâtiments, infrastructures et terrains, de même que les coûts de réponse d'urgence. D'autre part, les impacts indirects sont principalement les impacts générés par les options d'adaptation. Ces impacts peuvent être de nature économique, environnementale ou sociale. Le tableau 5.2 compare les impacts appréhendés des cinq options étudiées dans le cadre de cette analyse coûts-avantages, soit la non-intervention (NI), le mur de béton (MB), la recharge de plage avec épis (RPE), la recharge de plage (RP), ainsi que l'immunisation et la relocalisation stratégique (IRS).

La non-intervention implique évidemment des pertes de terrain, des dommages aux bâtiments ainsi que des coûts associés au nettoyage des débris lors des événements de tempête. En plus, les bâtiments dans le segment sont desservis par les services

⁸ Trois horizons de changement climatique sont considérés. Les horizons sont 2015-2029, 2030-2054 et 2055-2064 respectivement. Ceux-ci mènent à des hauteurs d'eau croissantes d'un horizon à l'autre au fil du temps à mesure que le rehaussement marin se matérialise.

municipaux d'aqueduc et d'égouts qui peuvent être endommagés lors d'épisodes de submersion.

Tableau 5.2 – Impacts appréhendés selon les options d'adaptation – Maria Centre-Est

Type d'impacts	Type d'impacts	NI	MB	RPE	RP	IRS
Impacts liés à l'érosion et à la submersion	1. Perte de terrain	X				X
	2. Dommages ou pertes de bâtiments résidentiels	X				X
	3. Dommages ou pertes d'infrastructures publiques	X				X
	4. Nettoyage des débris	X				X
	5. Intervention d'urgence	X				X
Impacts économiques	6. Modification de la valeur des propriétés	X				X
Impacts environnementaux	7. Modification d'habitats naturels		X	X	X	
	8. Perturbation de frayères à poissons		X	X	X	
Impacts sociaux	9. Qualité de vie (anxiété, insécurité, dérangement)	X				X
	10. Modification de la vue ou de l'accès à la mer	X	X	X	X	X
	11. Perte ou détérioration du patrimoine	X				
	12. Modification de la valeur d'usage du littoral		X	X	X	

NI : Non-intervention; MB : Mur de béton; RPE : Recharge de plage avec épis; RP : Recharge de plage; IRS : Immunisation et relocalisation stratégique.

Le mur de béton et la recharge de plage (avec ou sans épis) permettent d'éviter l'ensemble des impacts directs en freinant à la fois l'érosion et la submersion dans ce segment. Quant à l'immunisation et relocalisation stratégique, bien qu'elle ne freine pas

les processus érosifs et les ondes de tempêtes, elle permet de diminuer les dommages de submersion que subissent les bâtiments et de réduire les pertes liées à l'érosion.

Quant aux impacts économiques, il s'agit essentiellement de la perte de valeur économique des terrains lorsque ceux-ci sont déclarés non constructibles. Cela se produit seulement lorsqu'un bâtiment est relocalisé sur un autre terrain, l'ancien terrain perdant alors son statut de terrain constructible. Puisque dans ce segment il n'y a pas de bâtiments commerciaux à risque, aucune perte de marchandises ou de revenus commerciaux n'est anticipée.

Comme mentionné pour le segment Maria Centre-Ouest, il a été déterminé suite aux consultations effectuées auprès d'experts en environnement qu'aucun enjeu environnemental majeur n'existe au niveau de Maria Centre-Est. À priori, l'empiètement dans la mer occasionné par la réalisation des options d'adaptation ne détruira pas de frayères et n'aura pas d'impact significatif sur les habitats naturels. Cela reste toutefois à confirmer dans le cadre d'une étude d'impact environnemental.

Au niveau des enjeux sociaux, les risques associés à l'érosion et aux tempêtes nuit sensiblement à la qualité de vie des riverains. L'ensemble des options d'adaptation viendrait modifier le niveau de risque et incidemment la qualité de vie des résidents. Parallèlement à cette diminution du risque, certaines des options pourraient mener à une perte de vue et/ou d'accès à la mer, dont la construction d'un mur de béton.

Finalement, la présence d'un bâtiment patrimonial dans le secteur implique une atteinte potentielle au patrimoine bâti de Maria, advenant des épisodes de submersion qui menaceraient l'intégrité de ce bâtiment. Le parc du Vieux-Quai est également un lieu important pour le tissu social de Maria. La mise en place d'option d'adaptation comme le mur de béton pourrait imposer une frontière physique entre la terre et la mer. Cette frontière viendrait modifier la nature des usages du littoral dans ce segment, affectant du même coup la valeur que les résidents accordent à cette portion de littoral.

5.2 ESTIMATION MONÉTAIRE DES IMPACTS

5.2.1 Impacts directs

La monétisation des impacts directs permet de mettre en perspective les enjeux relatifs aux bâtiments, infrastructures et terrains à risque si aucune option n'était mise en place. À moins d'avis contraire, tous les impacts présentés dans les paragraphes qui suivent sont associés à la situation de non-intervention.

i) Pertes physiques de terrain

Des pertes de terrain sont prévues annuellement en raison de l'érosion dans le segment Maria Centre-Est. La superficie perdue est calculée en se basant sur le taux d'érosion probable fourni par l'UQAR, qui a été évalué à - 83 cm par année soit - 41,5 mètres sur 50 ans. La valeur économique des terrains a été estimée en se référant au rôle d'évaluation de 2014, lequel est représentatif des conditions de marché de 2012.

Les pertes de terrain sont comptabilisées jusqu'à ce que le bâtiment principal d'une unité d'évaluation soit considéré comme étant exposé. À partir de ce moment la valeur résiduelle du terrain est considérée comme nulle, car il est considéré non constructible. La Figure 5.1 illustre les pertes de terrain anticipées à cause de l'érosion de même que l'emplacement des bâtiments exposés à l'horizon 2064. Pour l'ensemble du segment, les coûts actualisés à 4 % liés à la perte de terrain sont de près de 76 300 \$ en dollars de 2012 sur la période d'étude de 50 ans.

ii) Dommages ou pertes de bâtiments résidentiels

Les dommages ou pertes de bâtiments causés par l'érosion seront comptabilisés en fonction de l'exposition des bâtiments résidentiels. Cette exposition est constatée une fois que le point du bâtiment le plus près de la côte est touché par le recul de la ligne de rivage. Une fois que le bâtiment est exposé, celui-ci est considéré comme une perte totale et la valeur inscrite au rôle d'évaluation est utilisée pour comptabiliser cette perte. Si aucun autre bâtiment résidentiel n'est présent sur le lot et que le terrain résiduel est trop petit pour reconstruire, le terrain est considéré comme non constructible. Celui-ci

perd alors sa valeur résiduelle. De telles pertes ne sont constatées que pour l'option de non-intervention et pour l'immunisation et la relocalisation stratégique.

Selon les scénarios d'érosion probable retenus, 5 bâtiments résidentiels seront exposés à l'érosion d'ici 2064 pour une perte s'élevant à environ 336 000 \$ en dollars de 2012 actualisés à 4 %. Toutes les options envisagées permettent d'éviter l'ensemble des dommages causés aux bâtiments résidentiels par l'érosion.

Les dommages aux bâtiments découlant des épisodes de submersion sont plus complexes à estimer. Comme décrit précédemment, leur approximation est réalisée grâce à la méthode présentée dans la section 3.3.4 et à l'annexe B. La valeur actualisée à 4 % des dégâts de submersion pour l'horizon temporel 2015-2064 est de 813 195 \$.

Ces dommages sont calculés de manière à ne pas les comptabiliser deux fois dus à l'érosion et à la submersion. Autrement dit, dès qu'une résidence est exposée à l'érosion, le dommage annuel moyen lié à la submersion n'est plus comptabilisé, car la résidence est considérée une perte totale et le bâtiment est démoli.

iii) Dommages ou pertes d'infrastructures publiques

L'ensemble des bâtiments présents dans le segment est desservi par les services publics d'aqueduc et d'égouts. Le système d'égouts de Maria est un système sous vide qui peut être problématique lors des événements de submersion. Lors de la submersion de décembre 2010, certaines zones du réseau ont dû être isolées afin de ne pas compromettre l'ensemble du réseau. La gestion du système lors des événements demande énormément de coordination et une excellente compréhension du système. Une bonne gestion des vannes d'interface lors d'une tempête permet de minimiser les dégâts. Suite à une tempête, il est également nécessaire de procéder à la remise en marche du système à l'aide de camions vacuums.

De plus, le parc du Vieux-Quai abrite un certain nombre de bâtiments et d'infrastructures publiques, dont la maison Mowatt et des modules de jeux pour enfants. Lors de la tempête de décembre 2010, le parc du Vieux-Quai a été fortement touché par la submersion (Figure 5.4). Les dommages physiques à la maison Mowatt ont été calculés sur la même base que les dommages aux bâtiments résidentiels.

Les dommages aux autres types d'infrastructures, comme les pontages de bois ou les routes, ont été estimés sur la base des réclamations faites au ministère de la Sécurité publique lors de l'épisode du 6 décembre 2010. Le seuil à partir duquel des dommages se produisent a été fixé en fonction de la hauteur d'eau atteinte lors de cet événement. Pour tous événements égaux ou supérieurs à décembre 2010, en termes de niveaux d'eau, des dommages ont été comptabilisés.

En considérant la probabilité d'occurrence des événements de submersion et des dommages estimés aux infrastructures publiques, les coûts totaux s'élèvent à 96 879 \$ actualisés à 4 %. Ces coûts comprennent également les coûts de nettoyage des débris qui jonchent le sol et rendent impraticables les routes lors des épisodes de tempête.



Crédit : Municipalité de Maria

Figure 5.4 – Inondation du parc du Vieux-Quai et de la maison Mowatt lors de l'épisode du 6 décembre 2010

Pour les options d'adaptation avec structures côtières rigides ou mobiles, soit le mur de béton de même que la recharge de plage (avec ou sans épis), des dommages aux infrastructures publiques sont comptabilisés jusqu'à la mise en place de ces options, soit en 2018. Le montant total actualisé entre 2015 et 2017 s'élève à 7 396 \$.

iv) Coûts d'intervention d'urgence

Les coûts d'intervention d'urgence comprennent principalement les coûts associés à la prise en charge des sinistrés par les autorités. Tel que mentionné pour le segment Maria Centre-Ouest, les informations recueillies suggèrent que ces montants ont été marginaux au cours des épisodes de submersion qui se sont produits lors des dernières années. Ceux-ci n'ont donc pas fait l'objet d'une quantification et ne sont pas comptabilisés.

5.2.2 Impacts économiques

Les impacts économiques dans le segment Maria Centre-Est sont uniquement liés à la modification de la valeur des propriétés.

i) Modification de la valeur économique des terrains

La modification de la valeur d'un terrain survient lors du déménagement des bâtiments sur un autre terrain. Cette perte de valeur est enregistrée lorsqu'un terrain est déclaré non constructible, c'est-à-dire lorsque le bâtiment est déménagé comme prévu selon l'option d'immunisation et de relocalisation stratégique. La perte de valeur des terrains s'applique seulement pour les terrains qui sont trop petits pour que les bâtiments soient déménagés sur le même terrain.

Cette situation s'applique à 5 terrains pour une valeur totale de 103 621 \$ actualisés à 4 %. Aussi, un terrain peut être déclaré non constructible lorsqu'il est touché par l'érosion. Toutefois, à ce moment, la perte de valeur du terrain sera considérée comme une perte liée à l'érosion plutôt que comme un impact économique.

5.2.3 Impacts environnementaux

La côte du segment Maria Centre-Est est composée d'une plage de galets, de sable et de boue. Dans la partie ouest du segment, les fondations du vieux quai agissent comme un épi qui retient les sédiments qui transitent d'ouest en est par la dérive principale (figure 5.5). Les reliques du quai favorisent le maintien d'une plage plus large à l'ouest,

ce qui pourrait expliquer l'effet de dissipation qui a conduit la résidence de personnes âgées à subir moins de dommages lors de la tempête de décembre 2010 que d'autres bâtiments ayant une élévation pourtant plus élevée.

Considérant que plus de 80 % du segment n'est pas artificialisé en ce moment, la rigidification de la côte par la construction d'un mur de béton par exemple pourrait causer une perte d'habitats naturels dans la zone littorale. Toutefois, compte tenu de l'artificialisation généralisée en amont et en aval du segment, la zone pré-littorale ne devrait pas posséder un écosystème de grande qualité. En fait, les consultations effectuées auprès de spécialistes en environnement ont confirmé qu'aucun enjeu environnemental particulier n'existe au niveau de Maria Centre (Est et Ouest). Ainsi, aucun impact environnemental n'a été considéré pour ce segment.



Source : Orthophotos 2013

Figure 5.5 – Impact du vieux quai sur la dynamique sédimentaire

5.2.4 Impacts sociaux

i) Perte ou gain de vue ou d'accès à la mer

Afin d'établir la valeur de la vue et de l'accès à la mer, des données provenant des évaluations de plusieurs terrains résidentiels ont été analysées et à l'aide d'une régression linéaire ont permis d'établir des primes moyennes de 8 797 \$ et 19 131 \$ par terrain, respectivement pour la vue sur la mer et l'accès à la mer. La mise en place des différentes options d'adaptation envisagées aura un impact sur ces deux dimensions. Par exemple, le mur de béton bloquera à la fois l'accès et la vue sur la mer. En cas de relocalisation, il y a également perte d'accès. Quant à la recharge de plage (avec ou sans épis), elle bloque la vue sur la mer mais elle permet tout de même de maintenir l'accès.

En fonction des différentes options d'adaptation et de leur impact sur l'accès et la vue sur la mer, il est prévu que les coûts totaux actualisés associés à ces deux composantes se chiffrent entre 45 000\$ pour la relocalisation et 174 000 \$ pour le mur de béton, les deux autres options se situant à des niveaux intermédiaires de 50 678 \$ et 54 745 \$ (tableau 5.3).

Tableau 5.3 – Perte ou gain de vue ou d'accès à la mer – Maria Centre-Est

Option d'adaptation	Coût
Non-intervention	45 160 \$
Mur de béton	173 800 \$
Recharge de plage (avec ou sans épis)	54 745 \$
Immunisation et relocalisation stratégique	50 678 \$

ii) Qualité de vie

L'influence des tempêtes sur la qualité de vie des gens vivant dans les zones à risque est une problématique qui est bien documentée (voir notamment Brisson et Richardson, 2009). Cependant, il est extrêmement difficile de chiffrer la valeur de cette perte de

jouissance en termes économiques. Faute d'étude permettant de mettre un coût sur cette problématique, elle n'a pas été considérée dans le calcul de la VAN.

iii) Atteinte au patrimoine

La maison Mowatt, située dans le parc du Vieux-Quai, est un bâtiment à vocation publique parmi les plus vieux de la Gaspésie. Construit en 1818, par William Mowatt, le bâtiment sert d'auberge jusqu'en 1975. Déménagé à son emplacement actuel en 2004, il sert depuis de centre culturel où se tiennent différents événements de toute sorte, dont des conférences et des pièces de théâtre (Municipalité de Maria, 2015).

La valeur patrimoniale d'un tel site n'a cependant pas été estimée et il est difficile d'isoler la valeur du bâtiment de la valeur que les gens accordent au parc du Vieux-Quai en général. Toutefois, la maison Mowatt n'est pas menacée par l'érosion, seuls les épisodes de submersion viendront endommager le bâtiment. En conséquence, dans le contexte de l'étude, ce bâtiment ne sera jamais considéré comme perdu puisque les réparations nécessaires seront faites si le bâtiment est endommagé par des épisodes de submersion. Ainsi, la valeur patrimoniale du bâtiment ne devrait pas être menacée.

iv) Modification de la valeur de l'usage du littoral

Le parc du Vieux-Quai accueille un grand nombre d'activités de plein air qui sont intimement liées au type de côte présent dans le secteur. Que ce soit la marche, la collecte d'agates, la baignade ou simplement la détente, le parc du Vieux-Quai est un lieu fréquenté par les résidents de Maria principalement.

L'attribution d'une valeur à cette portion de côte passe inévitablement par l'analyse de l'usage que les gens en font. Leurs comportements sont des indices qui permettent de déduire quelle place prend ce lieu dans leur vie, comment ils le valorisent et de quelle manière cette valeur pourrait être affectée par la mise en place de l'une ou l'autre des options étudiées.

Malheureusement, aucune donnée d'achalandage et de durée de visite pour le site spécifique du parc du Vieux-Quai n'est disponible. Afin d'approximer la valeur d'usage du littoral au parc du Vieux-Quai, les données provenant d'une enquête sur l'usage du

littoral à Carleton-sur-Mer ont été utilisées. En effet, la valeur d'usage du littoral à Maria a été estimée à partir de celle établie pour le banc de St-Omer par les résidents de Saint-Omer. Cette dernière est de 13,20 \$ par 100 mètres de côte par année par résident.

Grâce aux données sur la population totale par municipalité obtenues de l'Institut de la statistique du Québec (ISQ, 2015b) et connaissant la longueur de chaque segment à l'étude à Maria, la valeur annuelle d'usage de chacun segment a été estimée. Les résultats sont basés sur la population de 2 534 résidents de Maria en 2012. Pour le segment Maria Centre-Est, la valeur d'usage du littoral a été estimée à 147 175 \$ par année.

La mise en place des différentes options d'adaptation aura une influence sur l'accessibilité au littoral. Ainsi, pour le mur de béton, il est supposé que l'accès au littoral sera complètement perdu. Une perte de 147 175 \$ est comptabilisée annuellement pour un total de 2 863 340 \$ sur l'ensemble de la période.

Quant à la recharge de plage (avec ou sans épis), elle devrait bonifier l'usage du littoral en élargissant la plage et en permettant un plus grand achalandage via une attractivité plus grande du site. L'estimation de la valeur supplémentaire de l'usage du littoral est basée sur une étude réalisée en Angleterre sur un type de côte similaire (Polyzos et Minetos, 2007). Selon cette étude, la mise en place d'épis favorisant un maintien des sédiments sur une plage érodés permet de bonifier l'usage récréatif du littoral de 5 % par rapport à une plage plus étroite. En appliquant cette bonification de l'usage à la recharge de plage (avec ou sans épis), la valeur totale actualisée du gain d'usage lié à la recharge de plage actualisé à 4 % est de 150 702 \$.

L'immunisation et relocalisation stratégique, en n'intervenant pas sur le littoral, ne devraient pas modifier substantiellement l'usage du littoral. Pour cette option, aucune perte ou gain n'a été considéré.

5.2.5 Estimation du coût des options d'adaptation

Le coût de chacune des options a été estimé à partir de consultations auprès d'experts dans le domaine, entre autres, des firmes W.F. Baird & Associates Coastal Engineers (Baird 2015) et Héneault et Gosselin Inc.

Comme expliqué au segment précédent, les coûts de déménagement ou d'immunisation des bâtiments dépendent du type de bâtiment. Il faut ajouter à ces coûts, le coût de gestion des fils en cas de débranchement et branchement aux services publics. En considérant l'ensemble des bâtiments devant faire l'objet d'un déménagement ou d'une immunisation, le coût total associé à l'immunisation et à la relocalisation stratégique s'établit à 421 664 \$ en dollars de 2012 actualisés à 4 %.

Le coût des matériaux de construction du mur de béton sont estimés à 6 677 \$ le mètre linéaire. À ce montant s'ajoutent les frais d'études et de surveillance et des frais de contingence de 30 % qui représentent une valeur totale actualisée de 571 376 \$. Le mur de béton nécessite également un entretien équivalent à 2-3 % du coût de construction par année sur l'horizon de 50 ans. Quant au coût lié à l'aménagement pour un tel ouvrage, il est de 352 000 \$, soit 800 \$ par mètre linéaire. Ainsi, le coût total du mur de béton en incluant l'ensemble des frais de construction et d'entretien est égal à 4 852 361 \$ en dollars de 2012 actualisés à 4 %.

Finalement, en ce qui concerne la recharge de plage, deux options sont possibles dans le cas du segment Maria Centre-Est, soit une recharge avec ou sans épis. Les critères de conception sont similaires, notamment au niveau de la hauteur de crête et des quantités de matériel requis. C'est essentiellement au niveau de la durée de vie de la mesure que ces deux options diffèrent. La recharge sans épis a une durée de vie d'environ 12,5 ans, ce qui implique que sur l'horizon de 50 ans, 3 recharges devront avoir lieu. En ce concerne la recharge avec épis, la stabilité des sédiments qui sont pris dans les cellules de plage permet une durée de vie de l'ordre de 25 ans, soit deux fois plus longue que la recharge sans épis. En fonction de ces éléments, les coûts respectifs sur 50 ans de la recharge de plage sans épis et de celle avec épis sont de 3 893 141 \$ et 2 483 395 \$ actualisés à 4 %.

Il est important de mentionner que la non-intervention a également un coût de mise en œuvre puisqu'elle suppose que les bâtiments exposés seront démolis. Le coût de démolition des bâtiments a été estimé à environ 54 \$ le mètre carré⁹ en plus des coûts fixes de 3 240 \$ et de 1 080 \$ pour l'enlèvement des fondations et le transport au site d'enfouissement respectivement. Le coût total actualisé de la démolition des bâtiments est de 22 582 \$.

5.3 ANALYSE COÛTS-AVANTAGES

Ce chapitre présente l'ensemble des coûts et avantages estimés sur un horizon temporel de 50 ans pour la non-intervention et chacune des options d'adaptation. Une comparaison des coûts et avantages est également effectuée dans le cadre du calcul de la VAN.

5.3.1 Calcul des coûts sur 50 ans

Cette section présente les coûts totaux de la non-intervention et de la mise en œuvre de chacune des options d'adaptation. Tous les coûts sont en dollars de 2012, actualisés à un taux de 4 %.

i) Coûts liés à la non-intervention

Les coûts liés à la non-intervention concernent essentiellement les dommages encourus par la submersion de même que l'érosion. Puisque la méthodologie de calcul des dommages de submersion est basée sur une approche par analyse de risque, les dommages sont répartis sur l'ensemble de la période d'étude en s'accroissant en 2030 et 2055, en raison de la hausse du niveau marin appliquée à chacune de ces années. Ces dommages représentent une somme actualisée de 813 195 \$ sur l'horizon 2015-2064. En ajoutant les dommages anticipés aux infrastructures publiques et les frais de

⁹ Le coût de démolition au mètre carré provient de l'étude par TecSult (2008) intitulée *Analyse coûts-avantages de solutions d'adaptation à l'érosion côtière pour la Ville de Sept-Îles*. Ce coût a été converti en dollars de 2012 à l'aide de l'Indice des prix à la consommation canadien (IPC).

nettoyage des débris, le coût total estimé pour l'aléa submersion correspond à une somme actualisée de 910 074 \$.

Les dommages dus à l'érosion s'appliquent, quant à eux, de manière ponctuelle à mesure que les bâtiments sont exposés à l'érosion. Dans ce cas-ci, des pertes de bâtiments sont prévues à partir de 2024 pour un coût total actualisé de 335 938 \$. La démolition de ces bâtiments mènera à des coûts estimés à 22 582 \$ sur l'ensemble de la période. Finalement les pertes de terrains sont calculées annuellement et se chiffrent à 76 300 \$ sur l'ensemble de la période.

Le scénario de non-intervention implique également une perte de vue et d'accès à la mer pour les bâtiments exposés qui seront démolis. La perte monétaire associée à cet élément se chiffre à 45 160 \$ en dollars de 2012 actualisés à 4 %.

Ainsi, en tenant compte de tous ces éléments, l'ensemble des coûts liés à la non-intervention actualisés à 4 % sur une période de 50 ans représente une somme d'environ 1 390 054 \$. L'annexe D présente les coûts annuels par catégorie.

ii) Coûts liés au mur de béton

Dès les premières années de l'horizon d'étude, l'option du mur de béton implique des coûts d'ingénierie, d'études environnementales et de construction de 571 376 \$. L'entretien annuel de 73 720 \$ est ensuite appliqué chaque année jusqu'à la fin de vie utile de l'infrastructure, soit à la fin de l'horizon d'étude. En additionnant les coûts de conception de l'ouvrage, la construction et l'entretien du mur de béton, cette option représente un investissement de 4 852 361 \$ sur 50 ans.

Cette option permet d'éviter tous les coûts liés à l'érosion et à la submersion sauf ceux survenant avant la mise en place du mur de béton en 2018. Ensemble, ces dommages s'élèvent à 117 704 \$.

Finalement, cette option implique la perte de vue sur la mer pour les résidents du segment qui habitent directement sur la côte de même que la perte d'usage récréatif du littoral. Ces pertes sociales s'élèvent à 3 037 140 \$ en dollars de 2012 actualisés à 4 %.

iii) Coûts liés à la recharge de plage

Le coût actualisé de mise en place de la recharge de plage, implique à la fois des coûts d'ingénierie, des coûts d'études préparatoires et des coûts d'entretien d'environ 3 893 150 \$.

L'option de recharge de plage permet d'éviter tous les coûts liés à l'érosion et à la submersion une fois implantée. Toutefois, étant donné les délais d'implantation d'une telle mesure, les dommages associés à l'aléa de submersion ont été comptabilisés jusqu'en 2017 pour un total d'environ 105 638 \$, alors que ceux liés à l'érosion sont d'environ 12 000 \$ pour cette même période. La perte de vue sur la mer pour les résidences en bord de mer correspond, quant à elle, à 54 745 \$.

Ainsi, les coûts totaux pour la recharge de plage s'élèvent à environ 4 065 590 \$ en dollars de 2012 actualisés à 4 %. L'annexe D présente les coûts annuels par catégorie.

iv) Coûts liés à la recharge de plage avec épis

Les coûts liés à la recharge de plage avec épis sont très similaires à ceux sans épis. Les différences proviennent de la réduction de la fréquence des entretiens de même que des coûts de construction initiaux supérieurs. Le coût sur l'horizon temporel considéré de la mise en place et de l'entretien de la recharge avec épis s'élève à 2 483 395 \$.

Les coûts associés à la submersion et à l'érosion sont les mêmes que ceux associés à la recharge de plage sans épis et sont de 117 704 \$. Finalement, les coûts associés à la perte de vue sur la mer sont évalués à 54 745 \$.

Les coûts totaux pour la recharge de plage avec épis s'élèvent ainsi à 2 655 845 \$ en dollars de 2012 actualisés à 4 %.

v) Coûts liés à l'immunisation et relocalisation stratégique

Le coût pour immuniser 2 bâtiments et en relocaliser 5 autres s'élève à 421 664 \$ en dollars actualisés. Comme cette option n'empêche pas l'érosion, ni la submersion, les coûts associés à ces aléas sont de 53 162 \$ et 737 515 \$ respectivement.

De plus, il faut comptabiliser les coûts associés à la perte de vue et d'accès à la mer, de même que la perte de valeur économique des terrains qui sont respectivement de 50 678 \$ et 103 621 \$.

Ainsi, les coûts totaux de l'immunisation combinée à la relocalisation stratégique sont de 1 366 639 \$. L'annexe D présente les coûts annuels par catégorie.

5.3.2 Calcul des avantages sur 50 ans

Les seules options qui génèrent des avantages dans le segment Maria Centre-Est sont la recharge de plage avec et sans épis. Ces deux options permettent un usage accru de la côte, notamment en agrandissant la largeur de la plage et en améliorant les accès.

Comme mentionné précédemment, il est supposé que cet avantage représente une augmentation de valeur de 5 %. Compte tenu de l'achalandage estimé, les avantages de la recharge de plage avec ou sans épis ont été évalués à 150 702 \$ en dollars de 2012 actualisés à 4 %.

5.3.3 Valeur actualisée nette et comparaison des options

La ventilation de la VAN de chaque option d'adaptation est présentée à la figure 5.6 et au tableau 5.4.

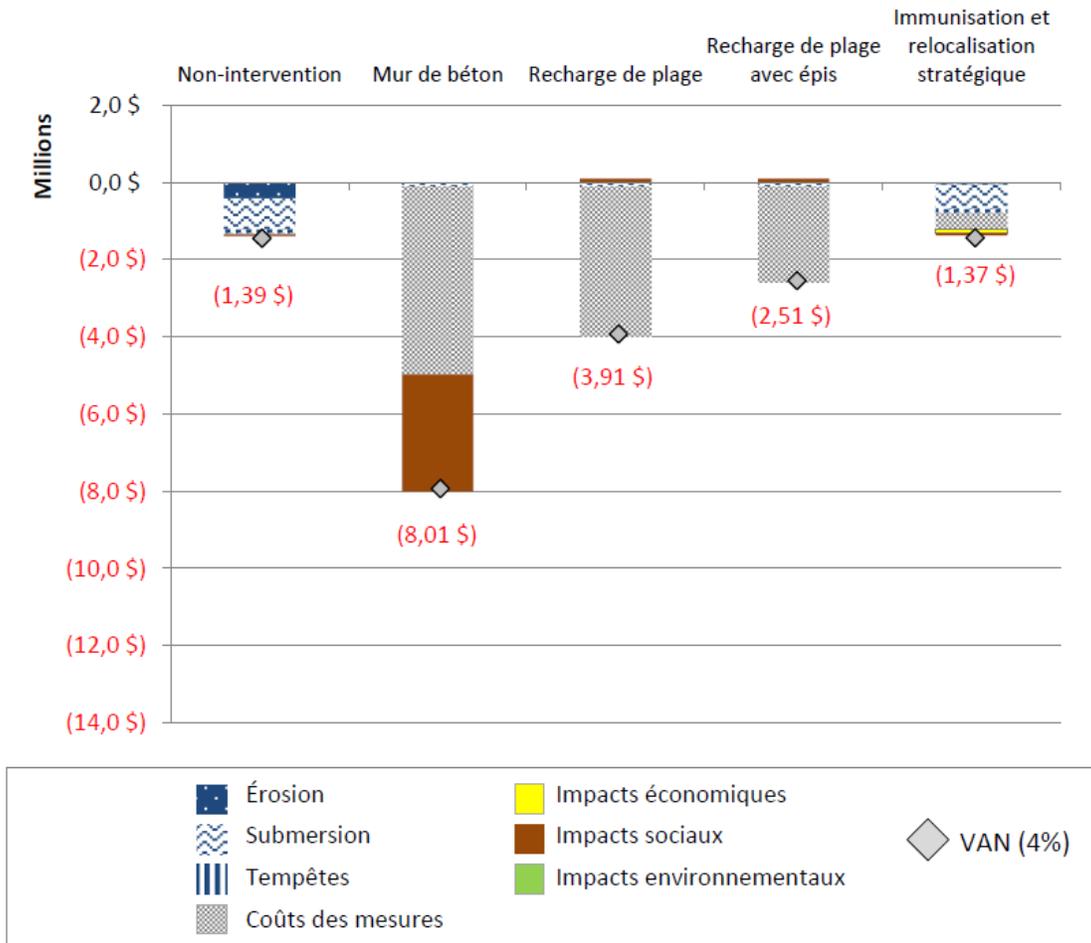


Figure 5.6 – Ventilation des coûts nets actualisés et VAN (4 %) – Maria Centre-Est

Tableau 5.4 – Coûts nets actualisés et VAN – Maria Centre-Est

Impacts annualisés nets	Non-intervention	Mur de béton	Recharge de plage	Recharge de plage avec épis	Immunisation et relocalisation stratégique
Érosion*	(412 237 \$)	(12 066 \$)	(12 066 \$)	(12 066 \$)	(53 162 \$)
Submersion*	(813 195 \$)	(98 242 \$)	(98 242 \$)	(98 242 \$)	(640 636 \$)
Coûts des mesures	(22 582 \$)	(4 852 361 \$)	(3 893 141 \$)	(2 483 395 \$)	(421 664 \$)
Impacts économiques	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	(103 621 \$)
Impacts environnementaux	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
Impacts sociaux	(45 160 \$)	(3 037 140 \$)	95 957 \$	95 957 \$	(50 678 \$)
Tempêtes*	(96 879 \$)	(7 396 \$)	(7 396 \$)	(7 396 \$)	(96 879 \$)
VAN	(1 390 054 \$)	(8 007 250 \$)	(3 914 889 \$)	(2 505 143 \$)	(1 366 639 \$)
Avantages par rapport à la non-intervention		(6 617 150 \$)	(2 524 834 \$)	(1 115 089 \$)	23 415 \$

* « Érosion » et « Submersion » incluent les dommages aux bâtiments et terrains; « Tempêtes » inclut les dommages aux infrastructures publiques.

L'immunisation et relocalisation stratégique est l'option qui obtient la VAN la moins négative suivie de près par la non-intervention. L'avantage net de l'immunisation et de la relocalisation stratégique par rapport à la non-intervention est seulement de 23 415 \$, ce qui est de l'ordre de la marge d'erreur de cette analyse. Ainsi, on ne peut pas statuer que l'immunisation et de la relocalisation stratégique est l'option privilégiée pour ce segment. Toutefois, il apparaît clair que les structures d'ingénierie génèrent trop peu d'avantages pour justifier ces larges investissements.

5.4 ANALYSE DE SENSIBILITÉ

L'objectif de cette analyse est d'examiner la robustesse des conclusions de l'ACA suite à la modification d'hypothèses clés. Dans ce cas-ci, les paramètres modifiés sont le taux d'actualisation, les niveaux d'eau extrêmes, la valeur de l'usage du littoral et le moment où a lieu l'immunisation. Le tableau 5.5 résume les analyses de sensibilité qui ont été réalisées.

Tableau 5.5 – Paramètres des analyses de sensibilité – Maria Centre-Est

Paramètre	Variation
Taux d'actualisation	± 2 %
Niveaux d'eau extrêmes	+50 cm
Valeur d'usage du littoral	+50 %
Immunisation retardée	À mi-périodes, soit en 2022, 2042, 2059, plutôt qu'au début de la période, soit en 2015, 2035 et 2055

Les résultats de l'analyse de sensibilité sont présentés ci-après, et ce, pour chaque modification d'hypothèses indiquée au tableau 5.5.

5.4.1 Taux d'actualisation

Une variation du taux d'actualisation entraîne une variation de la VAN pour l'option de non-intervention tout comme pour les autres options, comme l'illustre le tableau 5.6.

Tableau 5.6 – Variation de la VAN avec des taux d'actualisation de 2 % et 6 % – Maria Centre-Est

Options d'adaptation	Taux d'actualisation		
	2 %	4 % (base)	6 %
VAN non-intervention	(2 059 726 \$)	(1 390 054 \$)	(1 007 078 \$)
VAN mur de béton	(10 318 244 \$)	(8 007 250 \$)	(6 597 980 \$)
VAN recharge de plage	(5 289 002 \$)	(3 914 889 \$)	(3 102 276 \$)
VAN recharge de plage avec épis	(2 733 451 \$)	(2 505 143 \$)	(2 333 339 \$)
VAN immunisation et relocalisation stratégique	(1 838 437 \$)	(1 366 639 \$)	(1 090 569 \$)
Mur de béton – Avantage net par rapport à la non-intervention	(8 258 518 \$)	(6 617 150 \$)	(5 590 903 \$)
Recharge de plage – Avantage net par rapport à la non-intervention	(3 229 276 \$)	(2 524 834 \$)	(2 095 198 \$)
Recharge de plage avec épis – Avantage net par rapport à la non-intervention	(673 724 \$)	(1 115 089 \$)	(1 326 262 \$)
Immunisation et relocalisation stratégique – Avantage net par rapport à la non-intervention	221 290 \$	23 415 \$	(83 491 \$)

L'utilisation d'un taux d'actualisation plus faible (2 %) a pour effet d'accorder une importance relative plus grande aux impacts ayant lieu à des moments plus lointain dans l'horizon temporel. Ainsi, la VAN de la non-intervention diminue de -1,4 M\$ à -2,1 M\$ à un taux de 2 %. Ceci a pour effet de renforcer l'avantage de l'immunisation et relocalisation stratégique qui passe d'un faible avantage net par rapport à la non-intervention de 23 415 \$ à un avantage net de 221 290 \$.

À l'opposé, avec l'application d'un taux d'actualisation plus élevé de 6 %, la non-intervention devient l'option la plus avantageuse. Ceci démontre que le choix de l'option privilégiée dans ce segment est sensible au taux d'actualisation utilisé.

5.4.2 Niveaux d'eau extrêmes

Comme indiqué au segment précédent, la projection des niveaux d'eau extrêmes et leurs périodes de retour est un exercice qui comporte diverses incertitudes. Afin de mettre en perspective ces incertitudes, les niveaux d'eau extrêmes retenus pour les fins de l'analyse ont été augmentés de 50 cm par rapport aux hypothèses de base de l'ACA.

Cette analyse de sensibilité a une limite importante, car il est possible que les options d'adaptation étudiées ne soient plus suffisantes pour protéger contre des niveaux d'eau extrêmes augmentés de 50 cm. Néanmoins, cette analyse a l'avantage de comparer les résultats dans un contexte où les dommages associés à la submersion seraient beaucoup plus élevés. D'ailleurs, les dommages aux bâtiments en raison de la submersion augmentent alors de plus de 100 % dans le cas de la non-intervention. Le tableau 5.7 présente l'impact de cette augmentation sur la VAN de chaque option ainsi qu'en comparaison avec l'option de non-intervention.

Tableau 5.7 – Variation de la VAN avec l'augmentation de la submersion – Maria Centre-Est

Options d'adaptation	Hypothèses de base	Submersion +50cm
VAN non-intervention	(1 390 054 \$)	(2 380 713 \$)
VAN mur de béton	(8 007 250 \$)	(9 051 018 \$)
VAN recharge de plage	(3 914 889 \$)	(4 001 972 \$)
VAN recharge de plage avec épis	(2 505 143 \$)	(2 592 227 \$)
VAN immunisation et relocalisation stratégique	(1 366 639 \$)	(1 612 455 \$)
Mur de béton – Avantage net par rapport à la non-intervention	(6 617 150 \$)	(6 670 305 \$)
Recharge de plage – Avantage net par rapport à la non-intervention	(2 524 834 \$)	(1 621 259 \$)
Recharge de plage avec épis – Avantage net par rapport à la non-intervention	(1 115 089 \$)	(211 513 \$)
Immunisation et relocalisation stratégique – Avantage net par rapport à la non-intervention	23 415 \$	768 258 \$

Cette augmentation des dommages de submersion porte la VAN de la non-intervention de -1,4 M\$ à -2,4 M\$. Les coûts de la non-intervention augmentant beaucoup plus que ceux de l'immunisation et de la relocalisation stratégique, l'avantage net de cette option par rapport à la non-intervention croît à 0,8 M\$ par rapport sur la non-intervention. Par contre, même si l'augmentation des dommages de submersion améliore la position relative des autres options par rapport à la non-intervention, leur VAN demeure inférieure à celle de la non-intervention.

Ainsi, selon cette analyse de sensibilité, l'immunisation combinée à la relocalisation stratégique devient une option avantageuse par rapport à la non-intervention lorsque les niveaux extrêmes atteints augmentent. Cette option permet d'éviter des dommages plus importants à un coût relativement faible.

5.4.3 Valeur d'usage du littoral

La valeur d'usage du littoral à Maria a été inférée à partir d'une enquête réalisée à Carleton-sur-Mer. Comme il y a un certain degré d'incertitude relativement à l'exactitude de la valeur d'usage transférée, une augmentation de 50 % de celle-ci a été utilisée pour évaluer la robustesse des résultats obtenus. Dans le cas de la construction d'un mur de béton, le coût de la perte d'accès passe de 147 150 \$ à 220 762 \$ annuellement. Par contre, pour les options de recharge de plage avec ou sans épis, les gains d'usage du littoral passent de 7 746 \$ à 11 619 \$ annuellement. L'effet de cette variation de la valeur d'usage sur la VAN de chaque option est présenté au tableau 5.8.

La VAN du mur de béton est affecté par cette variation, puisqu'elle diminue d'environ 20 %. Par contre, cette augmentation de la valeur d'usage améliore quelque peu la VAN de la recharge de plage, mais ce n'est pas suffisant pour modifier les résultats. La bonification de la valeur d'usage du littoral ne semble donc pas être un facteur déterminant dans le choix de l'option à privilégier économiquement.

Tableau 5.8 – Variation de la VAN suite à l'augmentation de la valeur d'usage de 50 % – Maria Centre-Est

Options d'adaptation	Hypothèses de base	Valeur d'usage du littoral +50 %
VAN non-intervention	(1 390 054 \$)	(1 390 054 \$)
VAN mur de béton	(8 007 250 \$)	(10 802 215 \$)
VAN recharge de plage	(3 914 889 \$)	(3 767 783 \$)
VAN recharge de plage avec épis	(2 505 143 \$)	(2 358 037 \$)
VAN immunisation et relocalisation stratégique	(1 366 639 \$)	(1 366 639 \$)
Mur de béton – Avantage net par rapport à la non-intervention	(6 617 150 \$)	(9 412 160 \$)
Recharge de plage – Avantage net par rapport à la non-intervention	(2 524 834 \$)	(2 377 728 \$)
Recharge de plage avec épis – Avantage net par rapport à la non-intervention	(1 115 089 \$)	(967 982 \$)
Immunisation et relocalisation stratégique – Avantage net par rapport à la non-intervention	23 415 \$	23 415 \$

5.4.4 Immunisation retardée

Selon les hypothèses de base, les bâtiments pouvant être atteint par un événement de submersion de récurrence 20 ans pendant l'une des trois périodes considérées, soit 2015-2029, 2030-2054 et 2055-2064, sont immunisés en début de période¹⁰. Ces périodes représentent trois scénarios de niveaux d'eau extrêmes évoluant dans le temps en fonction des effets des changements climatiques.

¹⁰ La relocalisation peut avoir lieu si, au cours de l'horizon temporel considéré, le bâtiment touché par la submersion se retrouve à 5 mètres du trait de côte dû à l'érosion.

L'analyse de sensibilité suppose qu'au lieu d'immuniser les bâtiments ayant besoin d'être protégés de la submersion en début de période, ceux-ci seraient immunisés en milieu de période, soit en 2022, 2042 et 2059 plutôt qu'en 2015, 2030 et 2055.

Le Tableau 5.9 présente les résultats de ce report de l'immunisation sur la VAN de l'option d'immunisation et de relocalisation stratégique, seule option affectée par cette analyse de sensibilité. D'une part, les coûts actualisés d'immuniser les bâtiments diminuent et, d'autre part, les dommages causés par submersion augmentent puisque les bâtiments sont immunisés plus tardivement. La résultante est que les coûts nets de l'immunisation et de la relocalisation stratégique augmentent légèrement (tableau 5.9). La VAN de cette option par rapport à la non-intervention diminue d'autant, ce qui ne permet pas de déterminer quelle option serait plus avantageuse économiquement. Dans ce cas-ci, la variation du moment de l'immunisation ne modifie pas significativement le résultat de l'ACA.

Tableau 5.9 – Variation de la VAN suite au report de l'immunisation – Maria Centre-Est

Options d'adaptation	Hypothèses de base	Immunisation retardée (2022, 2042 et 2059)
VAN non-intervention	(1 390 054 \$)	(1 390 054 \$)
VAN mur de béton	(8 007 250 \$)	(8 007 250 \$)
VAN recharge de plage	(3 914 889 \$)	(3 914 889 \$)
VAN recharge de plage avec épis	(2 505 143 \$)	(2 505 143 \$)
VAN immunisation et relocalisation stratégique	(1 366 639 \$)	(1 377 861 \$)
Mur de béton – Avantage net par rapport à la non-intervention	(6 617 150 \$)	(6 617 150 \$)
Recharge de plage – Avantage net par rapport à la non-intervention	(2 524 834 \$)	(2 524 834 \$)
Recharge de plage avec épis – Avantage net par rapport à la non-intervention	(1 115 089 \$)	(1 115 089 \$)
Immunisation et relocalisation stratégique – Avantage net par rapport à la non-intervention	23 415 \$	12 194 \$

5.4.5 Synthèse de l'analyse de sensibilité

Le Tableau 5.10 présente un sommaire des résultats des analyses de sensibilité qui ont été réalisées. Essentiellement, ces résultats montrent que l'ACA ne permet de déterminer avec confiance si l'option d'immunisation et de relocalisation stratégique est avantageuse par rapport à la non-intervention dans le segment Maria Centre-Est.

Tableau 5.10 – Options les plus avantageuses selon les analyses de sensibilité – Maria Centre-Est

Hypothèse modifiée	Option la plus avantageuse
Hypothèses de base	Immunisation et relocalisation stratégique ou non-intervention
Taux d'actualisation de 2 %	Immunisation et relocalisation stratégique
Taux d'actualisation de 6 %	Non-intervention
Niveaux d'eau extrêmes +50 cm	Immunisation et relocalisation stratégique
Valeur d'usage du littoral +50 %	Immunisation et relocalisation stratégique ou non-intervention
Immunisation retardée	Immunisation et relocalisation stratégique ou non-intervention

5.5 CONCLUSION

Le segment Maria Centre-Est est caractérisé par un fort taux de recul et une vulnérabilité importante à la submersion. En même temps, le secteur abrite très peu de bâtiments résidentiels, alors qu'une bonne portion de la côte est occupée par le parc du Vieux-Quai. Ainsi, à la lumière des résultats de l'analyse, la faible densité du cadre bâti du segment Maria Centre-Est favorise les options d'adaptation qui ne nécessitent pas d'intervention importante sur le littoral, car les dommages évités ne permettent pas de justifier les investissements majeurs requis pour réaliser les structures d'ingénierie rigides.

Dans l'ensemble, les coûts de la non-intervention se chiffrent à 1,4 M\$ sur 50 ans, actualisés à 4 %. Le résultat principal de l'ACA est que les options d'adaptation avec structures côtières, soit le mur de béton et les recharges de plage avec ou sans épis, ne

sont pas avantageuses économiquement dans le segment Maria Centre-Est. Pour sa part, l'option d'immunisation et de relocalisation stratégique est quelque peu plus avantageuse que la non-intervention, mais cet avantage se situe dans la marge d'erreur de l'ACA. Les analyses de sensibilité n'ont pas permis d'identifier une option à privilégier au plan économique.



6 SEGMENT POINTE-VERTE OUEST

6.1 DESCRIPTION GÉNÉRALE

Situé entre la rue des Pluviers et le début de la zone d'accrétion de la Pointe verte, ce secteur de 487 m est composé de deux types de côtes (Figure 2.1). La première portion est une terrasse de plage de graviers et sable s'étendant sur 146 m, alors que la deuxième est une flèche littorale sablonneuse de 341 m de longueur. L'état de la côte y est actif ou stabilisé par des structures artificielles. Le segment est caractérisé par sa très forte artificialité, avec 91 % de côte présentant des petits ouvrages privés (murets de bois, enrochement). Ces structures sont en bon état car la majorité de celles-ci a dû être reconstruite après la tempête de décembre 2010. Elles sont toutefois peu efficaces en cas d'événements majeurs. La mise en place de ces structures date surtout des deux dernières décennies, comme le prouvent les photographies historiques où l'on voit une route qui passait à l'avant des maisons du côté de la mer.

Ce segment est essentiellement une zone résidentielle qui compte 35 bâtiments à risque, dont deux commerces. La valeur foncière de ces bâtiments totalise 4,1 M\$. (tableau 6.1). Ce segment est desservi en partie par la route 132 et une voie municipale abritant l'aqueduc et l'égout.

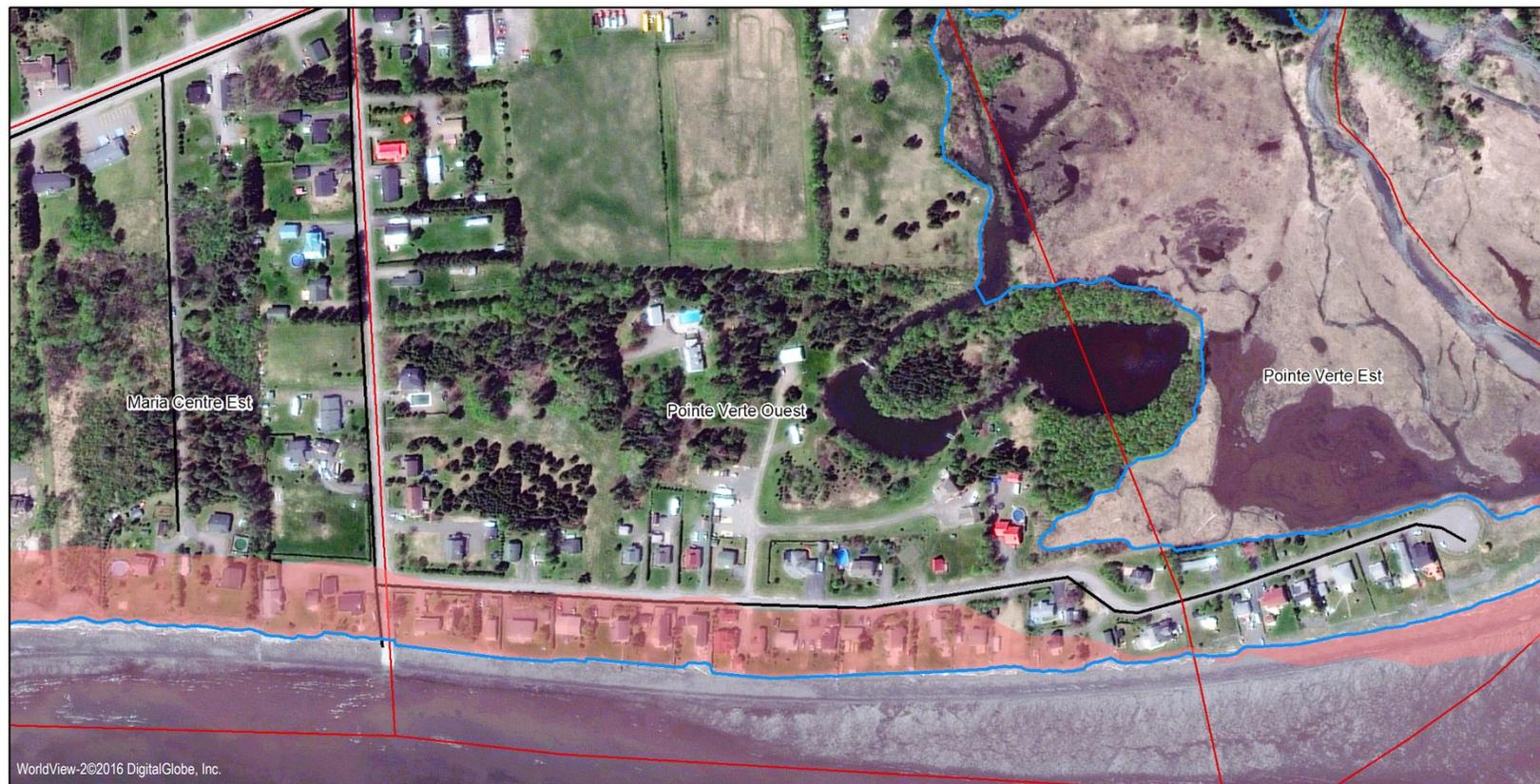


Figure 6.1 – Pertes de terrains projetées jusqu'en 2064 – Pointe-Verte Ouest

Tableau 6.1 – Nombre et valeur des bâtiments – Pointe-Verte Ouest

Type de bâtiment	Nombre	Valeur foncière 2014
Résidence principale	33	3 758 510 \$
Commerce	2	354 850 \$
Total	35	4 113 360 \$

Sur le plan des habitats naturels, différentes espèces de poissons (hareng, maquereau et éperlan) ont été observés dans ce segment. Des activités de pêche commerciale de homards et de pêche récréative y ont lieu. L'usage des plages privées et le nautisme léger, supporté par un débarcadère en béton pour petites embarcations au bout de la rue des Pluviers, font aussi partie des activités pratiquées dans le segment.

6.1.1 PROBLÉMATIQUE

Ce secteur, en particulier celui au début de la flèche, est celui où les plus importants taux de recul ont été enregistrés historiquement. Selon Fraser et Bernatchez (2006 :16), « Un recul de 50 m (- 0,86 m/an) a été mesuré pour l'intervalle 1934-1992 et un recul de 2 m (- 0,14 m/an) pour les derniers 14 ans ». Ainsi, le taux de recul probable pour les cinquante prochaines années y est élevé, atteignant - 0,76 m/an, alors que le taux événementiel est de -12,2 m pour la partie terrasse de plage (partie ouest) et de -17,2 m pour la partie flèche littorale (partie est). Les sédiments mobilisés dans ce secteur dérivent vers l'est pour s'accumuler au bout de la Pointe-Verte.

Ce segment est de plus caractérisé par sa forte artificialité, constituée de plusieurs petites protections privées, dont l'efficacité lors des événements majeurs est très variable. L'absence d'uniformité dans la protection de ce segment de côte fait en sorte que la mer peut endommager la structure la plus faible et ensuite causer des dommages aux propriétés avoisinantes par la brèche ainsi créée. Ce phénomène a été observé sur de nombreuses propriétés lors de l'évènement de décembre 2010.

6.1.2 Option de non-intervention

L'option de non-intervention servant de référence dans cette analyse suppose que l'évolution côtière des dernières années se perpétuera pour les 50 prochaines années. Cela implique un recul graduel de la côte à un rythme de - 76 cm par année. En ce qui a trait à l'aléa de submersion, les projections de niveaux d'eau extrêmes proviennent de l'analyse des récurrences des données historiques auxquelles la hausse du niveau marin a été ajoutée.

Plus concrètement, à mesure que la côte s'érodera, il y aura des pertes de terrain et certains bâtiments se retrouveront exposés. Le segment est densément construit, avec des habitations de part et d'autre de la rue des Tournepierres. On compte une vingtaine de résidences en bord de mer, dont les lots sont relativement de petites dimensions limitant la possibilité de relocaliser ces résidences sur le même terrain.

Il est supposé que les bâtiments à risque seront démolis lorsque la côte touchera le bâtiment en son point le plus près du rivage, puisqu'il ne sera plus sécuritaire de l'utiliser. Pour les bâtiments n'étant pas exposés à l'érosion à l'horizon de 50 ans, mais étant aux prises avec des problèmes de submersion, il est supposé que les propriétaires répareront les dommages à chaque événement de submersion. En d'autres mots, la submersion n'entraînera pas la démolition du bâtiment, mais causera plutôt des dommages en fonction des hauteurs d'eau atteintes par les différents épisodes de submersion.

6.1.3 Options d'adaptation

Étant donné la problématique conjointe d'érosion et de submersion, les options d'adaptation étudiées pour ce segment visent à réduire les impacts de ces deux phénomènes. Considérant le type de côte de ce segment, les options d'adaptation envisagées sont de trois types : des structures côtières rigides, des structures côtières mobiles et des options sans structures côtières, notamment l'immunisation et la relocalisation des actifs.

i) Structures côtières rigides

L'option privilégiée en matière de structure côtière rigide dans ce segment consiste à l'installation d'un mur de béton. Le mur d'une hauteur de 6 m serait construit sur une base de gravier et nécessiterait de l'excavation afin de mettre en place une clé qui retiendra le mur du côté mer et du côté terre (Figure 6.5). Un système de drainage adéquat assurerait l'intégrité de l'ouvrage lors des événements de niveaux d'eau extrêmes.

Cette option permettrait de freiner l'érosion dans le secteur et serait en mesure d'éviter tous les dommages de submersion pour des événements de niveaux d'eau extrêmes de 500 ans de récurrence (Baird, 2015).

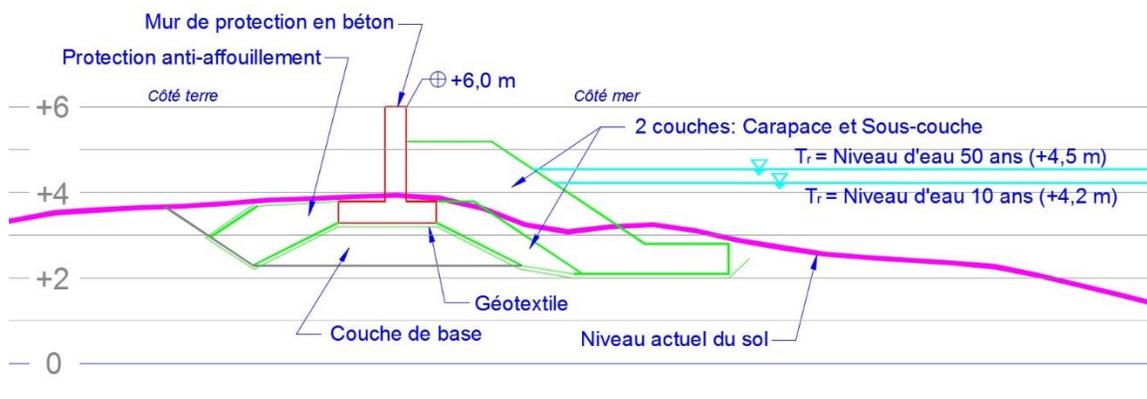


Figure 6.5 – Coupe-type d'un mur de béton – Pointe-Verte Ouest

Il est à noter que pour que cette mesure d'étanchéité de la côte soit efficace, elle doit s'inscrire dans un système de défense étanche sur l'ensemble de la Pointe-Verte. Si ce n'est pas le cas, lors des tempêtes, l'eau pourrait déferler dans les terres des segments non protégés et s'écouler vers les segments adjacents.

ii) Structures côtières mobiles

Considérant la dynamique côtière du milieu, la protection de la rive par une recharge de plage avec épis est également envisageable dans le secteur. Les analyses préliminaires suggèrent qu'entre 100 et 150 m³ de sédiments seraient nécessaires par mètre linéaire

de côte. La recharge de plage serait accompagnée d'épis afin de stabiliser les sédiments et accroître la durée de vie de la recharge à 25 ans. Sur un horizon de 50 ans, il faut donc envisager faire une recharge complète après 25 ans.

La figure 6.3 présente la coupe-type d'une recharge de plage avec épis qui s'appliquerait sur le littoral de la Pointe-Verte Ouest. Considérant les niveaux d'eau extrêmes prévus dans ce secteur, la conception préliminaire suggère que la crête de la recharge devrait atteindre 6 mètres de hauteur.

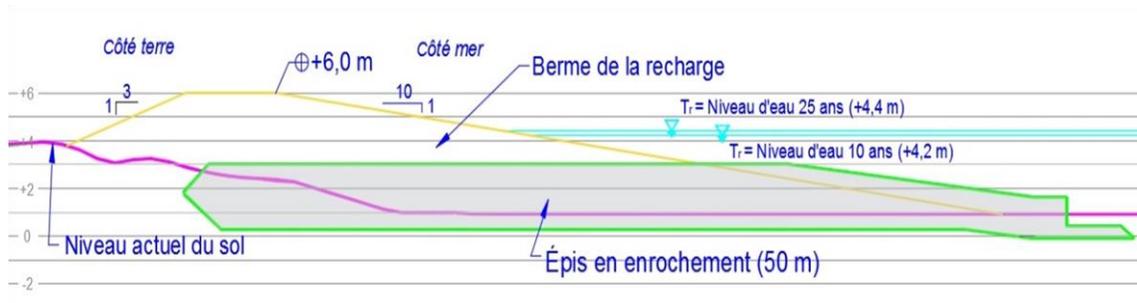


Figure 6.3 – Coupe-type d'une recharge de plage avec épis – Pointe-Verte Ouest

Une recharge de plage sans épis est également envisageable dans le secteur. Toutefois, une telle recharge aurait une durée de vie plus courte, étant donné que le matériel qui serait déposé sur la plage pourrait circuler plus facilement et donc s'éroder plus rapidement. Selon la conception préliminaire, l'absence d'épis entraînerait une perte de matériel de l'ordre de $10 \text{ m}^3/\text{année}$ par mètre linéaire. Ces pertes signifient que le matériel devrait être redistribué ou qu'une nouvelle recharge devrait avoir lieu tous les 10 à 15 ans. Aux fins de l'analyse, les deux types de recharge ont été considérés.

iii) Immunisation et relocalisation des actifs

L'immunisation est une option envisageable seulement pour les bâtiments qui ne seront pas exposés à l'érosion au courant des 50 prochaines années. Ces bâtiments seront immunisés afin de limiter leur vulnérabilité aux épisodes de submersion. L'immunisation proposée se fait sur le même terrain et consiste essentiellement à remblayer le terrain à une élévation suffisante afin que le bâtiment ne puisse plus subir de dégâts liés à la submersion.

Lorsque le niveau d'eau extrême engendré par une tempête de récurrence 20 ans atteint le rez-de-chaussée d'un bâtiment, celui-ci doit être immunisé. Il est à noter que ces niveaux d'eau représentent des projections plutôt que des réalisations. Donc, c'est en fonction de la vulnérabilité prévues aux tempêtes que les bâtiments seront immunisés. Dans l'éventualité où l'érosion menace l'intégrité du bâtiment au courant d'ici les 50 prochaines années, qu'il soit vulnérable à la submersion ou non, il sera relocalisé sur un autre terrain. Les bâtiments faisant face à une telle problématique seront relocalisés dès qu'ils se retrouveront à moins de 5 mètres de la rive ou que le critère d'immunisation mentionné plus tôt sera atteint.

Pour les scénarios de changement climatique¹¹ étudiés et compte tenu des critères précédemment définis, il est prévu que 16 résidences devront être relocalisées au cours de la période d'étude, alors que 7 résidences auront plutôt besoin d'être immunisées dans le segment Pointe-Verte Ouest.

6.1.4 Impacts appréhendés

Les impacts appréhendés sont de deux types. D'une part, il y a les impacts directs associés aux effets des aléas côtiers qui comprennent essentiellement l'ensemble des dommages causés aux bâtiments, infrastructures et terrains, de même que les coûts de nettoyage des débris et des interventions d'urgence. D'autre part, les impacts indirects, quant à eux, concernent principalement les impacts générés par les options d'adaptation. Le tableau 6.2 compare les impacts appréhendés des cinq situations étudiées dans le cadre de cette analyse coûts-avantages, soit la non-intervention (NI), le mur de béton (MB), la recharge de plage avec épis (RPE), la recharge de plage (RP) et l'immunisation combinée à la relocalisation stratégique (IRS).

La non-intervention peut évidemment impliquer des pertes de terrain, des dommages aux bâtiments et infrastructures ainsi que des coûts associés au nettoyage des débris et de réponse d'urgence lors des événements de tempêtes. Les bâtiments dans le

¹¹ Trois horizons de changement climatique sont considérés. Les horizons sont 2015-2029, 2030-2054 et 2055-2064 respectivement. Ceux-ci mènent à des hauteurs d'eau croissantes au fil du temps d'un scénario à un autre à mesure que le rehaussement marin se matérialise.

segment sont desservis par les services municipaux d'aqueduc et d'égouts qui peuvent être endommagés lors des épisodes de submersion.

Tableau 6.2 – Impacts appréhendés selon les options d'adaptation – Pointe-Verte Ouest

Type d'impacts	Nature des impacts	NI	MB	RPE	RP	IRS
Impacts liés à l'érosion et à la submersion	Perte de terrain	X				X
	Dommages ou pertes de bâtiments résidentiels	X				X
	Dommages ou pertes d'infrastructures publiques	X				X
	Nettoyage des débris	X				X
	Intervention d'urgence	X				X
Impacts économiques	Modification de la valeur des propriétés					X
	Perte de marchandises ou de revenus commerciaux					
Impacts environnementaux	Modification d'habitats naturels		X	X	X	
	Perturbation de frayères à poissons		X	X	X	
Impacts sociaux	Qualité de vie (anxiété, insécurité, dérangement)	X				X
	Modification de la vue ou de l'accès à la mer	X	X	X	X	X
	Modification de la valeur de l'usage du littoral		X	X	X	

NI : Non-intervention; MB : Mur de béton; RPE : Recharge de plage avec épis; RP : Recharge de plage; IRS : Immunisation et relocalisation stratégique.

Le mur de béton et la recharge de plage (avec ou sans épis) permettent d'éviter l'ensemble de ces impacts en freinant à la fois l'érosion et la submersion sur le secteur, sauf pour la période précédant la construction qui aurait lieu en 2018. Quant à l'immunisation et relocalisation stratégique, bien qu'elle ne freine pas directement les

processus érosifs et les ondes de tempêtes, elle élimine, malgré tout, les dommages d'érosion aux bâtiments. Elle permet aussi l'élimination des dégâts de submersion pour les propriétaires de bâtiments ayant recours à cette mesure.

Quant aux impacts économiques, il s'agit essentiellement de la perte de valeur économique des terrains lorsque ceux-ci sont déclarés non constructibles. Cela se produit seulement lorsqu'un bâtiment est relocalisé sur un autre terrain, l'ancien terrain perdant alors son statut de terrain constructible.

Dans ce segment, les deux bâtiments commerciaux à moins de 150 mètres de la côte ne font pas affectés par l'érosion et leur rez-de-chaussée est suffisamment élevé pour éviter d'avoir à être immunisé pendant la période d'étude. Ainsi, aucune perte de marchandises ou de revenus commerciaux n'est anticipée.

Au plan environnement, ce segment est plus riche en faune et la flore que les segments précédents. Toutefois, après consultation auprès d'experts locaux en environnement et des membres du CLO, les ressources halieutiques vivent suffisamment loin du littoral pour que la mise en œuvre des options d'adaptation ne nuise pas à leurs habitats. En fait, il n'y a aucun enjeu environnemental majeur dans le segment Pointe-Verte Ouest. Cela reste cependant à confirmer dans le cadre d'une étude d'impact environnemental.

Au niveau des enjeux sociaux, l'effet du risque causé par les tempêtes nuit certainement à la qualité de vie des riverains. L'ensemble des options d'adaptation viendrait modifier le niveau de risque et incidemment la qualité de vie des résidents. Parallèlement à cette diminution du risque, certaines des options pourraient mener à une perte de vue sur la mer ou même d'accès à cette dernière. C'est notamment le cas de l'immunisation et de la relocalisation stratégique, de la mise en place d'un mur de béton et des recharges de plage dans le cas de la vue sur la mer.

La modification de l'usage du littoral doit aussi être considérée. Les recharges de plage avec et sans épis peuvent avoir pour effet d'améliorer cet usage, alors que le mur de béton va contribuer à réduire l'usage du littoral en détruisant graduellement la plage par la réflexion des vagues.

6.2 ESTIMATION MONÉTAIRE DES IMPACTS

6.2.1 Impacts directs

L'estimation monétaire des impacts directs liés à l'érosion et à la submersion fait partie de l'évaluation globale des coûts et des avantages. En fait, les coûts de l'érosion et de la submersion associés à la non-intervention correspondent aux avantages qu'offrent les options d'adaptation, puisque celles-ci visent à arrêter les processus érosifs et de submersion ainsi que les coûts qui leur sont liés. En monétisant ces impacts directs, cela permet de mettre en perspective les enjeux relatifs aux infrastructures et terrains à risque si aucune mesure n'est mise en place. À moins d'avis contraire, tous les impacts présentés dans les paragraphes qui suivent sont associés à la non-intervention et sont en dollars de 2012 actualisés à 4 %.

i) Pertes physiques de terrain

Des pertes de terrain sont prévues annuellement en raison de l'érosion dans le segment Pointe-Verte Ouest. La superficie perdue est calculée en se basant sur le taux d'érosion probable fourni par l'UQAR, qui a été évalué à -76 cm par année soit 38 mètres sur 50 ans (voir Figure 6.1 au début du chapitre). La valeur économique des terrains a été estimée en se référant au rôle d'évaluation de Maria de 2014, qui est représentatif des conditions de marché de 2012.

Les pertes de terrain sont comptabilisées jusqu'à ce que le dernier bâtiment principal d'une unité d'évaluation soit considéré exposé. À ce moment, la valeur résiduelle du terrain est comptabilisée comme une perte totale, car il est considéré non constructible. Il est à noter que la valeur résiduelle d'un terrain, c'est-à-dire lorsqu'il est considéré non constructible, est déterminée en soustrayant de la valeur initiale du terrain au rôle d'évaluation la valeur des pertes annuelles déjà comptabilisées à cause de l'érosion. Pour certains terrains de plus grande dimension, même si tous les bâtiments présents sur le lot sont perdus, le terrain ne perd pas sa valeur résiduelle, car il est encore considéré comme un terrain constructible.

Ceci étant dit, pour l'ensemble du segment, les coûts associés à la perte de terrain sont de près de 156 787 \$ sur la période d'étude de 50 ans.

ii) Dommages ou pertes de bâtiments résidentiels

Les dommages ou pertes de bâtiments résidentiels découlent des impacts des aléas côtiers de submersion et d'érosion. Les dommages ou pertes de bâtiments causés par l'érosion sont comptabilisés en fonction de l'exposition des bâtiments résidentiels. Cette exposition est constatée une fois que le point du bâtiment le plus près de la côte est touché par le recul de la ligne de rivage. Une fois que le bâtiment est exposé, celui-ci est considéré comme une perte totale et la valeur inscrite au rôle d'évaluation est utilisée pour comptabiliser cette perte. Si aucun autre bâtiment résidentiel n'est présent sur le lot et que le lot est petit, le terrain est également considéré comme non constructible et perd sa valeur résiduelle (valeur totale moins les pertes annuelles de terrain enregistrées). Les pertes de bâtiments reliées à l'érosion ne se produisent que pour la non-intervention.

Selon les scénarios d'érosion probable retenus, 16 bâtiments résidentiels seront exposés à l'érosion d'ici 2064 pour une perte s'élevant à une somme actualisée d'environ 1 087 702 \$. L'immunisation et relocalisation stratégique de même que le mur de béton et les recharges de plage (avec épis ou sans épis) permettent d'éviter l'ensemble des dommages causés par l'érosion.

Les dommages ou pertes de bâtiments découlant des épisodes de submersion sont plus complexes à calculer. Leur approximation est réalisée grâce à la méthode présentée à la section 3.3.4. Le segment Pointe-Verte Ouest comprend 33 bâtiments résidentiels et 2 commerces qui seront exposés aux aléas de submersion pendant la période d'étude.

La combinaison de l'aléa d'érosion et de submersion est estimée de sorte à ne pas comptabiliser deux fois des dommages dus à l'érosion et à la submersion. Autrement dit, dès qu'une résidence est exposée à l'érosion, le dommage annuel moyen n'est plus comptabilisé, car la résidence est considérée comme perte totale et le bâtiment doit être démolé.

La valeur totale des dommages estimés pour les événements de submersion s'élève à 2 864 872 \$ actualisés à 4 %. Ces coûts comprennent le dommage annuel moyen de chacun des bâtiments résidentiels du parc immobilier du segment Pointe-Verte Ouest.

iii) Dommages ou pertes d'infrastructures publiques

L'ensemble des bâtiments présents est desservi par les services publics d'aqueduc et d'égouts. Comme exposé précédemment le système d'égouts de Maria est un système sous vide qui peut être problématique lors des événements de submersion. Des coûts additionnels de gestion et de remise en marche du système de même que des coûts en nettoyage des débris sont aussi à considérer.

Les coûts totaux liés aux services municipaux et autres infrastructures publiques s'élèvent ainsi à 203 238 \$ actualisés à 4 %.

iv) Coûts de réponses d'urgence

Les coûts de réponse d'urgence comprennent principalement les coûts associés à la prise en charge des sinistrés par les autorités. Cela peut comprendre les mesures d'évacuation lors de l'évènement de même que la mise en place des services d'hébergement des sinistrés et la préparation des repas.

Tel que décrit dans les segments précédents, les informations recueillies à Maria suggèrent que ces montants ont été marginaux lors des épisodes de submersion qui se sont produits lors des dernières années. Dans les circonstances, les coûts engendrés par la réponse d'urgence étaient trop marginaux pour faire l'objet d'une quantification exhaustive et n'ont pas été considérés.

6.2.2 Impacts économiques

Les impacts économiques dans le segment Pointe-Verte Ouest sont liés à la modification de la valeur des propriétés. La modification de la valeur des propriétés survient lorsqu'un terrain est jugé comme n'étant plus sécuritaire pour accueillir un bâtiment. Cette perte de valeur découle du fait qu'un terrain soit déclaré non

constructible une fois que le bâtiment est soit touché par l'érosion, soit déménagé dans la solution de l'immunisation et de la relocalisation stratégique. La perte de valeur des terrains s'applique seulement pour les terrains qui sont trop petits pour que les bâtiments soient déménagés sur le même terrain dans le cas de l'immunisation et de la relocalisation stratégique. Cela s'applique à 16 terrains pour une valeur totale d'environ 262 992 \$ actualisés à 4 %.

6.2.3 Impacts environnementaux

i) Modification d'habitats naturels

La côte du segment Pointe-Verte Ouest est composée d'une plage de galets, de sable et de boue. Tout comme le segment précédent, selon la cartographie réalisée par le Comité ZIP (2006), la zone pourrait être un secteur favorable à la fraie du hareng et du maquereau. La zone littorale abrite également le plus important herbier de zostère marine de la Gaspésie couvrant une bonne partie de la baie de Cascapédia. Il s'étend de Maria jusqu'à la marina de New Richmond. Selon Lemieux et Lalumière (1995), cet herbier couvrirait 1629 hectares, toutefois les inventaires récents suggèrent que la superficie est plus grande.

Cependant, après une rencontre ayant eu lieu en août 2014 avec des experts en environnement de la firme Pesca, il a été conclu qu'aucun enjeu environnemental de taille n'était présent quant aux options envisagées dans le secteur. Donc, aucun impact environnemental ne sera quantifié pour ce segment.

6.2.4 Impacts sociaux

i) Perte ou gain de vue ou d'accès à la mer

La mise en place d'un mur de béton ou d'une recharge de plage (avec ou sans épis) de 6 mètres de haut de même que la relocalisation des actifs dans l'option d'immunisation et relocalisation stratégique dans le segment Pointe-Verte Ouest pourrait mener à la perte de vue sur la mer de certains bâtiments résidentiels.

Afin d'établir la valeur de la vue sur la mer, des données provenant des évaluations de plusieurs bâtiments et terrains résidentiels ont été analysées. Ces évaluations provenant d'une firme d'évaluateurs agréés de la région gaspésienne. Les données permettaient de comparer des terrains de plusieurs municipalités, dont Maria, New Richmond, Carleton-sur-Mer, etc. Comme dans les autres segments la perte d'accès à la mer a été évaluée, toutes choses étant égales par ailleurs, à plus de 19 000 \$.

Considérant que jusqu'à 16 bâtiments résidentiels pourraient perdre la vue et/ou l'accès à la mer, soit par la mise en place du mur de béton, soit par la recharge de plage, soit par la relocalisation ou soit par l'exposition à l'érosion, les coûts actualisés associés à la perte de vue ou d'accès à la mer sont évalués entre 132 000 et 423 000\$ selon les options d'adaptation (tableau 6.3).

Tableau 6.3 – Coûts associés à la perte ou gain de vue ou d'accès sur la mer – Pointe-Verte Ouest

Option d'adaptation	Coût
Non-intervention	154 271 \$
Mur de béton	422 086 \$
Recharge de plage (avec ou sans épis)	132 953 \$
Immunsation et relocalisation stratégique	202 702 \$

ii) Qualité de vie

L'influence des tempêtes sur la qualité de vie des gens vivant dans les zones à risque n'a pas été quantifiée en l'absence d'information précise sur la valeur que lui accordent les personnes concernées.

iii) Modification de la valeur d'usage du littoral

Le littoral de la Pointe-Verte Ouest représente un secteur qui est principalement utilisé par les propriétaires riverains. Comme pour les segments précédents, les données d'achalandage et de valorisation de l'usage provenant d'une enquête sur l'usage du littoral à Carleton-sur-Mer ont été utilisées et adaptées en fonction de la longueur du

segment et de la population de Maria pour déterminer la valeur d'usage de ce littoral. Pour le segment Pointe-Verte Ouest, la valeur marginale de l'usage du littoral a été estimée à 161 558 \$ par année.

L'aménagement de l'une ou l'autre des options d'adaptation aura une influence sur l'accessibilité de la côte pour différentes activités. Ainsi, pour le mur de béton, il est assumé que l'accès au littoral sera complètement perdu. Une perte annuelle de 161 558 \$ est comptabilisée annuellement pour un total de près de 3 143 166 \$ sur l'ensemble de la période.

Quant à la recharge de plage (avec ou sans épis), elle devrait bonifier l'usage du littoral en élargissant la plage présente dans le secteur et en permettant un plus grand achalandage via une attractivité plus grande du site. Comme pour les autres segments une bonification de 5 % a été appliquée par rapport à une plage plus étroite. En appliquant cette bonification de l'usage à la recharge de plage (avec ou sans épis), la valeur totale actualisée du gain d'usage lié à la recharge de plage est de 165 430 \$.

L'immunisation et relocalisation stratégique, en n'intervenant pas sur le littoral, ne devrait pas modifier substantiellement l'usage du littoral. Pour cette option, aucune perte ou gain n'a été considéré.

6.2.5 Estimation du coût des options d'adaptation

Les options d'adaptation envisagées impliquent toutes des coûts de différentes envergures. Le coût de chacune des options a été estimé à partir de consultations auprès d'experts dans le domaine.

Dans le cas de l'immunisation et de la relocalisation stratégique, la relocalisation consiste à déplacer un bâtiment en s'éloignant du bord de mer, sur le même terrain s'il y a de la place ou sur un nouveau terrain en transportant le bâtiment sur la route.

L'immunisation consiste essentiellement à remblayer le terrain en plus de soulever et rehausser les fondations. Comme pour les segments précédents les coûts de déménagement ou d'immunisation des bâtiments ont été estimés par la firme de déménagement Hénault et Gosselin Inc. qui a effectué une visite à Maria.

En considérant l'ensemble des bâtiments devant faire l'objet d'un déménagement ou d'une immunisation, le coût total associé à l'immunisation et relocalisation stratégique s'établit à 1 435 670 \$ en dollars de 2012 actualisés à 4 %.

Dans le cas du mur de béton, le coût a été établi par une firme d'ingénierie selon les critères de conception établis pour le site à l'étude (Baird, 2015). Les coûts de construction comprennent 30 % en frais de contingence. Le coût du mur de béton est de 6 700 \$ du mètre linéaire pour un total de 3 417 000 \$. Ce montant comprend les frais de surveillance de chantier. Des frais pour les études d'impact environnemental de même que pour le design du mur sont considérés durant les deux années précédant la construction de celui-ci. Combinés, ils ont une valeur actualisée d'environ 666 605 \$. Le mur de béton nécessite également un entretien équivalent à 2-3 % par année sur l'horizon de 50 ans. Quant au coût actualisé lié à l'aménagement pour un tel ouvrage, il est de 362 711 \$, soit 800 \$ par mètre linéaire. Ainsi, le coût total du mur de béton en incluant l'ensemble des frais de construction et d'entretien est de 5 643 603 \$ en dollars de 2012 actualisé à 4 %.

Finalement, en ce qui concerne la recharge de plage, deux options sont possibles dans le cas du segment Pointe-Verte Ouest, soit une recharge avec ou sans épis. Les critères de conception sont similaires, notamment au niveau de la hauteur de la crête de la recharge et des quantités de matériel requis. C'est essentiellement au niveau de la durée de vie de l'aménagement que ces deux options diffèrent au niveau des coûts. La recharge sans épis a une durée de vie moyenne de 12,5 ans, ce qui implique que sur l'horizon de 50 ans, 3 recharges supplémentaires devront avoir lieu. En ce qui concerne la recharge avec épis, la stabilité des sédiments qui sont emprisonnés dans les cellules de plage permet une durée de vie de l'ordre de 50 ans avec un entretien annuel afin de repositionner les sédiments et d'en ajouter au besoin. En fonction de ces éléments, les coûts respectifs de la recharge de plage et de la recharge de plage avec épis sont de 4 358 633 \$ et 2 810 008 \$ sur 50 ans actualisés à 4 %.

Il est important de mentionner que la non-intervention a également un coût de mise en œuvre puisqu'elle suppose que les bâtiments exposés seront démolis. Le coût de

démolition des bâtiments a été estimé à environ 54 \$ le mètre carré¹² en plus de coûts fixes de 3 240 \$ et de 1 080 \$ pour les coûts d'enlèvement des fondations et un surcoût lié à la distance avec le site d'enfouissement le plus près. Le coût total de la démolition des bâtiments est égal 72 735 \$.

6.3 ANALYSE COÛTS-AVANTAGES

Ce chapitre présente l'ensemble des coûts et avantages estimés sur un horizon temporel de 50 ans pour la non-intervention et chacune des options d'adaptation. Une comparaison des coûts et avantages est effectuée dans le cadre du calcul de la VAN. De plus, une interprétation des résultats obtenus est réalisée, et ce, de manière à comparer la rentabilité économique de chaque option.

6.3.1 Calcul des coûts sur 50 ans

Cette section se concentre sur les coûts totaux de la non-intervention et de la mise en œuvre de chacune des options d'adaptation. Tous les coûts sont actualisés à un taux de 4 %.

i) Coûts liés à la non-intervention

Les coûts liés à la non-intervention concernent essentiellement les dommages encourus par submersion de même qu'à cause de l'érosion.

Puisque la méthodologie de calcul des dommages par la submersion est basée sur une approche par analyse de risque, les dommages sont répartis sur l'ensemble de la période d'analyse en s'accroissant en 2030 et 2055 en raison de l'application d'une hausse du niveau marin à partir de chacune de ces années. Ces dommages représentent une somme actualisée de 2 864 872 \$ sur l'horizon 2015-2064. Les dommages aux infrastructures publiques se chiffrent à 203 238 \$.

¹² Le coût de démolition au mètre carré provient de l'étude de Tecslut (2008) intitulée *Analyse coûts-avantages de solutions d'adaptation à l'érosion côtière pour la Ville de Sept-Îles* et ce coût a été actualisé à l'aide de l'Indice de prix à la consommation canadien (IPC).

Les dommages aux bâtiments dus à l'érosion s'appliquent, quant à eux, de manière ponctuelle à mesure que les bâtiments sont exposés à l'érosion. Dans ce cas-ci, des pertes de bâtiments sont prévues entre 2025 et 2054 pour un coût total actualisé de 1 087 702 \$. À ce montant s'ajoute les coûts de démolition des bâtiments exposés, soit 72 735 \$. Finalement les pertes de terrains se chiffrent à 156 787 \$ au cours de l'horizon temporel 2015-2064, tandis que les pertes de vue et d'accès à la mer sont de 154 271 \$.

Ainsi, les coûts totaux pour la non-intervention s'élèvent à environ 4 539 606 \$ en dollars de 2012 actualisés à 4 %. L'annexe E présente les coûts annuels par catégorie.

ii) Coûts liés au mur de béton

L'option du mur de béton implique des coûts d'ingénierie, d'études préparatoires, de construction et d'aménagement de 4 067 016 \$ qui sont encourus dès les premières années de l'horizon d'étude. Les coûts d'entretien annuel de 85 680 \$ sont ensuite ajoutés chaque année jusqu'à la fin de vie utile de l'infrastructure, soit à la fin de l'horizon d'étude. Le coût actualisé de mise en place de cette option est donc de 5 643 603 \$.

L'option du mur de béton permet d'éviter tous les coûts liés à l'érosion et à la submersion dès son implantation en 2018. Cependant, de 2015 à 2017, des dégâts de submersion aux bâtiments de 501 968 \$ de même que des coûts de dommages aux infrastructures publiques de 15 515 \$ ont été considérés. De manière similaire, l'érosion générera des dommages de 27 922 \$ avant l'installation du mur.

Finalement, cette option implique des coûts associés à la perte de vue et d'accès à la mer pour les riverains du segment qui réside dans le secteur, de même qu'une perte d'usage récréatif de la côte. Ces pertes s'élèvent respectivement à 422 086 \$ et 3 143 166 \$ en dollars de 2012 actualisés à 4 %. La perte est encourue dès la construction du mur en 2018.

Ainsi, les coûts totaux pour du mur de béton s'élèvent à environ 9 754 261 \$ en dollars de 2012 actualisés à 4 %. L'annexe E présente les coûts annuels par catégorie.

iii) Coûts liés à la recharge de plage

Le coût actualisé de mise en place de la recharge de plage, incluant à la fois les coûts d'ingénierie, les coûts des études préparatoires et les coûts d'entretien, atteint près de 4 360 000 \$.

L'option de recharge de plage sans épis permet d'éviter tous les coûts liés à l'érosion et à la submersion une fois implantée. Toutefois, étant donné les délais d'implantation d'une telle mesure, les dommages associés à l'aléa de submersion ont été comptabilisés jusqu'en 2017 pour un total de 501 968 \$, alors que ceux liés à l'érosion sont estimés à 27 922 \$ pour cette même période. Finalement, les dommages aux infrastructures publiques au cours de ces trois années devraient s'élever à 15 515 \$.

La recharge de plage va également obstruer la vue des riverains causant des pertes de vue sur la mer chiffrées à 132 953 \$.

Ainsi, les coûts totaux pour la recharge de plage s'élèvent à environ 5 036 992 \$ en dollars de 2012 actualisés à 4 %. L'annexe E présente les coûts annuels par catégorie.

iv) Coûts liés à la recharge de plage avec épis

Les coûts liés à la recharge de plage avec épis sont très similaires à ceux de la recharge sans épis. Les principales différences proviennent de la réduction dans la fréquence des entretiens de même que des coûts de construction initiaux supérieurs. Le coût sur l'horizon temporel considéré de la mise en place et de l'entretien de la recharge avec épis s'élève à environ 2 810 000 \$.

Les coûts associés à la submersion sont les mêmes que ceux associés à la recharge de plage sans épis et sont de 501 968 \$. C'est aussi le cas pour les pertes de terrain liées à l'érosion de même que les coûts des dommages aux infrastructures publiques, représentant respectivement une somme actualisée de 27 922 \$ et de 15 515 \$. La recharge de plage avec épis va également obstruer la vue des riverains causant des pertes de vue sur la mer chiffrées à 132 953 \$.

Les coûts totaux pour la recharge de plage avec épis s'élèvent ainsi à 3 488 366 \$ en dollars de 2012 actualisés à 4 %. L'annexe E présente les coûts annuels par catégorie.

v) Coûts liés à l'immunisation et relocalisation stratégique

Les coûts de l'immunisation et de la relocalisation stratégique sont essentiellement liés à l'ampleur de l'option elle-même qui nécessite le déménagement de 16 bâtiments à des horizons temporels différents, en plus de l'immunisation de 7 autres. À chaque changement de niveau d'eau soit en 2030 et 2055, une réévaluation est faite pour évaluer si le bâtiment doit être immunisé.

Le coût total de mise en œuvre de l'immunisation et de la relocalisation stratégique s'élève ainsi à environ 1 435 670 \$ en dollars actualisés. Ces coûts n'incluent pas les coûts associés à la perte de vue et d'accès à la mer, de même que la perte de valeur économique des terrains qui sont respectivement de 202 702 \$ et 262 992 \$. Les dégâts de submersion représentent, sur l'horizon 2015-2064, une somme actualisée de 1 886 926 \$.

Par ailleurs, des coûts reliés à la perte de terrain sont également engrangés et sont de l'ordre de 114 824 \$. Des coûts de 203 238 \$ sont aussi à considérer afin de tenir compte des dégâts aux infrastructures publiques lors de tempêtes.

Ainsi, les coûts totaux de l'immunisation combinée à la relocalisation stratégique sont d'environ 4 106 353 \$ en dollars de 2012 actualisés à 4 %. L'annexe E présente les coûts annuels par catégorie.

6.3.2 Calcul des avantages sur 50 ans

Les options d'adaptation étudiées dans le segment Pointe-Verte Ouest ne génèrent pas d'avantages particuliers en termes environnementaux ou touristiques. Cependant, des avantages sociaux sont pris en compte dans le cas des recharges de plage avec ou sans épis. Certes, elles permettent d'obtenir un gain d'usage du littoral de 8 503 \$ par année, ce qui représente un gain actualisé de 165 430 \$. Autrement, les principaux avantages des options sont équivalents aux coûts évités en matière d'érosion et de submersion en comparaison à la non-intervention.

6.3.3 Valeur actualisée nette et comparaison des options

Pour chacune des options d'adaptation étudiées, en utilisant les coûts quantifiés et monétisés auparavant, la valeur actualisée nette a été calculée. La ventilation des VAN de chaque option d'adaptation est présentée dans la figure 6.4 et le tableau 6.4

La recharge de plage avec épis est l'option qui obtient la VAN la plus élevée par rapport à la non-intervention. Plus spécifiquement, la recharge de plage avec épis et l'immunisation et la relocalisation stratégique présentent respectivement des avantages de 1 216 170 \$ et de 433 253 \$ par rapport à a non-intervention alors que la recharge de plage sans épis et le mur de béton présentent respectivement des coûts supérieurs de 331 956 \$ et de 5 214 655 \$ respectivement.

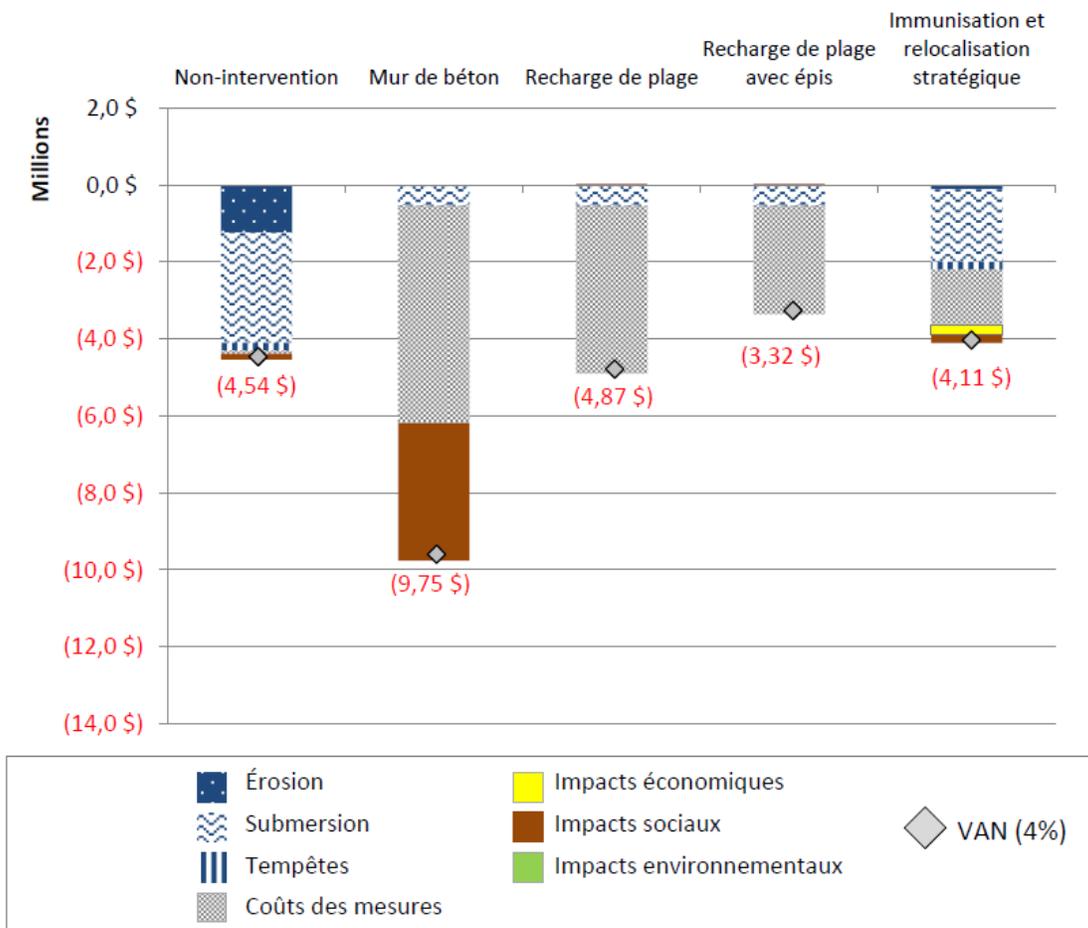


Figure 6.4 – Ventilation des couts nets actualisés et VAN (4 %) – Pointe-Verte Ouest

Tableau 6.4 – Coûts actualisés nets – Pointe-Verte Ouest

Impacts annualisés nets	Non-intervention	Mur de béton	Recharge de plage	Recharge de plage avec épis	Immunisation et relocalisation stratégique
Érosion*	(1 244 489 \$)	(27 922 \$)	(27 922 \$)	(27 922 \$)	(114 824 \$)
Submersion*	(2 864 872 \$)	(501 968 \$)	(501 968 \$)	(501 968 \$)	(1 886 926 \$)
Coûts des mesures	(72 735 \$)	(5 643 603 \$)	(4 358 633 \$)	(2 810 008 \$)	(1 435 670 \$)
Impacts économiques	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	(262 992 \$)
Impacts environnementaux	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
Impacts sociaux	(154 271 \$)	(3 565 252 \$)	32 477 \$	32 477 \$	(202 702 \$)
Tempêtes*	(203 238 \$)	(15 515 \$)	(15 515 \$)	(15 515 \$)	(203 238 \$)
VAN	(4 539 606 \$)	(9 754 261 \$)	(4 871 562 \$)	(3 322 936 \$)	(4 106 353 \$)
Avantages p/r à la non-intervention		(5 214 655 \$)	(331 956 \$)	1 216 670 \$	433 253 \$

*« Érosion » et « Submersion » incluent les dommages aux bâtiments et terrains; « Tempêtes » inclut les dommages aux infrastructures publiques.

6.4 SENSIBILITÉ DES RÉSULTATS

L'objectif de cette analyse est d'examiner la robustesse de la VAN suite à la modification d'hypothèses clés. Pour ce segment, les paramètres modifiés sont le taux d'actualisation, les niveaux d'eau extrêmes, la valeur d'usage du littoral et le moment où a lieu l'immunisation des bâtiments. Le tableau 6.5 résume les analyses de sensibilité qui ont été réalisées.

Tableau 6.5 – Paramètres des analyses de sensibilité – Pointe-Verte Ouest

Paramètre	Variation
Taux d'actualisation	± 2 %
Niveaux d'eau extrêmes	+50 cm
Valeur d'usage du littoral	+50 %
Immunisation reportée	À mi-périodes, soit en 2022, 2042, 2059, plutôt qu'au début de la période, soit en 2015, 2035 et 2055

Les résultats de l'analyse de sensibilité sont présentés ci-après, et ce, pour chaque modification d'hypothèses indiquée au tableau 6.5.

6.4.1 Taux d'actualisation

Pour ce qui est du taux d'actualisation, une variation de ce dernier affecte la VAN de toutes les options. Le tableau 6.6 illustre l'impact du changement de taux d'actualisation sur les résultats de l'ACA pour le segment Pointe-Verte Ouest.

L'application d'un taux d'actualisation plus faible favorise la recharge de plage avec épis, avec un avantage net de 2,6 M\$ par rapport à la non-intervention. Notons que l'option de l'immunisation et relocalisation stratégique devient également plus avantageuse, puisque qu'elle offre un avantage net de 0,8 M\$ par rapport à la non-intervention. Ces résultats peuvent s'expliquer du fait que la recharge de plage avec épis permet d'éviter davantage de dommages de submersion en comparaison à l'immunisation et à la

relocalisation stratégique, dommages qui se produisent pendant toute la période d'étude. Ces dommages sont des coûts évités qui ont une plus grande valeur lorsque le taux d'actualisation est faible.

Tableau 6.6 – Variation de la VAN avec un taux d'actualisation de 2 % et 6 % – Pointe-Verte Ouest

Options d'adaptation	Taux d'actualisation		
	2 %	4 % (base)	6 %
VAN non-intervention	(6 161 802 \$)	(4 539 606 \$)	(3 522 980 \$)
VAN mur de béton	(12 371 364 \$)	(9 754 261 \$)	(8 149 350 \$)
VAN recharge de plage	(6 425 617 \$)	(4 871 562 \$)	(3 948 295 \$)
VAN recharge de plage avec épis	(3 573 123 \$)	(3 322 936 \$)	(3 122 951 \$)
VAN immunisation et relocalisation stratégique	(5 330 986 \$)	(4 106 353 \$)	(3 337 999 \$)
Mur de béton – Avantage net par rapport à la non-intervention	(6 208 562 \$)	(5 214 655 \$)	(4 626 371 \$)
Recharge de plage – Avantage net par rapport à la non-intervention	(263 816 \$)	(331 956 \$)	(425 315 \$)
Recharge de plage avec épis – Avantage net par rapport à la non-intervention	2 588 679 \$	1 216 670 \$	400 029 \$
Immunisation et relocalisation stratégique – Avantage net par rapport à la non-intervention	830 816 \$	433 253 \$	185 092 \$

En appliquant un taux d'actualisation plus élevé (6 %), l'importance relative des flux monétaires futurs diminue. Cela fait diminuer les avantages nets de la recharge de plage et de l'immunisation et relocalisation stratégique, sans toutefois les rendre moins avantageuse économiquement que la non-intervention. Somme toute, la variation du taux d'actualisation n'a pas d'effet sur l'ordre des options privilégiées dans le segment Pointe-Verte Ouest.

6.4.2 Niveaux d'eau extrêmes

Comme indiqué au segment précédent, la projection des niveaux d'eau extrêmes et leurs périodes de retour est un exercice qui comporte plusieurs incertitudes. Afin de mettre en perspective ces incertitudes, les niveaux d'eau extrêmes retenus pour les fins de l'analyse ont été augmentés de 50 cm par rapport aux hypothèses de base de l'ACA.

Cette analyse de sensibilité a une limite importante, car il est possible que les options d'adaptation étudiées ne soient plus suffisantes pour protéger contre des niveaux d'eau extrêmes augmentés de 50 cm. Néanmoins, cette analyse a l'avantage de comparer les résultats dans un contexte où les dommages associés à la submersion seraient beaucoup plus élevés. D'ailleurs, les dommages aux bâtiments en raison de la submersion augmentent alors de 72 % dans le cas de la non-intervention. Le tableau 6.7 présente l'impact de cette augmentation sur la VAN de chaque option ainsi qu'en comparaison avec l'option de non-intervention.

Tableau 6.7 – Variation de la VAN avec l'augmentation des niveaux d'eau extrêmes de +50 cm – Pointe-Verte Ouest

Options d'adaptation	Hypothèses de base	Submersion +50cm
VAN non-intervention	(4 539 606 \$)	(6 606 034 \$)
VAN mur de béton	(9 754 261 \$)	(11 059 663 \$)
VAN recharge de plage	(4 871 562 \$)	(5 126 736 \$)
VAN recharge de plage avec épis	(3 322 936 \$)	(3 578 110 \$)
VAN immunisation et relocalisation stratégique	(4 106 353 \$)	(4 739 308 \$)
Mur de béton – Avantage net par rapport à la non-intervention	(5 214 655 \$)	(4 453 629 \$)
Recharge de plage – Avantage net par rapport à la non-intervention	(331 956 \$)	1 479 298 \$
Recharge de plage avec épis – Avantage net par rapport à la non-intervention	1 216 670 \$	3 027 924 \$
Immunisation et relocalisation stratégique – Avantage net par rapport à la non-intervention	433 253 \$	1 866 726 \$

Les dommages matériels anticipés sur les bâtiments présents dans le segment en raison de la submersion augmentent de près de 72 % dans le cas de la non-intervention. De façon générale, toutes les options d'adaptation accroissent leur avantage net par rapport à la non-intervention. La hausse n'est pas suffisante pour que le mur de béton devienne une option privilégiée, mais la recharge de plage sans épis est plus avantageuse que la non-intervention dans de telles conditions. Quant à la recharge de plage avec épis et l'immunisation combinée à la relocalisation stratégique, leur avantage net a bondit de 149 % et 330 % respectivement.

Ainsi, plus les projections de dommages causés par la submersion sont pessimistes, plus la réalisation d'une recharge de plage avec épis et l'option d'immunisation et de relocalisation stratégique sont justifiées. La recharge de plage avec épis demeure tout de même l'option la plus avantageuse économiquement.

6.4.3 Valeur d'usage du littoral

Puisque la valeur d'usage du littoral à Maria a été obtenue en procédant à un transfert d'avantages, cette valeur comporte une part d'incertitude. Essentiellement, une variation de la valeur d'usage du littoral modifie la VAN du mur de béton et de la recharge de plage avec ou sans épis. Ces options d'adaptation, de par leur intervention sur le littoral, vont soit empêcher (mur) ou bonifier (recharge) l'accès au littoral. Pour évaluer la robustesse des résultats obtenus par rapport à une variation de cette hypothèse, la valeur d'usage du littoral a été augmentée de 50 %, passant de 161 558 \$ à 242 337 \$ annuellement. Les gains d'usage du littoral pour les recharges de plage passent, quant à eux, de 8 503 \$ à 12 755 \$ annuellement. L'effet sur la VAN de chaque option est présenté au tableau 6.8.

La variation de la valeur d'usage du littoral augmente les coûts nets du mur de béton par rapport à la non-intervention. Par contre, cette variation améliore légèrement l'avantage net de la recharge de sable avec épis par rapport à la non-intervention. L'ordonnance des options n'est pas modifiée.

Tableau 6.8 – Variation de la VAN avec hausse de la valeur d'usage du littoral de 50 % – Pointe-Verte Ouest

Options d'adaptation	Hypothèses de base	Valeur d'usage du littoral +50 %
VAN non-intervention	(4 539 606 \$)	(4 539 606 \$)
VAN mur de béton	(9 754 261 \$)	(11 325 844 \$)
VAN recharge de plage	(4 871 562 \$)	(4 788 847 \$)
VAN recharge de plage avec épis	(3 322 936 \$)	(3 240 221 \$)
VAN immunisation et relocalisation stratégique	(4 106 353 \$)	(4 106 253 \$)
Mur de béton – Avantage net par rapport à la non-intervention	(5 214 655 \$)	(6 786 238 \$)
Recharge de plage – Avantage net par rapport à la non-intervention	(331 956 \$)	(249 241 \$)
Recharge de plage avec épis – Avantage net par rapport à la non-intervention	1 216 670 \$	1 299 384 \$
Immunisation et relocalisation stratégique – Avantage net par rapport à la non-intervention	433 253 \$	433 253 \$

6.4.4 Immunisation retardée

La construction des scénarios de niveaux d'eau extrêmes est basée sur trois horizons temporels où les niveaux atteints augmentent de manière incrémentale à mesure que le niveau de la mer augmente. Dans le cas de l'immunisation et de la relocalisation stratégique, la règle d'immunisation (ou de relocalisation¹³) repose sur une évaluation de la vulnérabilité des infrastructures à un épisode de submersion de 20 ans de récurrence. Par conséquent, l'intervention est déclenchée sur la base d'une vulnérabilité observée

¹³ Dans le cas où un bâtiment devrait être immunisé en raison de la submersion, alors qu'il doit être déménagé plus tard dans l'horizon temporel en raison de l'érosion.

plutôt que sur la réalisation d'un évènement de tempête. La méthodologie d'analyse utilisée concentre la relocalisation et l'immunisation en 2015, 2030 et 2055. Or, le positionnement de ces options à des dates précises influence potentiellement le résultat de l'ACA. Afin de vérifier la robustesse des résultats pour la relocalisation stratégique et l'immunisation, l'année où l'immunisation est déclenchée a été fixée au milieu des trois horizons temporels analysés, soit 2022, 2042 et 2059. Les résultats de cette variation sont consignés dans le tableau 6.9.

Tableau 6.9 – Variation de la VAN avec le report de l'immunisation – Pointe-Verte Ouest

Options d'adaptation	Hypothèses de base	Immunisation retardée (2022, 2042 et 2059)
VAN non-intervention	(4 539 606 \$)	(4 539 606 \$)
VAN mur de béton	(9 754 261 \$)	(9 754 261 \$)
VAN recharge de plage	(4 871 562 \$)	(4 871 562 \$)
VAN recharge de plage avec épis	(3 322 936 \$)	(3 322 936 \$)
VAN immunisation et relocalisation stratégique	(4 106 353 \$)	(4 361 312 \$)
Mur de béton – Avantage net par rapport à la non-intervention	(5 214 655 \$)	(5 214 655 \$)
Recharge de plage – Avantage net par rapport à la non-intervention	(331 956 \$)	(331 956 \$)
Recharge de plage avec épis – Avantage net par rapport à la non-intervention	1 216 670 \$	1 216 670 \$
Immunisation et relocalisation stratégique – Avantage net par rapport à la non-intervention	433 253 \$	178 294 \$

Le report de l'immunisation modifie quelque un peu les résultats de l'ACA. En retardant l'intervention, l'immunisation et la relocalisation stratégique génère une VAN d'un peu moins de - 4,4 M\$. Cette baisse se reflète directement dans l'avantage net de cette option par rapport à la non-intervention, soit une baisse de 0,4 M\$ à 0,2 M\$. Cette

analyse ne change toutefois pas le positionnement des options d'adaptation établi sous l'hypothèse de base; la recharge de plage avec épis reste l'option d'adaptation privilégiée.

6.4.5 Synthèse de l'analyse de sensibilité

Le tableau 6.10 présente un sommaire des résultats des analyses de sensibilité qui ont été réalisées. Essentiellement, les analyses de sensibilité montrent que la recharge de plage avec épis est l'option la plus avantageuse économiquement selon les hypothèses de base et lorsque celles-ci sont modifiées. La capacité de la recharge avec épis à minimiser les dommages de submersion est davantage valorisée lorsque le taux d'actualisation est réduit ou que les niveaux d'eau extrêmes sont augmentés de 50 cm. Dans toutes les situations, il est plus rentable d'agir que de ne rien faire.

Tableau 6.10 – Options les plus avantageuses selon les analyses de sensibilité – Pointe-Verte Ouest

Hypothèse modifiée	Option la plus avantageuse
Hypothèses de base	Recharge de plage avec épis
Taux d'actualisation de 2 %	Recharge de plage avec épis
Taux d'actualisation de 6 %	Recharge de plage avec épis
Niveaux d'eau extrêmes +50 cm	Recharge de plage avec épis
Valeur d'usage du littoral +50 %	Recharge de plage avec épis
Immunsation retardée	Recharge de plage avec épis

6.5 CONCLUSION

Le segment Pointe-Verte Ouest est un front de mer typique de la baie des Chaleurs. Historiquement, le secteur abritait essentiellement des résidences d'été. Au fil des ans, le cadre bâti a évolué à mesure que les chalets laissaient place à des résidences permanentes de plus grande valeur. Aujourd'hui, ce secteur est très vulnérable aux aléas côtiers de submersion et d'érosion.

L'ACA réalisée sur différentes options d'adaptation envisageables dans ce secteur suggère que la recharge de plage avec épis est à privilégier au plan économique. Toutes les analyses de sensibilité réalisées semblent confirmer cette conclusion, car les résultats sont robustes. Toutefois, compte tenu de l'interdépendance des segments à l'étude à Maria, le choix de cette option sera davantage approfondi au chapitre 8 portant sur l'analyse systémique.



7 SEGMENT POINTE-VERTE EST

7.1 DESCRIPTION GÉNÉRALE

Le segment Pointe-Verte Est est borné à l'ouest par le début du segment en accrétion et à l'est par la fin de la flèche littorale de la Pointe Verte (figure 7.1). La longueur de la côte dans ce segment est de 590 mètres, en incluant la portion arrière de la flèche littorale.

La valeur totale des bâtiments situés dans ce segment est d'environ 1 M\$ (tableau 7.1). La zone la plus à risque se concentre sur la rue des Tournepierres, qui est bâtie jusqu'au rond-point au bout de la rue, desservant 9 bâtiments principaux, en majorité des résidences. À cet endroit, la municipalité a installé un pavillon qui sert de site d'interprétation de la faune et de la flore pour le marais maritime contiguë au segment. Le bout de la flèche est encore à l'état naturel et tend à s'allonger avec l'apport de sédiments provenant des secteurs à l'ouest. L'ensemble de la flèche est extrêmement dynamique puisqu'elle subit également l'influence des crues de la rivière Verte.

Tableau 7.1 – Nombre et valeur des bâtiments à risque – Pointe-Verte Est

Type de bâtiments	Nombre	Valeur foncière 2014
Résidence principale	7	796 609 \$
Commercial	2	146 748 \$
Total	9	943 357 \$

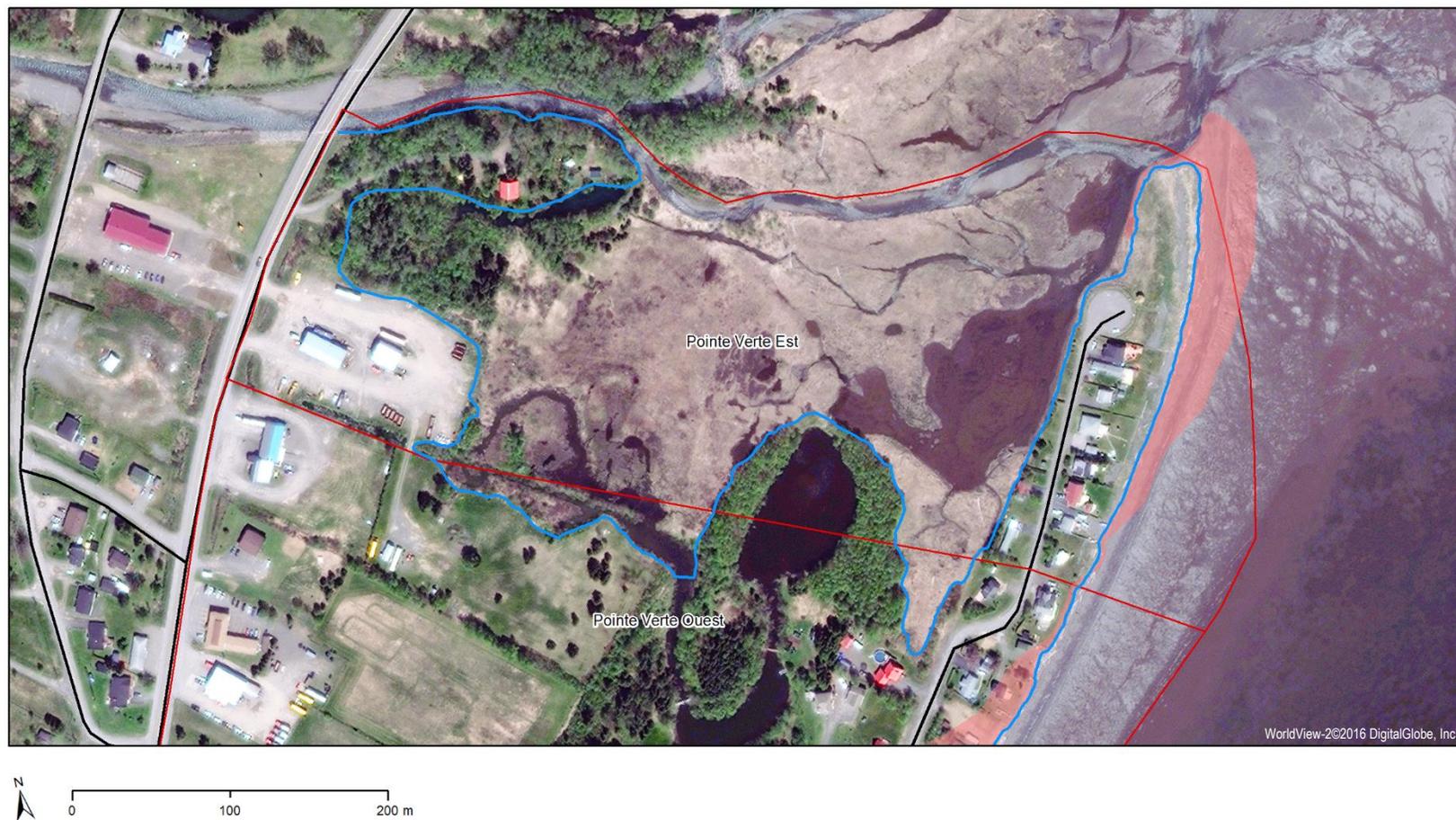


Figure 7.1 – Évolution projetée de la côte jusqu'en 2064 – Pointe-Verte Est

Les bâtiments de ce segment ont accès aux services municipaux d'aqueduc et d'égouts. Dans sa portion nord, le secteur longe la route 132 où quelques commerces sont situés. Ce secteur est plus vulnérable aux aléas de la rivière Verte qu'aux aléas côtiers.

Le secteur derrière la flèche littorale est un vaste marais saumâtre qui accueille une faune et une flore diversifiée. Le marais qui s'étend sur tout l'estuaire de la rivière Verte est un site d'oiseau migrateur reconnu (Comité ZIP Baie-des-Chaleurs, 2006). Du côté des usages, ils sont essentiellement privés, sauf pour le parc de la Pointe-Verte qui est de propriété municipale. Ce site d'interprétation est un lieu pour l'observation ornithologique, la pêche récréative et le nautisme léger.

7.1.1 Problématique

Ce secteur est caractérisé par sa dynamique de flèche littorale. La charge sédimentaire provenant de l'ouest y ralentit et s'accumule : 56 % du segment est en accrétion, à une vitesse historique de +0,51 m/an. L'érosion n'est donc pas une menace pour les infrastructures situées sur cette portion de côte.

Par contre, selon Fraser et Bernatchez (2006), il existe une relation entre cette accrétion et la mise en place des structures de protection dans les segments précédents :

« Cette corrélation pourrait s'expliquer par l'accélération des courants de dérive qui déplacent plus rapidement les sédiments vers l'est. Un apport sédimentaire accru de la rivière Verte pourrait aussi expliquer l'élargissement rapide de la flèche. Étant donné le bilan sédimentaire négatif, le système est fragile et réagit plus rapidement aux événements météorologiques extrêmes ainsi qu'aux interventions anthropiques sur le littoral. Il est possible que les secteurs actuellement stables ou en accumulation deviennent à leur tour en érosion. » (Fraser et Bernatchez, 2006, p. 30)

En raison de la vitesse des apports à la Pointe-Verte, les sédiments fraîchement déposés sont peu végétalisés et sont donc très sensibles aux vagues de tempêtes, qui peuvent entraîner des reculs événementiels jusqu'à -17,2 m.

La flèche abrite par ailleurs un marais maritime, qui coïncide aussi avec la décharge de la rivière Verte. Le secteur est à 95 % naturel, alors qu'un seul court enrochement protège le stationnement sur le côté intérieur de la flèche. La protection des enjeux bâtis

dépend de l'intégrité de la plage, qui agit comme une zone tampon dissipant l'énergie des vagues avant qu'elles n'atteignent les bâtiments. Par ailleurs, l'équilibre de cette zone est fortement dépendant des sources sédimentaires provenant des segments précédemment décrits. D'ailleurs, la forte proportion de structures artificielles mises en place dans les 2 dernières décennies en amont fait en sorte que les apports sédimentaires sont de plus en plus faibles (Bernatchez et Fraser, 2012).

Malgré ces éléments, la principale problématique de ce segment provient de la vulnérabilité du cadre bâti aux aléas de submersion. Le segment est particulièrement bas en altitude et est susceptible de subir l'effet des ondes de tempêtes à la fois par la portion littorale de sa côte et par sa portion fluviale (estuaire de la rivière Verte).

7.1.2 Option de non-intervention

L'option de non-intervention servant de référence dans cette étude suppose que l'évolution côtière des dernières années se perpétuera pour les 50 prochaines années. Cela implique une accrétion de la côte à un taux moyen de 51 cm par année. En considération de cette projection, la dynamique sédimentaire ne devrait pas causer de dommages aux bâtiments et aux infrastructures dans les 50 prochaines années.

En ce qui a trait à l'aléa de submersion, les projections de niveaux d'eau extrêmes proviennent de l'analyse des récurrences des données historiques de niveaux d'eau et de vagues auxquels la hausse du niveau marin a été ajoutée.

Les épisodes de submersion généreront des dommages aux infrastructures présentes dans ce segment. Toutefois, il est supposé que les propriétaires répareront les dommages à chaque submersion. En d'autres mots, dans l'option de non-intervention, la submersion n'entraînera pas la démolition du bâtiment, elle causera plutôt des dommages en fonction des hauteurs d'eau atteintes par les épisodes de submersion.

7.1.3 Options d'adaptation

Les options d'adaptation étudiées pour ce segment visent à réduire les impacts de la submersion sur l'environnement bâti dans le secteur. Considérant le type de côte de ce segment, les options d'adaptation envisagées sont de trois types :

i) Structures côtières rigides

Étant donné le positionnement des bâtiments dans le secteur et la problématique qui sévit, l'option étudiée en matière de structures côtières rigides consiste en une combinaison d'un mur de béton et d'une digue. La Pointe Verte est particulièrement vulnérable aux épisodes de submersion, car les ondes de tempêtes viennent à la fois rehausser le niveau de l'eau côté mer de même que dans l'estuaire de la rivière Verte. Un système de protection efficace contre les niveaux d'eau extrêmes doit donc rendre tout le secteur étanche. Pour y arriver, il est proposé d'installer un mur de béton d'une hauteur de 6 m pour la portion littorale combinée à une digue ayant une crête à 6 mètres du côté de l'estuaire de la rivière Verte (voir figures 7.2, 7.3 et 7.4).

Tel que présenté à la figure 7.4, la portion digue serait composée d'un cœur étanche recouvert d'une membrane de géotextile et d'un revêtement en pierre de carapace de fort calibre (Baird, 2015). Un système de drainage et de pompage adéquat assurerait l'évacuation des eaux de pluie en dehors de la zone endiguée.

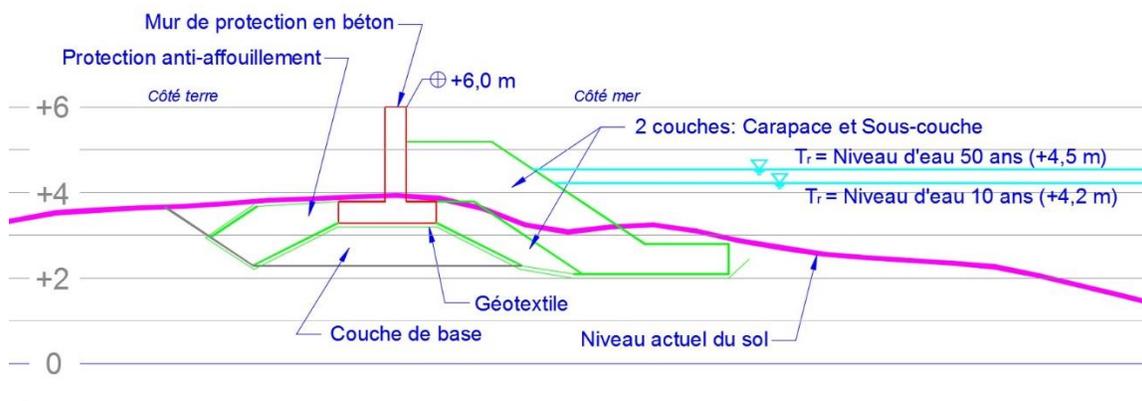
Plus globalement, il est à noter que pour que cette mesure d'étanchéité de la côte soit efficace, elle doit obligatoirement s'inscrire dans un système de défense étanche sur l'ensemble de la Pointe-Verte. Si ce n'est pas le cas, lors des tempêtes, l'eau pourrait déferler dans les terres des segments non protégés et s'écouler vers les segments adjacents.

Il est important de noter qu'initialement deux options avaient été considérées pour la digue (voir figure 7.2), soit une option directe construite à l'intérieur du marais et une option indirecte longeant les berges du marais. Seule l'option indirecte est étudiée dans cette ACA, car c'est l'option parmi les deux considérées qui minimise les impacts potentiels dans le marais.



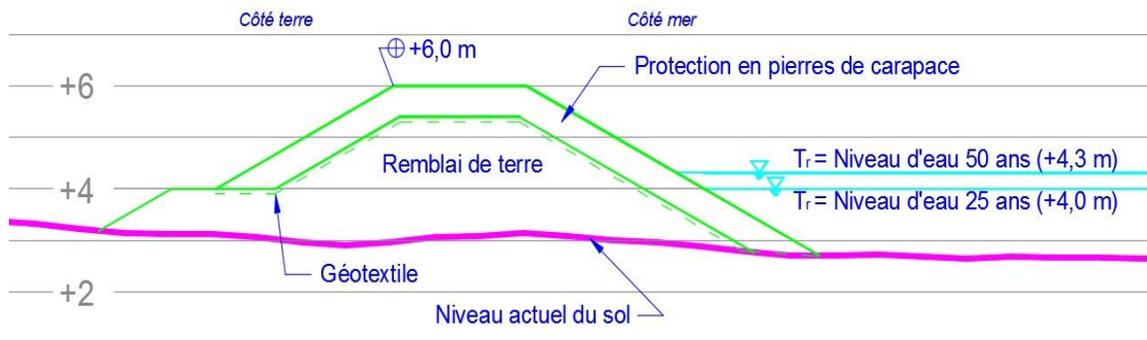
Tiré de Baird, 2015

Figure 7.2 – Tracés des options d'adaptation étudiées sur la Pointe Verte



Tiré de Baird, 2015

Figure 7.3 – Coupe-type du mur de béton – Pointe-Verte Est



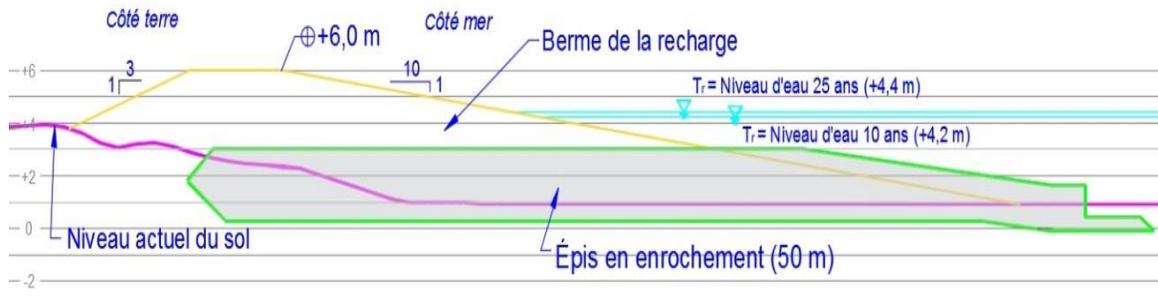
Tiré de Baird, 2015

Figure 7.4 – Coupe-type de la digue– Pointe-Verte Est

ii) Structures côtières mobiles

Considérant la dynamique côtière du milieu, la protection contre les épisodes de submersion par une recharge de plage est également envisageable dans ce segment. Une recharge de plage permettrait d'atténuer l'effet du jet de rive et de réduire substantiellement les dommages causés par les épisodes de submersion. Les analyses préliminaires suggèrent qu'entre 100 et 150 m³ de sédiments seraient nécessaires par mètre linéaire de côte. Pour le segment Pointe-Verte Est, la recharge de plage serait accompagnée d'épis qui viendraient stabiliser les sédiments et accroître la durée de vie de la recharge à 25 ans. Sur un horizon de 50 ans, il faut donc envisager faire une recharge complète après 25 ans.

La figure 7.5 présente la coupe-type d'une recharge de plage avec épis qui s'appliquerait sur le littoral de Pointe-Verte Est. Considérant les niveaux d'eau extrêmes prévus, la conception préliminaire suggère que la crête de la recharge devrait atteindre 6 mètres de haut.



Tiré de Baird, 2015

Figure 7.5 – Coupe-type d'une recharge de plage avec épis – Pointe-Verte Est

Une recharge de plage sans épis est également envisageable dans ce segment. Toutefois, une telle recharge aurait une durée de vie plus courte, étant donné que le matériel qui est déposé sur la plage peut circuler plus facilement et donc s'éroder plus rapidement.

Selon la conception préliminaire, l'absence d'épis entraînerait une perte de matériel de l'ordre de 10 m³/année par mètre linéaire. Ces pertes signifient que le matériel devra être réaménagé ou qu'une nouvelle recharge devra avoir lieu tous les 10 à 15 ans.

iii) Immunisation des actifs

L'immunisation permet de limiter la vulnérabilité des bâtiments aux épisodes de submersion. L'immunisation proposée se ferait sur le même terrain et consisterait essentiellement à remblayer le terrain à une élévation suffisante pour éviter les dommages de submersion.

Comme expliqué dans les segments précédents, le déclencheur d'immunisation est activé lorsque le niveau d'eau extrême engendré par une tempête de récurrence 20 ans peut atteindre le rez-de-chaussée d'un bâtiment. Une fois ce seuil atteint, le bâtiment doit être immunisé. Dans ce segment de Maria, seuls deux bâtiments doivent être immunisés selon ce critère.

7.1.4 Impacts appréhendés

Les impacts appréhendés sont de deux types. D'une part, les impacts directs sont associés aux aléas côtiers. Ils comprennent essentiellement l'ensemble des dommages causés aux bâtiments et terrains, de même que le coût de nettoyage des débris et des interventions d'urgence suite aux épisodes de submersion. D'autre part, les impacts indirects, quant à eux, touchent les impacts découlant des options d'adaptation. Ces impacts peuvent être de nature économique, environnementale ou sociale.

Le tableau 7.2 compare les impacts appréhendés des cinq options étudiées dans le cadre de cette analyse coûts-avantages, soit la non-intervention (NI), le mur de béton et la digue (MB/D), la recharge de plage avec épis (RPE), la recharge de plage (RP) et l'immunisation (I).

La protection offerte par le mur de béton et la digue permet d'éviter l'ensemble des impacts liés à la submersion. Les recharges de plage, pour leur part, permettent d'éliminer la submersion provenant de la mer, mais ne peuvent empêcher l'inondation par l'estuaire de la rivière Verte. Ainsi, il est anticipé que les niveaux d'eau atteints lorsque la recharge est mise en place soient équivalents au niveau d'eau marégraphique en incluant la surcote de tempête, mais en excluant le jet de rive. Quant à l'immunisation, bien qu'elle ne freine pas directement les ondes de tempêtes, elle élimine, malgré tout, les dommages aux bâtiments qui sont immunisés.

Tableau 7.2 – Comparaison des impacts appréhendés selon les options d'adaptation – Pointe-Verte Est

Catégorie	Type d'impacts	NI	MB/D	RPE	RP	I
Impacts liés à l'érosion et à la submersion	1. Dommages aux bâtiments résidentiels	X				X
	2. Dommages ou pertes d'infrastructures publiques	X				X
	3. Nettoyage des débris	X				X
	4. Intervention d'urgence	X				
Impacts environnementaux	5. Perturbation de milieux humides, de marais et d'estuaires		X			
	6. Perturbation d'un site d'oiseaux migrateurs		X			
	7. Modification d'habitats naturels		X	X	X	
	8. Perturbation de frayères à poissons		X	X	X	
Impacts sociaux	9. Qualité de vie (anxiété, insécurité, dérangement)	X				
	10. Perte ou gain d'accès ou de vue sur la mer	X	X	X	X	
	11. Modification de la valeur de l'usage du littoral		X	X	X	

NI : Non-intervention; MB/D : Mur de béton/Digue; RPE : Recharge de plage avec épis; RP : Recharge de plage; I : Immunisation.

Le segment Pointe-Verte Est est une zone environnementale extrêmement riche en raison de la présence du marais saumâtre qui borde l'estuaire de la rivière Verte. Les interventions sur le littoral, en particulier la mise en place d'une digue pourrait modifier substantiellement la dynamique de cet habitat. L'estuaire de la rivière Verte est une aire de concentration d'oiseaux aquatiques, une aire de repos d'oiseaux migrateurs, une aire de nidification importante pour de multiples oiseaux, dont le pluvier. Pour toutes ces raisons, le site est considéré comme un marais à valeur écologique exceptionnelle (Pesca, 2014).

En ce qui concerne la zone littorale, celle-ci est considérée comme une frayère à poisson pélagique (hareng et maquereau) et la pêche y est interdite. De la pêche commerciale a aussi lieu dans la zone pré-littorale. Bien que la non-intervention et l'immunisation n'auraient pas d'effet sur le milieu naturel, l'option du mur de béton, en faisant disparaître graduellement la plage, pourrait nuire à l'habitat de certaines espèces. De la même façon, la recharge de plage (avec ou sans épis), en empiétant sur la zone littorale, pourrait perturber l'habitat naturel qui y est présent actuellement.

Au niveau des enjeux sociaux, l'effet du risque lié aux tempêtes nuit sensiblement à la qualité de vie des riverains. L'ensemble des options d'adaptation viendrait modifier le niveau de risque et incidemment la qualité de vie des résidents. Parallèlement à cette diminution du risque, certaines des options pourraient mener à une perte de vue ou d'accès à la mer. C'est notamment le cas de la mise en place d'un mur de béton et de la recharge de plage qui obstruera la vue des riverains.

Les impacts sociaux anticipés concernent également l'usage du littoral dans ce segment. En effet, le front de mer est une zone qui est utilisée par les propriétaires riverains à des fins récréatives. Plus important encore, la zone de l'estuaire de la Pointe-Verte est un lieu possédant une valeur culturelle, éducative et récréative importante pour les citoyens de Maria. Au bout de la rue des Tournepierres, le poste d'interprétation de la nature accueille de nombreux visiteurs durant la saison estivale, notamment pour observer les oiseaux aquatiques et migrateurs. La mise en place de la digue viendrait potentiellement limiter l'accès à la zone de même que de réduire la valeur d'usage du littoral en modifiant la richesse de cet écosystème. Toutefois, la conception de la digue pourrait incorporer des aménagements récréatifs, dont un observatoire relié par une rampe d'accès permettant une vue sur l'ensemble du marais.

7.2 ESTIMATION MONÉTAIRE DES IMPACTS

7.2.1 Impacts directs

L'estimation monétaire des impacts liés à la submersion fait partie de l'évaluation globale des coûts et des avantages. En fait, les coûts de la submersion associés à la non-intervention correspondent aux avantages qu'offrent les options d'adaptation,

puisque celles-ci visent à éviter les dommages liés aux épisodes de submersion. En monétisant ces impacts directs, cela permet de mettre en perspective les enjeux relatifs aux infrastructures à risque si aucune mesure n'est mise en place. À moins d'avis contraire, tous les impacts présentés dans les paragraphes qui suivent sont associés à la situation de non-intervention et sont en dollars de 2012, actualisés à 4 %.

i) Dommages aux bâtiments résidentiels

Les dommages aux bâtiments résidentiels découlent des impacts de l'aléa côtier de submersion. L'estimation de ces dommages est réalisée grâce à la méthode présentée à la section 3.3.4. En appliquant cette méthodologie, on estime que la valeur totale des dommages anticipés pour les événements de submersion dans le segment Pointe-Verte Est s'élève à 817 503 \$ en dollars de 2012, actualisés à 4 %.

ii) Dommages ou pertes d'infrastructures publiques lors des tempêtes

L'ensemble des bâtiments présents dans le segment Pointe-Verte Est est desservi par les services publics d'aqueduc et d'égouts. Le système d'égouts de Maria est un système sous vide qui peut être problématique lors d'évènements de submersion.

Tel qu'expliqué dans les segments précédents, la portion des coûts totaux des services municipaux et autres infrastructures publiques de même que pour le nettoyage des débris applicables à ce segment s'élèvent à 47 729 \$, actualisés à 4 %.

iii) Coûts d'intervention d'urgence

Les coûts d'intervention d'urgence comprennent principalement les coûts associés à la prise en charge des sinistrés par les autorités. Cela peut comprendre les mesures d'évacuation lors de l'évènement de même que la mise en place des services d'hébergement des sinistrés et la préparation des repas.

Les informations recueillies à Maria suggèrent que ces montants ont été marginaux lors des épisodes de submersion qui se sont produits lors des dernières années. Considérant ces éléments, les coûts engendrés par les interventions d'urgence n'ont pas été quantifiés, ni considérés.

7.2.2 Impacts environnementaux

i) Modification d'habitats naturels

La côte du segment Pointe-Verte Est est composée d'une plage de galets, de sable et de boue. Selon la cartographie réalisée par le comité ZIP (2006), la zone pourrait être un secteur favorable à la fraie du hareng et du maquereau. La zone littorale abrite également le plus important herbier de zostère marine de la Gaspésie couvrant une bonne partie de la baie de Cascapédia. Il s'étend de Maria jusqu'à la marina de New Richmond. Selon Lemieux et Lalumière (1995), cet herbier couvrirait 1629 hectares. Toutefois, les inventaires récents suggèrent que la superficie est plus grande.

Faute de données suffisamment précises, il a été décidé de ne pas quantifier, ni évaluer les pertes que pourraient occasionner les perturbations des habitats naturels du côté mer. Celles-ci sont mentionnées à titre qualitatif et elles devront être estimées avec précision lors de la réalisation de l'étude d'impact environnement, si une telle étude est requise.

Cependant, du côté du marais de la rivière Verte, il est supposé que la mise en place de la digue diminuerait la superficie de cet écosystème. Dans le cadre de cette ACA, le rôle important que joue le marais comme zone de refuge pour une faune et une flore riche et diversifiée a été pris en compte. La perte d'une partie de cet habitat par la mise en place de la digue viendrait diminuer la superficie totale du marais, donc de la valeur des biens et services écosystémiques qui sont fournis par le marais. La perte de valeur écologique est fonction de la perte de service de refuge fourni par un marais saumâtre défini comme :

« contiguous 'patches' of landscape with sufficient area to hold naturally functioning ecosystems support a diversity of plant and animal life. As patch size decreases, and as patches of habitat become more isolated from each other, population sizes can decrease below the thresholds needed to maintain genetic variation, withstand stochastic events (such as storms or droughts) and population oscillations, and meet "social requirements" like breeding and migration. Large contiguous habitat blocks, such as intact forests or wetlands, thus function as critical population sources for plant and

animal species that humans value for both aesthetic value and functional reasons.” (Costanza et al., 2006; p.5)

Les résultats d'une méta-analyse portant sur la valeur des milieux humides côtiers suggèrent que la fonction de refuge d'un marais semblable à celui de la Pointe-Verte s'établirait à 856 \$CAN de 2012 par hectare (Costanza et al., 2006). Sachant que l'empiètement de la digue dans la portion arrière de la Pointe-Verte serait de 1,2 hectare, la perte annuelle anticipée attribuable à la fonction de refuge du marais correspond à 1 027 \$. La valeur totale actualisée de la perte de services écologiques se chiffrerait donc à 19 984 \$ en dollars de 2012 actualisés à 4 %.

7.2.3 Impacts sociaux

i) Perte ou gain de vue sur la mer

La mise en place d'un mur de béton ou d'une recharge de plage (avec ou sans épis) de 6 mètres de haut dans le segment Pointe-Verte Est pourrait mener à la perte de vue et/ou d'accès à la mer de certains bâtiments résidentiels.

On a exposé dans les segments précédents la méthodologie utilisé pour établir la valeur de la vue et de l'accès. En utilisant cette méthode, la prime moyenne d'accès à la mer obtenue est de 19 131 \$ tandis que celle de la vue sur la mer est de 8 797 \$ par bâtiment. La mise en place des différentes options d'adaptation envisagées a des impacts sur ces deux dimensions. Par exemple, le mur de béton bloque à la fois l'accès et la vue sur la mer. Quant à la recharge de plage (avec ou sans épis) elle bloque la vue sur la mer, mais permet tout de même de garder un accès à celle-ci.

En considérant les différentes options d'adaptation et leur impact sur l'accès et la vue sur la mer, il est prévu que les coûts associés à ces deux composantes se chiffrent entre 54 000 \$ et 174 000 \$, selon les options d'adaptation (tableau 7.3).

Tableau 7.3 – Coûts associés à la perte ou gain de vue ou d'accès sur la mer – Pointe-Verte Est

Option d'adaptation	Coût
Non-intervention	nul
Mur de béton	173 800 \$
Recharge de plage (avec ou sans épis)	54 745 \$
Immunsation et relocalisation stratégique	nul

ii) Qualité de vie

L'influence des tempêtes sur la qualité de vie des gens vivant dans les zones à risque est une problématique qui est bien documentée (voir notamment Brisson et Richardson, 2009). Toutefois, l'évaluation monétaire de la réduction de l'insécurité est difficile et une étude plus poussée de l'aversion au risque des résidents et commerçants serait nécessaire afin d'y arriver. Ainsi, dans le cadre de cette analyse, il a été choisi de traiter seulement qualitativement cet impact en soulignant que toutes les options d'adaptation étudiées devraient améliorer à des niveaux variables la qualité de vie des résidents et des commerçants en diminuant l'insécurité.

iii) Modification de la valeur d'usage du littoral

La Pointe Verte Est est une zone à fort potentiel récréatif et éducatif. Le littoral offre une plage relativement douce aux résidents de Maria qui peuvent profiter du front de mer pour se promener, observer les oiseaux, se détendre, etc. Quant à la partie arrière de la flèche qui abrite un marais côtier avec une faune et une flore diversifiée, il est très utilisé par différents usagers, dont les groupes scolaires lors de sorties éducatives. Le lieu est également prisé par les ornithologues, car le site est un refuge d'oiseaux migrateurs et une aire de concentration d'oiseaux aquatiques (Comité ZIP Baie-des-Chaleurs, 2006).

D'une part, la mise en place de certaines options d'adaptation sur la partie mer du littoral de la Pointe-Verte Est pourrait venir diminuer l'accès à la mer. C'est notamment le cas du mur de béton qui créerait une frontière artificielle entre la terre et la mer. La verticalité

de la structure devrait également favoriser la disparition progressive de la plage et donc des usages qui en sont faits.

À partir des données d'achalandage recueillies sur d'autres segments dans la région, notamment au banc de St-Omer, la perte d'usage récréatif du littoral a été estimée. Dans le cas de la Pointe-Verte Est, la valeur annuelle estimée pour l'ensemble des résidents de Maria pour le segment Pointe-Verte Est est de 96 333 \$. Ce montant correspond à la perte de valeur anticipée suivant l'installation du mur de béton.

Quant à la recharge de plage (avec ou sans épis), elle devrait bonifier l'usage du littoral en élargissant la plage actuelle et en permettant un plus grand achalandage via une attractivité plus grande du site. L'estimation de la valeur supplémentaire de l'usage du littoral est basée sur les études réalisées en Angleterre sur un type de côte similaire (Polyzos et Minetos, 2007). Selon cette étude, la mise en place d'épis qui viennent favoriser le maintien des sédiments sur une plage érodée permet de bonifier l'usage récréatif du littoral de 5 % par rapport à une plage plus étroite. En appliquant cette bonification de l'usage à la recharge de plage (avec ou sans épis), la valeur totale actualisée à 4 % est égale à 98 641 \$.

En ce qui concerne l'usage récréatif et éducatif au niveau du marais, il est supposé que les options d'adaptation, à l'exception du mur de béton et digue, ne viendraient pas perturber l'accessibilité au site. Ainsi, aucune perte d'usage n'est comptabilisée. Pour l'option du mur de béton et de la digue, puisqu'il sera possible d'aménager des rampes d'accès de même que des postes d'observation, il est supposé que les usages faits actuellement dans cette zone ne seront pas perturbés, car la digue pourra servir au contraire à mieux observer ce riche environnement.

7.2.4 Estimation du coût des options d'adaptation

Le coût de chacune des options d'adaptation a été estimé à partir de consultations réalisées auprès d'experts dans le domaine.

L'immunisation consiste essentiellement à remblayer le terrain en plus de soulever et rehausser les fondations. Les coûts d'immunisation des bâtiments ont été estimés par la firme Héneault et Gosselin Inc. qui a effectué une visite à Maria. En considérant

l'ensemble des bâtiments devant faire l'objet d'une immunisation, le coût total associé à l'immunisation s'établit à 56 646 \$ en dollars de 2012 actualisés à 4 %. Ce montant est faible puisque seulement 2 résidences doivent être immunisées au cours de l'horizon d'étude.

Dans le cas du mur de béton et de la digue, le coût a été estimé en fonction des particularités du segment par la firme W.F. Baird & Associates Coastal Engineers, selon des critères de conception établis pour le site à l'étude (Baird, 2015). Le coût du mur de béton est de 6 700 \$ du mètre linéaire, alors que celui de la digue est de 2 200 \$ du mètre linéaire. À ces montants, il faut ajouter 10 % de frais d'ingénierie et de surveillance de chantier, 5 % pour les études préparatoires, de même que 30 % de contingence. Le mur de béton et la digue nécessitent également un entretien équivalent à 2-3 % des coûts de construction par année sur l'horizon de 50 ans. Le coût total de cette option en incluant l'ensemble des frais de construction et d'entretien est égal à 4 944 761 \$ en dollars de 2012 actualisés à 4 %.

Finalement, en ce qui concerne la recharge de plage, deux options sont possibles dans le cas du segment Pointe-Verte Est, soit une recharge avec ou sans épis. Les critères de conception sont similaires, notamment au niveau de la hauteur de la crête de la recharge et des quantités de matériel requis. C'est essentiellement au niveau de la durée de vie de la structure que ces deux options diffèrent au niveau des coûts. La recharge sans épis a une durée de vie moyenne de 12,5 ans, ce qui implique que sur l'horizon de 50 ans, 3 recharges complètes devront avoir lieu. En ce qui concerne la recharge avec épis, la stabilité des sédiments qui sont retenus dans les cellules de plage permet une durée de vie de l'ordre de 50 ans, soit quatre fois plus longue que la recharge sans épis. Cependant, elle nécessite un entretien annuel afin de redistribuer le matériel uniformément sur la côte et en ajouter de petites quantités au besoin. En fonction de ces éléments, les coûts respectifs de la recharge de plage sans épis et de la recharge de plage avec épis sont de 1 723 095 \$ et 1 097 482 \$ sur 50 ans, actualisés à 4 %.

7.3 ANALYSE COÛTS-AVANTAGES

Ce chapitre présente l'ensemble des coûts et avantages estimés sur un horizon temporel de 50 ans pour la non-intervention et chacune des options d'adaptation. Une comparaison des coûts et avantages est effectuée dans le cadre du calcul de la valeur actualisée nette et les résultats sont ensuite analysés.

7.3.1 Calcul des coûts sur 50 ans

Cette section se concentre sur les coûts totaux de la non-intervention et de la mise en œuvre de chacune des options d'adaptation en les présentant par solution proposée. À moins d'avis contraire, tous les coûts sont actualisés à un taux de 4 %.

i) Coûts liés à la non-intervention

Les coûts liés à la non-intervention concernent essentiellement les dommages encourus par la submersion. Puisque la méthodologie de calcul des dommages par la submersion est basée sur une approche par analyse de risque, les dommages sont répartis sur l'ensemble de la période en s'accroissant en 2030 et en 2055, en raison de l'application d'une hausse du niveau marin ces mêmes années. Plus précisément, le dommage annuel moyen associé à la submersion grimpe de 32 021 \$ à 39 449 \$ en 2030 et à 52 000 \$ en 2055, pour un total de 817 503 \$ sur 50 ans.

Le coût des tempêtes concerne le montant des dommages aux infrastructures publiques de même que le nettoyage des débris. Ces coûts correspondent en moyenne à 1 263 \$ par année, mais grimpent à 5 892 \$ en 2055, pour un coût total de 47 729 \$.

Globalement, les coûts totaux associés à non-intervention totalisent 865 232 \$ sur 50 ans. L'annexe F présente les coûts annuels par catégorie.

ii) Coûts liés au mur de béton et à la digue

Le coût actualisé de mise en place du mur de béton et de la digue implique à la fois des coûts d'ingénierie, des coûts d'études préparatoires et des coûts d'entretien. Ces coûts s'élèvent à 4 944 761 \$.

La protection offerte par le mur de béton permet d'éviter tous les coûts liés à la submersion à partir de sa mise en place en 2018. D'ici là, des dommages de submersion aux infrastructures privées sont prévus jusqu'en 2017, pour un montant de 92 414 \$, en sus des dommages aux infrastructures publiques de 3 644 \$.

Finalement, cette solution implique la perte de services écosystémiques au coût de 19 984 \$ de même que des coûts associés à la perte de vue sur la mer pour les riverains et une perte d'usage récréatif du littoral. Ces pertes s'élèvent à 2 047 986 \$ en dollars de 2012 actualisés à 4 %.

Les coûts totaux de réalisation du mur de béton et de la digue s'élèvent à 7 108 789 \$. L'annexe F présente les coûts annuels par catégorie.

iii) Coûts liés à la recharge de plage

Le coût actualisé de mise en place de la recharge de plage implique à la fois des coûts d'ingénierie, des coûts d'étude et des coûts d'entretien. L'ensemble de ces coûts s'élève à 1 723 095 \$.

La recharge de plage permet d'éviter une partie des dommages liés à la submersion une fois implantée. Toutefois, étant donné que la recharge de plage n'empêche pas la submersion de se produire par l'estuaire de la rivière Verte lors des hauts niveaux d'eau et que la recharge est seulement implantée en 2018, des dommages résiduels de submersion de 558 303 \$ sont comptabilisés.

En intégrant les coûts de perte de vue sur la mer (54 745 \$) de même que les coûts de dommages aux infrastructures publiques (5 862 \$), les coûts totaux pour la recharge de plage s'élèvent à 2 342 005 \$ en dollars de 2012 actualisés à 4 %. L'annexe F présente les coûts annuels par catégorie.

iv) Coûts liés à la recharge de plage avec épis

Les coûts liés à la recharge de plage avec épis sont très similaires à ceux sans épis. La seule différence provient de la réduction dans la fréquence des entretiens de même que

des coûts de construction initiaux supérieurs. Le coût sur l'horizon temporel considéré pour mettre en place et entretenir la recharge avec épis s'élève à 1 097 482 \$.

Les coûts associés à la submersion sont les mêmes que ceux déjà calculés pour la recharge de plage sans épis et ils sont de 558 303 \$. À ces coûts, il faut ajouter les dommages aux infrastructures publiques avant la mise en place de la recharge et ceux se produisant à la fin de l'horizon d'analyse puisque la recharge n'est pas complètement efficace contre les niveaux d'eau extrêmes. Le total de ces coûts s'élève à 5 862 \$. Finalement, les coûts de perte de vue sur la mer se chiffrent à 54 745 \$.

En incluant tous les coûts précédemment mentionnés, le coût total de la recharge de plage avec épis s'élève à 1 716 392 \$ en dollars de 2012 actualisés à 4 %. L'annexe F présente les coûts annuels par catégorie.

v) Coûts liés à l'immunisation

La nécessité d'immuniser les résidences dans le secteur est réévaluée à chaque période de rehaussement marin. C'est pourquoi les coûts liés à l'immunisation surviennent essentiellement en 2015, 2030 et 2055. Dans le cas du segment Pointe-Verte Est, l'immunisation engendre des coûts dès 2015 alors qu'un bâtiment doit être immunisé. Ensuite, seule une résidence doit être immunisée en 2055. Les coûts d'immunisation en fonction des caractéristiques de chacun des bâtiments s'élèvent à 56 646 \$.

Puisque peu de bâtiments sont immunisés dans le secteur, la submersion produit des dommages sur une base annuelle dans le cas des bâtiments non-immunisés. Ces dommages s'élèvent à 748 363 \$ en dollars actualisés de 2012. Cela s'explique par le fait que la majorité des bâtiments dans le secteur ne sont jamais atteints au rez-de-chaussée par un événement de récurrence 20 ans, mais subissent tout de même des dommages de submersion récurrents.

Des dommages aux infrastructures publiques ont également été comptabilisés, puisque l'option ne permet pas de freiner les effets des tempêtes sur les systèmes d'égouts et d'aqueduc de la municipalité et les frais de nettoyage des débris. Ces dommages et les frais de nettoyage se chiffrent à 47 729 \$.

En considérant l'ensemble de ces coûts, l'immunisation coûte 852 739 \$ sur 50 ans.

7.3.2 Calcul des avantages sur 50 ans

La majorité des options d'adaptation étudiées dans le segment Pointe-Verte Est ne génère pas d'avantages économiques, environnementaux ou touristiques. Les avantages des options sont essentiellement les coûts évités en matière de submersion en comparaison à la non-intervention. Seules les recharges de plage permettent de générer des gains en termes d'usage du littoral. Ces gains s'élèvent à 98 641 \$ en dollars actualisés de 2012.

7.3.3 Valeur actualisée nette et comparaison des options

Pour chacune des options d'adaptation étudiées, en utilisant les coûts quantifiés et monétisés auparavant, la valeur actualisée nette de chaque option a été calculée. La VAN permet, entre autres, de discriminer les options en fonction de la performance économique. La ventilation des VAN de chaque option d'adaptation est présentée au Tableau 7.4 et la figure 7.6.

Tableau 7.4 – Coûts actualisés nets – Pointe-Verte Est

Impacts annualisés nets	Non-intervention	Mur de béton et digue	Recharge de plage	Recharge de plage avec épis	Immunisation et relocalisation stratégique
Érosion*	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
Submersion*	(817 503 \$)	(92 414 \$)	(558 303 \$)	(558 303 \$)	(748 363 \$)
Coûts des mesures	0 \$	(4 944 761 \$)	(1 723 095 \$)	(1 097 482 \$)	(56 646 \$)
Impacts économiques	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
Impacts environnementaux	0 \$	(19 984 \$)	0 \$	0 \$	0 \$
Impacts sociaux	0 \$	(2 047 986 \$)	43 896 \$	43 896 \$	0 \$
Tempêtes*	(47 729 \$)	(3 644 \$)	(5 862 \$)	(5 862 \$)	(47 729 \$)
VAN	(865 232 \$)	(7 108 789 \$)	(2 243 363 \$)	(1 617 751 \$)	(852 739 \$)
Avantages p/r non-intervention		(6 243 556 \$)	(1 378 131 \$)	(752 519 \$)	12 493 \$

*« Érosion » et « Submersion » incluent les dommages aux bâtiments et terrains; « Tempêtes » inclut les dommages aux infrastructures publique et les frais de nettoyage des débris.

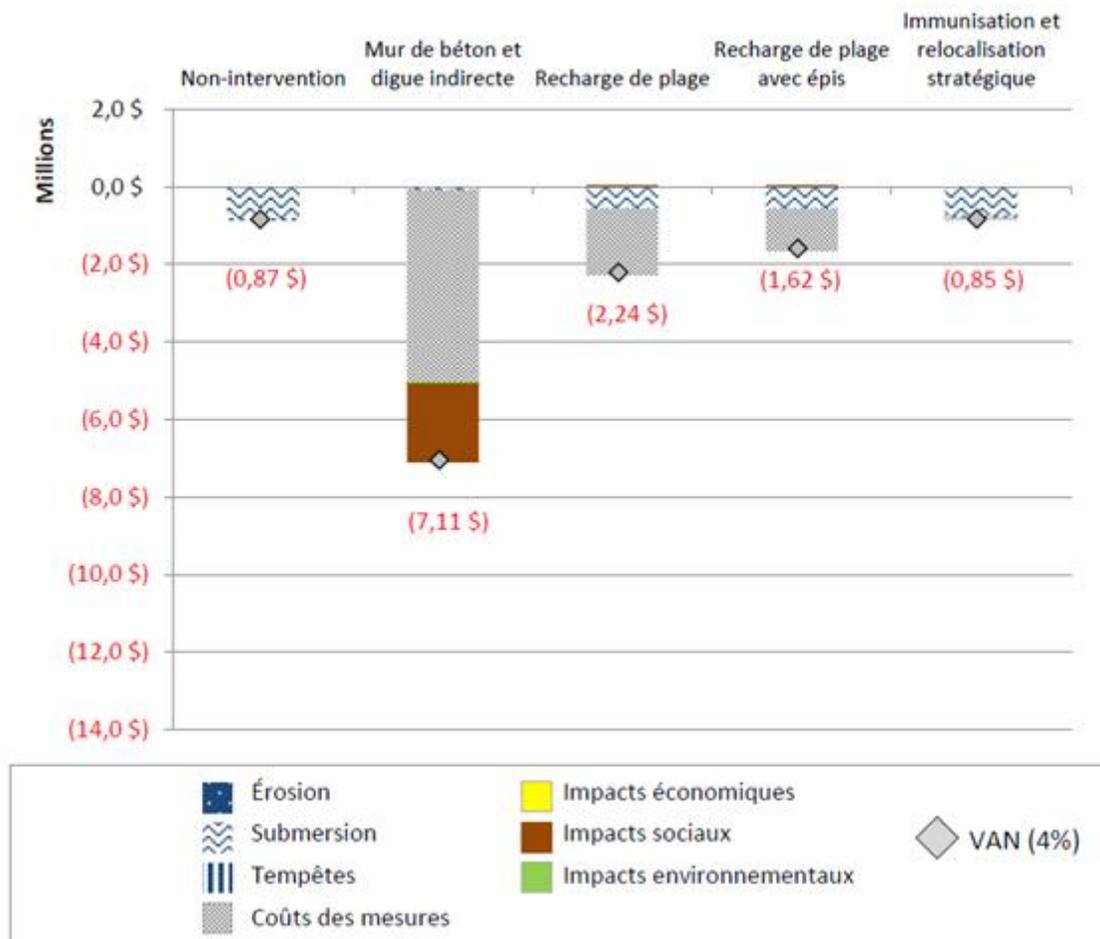


Figure 7.6 – Ventilation des coûts nets actualisés et VAN (4 %) – Pointe-Verte Est

Les résultats montrent que l'immunisation présente un mince avantage par rapport à la non-intervention de 12 493 \$. Les autres options d'adaptation ne sont pas avantageuses par rapport à la non-intervention, car elles coûtent davantage que les dommages qu'elles évitent. Dans l'ordre, leurs coûts nets respectifs se classent ainsi : la recharge de plage avec épis (752 519 \$), la recharge de plage (1 378 131 \$) et le mur de béton combiné à la digue (6 243 556 \$).

À la lumière de ces résultats, il est difficile de choisir entre la non-intervention et l'immunisation. La différence de VAN est inférieure à 15 000 \$, soit un montant inférieur à la marge d'erreur compte tenu des nombreuses hypothèses posées dans le cadre de

cette étude. Toutefois ce qui apparaît clairement est que les options d'ingénierie rigides ne sont pas justifiables du point de vue économique dans le contexte du segment Pointe-Verte Est. Les dommages évités ne pourront en aucun cas contrebalancer l'impact sur le milieu naturel, sur l'usage récréatif de la côte de même que les coûts de mise en œuvre.

En ce qui concerne les recharges de plage avec et sans épis, l'incapacité de ces options à freiner complètement la submersion dans le secteur fait en sorte que l'investissement ne peut être rentabilisé, et ce, malgré des gains en termes d'usage récréatif de la côte.

La section sur l'analyse de sensibilité permettra de mieux vérifier si la non-intervention ou l'immunisation se démarque lorsque certaines variables clés sont modifiées.

7.4 ANALYSE DE SENSIBILITÉ

L'objectif de cette analyse est d'examiner la robustesse de la VAN lorsque des hypothèses clés de l'ACA varient. Dans ce segment, les principales hypothèses modifiées incluent le taux d'actualisation, les niveaux d'eau extrêmes, la valeur d'usage du littoral, le report de l'immunisation et l'érosion du segment plutôt que son accrétion. Le tableau 7.5 résume les paramètres des analyses de sensibilité.

Tableau 7.5 – Paramètres des analyses de sensibilité – Pointe-Verte Est

Paramètre	Variation
Taux d'actualisation	± 2 %
Niveaux d'eau extrêmes	+50 cm
Valeur d'usage du littoral	+50 %
Immunisation reportée	À mi-périodes, soit 2022, 2042, 2059, plutôt qu'en début de période, soit 2015, 2035 et 2050
Érosion	Taux de Pointe-Verte Ouest, soit -0,76 m/am

Pour chaque modification présentée au tableau 7.5, la variation résultante, en termes de VAN, est présentée ci-dessous.

7.4.1 Taux d'actualisation

Une variation du taux d'actualisation a un effet direct sur la VAN des différentes options d'adaptation et la non-intervention. Le tableau 7.6 illustre l'impact de la variation du taux d'actualisation sur les résultats de l'ACA pour le segment Pointe-Verte Est.

Les résultats montrent qu'un changement à la baisse du taux d'actualisation fait varier la VAN des différentes options; il y a augmentation des coûts totaux de chacune. Cependant, par rapport à la non-intervention, deux options se positionnent mieux, soit l'immunisation et la recharge de plage avec épis. L'immunisation renforce même son avantage net par rapport à la non-intervention à un taux d'actualisation de 2 %.

Par contre, lorsque le taux d'actualisation augmente à 6 %, c'est plutôt la non-intervention qui ressort comme la solution la plus avantageuse, avec une mince marge de 5 000 \$. Cela s'explique par le fait que les gains obtenus par la réduction des dommages de submersion sont actualisés à un taux supérieur et valent donc moins dans le total actualisé. Il faut donc en conclure que les variations du taux d'actualisation ne permettent pas de déterminer si l'immunisation est plus avantageuse que la non-intervention.

Tableau 7.6 – Variation de la VAN avec des taux d'actualisation de 2 % et 6 % – Pointe-Verte Est

Options d'adaptation	Taux d'actualisation		
	2 %	4 % (base)	6 %
VAN non-intervention	(1 297 498 \$)	(865 232 \$)	(623 883 \$)
VAN mur de béton et digue	(8 973 305 \$)	(7 108 789 \$)	(5 956 401 \$)
VAN recharge de plage	(3 101 228 \$)	(2 243 363 \$)	(1 744 048 \$)
VAN recharge de plage avec épis	(1 959 589 \$)	(1 617 751 \$)	(1 404 897 \$)
VAN immunisation	(1 250 994 \$)	(852 739 \$)	(628 931 \$)
Mur de béton et digue – Avantage net par rapport à la non-intervention	(7 675 807 \$)	(6 243 556 \$)	(5 332 401 \$)
Recharge de plage – Avantage net par rapport à la non-intervention	(1 803 731 \$)	(1 378 131 \$)	(1 120 165 \$)
Recharge de plage avec épis – Avantage net par rapport à la non-intervention	(662 091 \$)	(752 519 \$)	(781 015 \$)
Immunisation – Avantage net par rapport à la non-intervention	46 503 \$	12 494 \$	(5 048 \$)

7.4.2 Niveaux d'eau extrêmes

La projection des niveaux d'eau extrêmes et leurs périodes de retour est un exercice complexe qui dépend de la disponibilité et de la qualité des données disponibles dans les secteurs à l'étude. Afin de mettre en perspective ces incertitudes, les niveaux d'eau extrêmes ont été testés à des niveaux supérieurs de 50 cm. Les résultats sont présentés au tableau 7.7.

Tableau 7.7 – Variation de la VAN avec l'augmentation de la submersion – Pointe-Verte Est

Options d'adaptation	Hypothèses de base	Submersion +50cm
VAN non-intervention	(865 232 \$)	(1 438 302 \$)
VAN mur de béton et digue	(7 108 789 \$)	(7 169 285 \$)
VAN recharge de plage	(2 243 363 \$)	(2 643 769 \$)
VAN recharge de plage avec épis	(1 617 751 \$)	(2 018 157 \$)
VAN immunisation	(852 739 \$)	(1 136 465 \$)
Mur de béton et digue – Avantage net par rapport à la non-intervention	(6 243 556 \$)	(5 730 982 \$)
Recharge de plage – Avantage net par rapport à la non-intervention	(1 378 131 \$)	(1 205 467 \$)
Recharge de plage avec épis – Avantage net par rapport à la non-intervention	(752 519 \$)	(579 855 \$)
Immunisation – Avantage net par rapport à la non-intervention	12 494 \$	301 837 \$

La hausse des niveaux d'eau extrêmes de 50 cm fait augmenter des deux tiers les dommages anticipés dans le cas de la non-intervention, de 0,8 M\$ à 1,4 M\$. Par ailleurs, dans ces conditions, les VAN respectives de la non-intervention et de l'immunisation s'établissent à 1,4 M\$ et 1,1 M\$, une différence importante de 0,3 M\$ puisque l'avantage de l'immunisation n'est que d'environ 12 500 \$ dans le scénario de base. En somme, plus les dommages attendus liés à la submersion sont élevés, plus l'immunisation se démarque de la non-intervention et des autres solutions comme option à privilégier.

7.4.3 Valeur d'usage du littoral

La valeur d'usage du littoral à Maria a été inférée à partir d'une enquête réalisée à Carleton-sur-Mer et cette approximation comprend une part d'incertitude. En augmentant de 50 % la valeur d'usage, il est possible d'apprécier l'effet de ce paramètre

sur les résultats de l'ACA. Cette hausse signifie que les pertes d'usage liées au mur de béton et à la digue augmentent de 96 333 \$ à 144 499 \$ annuellement. Dans le cas des recharges de plage, les gains d'usage du littoral passent de 5 070 \$ à 7 605 \$ annuellement. Les effets de ces variations sont présentés au Tableau 7.8.

Essentiellement, une variation de la valeur d'usage du littoral modifie à la baisse la VAN du mur de béton et de la digue (baisse de l'usage), alors qu'elle modifie à la hausse la VAN de la recharge de plage avec ou sans épis (augmentation de l'usage). Toutefois, l'augmentation de la VAN des recharges de plage est insuffisante pour que ces options deviennent les plus avantageuses pour la région gaspésienne.

Tableau 7.8 – Variation de la VAN avec l'augmentation de la valeur d'usage du littoral de 50 % – Pointe-Verte Est

Options d'adaptation	Hypothèses de base	Valeur d'usage du littoral +50 %
VAN Non-intervention	(865 232 \$)	(865 232 \$)
VAN mur de béton et digue	(7 108 789 \$)	(8 045 882 \$)
VAN recharge de plage	(2 243 363 \$)	(2 194 042 \$)
VAN recharge de plage avec épis	(1 617 751 \$)	(1 568 430 \$)
VAN immunisation et relocalisation stratégique	(852 739 \$)	(852 739 \$)
Mur de béton – Avantage net par rapport à la non-intervention	(6 243 556 \$)	(7 180 649 \$)
Recharge de plage – Avantage net par rapport à la non-intervention	(1 378 131 \$)	(1 328 810 \$)
Recharge de plage avec épis – Avantage net par rapport à la non-intervention	(752 519 \$)	(703 198 \$)
Immunisation et relocalisation stratégique – Avantage net par rapport à la non-intervention	12 494 \$	12 494 \$

7.4.4 Immunisation retardée

La construction des scénarios de niveaux d'eau extrêmes est basée sur trois horizons temporels où les niveaux atteints augmentent de manière incrémentale à mesure que le niveau de la mer augmente. Un bâtiment est immunisé lorsqu'il est établi que son rez-de-chaussée pourrait être atteint par un événement de récurrence 20 ans. Et cette

évaluation se fait à chaque début de période d'analyse, soit en 2015, 2030 et 2055. Afin de vérifier la robustesse des résultats pour l'immunisation, l'année de déclenchement de l'immunisation a été positionnée au milieu des trois horizons temporels analysés, soit 2022, 2042 et 2059. Les résultats sont consignés au tableau 7.9.

Tableau 7.9 – Variation de la VAN avec le retardement de l'immunisation – Pointe-Verte Est

Options d'adaptation	Hypothèses de base	Immunisation retardée (2022, 2042 et 2059)
VAN non-intervention	(865 232 \$)	(865 232 \$)
VAN mur de béton et digue	(7 108 789 \$)	(7 108 789 \$)
VAN recharge de plage	(2 243 363 \$)	(2 243 363 \$)
VAN recharge de plage avec épis	(1 617 751 \$)	(1 617 751 \$)
VAN immunisation et relocalisation stratégique	(852 739 \$)	(857 592 \$)
Mur de béton – Avantage net par rapport à la non-intervention	(6 243 556 \$)	(6 243 556 \$)
Recharge de plage – Avantage net par rapport à la non-intervention	(1 378 131 \$)	(1 378 131 \$)
Recharge de plage avec épis – Avantage net par rapport à la non-intervention	(752 519 \$)	(752 519 \$)
Immunisation et relocalisation stratégique – Avantage net par rapport à la non-intervention	12 494 \$	7 640 \$

Le report de l'immunisation modifie peu les résultats de l'ACA. En retardant l'intervention, l'immunisation génère une VAN de -857 592 \$, quasi équivalente à la VAN de la non-intervention. Concrètement, l'avantage sur la non-intervention est réduit de 12 500 \$ à 7 600 \$.

7.4.5 Scénario d'érosion

L'évolution de la ligne de rivage est basée sur le taux d'évolution probable, qui est estimé à +0,51 m/an pour la Pointe-Verte Est. Cependant, la méthode de projection linéaire ne tient pas compte du taux événementiel de -17 m en un épisode de tempête. Pour vérifier la robustesse des options les plus avantageuses par rapport à cette éventualité, il convient de faire une analyse de sensibilité sur l'évolution de la côte. La méthode choisie est un transfert de taux, à partir de celui de la Pointe-Verte Ouest, soit un recul de -0,76 m/an. Les résultats de cette analyse sont présentés au tableau 7.10.

Dans l'ensemble, le scénario d'érosion de la Pointe-Verte Est renforce l'avantage de l'option d'immunisation et de relocalisation stratégique. En effet, l'érosion a pour conséquences d'augmenter les impacts physiques, en affectant cinq bâtiments supplémentaires, ce qui gonfle de 28 % les dommages attendus. En conséquence, l'immunisation et la relocalisation stratégique devient plus rentable économiquement que l'inaction par environ 70 000 \$, avec une VAN de -1,05 M \$.

Tableau 7.10 – Variation de la VAN en situation d'érosion – Pointe-Verte Est

Options d'adaptation	Hypothèses de base	Érosion
VAN non-intervention	(865 232 \$)	(1 122 145 \$)
VAN mur de béton et digue	(7 108 789 \$)	(7 109 223 \$)
VAN recharge de plage	(2 243 363 \$)	(2 243 797 \$)
VAN recharge de plage avec épis	(1 617 751 \$)	(1 618 185 \$)
VAN immunisation et relocalisation stratégique	(852 739 \$)	(1 054 176 \$)
Mur de béton – Avantage net par rapport à la non-intervention	(6 243 556 \$)	(5 987 077 \$)
Recharge de plage – Avantage net par rapport à la non-intervention	(1 378 131 \$)	(1 121 652 \$)
Recharge de plage avec épis – Avantage net par rapport à la non-intervention	(752 519 \$)	(496 039 \$)
Immunisation et relocalisation stratégique – Avantage net par rapport à la non-intervention	12 494 \$	67 969 \$

7.4.6 Synthèse de l'analyse de sensibilité

Le tableau 7.11 présente un sommaire des résultats des analyses de sensibilité qui ont été réalisées. Dans l'ensemble, les analyses de sensibilité montrent que l'immunisation et la relocalisation stratégique sont l'intervention la plus avantageuse, particulièrement lorsque des hypothèses fortes sont posées sur les aléas côtiers (niveaux d'eau extrêmes +50 cm ; situation d'érosion). Toutefois, plusieurs des analyses de sensibilité ont aussi montré que la non-intervention pouvait être préférable économiquement, essentiellement en raison du petit nombre de bâtiments affecté dans ce segment. Il est possible que l'analyse systémique ou l'acceptabilité sociale fasse cependant pencher la balance d'un côté ou de l'autre.

Tableau 7.11 – Option la plus avantageuse selon les analyses de sensibilité – Pointe-Verte Est

Hypothèse modifiée	Option la plus avantageuse
Hypothèses de base	Immunisation ou non-intervention
Taux d'actualisation de 2 %	Immunisation ou non-intervention
Taux d'actualisation de 6 %	Immunisation ou non-intervention
Niveaux d'eau extrême +50 cm	Immunisation
Valeur de l'usage du littoral +50 %	Immunisation ou non-intervention
Relocalisation ou immunisation retardée	Immunisation ou non-intervention
Scénario d'érosion	Immunisation

7.5 CONCLUSION

L'extrémité de la flèche littorale de Pointe-Verte Est, un front littoral ayant une faible élévation, est vulnérable aux épisodes de tempêtes et à l'augmentation du niveau marin. En même temps, le segment abrite une dizaine de bâtiments résidentiels, dont des habitations saisonnières et des maisons mobiles, mais également des résidences principales, parfois même avec sous-sol fini. Dans ce contexte, même si la Pointe-Verte Est n'est pas soumise aux agents d'érosion comme le reste du littoral de Maria, des tempêtes viendront générer des dommages au cadre bâti au courant des 50 prochaines années.

Malgré cette vulnérabilité à l'aléa de submersion et des dommages projetés significatifs dans les prochaines années, l'analyse économique des options d'adaptation n'a pas permis d'identifier clairement une option la plus avantageuse. En d'autres termes, en considérant les hypothèses de base posées dans l'analyse, il n'est pas possible d'établir s'il est mieux d'intervenir ou bien de subir les assauts de la mer sur la base des enjeux considérés dans ce segment. Cela s'explique essentiellement par le fait que les options d'ingénierie étudiées sont trop coûteuses en comparaison à la valeur du cadre bâti qu'elles protègent et des dommages qu'elles permettent d'éviter.

Par ailleurs, les analyses de sensibilité suggèrent qu'advenant une augmentation des aléas de submersion et d'érosion au-delà des hypothèses de base, l'option à favoriser est clairement l'action préventive (immunisation et relocalisation stratégique) par rapport à la non-intervention. À ce moment-là, l'immunisation combinée à la relocalisation stratégique permet de réduire davantage les dommages et justifie l'investissement qu'elle nécessite.



8 ANALYSE SYSTÉMIQUE

Les résultats de l'analyse coûts-avantages réalisée à Maria sont résumés au tableau 8.1 pour chacun des segments. Pour trois des quatre segments, l'immunisation combinée à la relocalisation stratégique apparaît comme une option d'adaptation à privilégier. Seule l'analyse du segment Pointe Verte-Ouest suggère qu'une option d'ingénierie serait plus avantageuse au plan économique.

Tableau 8.1 – Options les plus avantageuses pour chacun des segments de Maria

	Maria Centre-Ouest	Maria Centre-Est	Pointe-Verte Ouest	Pointe-Verte Est
Option la plus avantageuse	Immunisation et relocalisation stratégique	Immunisation et relocalisation stratégique	Recharge de plage avec épis	Immunisation et relocalisation stratégique
Option alternative	Non-intervention	Non-intervention	Immunisation et relocalisation stratégique	Non-intervention

D'un point de vue systémique, la mise en place d'épis à Pointe-Verte Ouest ralentirait considérablement le transit sédimentaire d'ouest en est. En conséquence, la Pointe-Verte Est pourrait se retrouver en érosion plutôt qu'en accrétion. Dans un tel cas, une analyse de sensibilité sur la possibilité d'une inversion de la tendance d'évolution de la côte à Pointe-Verte Est a démontré que l'érosion entraînerait le déménagement de 5 des 7 bâtiments résidentiels présents sur la Pointe-Verte Est à l'intérieur d'un horizon de

50 ans. L'option de la recharge de plage avec épis à la Pointe-Verte Ouest n'est donc pas optimale d'un point de vue systémique.

Quant aux dommages liés à la submersion, il semble qu'une intervention d'ingénierie à Pointe-Verte Ouest pourrait soulever certaines difficultés. Rehausser la plage à Pointe-Verte Ouest sans intervenir à Maria Centre-Est et à Pointe-Verte Est pourrait faire en sorte que l'eau atteigne tout de même les bâtiments du segment Pointe-Verte Ouest en entrant par les deux segments voisins lors de tempêtes. L'eau qui submergerait les segments adjacents pourrait s'écouler dans le segment Pointe-Verte Ouest en fonction de la topographie.

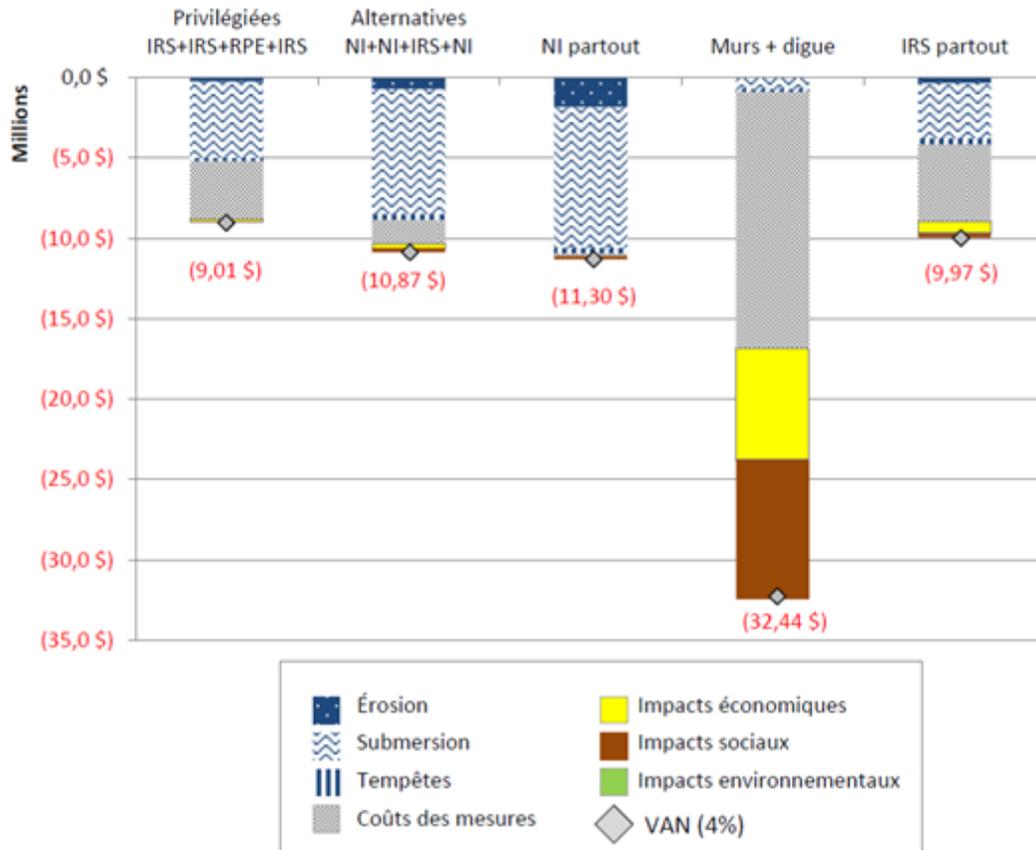
Afin de prendre en considération la nature systémique de la côte étudiée à Maria, différentes combinaisons d'options appliquées aux 4 segments ont été comparées aux options privilégiées lorsque chaque segment est étudié séparément. Un tel exercice vient également à répondre à des considérations d'acceptabilité sociale, puisqu'il est généralement mieux accepté d'appliquer les mêmes options d'adaptation dans des segments voisins.

La figure 8.1 illustre l'agrégation des VAN dans les 4 segments, en supposant la non-intervention, des structures côtières rigides sur l'ensemble de la zone d'étude, l'immunisation et la relocalisation stratégique sur les 4 segments ainsi qu'un scénario où les options alternatives (2^e options) seraient choisies.

Cette figure indique qu'il est plus avantageux d'intervenir plutôt que de ne rien faire dans la majorité des cas. En effet, l'absence d'intervention dans l'ensemble des segments à l'étude à Maria pourrait engendrer des coûts et dommages importants, soit 11,3 M\$, dont les trois quarts sont dus aux coûts liés aux dommages de submersion sur les bâtiments résidentiels et commerciaux (8,8 M\$). Par contre, une intervention basée sur la construction de murs et d'une digue serait encore plus coûteuse que l'inaction.

Pour sa part, l'immunisation combinée à la relocalisation stratégique appliquée dans tous les segments entraînerait une VAN négative de près de 10,0 M\$, soit un avantage de 1,3 M\$ par rapport à la non-intervention. Ce résultat est quelque peu inférieur à celui obtenu en combinant les 4 options privilégiées par les ACA (IRS+IRS+RPE+IRS), mais il demeure avantageux économiquement. De plus, l'application généralisée de l'option

d'immunisation et de relocalisation stratégique est moins coûteuse que la combinaison des options alternatives (NI+NI+RPS+NI).



NI : Non-intervention; I : immunisation; RPE : recharge de plage avec épis; IRS : Immunisation et relocalisation stratégique.

Figure 8.1 – Ventilation des coûts actualisés pour différentes combinaisons d'options d'adaptation pour tous les segments de Maria

En plus de générer un avantage net de 1,3 M\$ par rapport à la non-intervention, la mise la zone d'étude permettrait d'éviter les problèmes liés à la réalisation d'une recharge de plage avec épis à Pointe-Verte Ouest. En effet, l'immunisation combinée à la relocalisation stratégique n'empêcherait pas le transit des sédiments d'ouest en est, vers le segment Pointe-Verte Est. Ainsi, cette combinaison est avantageuse d'un point de vue systémique.



9 CONCLUSION

Cette analyse coûts-avantages visait principalement à aider les décideurs à comparer les options d'adaptation pouvant limiter les dommages de submersion et faire face à l'érosion côtière dans quatre segments de côte à Maria, et ce, en considérant l'ensemble de leurs avantages et de leurs coûts économiques respectifs.

Les résultats de l'ACA sont résumés à la figure 9.1. Ces résultats permettent de déterminer que la solution la plus avantageuse économiquement pour l'ensemble de la société est l'immunisation combinée à la relocalisation stratégique pour Maria Centre-Ouest, Maria Centre-Est et Pointe-Verte Est. Pour ces segments, l'immunisation et la relocalisation stratégique est l'option qui entraîne le moins de coûts et de pertes économiques, sociales ou environnementales. Toutefois, pour les segments Maria Centre-Est et Pointe-Verte Est, les avantages nets de cette option sont de moins de 25 000 \$ par rapport à la non-intervention. Les analyses de sensibilité indiquent cependant que si les aléas côtiers étaient plus sévères que ceux projetés dans le cadre de cette étude, alors l'immunisation combinée à la relocalisation stratégique serait l'option à privilégier.

Pour le segment Pointe-Verte Ouest, la recharge de plage avec épis est l'option la plus avantageuse selon l'ACA. Elle permet de diminuer les dommages de submersion et d'érosion de plus de 3,5 M\$ tout en coûtant moins de 3 M\$. Elle offre également une bonification de l'usage du littoral en améliorant la qualité de la plage dans ce segment. Dans l'ensemble, elle génère un avantage net de 1,2 M\$ par rapport à la non-intervention. Par contre, l'analyse systémique indique que la recharge de plage avec

épis pourrait avoir un impact négatif sur l'évolution de la côte du segment Pointe-Verte Est. Cet impact devra également être pris en compte par les décideurs qui sélectionneront l'option d'adaptation à mettre en place à Pointe-Verte Ouest.

Enfin, quelques constats peuvent être tirés des résultats de l'analyse coûts-avantages réalisée à Maria. Le premier est que les dommages prévus sont importants et dépassent les 11 M\$ sur 50 ans en valeur actualisée. Le second est qu'il semble préférable de mettre en œuvre des options d'adaptation plutôt que de ne rien faire. En troisième lieu, il apparaît qu'il est préférable de privilégier des options plus mobiles à la construction de structures rigides. Finalement, il est important dans le choix des interventions de privilégier une approche cohérente pour l'ensemble de la zone d'étude.

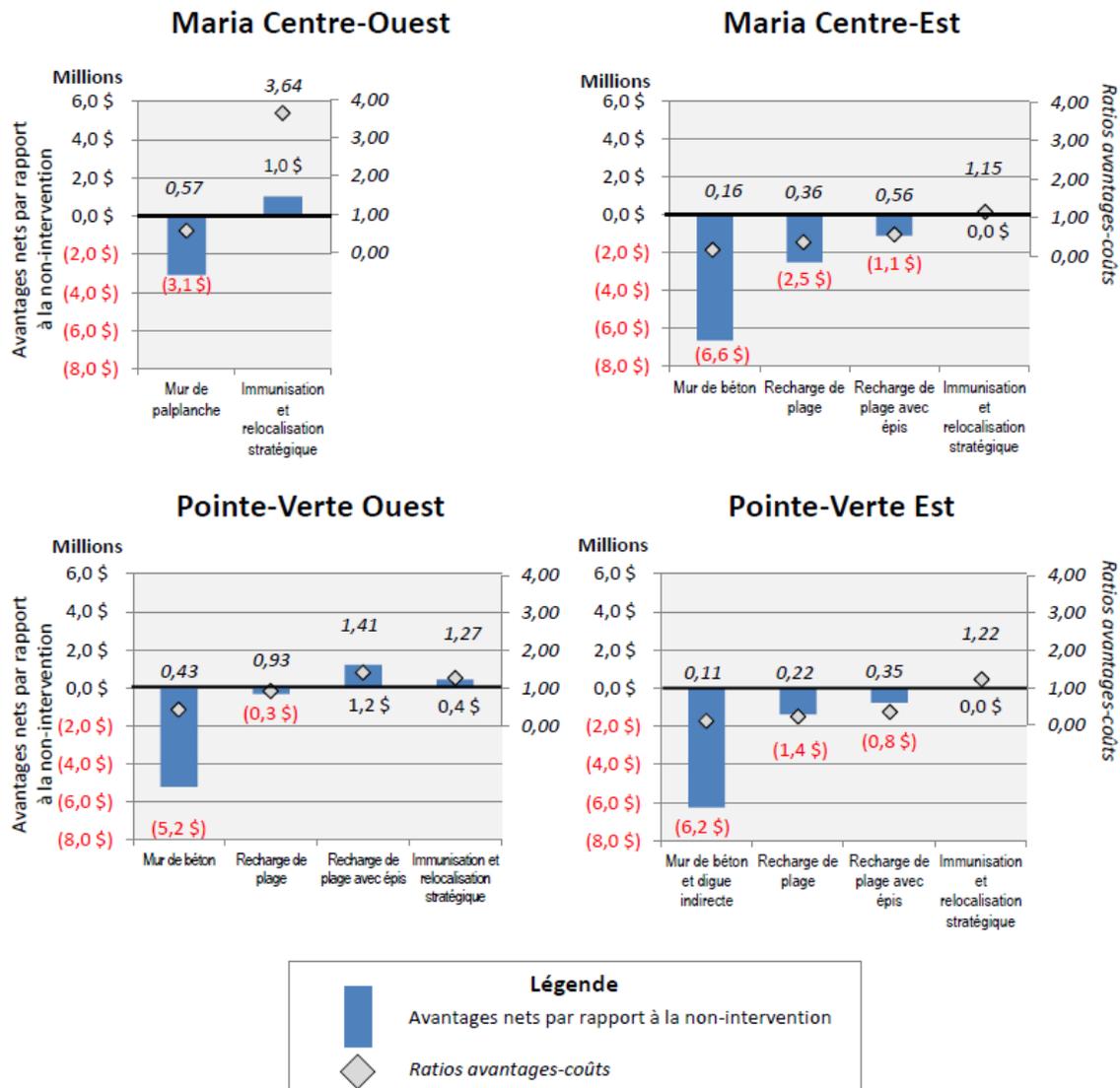


Figure 9.1 – VAN par rapport à la non-intervention et ratio avantages-coûts pour chaque segment



10 GLOSSAIRE

Ajustement eustatique : variation du niveau moyen des mers (relative par rapport aux continents supposés stables) dont les facteurs en cause sont, par exemple, les variations thermiques des océans, la fonte des glaciers et les dynamiques de glaciation et déglaciation.

Ajustement isostatique : également appelé rebond postglaciaire ou glacio-isostasie, se définit comme le soulèvement de masses terrestres consécutif à la déglaciation et plus précisément à la fonte des calottes glaciaires, puisque les masses terrestres, antérieurement *déprimées* (par compression sous les charges de glace) se relèvent durant la période postglaciaire.

Analyses coûts-avantages (ACA) : 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).

Dérive littorale : le déplacement le long d'un littoral de matières (sédiments, sable), causé par les vents et le déferlement entraînant un courant parallèle à la côte. Le terme désigne à la fois le courant parallèle à la côte et le déplacement des sédiments qui est causé par ce courant.

Domage annuel moyen (DAM) : coût moyen des dommages causés par les événements de submersion auxquels un bâtiment sera soumis lors d'une année typique.

Le dommage annuel moyen est calculé à l'aide des probabilités de niveaux d'eau extrême et des dommages sur le bâtiment associés à chaque niveau correspondant.

Effet de bout : lorsque les vagues frappent une paroi rigide et imperméable, tel un mur ou un enrochement, leur énergie est réorientée aux extrémités de l'ouvrage, ce qui peut accélérer l'érosion des rives voisines

Épis : 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 d'eau.

Estran : aussi appelé zone intertidale (ou de marnage), l'estran est la partie du littoral située entre les limites extrêmes des plus hautes et des plus basses marées.

Fetch : distance en mer ou sur un plan d'eau au-dessus de laquelle souffle un vent donné sans rencontrer d'obstacle (une côte) depuis l'endroit où il est créé ou depuis une côte s'il vient de la terre; plus le fetch est important plus la hauteur des vagues sera grande, à l'opposé, à l'abri d'une côte (sous le vent d'une côte), la hauteur des vagues sera très faible, même si le vent est très fort, car le fetch y est plus petit.

Immunsation : 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.

Jet de rive : phénomène de courant montant sur la côte après le point de déferlement des vagues, dont la hauteur dépend de la hauteur significative des vagues, leur période et l'inclinaison de la plage sur laquelle celles-ci déferlent. Il est à noter que le terme de *jet de rive* est utilisé de manière inclusive et équivalente au *wave setup*.

Lidar : acronyme de l'expression « lighth detection and ranging », désignant une technologie de mesure à distance qui, par l'analyse d'un faisceau de lumière – souvent un laser – renvoyé à son émetteur, permet de déterminer certaines propriétés du terrain à l'étude telle que la topographie.

Niveau moyen (relatif) des mers (NMM) : hauteur moyenne de la surface de la mer, par rapport à un niveau de référence suffisamment stable; on le considère généralement issu de la différence entre les niveaux eustatique (mesure du niveau marin relative par rapport aux continents supposés stables) et isostatique (voir rebond isostatique).

Non-intervention (NI) : option de référence qui implique un laisser-aller des structures de protection existantes et une accumulation des dommages de submersion et d'érosion par les actifs dans les zones d'étude.

Produit intérieur brut (PIB) : mesure de la richesse créée dans l'année par les unités de production résidentes « qui constitue » un indicateur de croissance (OQLF, 1989).

Ratio avantages-coûts (A/C) : 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 (ICCA, 2006).

Recharge de plage : 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.

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.

Relocalisation stratégique : 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.

Riprap : mesure 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'elle n'atteigne la structure à protéger.

Schorre : terme désignant la partie basse des marais salés qui n'est inondée que lors des grandes marées et qui est colonisée par de la végétation tolérante au sel.

Submersion : phénomène naturel d'inondation par la mer qui survient lorsque la limite supérieure du jet de rive dépasse le niveau supérieur de la ligne de rivage ou de la structure de protection.

Subsidence (géologique) : un lent affaissement de la lithosphère (le continent) entraînant un dépôt progressif de sédiments sous une profondeur d'eau constante.

Surcote : un dépassement anormal du niveau de la marée haute ou du recul de la marée basse, induit par des conditions météorologiques inhabituelles, comme une dépression atmosphérique, une tempête, un ouragan, auxquels leurs effets à ceux des marées astronomiques (la portion induite par la lune et le soleil).

Transit sédimentaire : voir dérive littorale

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.

Végétalisation : méthode de protection contre l'érosion 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 « blé de mer » pour les milieux dunaires).

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*).

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.



11 RÉFÉRENCES

- Arrow, K., Solow, R., Portney, P.R., Leamer, E.E., Radner, R., Schuman, H (1993). Report of the NOAA Panel on Contingent Valuation. National Oceanic and Atmospheric Administration, Washington, DC. 66p.
- Baird & Associates Coastal Engineers Ltd.(2015) Maria and Carleton- sur- mer Flood and Shoreline Protection Conceptual Design and Costing. Ottawa, Rapport remis à Ouranos, 43 pages and appendices.
- 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.
- Bernatchez, P. et Fraser, C. (2012) Evolution of coastal defence structures and consequences for beach width trends, Québec, Canada. Journal of Coastal Research, 28(6), 1550-1566.
- Bernatchez, P. Fraser, C. Friesinger, S., Jolivet, Y., Dugas, S., Drejza, S. Morissette, A. (2008) Sensibilité des côtes et vulnérabilité des communautés du golfe du Saint-Laurent aux impacts des changements climatiques. Rapport de recherche, Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières, Université du Québec à Rimouski, 256 p.
- Bernatchez, P. Fraser, C., Lefavre, D. (2008) Effets des structures rigides de protection sur la dynamique des risques naturels côtiers : érosion et submersion. In : J. Locat, D. Perret, D. Turmel, D. Demers et S. Leroueil, Comptes rendus de la 4e Conférence canadienne sur les géorisques: des causes à la gestion. Proceedings of the 4th Canadian Conference on Geohazards : From Causes to Management. Presse de l'Université Laval, Québec, 8 p.
- Boardman, A. E., Moore, M. A. and Vining, A., (2010), The Social Discount Rate for Canada Based on Future Growth in Consumption. Canadian Public Policy, 36, issue 3, p. 325-343.
- Bonnifait, L. (2005) Développement de courbes submersion-dommages pour l'habitat résidentiel québécois. Mémoire de maîtrise, Institut national de recherche scientifique – Eau, Terre, Environnement, Québec, 74 p.

- Bourque, A. et Simonet, G. (2008). Québec. Dans D.S. Lemmen, F.J. Warren, J. Lacroix et E. Bush (dir.), *Vivre avec les changements climatiques au Canada 2007* (p. 171–226). Ottawa, Ontario : Gouvernement du Canada.
- Boyer-Villemaire, U. Savard, J.P., Roy, P. (2016) Évaluation des niveaux d'eau extrêmes causant des dommages de submersion en zone côtière au Québec. Ouranos, Montréal.
- Brisson, G. et Richardson, M. (2009) Perception de l'érosion des berges de la Côte-Nord et perspectives de santé publique. Agence de la santé et des services sociaux de la Côte-Nord, Baie Comeau, Québec, 47 p.
- Comité ZIP Baie-de-Chaleurs (2006) Recueil cartographique des usages et des ressources. Comité ZIP Baie-de-Chaleurs, Bonaventure, Québec, 21 p.
- Costanza, R., Wilson, M.A., Troy, A., Voinov, A., Liu, S., D'Agostino, J. (2006) July). The Value of New Jersey's Ecosystem Services and Natural Capital. New Jersey Department of Environmental Protection, 167 p.
- Didier, D., Bernatchez, P., Lambert, A. (2014) Scénarios de submersion côtière pour la municipalité de Maria, dans le cadre d'une analyse économique. Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières, Université du Québec à Rimouski, rapport méthodologique présenté à Ouranos, 44 p.
- Drejza, S. Friesinger, S., Bernatchez, P. (2014) Annexe 3 dans Vulnérabilité des infrastructures routières dans 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 Rapport final, Volume I. Université du Québec à Rimouski, Projet X008.1, rapport remis au ministère des Transports du Québec. Document cartographique.
- Fraser, C. et Bernatchez, P. (2006). Caractérisation et évaluation des risques d'érosion et de submersion côtière pour le secteur de la pointe Verte, Maria, Québec. Rapport de recherche remis au ministère de la Sécurité publique du Québec, Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières, UQAR, 44 p.
- GIEC (2013). Summary for Policymakers. In *Climate Change (2013): The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 29 p.
- ISQ – Institut de la statistique du Québec (2014) Municipalités, Population totale 1996-2014. Consulté 2015/05/12, <http://www.stat.gouv.qc.ca/statistiques/population-demographie/structure/index.html>
- ISQ – Institut de la statistique du Québec (2015a) Rémunération hebdomadaire et horaire des employés selon le sexe, Gaspésie–Îles-de-la-Madeleine et ensemble du Québec, 2010-2014. Consulté 2015/08/11, http://www.stat.gouv.qc.ca/statistiques/profils/profil11/societe/marche_trav/indicat/tra_remuneration11.htm

- ISQ – Institut de la statistique du Québec (2015b) Municipalités, Population totale 1996-2014. Consulté 2015/05/12, <http://www.stat.gouv.qc.ca/statistiques/population-demographie/structure/index.html>
- Jacob, D., Perrie, W., Toulany, B., Saucier, F., Lefaivre, D. and Turcotte, V. (2004) Wave Model Validation in the St. Lawrence River Estuary. Proc. 7th international Workshop on Wave Hindcasting and Forecasting, October 21-25, Banff, Alberta, Canada, 14 p.
- Koohzare, A., Vaníček, P., et Santos, M. (2008). Pattern of recent vertical crustal movements in Canada. *Journal of Geodynamics*, 45(2-3), 133–145.
- Leclerc, M., P. Boudreau, N. Roy, Y. Secretan, S. El Adlouni, T. Ouarda, D. Chaumont, I. Falardeau et F. Morneau (2006). Contribution à la recherche d'une solution intégrée au risque d'inondation à Châteauguay. Pour le compte de la Ville de Châteauguay, en collaboration avec le ministère de la Sécurité publique. Rapport de recherche #R841. 280 pages (5 annexes)
- Lemieux, C. et R. Lalumière 1995. Répartition de la zostère marine (*Zostera marina*) dans l'estuaire du fleuve Saint-Laurent et dans la baie des Chaleurs (1994). Rapport présenté au Service canadien de la faune, Environnement Canada préparé par le Groupe-conseil Génivar inc., 58 p.
- LDGIZC-UQAR (Laboratoire de Dynamique et de Gestion intégrée des zones côtières - Université du Québec à Rimouski). (2015) Base de données d'évolution, de classification et d'utilisation des zones côtières du Québec. Données de recherche inédites.
- Ministère des Transport du Québec (2005) Réaménagement de la route 132 – Ville de Chandler – Quartiers Newport et Pabos Mills - Étude d'impact sur l'environnement - Rapport final. Rapport présenté au ministre du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec. Projet numéro 20-3172-7802-B. 153 p. et annexes.
- Municipalité de Maria (2015) D'Hier à aujourd'hui, (section Culture et Patrimoine > Historique), site internet visité en ligne 2015-02, <http://www.mariaquebec.com/>
- Pesca (2014) Séance de remue-méninges sur les impacts environnementaux potentiels. Atelier de travail avec Ouranos et Pesca, Carleton-sur-Mer, 19 août 2014
- Polyzos, S., Minetos, D. (2007) Valuing environmental resources in the context of flood and coastal defence project appraisal A case-study of Poole Borough Council seafront in the UK. *Management of Environmental Quality: An International Journal*, 18(6), pp. 684-710
- Quintin, C. (2010) Effet de facteurs environnementaux dans l'évolution des marais intertidaux du barachois de la rivière Nouvelle, Baie-des-Chaleurs, Québec. Mémoire de maîtrise, Université du Québec à Rimouski, 103 p.
- Quintin, C., Fraser, C., Bernatchez, P. et Jolivet, Y. (2015) Cinq ans après le 6 décembre 2010 : leçons apprises d'une tempête et réflexions sur la résilience côtière d'un littoral en mouvement. 10ième colloque sur les risques naturels au Québec (ACFAS), 28 mai 2015, Rimouski, Québec. Présentation orale.
- Roy, P., et Savard, J.-P. (non publié 2014). Analyse des extrêmes de vagues à Maria et des niveaux d'eau pour Belledune et Carleton. Montréal, Ouranos, 9 p.

- Ruest, B., Neumeier, U., Dumont, D., Bismuth, E., Senneville, S., Caveen, J. (2015) Recent wave climate and expected future changes in the seasonally ice-infested waters of the Gulf of St. Lawrence, Canada. *Climate Dynamics*. DOI 10.1007/s00382-015-2592-3
- Savard, J.-P. et Roy, P. (non publié 2014). Analyse des récurrences conjointes niveaux extrêmes et vagues pour la région de Maria. Étude complémentaire partielle dans le cadre du projet d'Analyse coûts-avantages d'options d'adaptation en zones côtières dans le secteur de Maria-Carleton. Montréal, Ouranos, 12 p.
- Slangen, A. B. A., Katsman, C. A., Wal, R. S. W., Vermeersen, L. L. A., and Riva, R. E. M. (2012) Towards regional projections of twenty-first century sea-level change based on IPCC SRES scenarios, *Clim. Dynam.*, 38, 1191–1209.
- Tecsult (2008). Analyse coûts-avantages de solutions d'adaptation à l'érosion côtière pour la Ville de Sept-Îles. Montréal, rapport remis à la ville de Sept-Îles, 150 p.
- Webster, A., Gagnon-Lebrun, F., Desjarlais, C., Nolet, J., Sauvé, C., 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 Consultants. 66 p.



ANNEXE A

PROBLÉMATIQUE SÉDIMENTAIRE

Il existe une forte relation entre l'équilibre sédimentaire des différents segments de Maria, en raison de l'activité du courant naturel de dérive littorale qui mobilise les sédiments provenant de différentes sources sédimentaires. En effet, la dérive littorale principale, orientée vers l'est, nourrit la flèche de la Pointe-Verte. Elle s'approvisionne à partir de quatre sources sédimentaires principales : les caps de Maria, le banc de Maria (où passe la route 132), les terrasses de plage du cœur de Maria et le dépôt sédimentaire du vieux quai.

La source sédimentaire la plus à l'ouest provient des caps de Maria en amont du banc de Maria. Le trait de côte y est majoritairement naturel et en érosion, fournit des sédiments pour les plages au cœur de Maria, mais avec un certain délai (en années) vu la distance de transport.

Une autre source sédimentaire de la Pointe-Verte provient du quai de Maria. Ce dernier, installé en 1902 et retiré en 1945, a eu pour effet de constituer un dépôt de sédiments en amont de la structure (côté ouest). Il s'agit pour le moment d'une source sédimentaire pour la flèche de la Pointe-Verte, dont l'importance est cependant mal connue. Ce stock sédimentaire a une durée de vie limitée.

L'incertitude est grande quant à la provenance exacte des sédiments et à la dynamique future de la Pointe-Verte. On sait qu'elle n'a pas un historique récent de brèches de tempête comme la flèche du banc de St-Omer à Carleton-sur-Mer. Cependant,

l'augmentation prévue des stress hydroclimatiques, en particulier la réduction du couvert de glace et la récurrence élevée de niveaux d'eau extrêmes lors des deux dernières décennies, fait en sorte qu'il existe une probabilité non négligeable que la flèche ne soit plus en accumulation. Il y a aussi une probabilité que l'installation de structures de protection rigides entraîne un déséquilibre sédimentaire suffisant pour inverser la tendance à la Pointe-Verte.

Enfin, l'artificialisation des côtes et leur rigidification ont eu deux conséquences principales sur le bilan sédimentaire :

- En interférant avec la dynamique des vagues, elles ont provoqué un amaigrissement des plages et une augmentation du franchissement par les vagues (Bernatchez et al., 2008; Bernatchez et Fraser, 2012).
- En revêtant la ligne de rivage de manière imperméable, elles ont coupé une source sédimentaire pour la flèche littorale de la Pointe-Verte.

Artificialisation des côtes

Outre les aléas et la dynamique naturelle, la problématique principale à Maria réside dans les interactions entre les aléas naturels et les protections, qui menacent des routes, des résidences et des commerces importants dans les zones exposées.

Le cœur de la municipalité de Maria est artificiellement à 49 %, principalement à l'aide d'ouvrages de protection privés (murets de bois et de béton, enrochement) (LDGIZC-UQAR, 2015). Ces ouvrages permettent de protéger quelques 78 bâtiments localisés dans la zone d'étude.

Or, les structures mises en place par des propriétaires privés sont « probablement non efficaces en cas d'événements » (LDGIZC-UQAR, 2015). Des études poussées ont démontré l'augmentation des risques d'érosion et de submersion causés par ces structures (Bernatchez et Fraser, 2012; Fraser et Bernatchez, 2006). En effet, la rigidité des structures augmente la réflexivité des vagues, ce qui entraîne une perte de sédiments au pied des structures et l'aplanissement du profil de plage qui en découle réduit la friction des vagues sur le fond et en augmente la force, ainsi que le niveau d'eau déferlant sur les structures et au-delà, sur l'arrière-plage. D'ailleurs, Fraser et Bernatchez (2006) ont démontré cette différence entre les côtes naturelles et artificielles

à Maria : la largeur du haut *estran* est significativement plus étroite devant les structures (18,5 m contre 12,9 m).

De plus, comme ce sont les propriétaires privés qui ont pris l'initiative de mettre des structures éparses et disparates, la rigidité du trait de côte est hétérogène et cela provoque d'importants effets de bout en concentrant la force des vagues vers les protections les plus faibles. Une autre conséquence de la présence de ces structures hétérogènes est un effet de *jet de rive* accru qui rend difficile la prévision des superficies qui sont inondées (Didier et al., 2014). Ce sujet sera abordé plus en détail dans la section sur les hypothèses reliées à la submersion.

De même, la ligne de rivage du banc de Maria et des terrasses de plage du cœur de Maria a été considérablement artificialisée et rigidifiée, en particulier au cours des deux dernières décennies. Ces structures ont eu deux conséquences principales sur le bilan sédimentaire :

- En interférant avec la dynamique des vagues, elles ont provoqué un amaigrissement des plages et une augmentation du franchissement par les vagues (Bernatchez et al., 2008; Bernatchez et Fraser, 2012).
- En revêtant la ligne de rivage de manière imperméable, elles ont coupé une source sédimentaire pour la flèche littorale de la Pointe-Verte.



ANNEXE B

ESTIMATION DES DOMMAGES DE SUBMERSION

Dans le cadre de cette analyse économique, plusieurs calculs et projections ont été réalisés afin de pouvoir déterminer les dommages potentiels liés à la submersion. Cette annexe présente plus en détail ces calculs et projections.

La relation entre les dommages de submersion et la probabilité d'occurrence est illustrée par la courbe dommages-probabilités suivante.

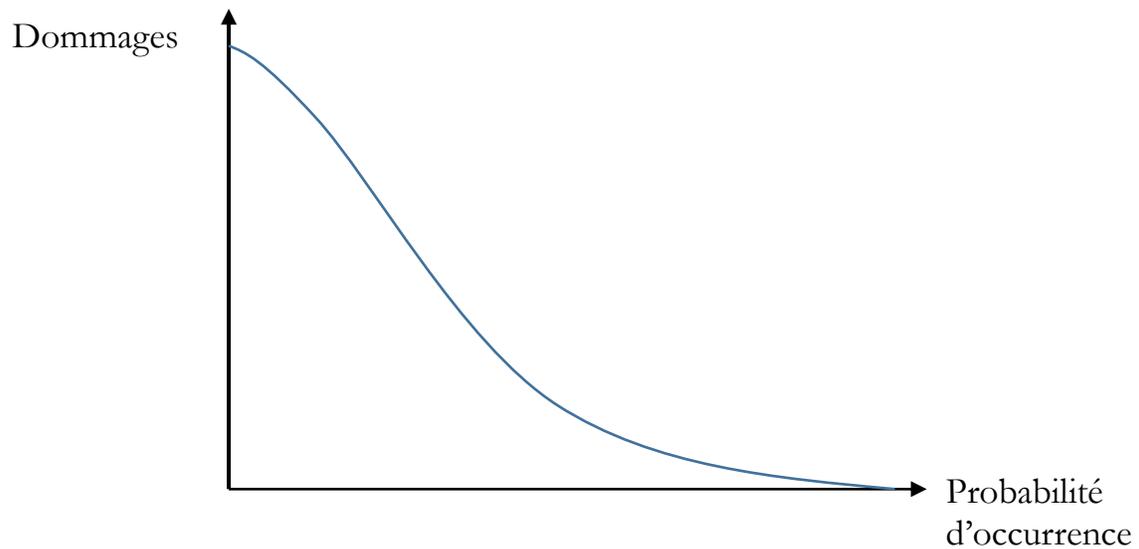


Figure B.1 – Relation entre dommages et probabilités d'occurrence

Cette figure conceptuelle montre simplement que ce sont les évènements avec une faible probabilité d'occurrence qui vont générer les dommages les plus élevés, tandis que les évènements ayant une grande probabilité d'occurrence vont produire peu ou pas de dommages.

Le risque, nommé dommage annuel moyen (« DAM »), est calculé à partir de cette courbe de dommages-probabilités. Le DAM correspond à l'aire sous la courbe et représente la valeur espérée des dommages annuels dus à la submersion (figure B.2). Il représente simplement la moyenne des dommages potentiels en fonction de toutes les possibilités de niveaux d'eau extrêmes possibles.

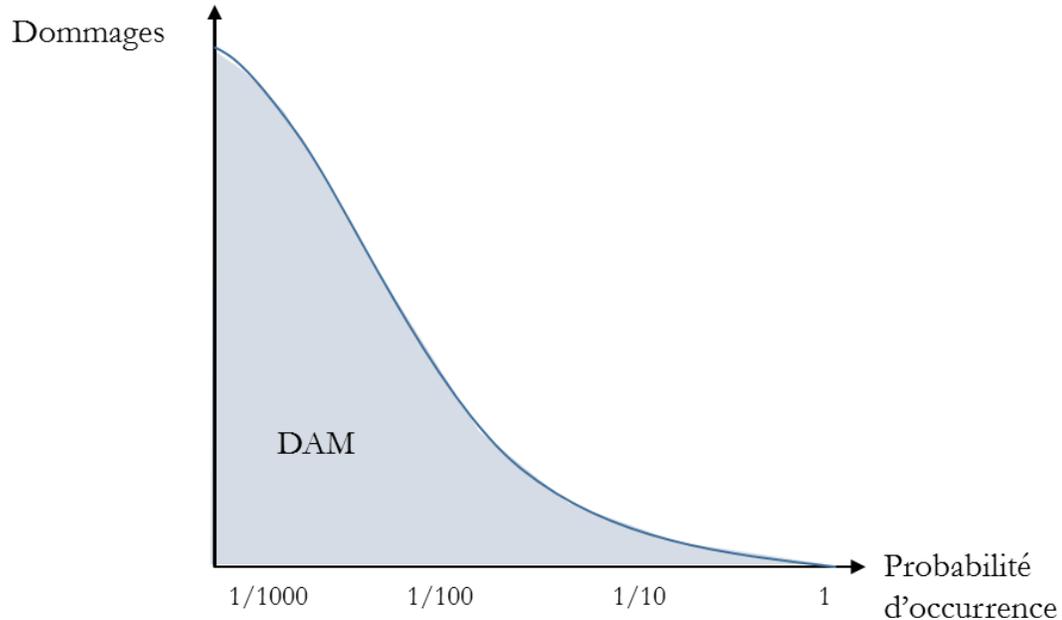


Figure B.2 – Calcul du dommage annuel moyen

Plus formellement, le DAM est égal à l'intégrale de la fonction de dommages par rapport à la probabilité d'occurrence de l'évènement :

$$DAM = \int D(P) dP$$

où

DAM = Dommage annuel moyen

D = valeur des dommages

P = probabilité d'occurrence de l'évènement

Comme la forme continue de la fonction de dommages n'est pas connue, le DAM est approximé par le calcul numérique de l'aire sous la courbe à l'aide de la méthode d'approximation de Riemann. Concrètement, le DAM a été calculé en effectuant la somme de la multiplication du dommage médian entre deux classes d'évènements et de la variation de la probabilité d'occurrence entre ces deux mêmes évènements :

$$DAM = \int D(P) dP \cong \sum_{i=1}^N \frac{D(P_i) + D(P_{i+1})}{2} \times (P_i - P_{i+1})$$

$$= \frac{D(P_1) + D(P_2)}{2} \times (P_1 - P_2) + \dots + \frac{D(P_{N-1}) + D(P_N)}{2} \times (P_{N-1} - P_N)$$

où N = Nombre de classes d'évènements étudiés

Dans l'étude de cas de Maria, les classes d'évènements utilisées pour calculer le DAM sont les périodes de retour 2, 5, 10, 20, 25 et 30 (voir section sur les niveaux de submersion).

Effet d'un ouvrage de protection sur le DAM

L'effet d'un ouvrage de protection comme une digue ou l'immunisation des résidences permet d'éliminer les dommages causés par les événements les plus fréquents jusqu'à un niveau limite. Par exemple, une digue peut être conçue pour résister à des niveaux d'eau extrêmes de l'ordre de 100 ans de période de retour. Dans un tel cas, les dommages évités sont égaux à la superficie sous la courbe représentée par la zone A, alors que le risque résiduel est égal à la zone identifiée par la lettre B.

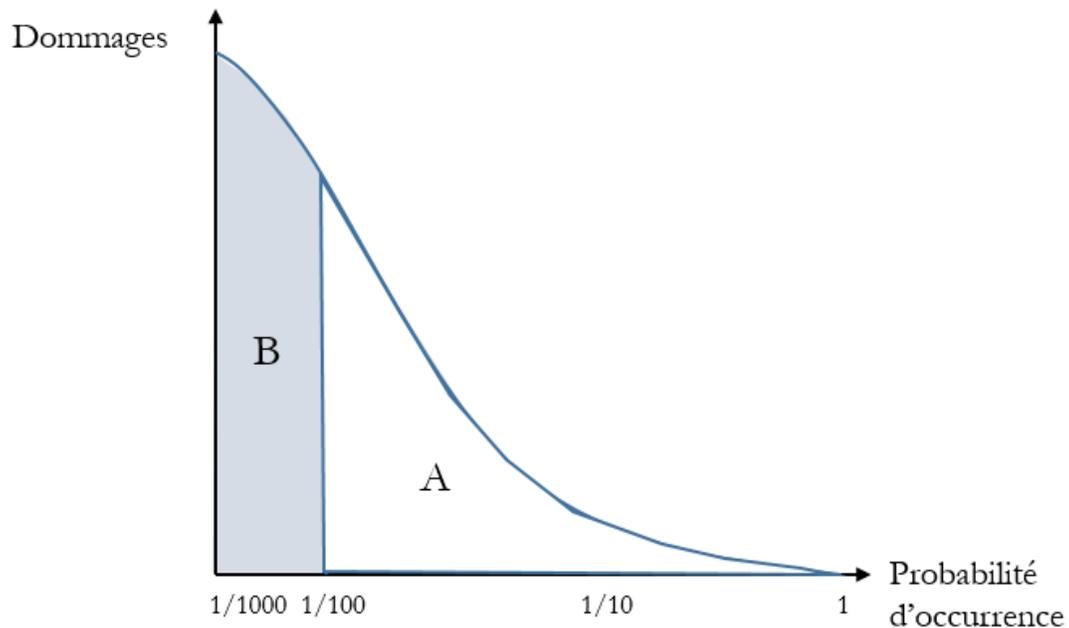


Figure B.3 – Effet d'un ouvrage de protection sur le DAM

Éléments sous-jacents à la courbe de dommages-probabilités

La courbe de dommages-probabilités s'applique à chaque bâtiment individuellement et est construite à partir de trois composantes principales : les courbes de submersion-dommages, les niveaux d'eau extrêmes de même que les autres facteurs aggravant les dommages.

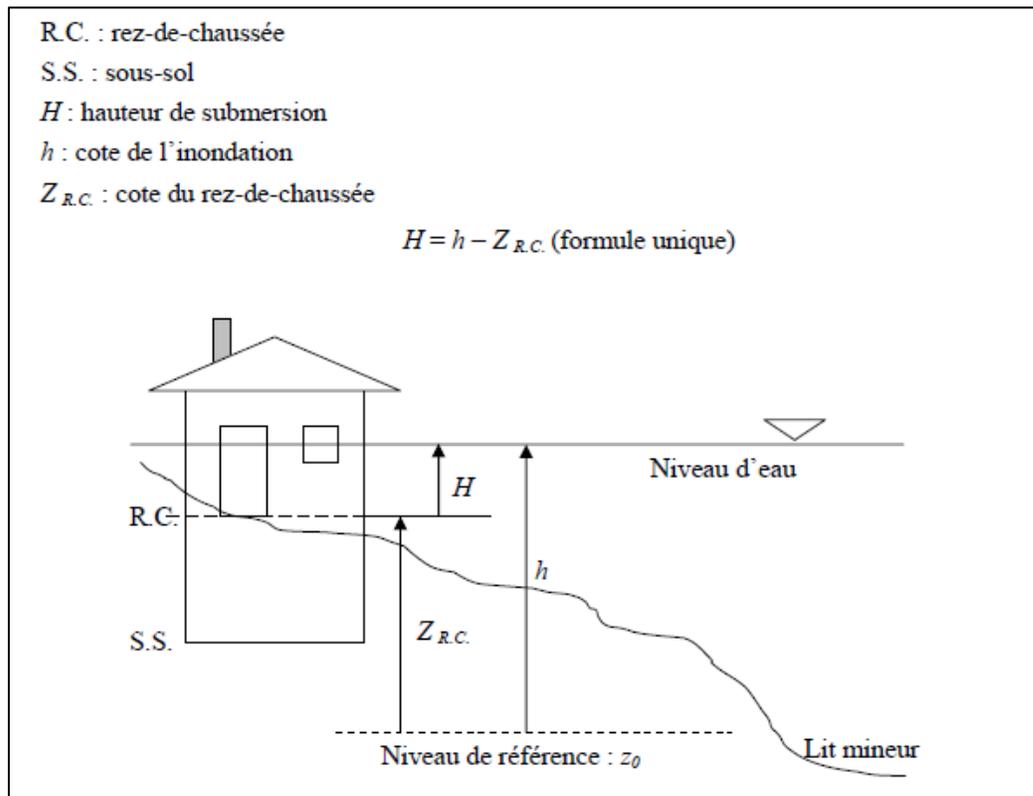
Courbes de submersion-dommages selon le type de bâtiments

La première composante provient d'une série de courbes de submersion-dommages proposées par Bonnifait (2005), qui varient selon le type de bâtiments. Elles permettent de prendre en compte la variabilité des dommages subis aux résidences. En effet, le niveau d'endommagement dépend de la vulnérabilité d'un bâtiment à la submersion qui elle-même est tributaire de l'élévation du bâtiment et de ses caractéristiques structurelles (le nombre d'étages, la présence d'un sous-sol et l'aménagement de ce

dernier). Ainsi, Bonnifait (2005) propose 6 classes de bâtiments, chacun ayant sa propre courbe de submersion-dommages :

- 1) Résidence à un étage avec sous-sol fini
- 2) Résidence à un étage avec sous-sol non fini
- 3) Résidence à un étage sans sous-sol
- 4) Résidence à deux étages avec sous-sol fini
- 5) Résidence à deux étages avec sous-sol non fini
- 6) Résidence à deux étages sans sous-sol

Les dommages sont calculés en proportion de la valeur du bâtiment et dépendent de la hauteur de la submersion (H) relativement à la hauteur du plancher principal ($Z_{R.C.}$). La figure B.4 illustre comment ces éléments sont définis.



Tiré de Bonnifait, 2005

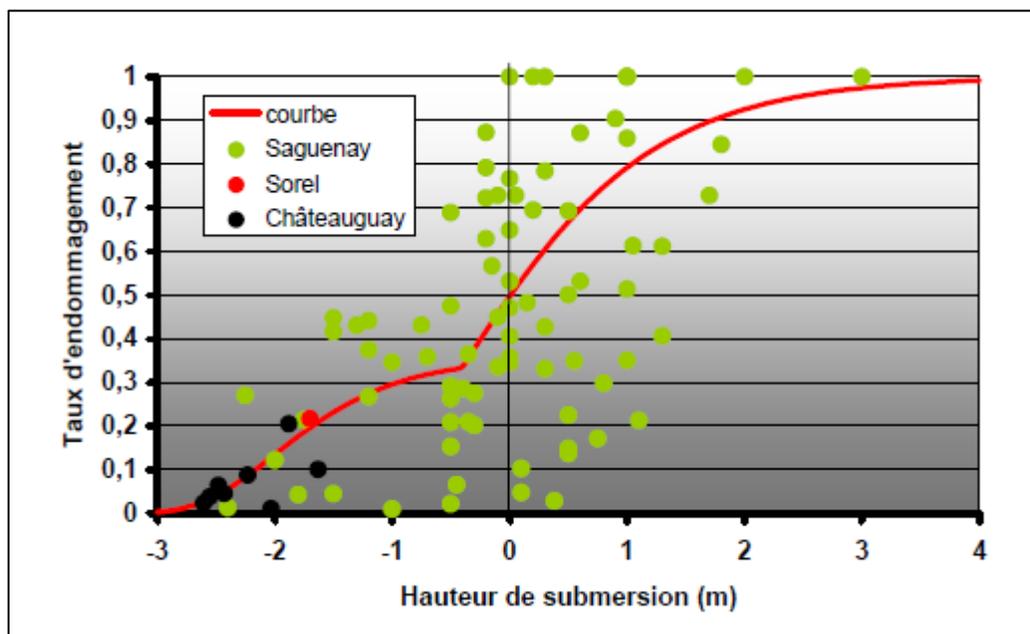
Figure B.4 – Définition de la hauteur de submersion

Ces courbes ont été développées à partir de données empiriques de dommages en milieu riverain. Leur transfert à des rives maritimes ne devrait pas poser de problème

dans la mesure où un facteur d'ajustement est apporté pour tenir compte de l'effet des dommages issus de la projection de débris par les vagues (voir *Autres facteurs de dommages*).

La figure B.5 présente la courbe de dommages pour une résidence à un étage avec sous-sol fini. Des dommages sont observés dès que le niveau de submersion est à moins de 3 mètres sous le niveau du plancher principal. Lorsque la submersion atteint le plancher principal, la courbe suggère que 50 % de la résidence est endommagée.

Les pourcentages d'endommagement sont ensuite appliqués à la valeur foncière des bâtiments dans les zones d'étude pour établir le montant des dommages pour chaque classe d'évènement. Cela permet de construire les courbes de dommages-probabilités.



Tiré de Bonnifait, 2005 dans Leclerc et al., 2006

Figure B.5 Courbe de submersion-dommages pour une résidence à un étage avec sous-sol fini

Ces courbes comprennent exclusivement les dommages subis à la structure du bâtiment, en excluant les dommages aux mobiliers et aux biens se trouvant dans la résidence. Par ailleurs, ces courbes ne couvrent pas non plus les dommages causés au terrain ou aux ouvrages de protection contre l'érosion (Bonnifait, 2005).

Lors de l'épisode de submersion de 2010, par exemple, de nombreux résidents ont non seulement subi des dommages au niveau de leur résidence, mais ont également dû remettre en état des structures de protection comme des enrochements ou des murets de bois et de béton. Dans plusieurs cas, l'accumulation d'eau derrière les structures avait conduit à un évidement du remblai. Les terrains ont dû être remblayés et les protections reconstruites. Ces coûts s'additionnent aux dommages directs aux bâtiments.

Afin d'appliquer les courbes de submersion-dommages au site d'étude, la cote d'élévation du plancher principal de chaque bâtiment à risque a été mesurée en superposant au modèle numérique d'élévation du terrain la hauteur du plancher principal par rapport au terrain environnant. La hauteur du plancher principal par rapport au terrain a été mesurée lors d'une campagne sur le terrain à l'aide d'un distomètre installé sur un trépied. Le niveau de précision de ce type d'instrument est de l'ordre du millimètre. La hauteur entre le terrain et la porte d'entrée principale a été mesurée à partir de la rue soit à une distance variant entre 3 et 10 mètres.

Niveaux d'eau extrêmes

La deuxième composante provient des récurrences de niveaux d'eau extrêmes. Ces niveaux d'eau extrêmes comprennent à la fois le niveau d'eau marégraphique intégrant le niveau d'eau prédit et la surcote de tempête, de même que le *jet de rive* découlant de la projection des vagues sur la côte.

Les classes d'évènements utilisées pour calculer le DAM sont les périodes de retour 2, 5, 10, 20, 25 et 30 ans. Ces classes d'évènement ont été sélectionnées en fonction de la disponibilité des données de vagues et de niveaux d'eau. Étant donné la courte durée de la série temporelle de données de vagues, l'extrapolation des récurrences ne peut se faire sur une période plus longue que 30 ans.

Par ailleurs, les options d'ingénierie ont été calibrées pour des événements de récurrences 500 ans. Considérant les classes d'évènement disponibles pour le calcul des dommages, il est impossible d'estimer les dommages résiduels pour les événements de récurrence supérieure à 500 ans. Ces dommages résiduels ont donc été considérés comme nuls.

Autres facteurs aggravant les dommages

Selon Bonnifait (2005), « le niveau d'eau est le facteur le plus significatif, celui qui possède la meilleure adéquation avec les dommages » dans un environnement fluvial. Toutefois, malgré le fait que la hauteur de submersion soit le principal facteur conditionnant les dommages, d'autres facteurs aggravants peuvent moduler les dommages subis aux résidences en milieu côtier. En particulier, la projection de débris, de troncs d'arbres, de pierres et de glace peut produire des dommages liés à l'impact de ce matériel sur l'enveloppe du bâtiment. Le déferlement des vagues, en entraînant ces débris, peut endommager sévèrement le revêtement extérieur et la structure d'un bâtiment.

Afin de tenir en compte de ce facteur aggravant, l'exposition des bâtiments à la projection a été déterminée pour chacun des bâtiments dans les segments à l'étude. Un dommage supplémentaire a été ajouté à l'estimation des dommages pour chaque classe d'événement si les trois conditions suivantes étaient respectées :

- 1) Une des façades du bâtiment fait face directement à la mer, sans être protégée par un autre bâtiment ou tout obstacle pouvant freiner la projection d'eau ou de débris.
- 2) Le bâtiment est à moins de 15 mètres de distance de la ligne de rivage.
- 3) Le niveau d'eau extrême atteint de l'événement est égal ou supérieur à la hauteur du rez-de-chaussée.

Si ces conditions sont respectées, une prime unique de projection de 10 % de la valeur du bâtiment est appliquée.

La durée de la submersion est également un facteur aggravant aux dommages causés aux résidences. En milieu côtier, la durée de la submersion est généralement limitée à un cycle de marée. Certaines zones situées à une élévation plus basse que le rivage pourraient cependant être aux prises avec une accumulation d'eau qui ne peut s'évacuer lorsque la marée se retire. Dans de tels cas, le coût des dommages peut grimper. Toutefois, dans le cadre de cette analyse, ces coûts n'ont pas été pris en compte puisque la durée des épisodes de submersion n'a pas été modélisée.



ANNEXE C
DÉTAILS DES COÛTS POUR
MARIA CENTRE-OUEST

OPTION NON-INTERVENTION

Année	Érosion	Submersion	Dommages aux infrastructures publiques	Coûts des mesures	Impacts économiques	Impacts sociaux	Somme des coûts
2015	(1 008 \$)	(176 831 \$)	(670 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(178 509 \$)
2016	(1 005 \$)	(170 029 \$)	(644 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(171 679 \$)
2017	(1 080 \$)	(163 490 \$)	(619 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(165 189 \$)
2018	(1 404 \$)	(157 202 \$)	(596 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(159 201 \$)
2019	(1 528 \$)	(151 156 \$)	(573 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(153 256 \$)
2020	(1 570 \$)	(145 342 \$)	(551 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(147 462 \$)
2021	(1 564 \$)	(139 752 \$)	(529 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(141 845 \$)
2022	(1 530 \$)	(134 377 \$)	(509 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(136 416 \$)
2023	(1 508 \$)	(129 208 \$)	(490 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(131 206 \$)
2024	(1 494 \$)	(124 239 \$)	(471 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(126 203 \$)
2025	(1 428 \$)	(119 460 \$)	(453 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(121 341 \$)
2026	(1 380 \$)	(114 866 \$)	(435 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(116 681 \$)
2027	(1 328 \$)	(110 448 \$)	(418 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(112 194 \$)
2028	(1 277 \$)	(106 200 \$)	(402 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(107 879 \$)
2029	(1 226 \$)	(102 115 \$)	(387 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(103 729 \$)
2030	(1 182 \$)	(116 212 \$)	(372 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(117 766 \$)
2031	(1 145 \$)	(111 742 \$)	(358 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(113 244 \$)
2032	(1 112 \$)	(107 444 \$)	(344 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(108 900 \$)
2033	(1 037 \$)	(103 312 \$)	(331 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(104 679 \$)
2034	(1 018 \$)	(99 338 \$)	(318 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(100 674 \$)
2035	(987 \$)	(95 518 \$)	(306 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(96 810 \$)
2036	(928 \$)	(91 844 \$)	(294 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(93 066 \$)
2037	(927 \$)	(88 311 \$)	(283 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(89 521 \$)
2038	(868 \$)	(84 915 \$)	(272 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(86 054 \$)
2039	(825 \$)	(81 649 \$)	(261 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(82 735 \$)
2040	(808 \$)	(78 508 \$)	(251 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(79 568 \$)
2041	(801 \$)	(75 489 \$)	(242 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(76 531 \$)
2042	(724 \$)	(72 585 \$)	(232 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(73 542 \$)
2043	(709 \$)	(69 794 \$)	(223 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(70 726 \$)
2044	(148 330 \$)	(59 921 \$)	(215 \$)	(28 733 \$)	0 \$	0 \$	(237 199 \$)
2045	(662 \$)	(57 617 \$)	(207 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(58 486 \$)
2046	(635 \$)	(55 401 \$)	(199 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(56 234 \$)
2047	(617 \$)	(53 270 \$)	(191 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(54 078 \$)
2048	(595 \$)	(51 221 \$)	(184 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(52 000 \$)
2049	(575 \$)	(49 251 \$)	(177 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(50 002 \$)
2050	(550 \$)	(47 357 \$)	(170 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(48 076 \$)
2051	(516 \$)	(45 535 \$)	(163 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(46 214 \$)
2052	(501 \$)	(43 784 \$)	(157 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(44 442 \$)
2053	(488 \$)	(42 100 \$)	(151 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(42 739 \$)
2054	(488 \$)	(40 481 \$)	(145 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(41 114 \$)
2055	(447 \$)	(47 801 \$)	(279 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(48 527 \$)
2056	(429 \$)	(45 962 \$)	(268 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(46 660 \$)
2057	(415 \$)	(44 195 \$)	(258 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(44 868 \$)
2058	(401 \$)	(42 495 \$)	(248 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(43 144 \$)
2059	(390 \$)	(40 860 \$)	(239 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(41 489 \$)
2060	(373 \$)	(39 289 \$)	(229 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(39 891 \$)
2061	(360 \$)	(37 778 \$)	(221 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(38 358 \$)
2062	(331 \$)	(36 325 \$)	(212 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(36 867 \$)
2063	(331 \$)	(34 928 \$)	(204 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(35 462 \$)
2064	(304 \$)	(33 584 \$)	(196 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(34 084 \$)
TOTAL	(191 134 \$)	(4 270 530 \$)	(16 144 \$)	(28 733 \$)	0 \$	0 \$	(4 506 541 \$)

OPTION DE MUR DE PALPLANCHES

Année	Érosion	Submersion	Dommages aux infrastructures publiques	Coûts des mesures	Impacts économiques	Impacts sociaux	Somme des coûts
2015	(1 008 \$)	(176 831 \$)	(670 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(178 509 \$)
2016	(1 005 \$)	(170 029 \$)	(644 \$)	(649 038 \$)	0 \$	0 \$	(820 717 \$)
2017	(1 080 \$)	(163 490 \$)	(619 \$)	(208 025 \$)	0 \$	0 \$	(373 214 \$)
2018	0 \$	0 \$	0 \$	(3 975 592 \$)	0 \$	(148 971 \$)	(4 124 563 \$)
2019	0 \$	0 \$	0 \$	(96 012 \$)	0 \$	0 \$	(96 012 \$)
2020	0 \$	0 \$	0 \$	(92 319 \$)	0 \$	0 \$	(92 319 \$)
2021	0 \$	0 \$	0 \$	(88 768 \$)	0 \$	0 \$	(88 768 \$)
2022	0 \$	0 \$	0 \$	(85 354 \$)	0 \$	0 \$	(85 354 \$)
2023	0 \$	0 \$	0 \$	(82 071 \$)	0 \$	0 \$	(82 071 \$)
2024	0 \$	0 \$	0 \$	(78 915 \$)	0 \$	0 \$	(78 915 \$)
2025	0 \$	0 \$	0 \$	(75 879 \$)	0 \$	0 \$	(75 879 \$)
2026	0 \$	0 \$	0 \$	(72 961 \$)	0 \$	0 \$	(72 961 \$)
2027	0 \$	0 \$	0 \$	(70 155 \$)	0 \$	0 \$	(70 155 \$)
2028	0 \$	0 \$	0 \$	(67 456 \$)	0 \$	0 \$	(67 456 \$)
2029	0 \$	0 \$	0 \$	(64 862 \$)	0 \$	0 \$	(64 862 \$)
2030	0 \$	0 \$	0 \$	(62 367 \$)	0 \$	0 \$	(62 367 \$)
2031	0 \$	0 \$	0 \$	(59 969 \$)	0 \$	0 \$	(59 969 \$)
2032	0 \$	0 \$	0 \$	(57 662 \$)	0 \$	0 \$	(57 662 \$)
2033	0 \$	0 \$	0 \$	(55 444 \$)	0 \$	0 \$	(55 444 \$)
2034	0 \$	0 \$	0 \$	(53 312 \$)	0 \$	0 \$	(53 312 \$)
2035	0 \$	0 \$	0 \$	(51 261 \$)	0 \$	0 \$	(51 261 \$)
2036	0 \$	0 \$	0 \$	(49 290 \$)	0 \$	0 \$	(49 290 \$)
2037	0 \$	0 \$	0 \$	(47 394 \$)	0 \$	0 \$	(47 394 \$)
2038	0 \$	0 \$	0 \$	(45 571 \$)	0 \$	0 \$	(45 571 \$)
2039	0 \$	0 \$	0 \$	(43 818 \$)	0 \$	0 \$	(43 818 \$)
2040	0 \$	0 \$	0 \$	(42 133 \$)	0 \$	0 \$	(42 133 \$)
2041	0 \$	0 \$	0 \$	(40 513 \$)	0 \$	0 \$	(40 513 \$)
2042	0 \$	0 \$	0 \$	(38 954 \$)	0 \$	0 \$	(38 954 \$)
2043	0 \$	0 \$	0 \$	(37 456 \$)	0 \$	0 \$	(37 456 \$)
2044	0 \$	0 \$	0 \$	(36 016 \$)	0 \$	0 \$	(36 016 \$)
2045	0 \$	0 \$	0 \$	(34 630 \$)	0 \$	0 \$	(34 630 \$)
2046	0 \$	0 \$	0 \$	(33 298 \$)	0 \$	0 \$	(33 298 \$)
2047	0 \$	0 \$	0 \$	(32 018 \$)	0 \$	0 \$	(32 018 \$)
2048	0 \$	0 \$	0 \$	(30 786 \$)	0 \$	0 \$	(30 786 \$)
2049	0 \$	0 \$	0 \$	(29 602 \$)	0 \$	0 \$	(29 602 \$)
2050	0 \$	0 \$	0 \$	(28 464 \$)	0 \$	0 \$	(28 464 \$)
2051	0 \$	0 \$	0 \$	(27 369 \$)	0 \$	0 \$	(27 369 \$)
2052	0 \$	0 \$	0 \$	(26 316 \$)	0 \$	0 \$	(26 316 \$)
2053	0 \$	0 \$	0 \$	(25 304 \$)	0 \$	0 \$	(25 304 \$)
2054	0 \$	0 \$	0 \$	(24 331 \$)	0 \$	0 \$	(24 331 \$)
2055	0 \$	0 \$	0 \$	(23 395 \$)	0 \$	0 \$	(23 395 \$)
2056	0 \$	0 \$	0 \$	(22 495 \$)	0 \$	0 \$	(22 495 \$)
2057	0 \$	0 \$	0 \$	(21 630 \$)	0 \$	0 \$	(21 630 \$)
2058	0 \$	0 \$	0 \$	(20 798 \$)	0 \$	0 \$	(20 798 \$)
2059	0 \$	0 \$	0 \$	(19 998 \$)	0 \$	0 \$	(19 998 \$)
2060	0 \$	0 \$	0 \$	(19 229 \$)	0 \$	0 \$	(19 229 \$)
2061	0 \$	0 \$	0 \$	(18 489 \$)	0 \$	0 \$	(18 489 \$)
2062	0 \$	0 \$	0 \$	(17 778 \$)	0 \$	0 \$	(17 778 \$)
2063	0 \$	0 \$	0 \$	(17 095 \$)	0 \$	0 \$	(17 095 \$)
2064	0 \$	0 \$	0 \$	(6 544 \$)	0 \$	0 \$	(6 544 \$)
TOTAL	(3 093 \$)	(510 350 \$)	(1 934 \$)	(6 908 139 \$)	0 \$	(148 971 \$)	(7 572 486 \$)

OPTION D'IMMUNISATION ET RELOCALISATION STRATÉGIQUE

Année	Érosion	Submersion	Dommages aux infrastructures publiques	Coûts des mesures	Impacts économiques	Impacts sociaux	Somme des coûts
2015	(1 008 \$)	(162 631 \$)	(670 \$)	(92 726 \$)	(42 800 \$)	0 \$	(299 835 \$)
2016	(1 005 \$)	(156 376 \$)	(644 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(158 025 \$)
2017	(1 064 \$)	(150 361 \$)	(619 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(152 045 \$)
2018	(1 285 \$)	(144 578 \$)	(596 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(146 459 \$)
2019	(1 414 \$)	(139 017 \$)	(573 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(141 004 \$)
2020	(1 453 \$)	(133 670 \$)	(551 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(135 674 \$)
2021	(1 436 \$)	(128 529 \$)	(529 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(130 495 \$)
2022	(1 390 \$)	(123 586 \$)	(509 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(125 485 \$)
2023	(1 361 \$)	(118 833 \$)	(490 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(120 683 \$)
2024	(1 340 \$)	(114 262 \$)	(471 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(116 073 \$)
2025	(1 279 \$)	(109 867 \$)	(453 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(111 599 \$)
2026	(1 237 \$)	(105 642 \$)	(435 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(107 314 \$)
2027	(1 190 \$)	(101 579 \$)	(418 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(103 187 \$)
2028	(1 144 \$)	(97 672 \$)	(402 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(99 219 \$)
2029	(1 099 \$)	(93 915 \$)	(387 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(95 401 \$)
2030	(1 059 \$)	(60 095 \$)	(372 \$)	(70 246 \$)	0 \$	0 \$	(131 772 \$)
2031	(907 \$)	(57 783 \$)	(358 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(59 048 \$)
2032	(871 \$)	(55 561 \$)	(344 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(56 776 \$)
2033	(825 \$)	(53 424 \$)	(331 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(54 580 \$)
2034	(804 \$)	(51 369 \$)	(318 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(52 491 \$)
2035	(766 \$)	(49 393 \$)	(306 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(50 465 \$)
2036	(747 \$)	(47 494 \$)	(294 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(48 534 \$)
2037	(734 \$)	(45 667 \$)	(283 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(46 684 \$)
2038	(685 \$)	(43 911 \$)	(272 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(44 867 \$)
2039	(649 \$)	(42 222 \$)	(261 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(43 132 \$)
2040	(639 \$)	(40 598 \$)	(251 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(41 489 \$)
2041	(624 \$)	(39 036 \$)	(242 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(39 902 \$)
2042	(583 \$)	(37 535 \$)	(232 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(38 351 \$)
2043	(563 \$)	(36 091 \$)	(223 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(36 878 \$)
2044	(148 180 \$)	(27 515 \$)	(215 \$)	(28 733 \$)	0 \$	0 \$	(204 643 \$)
2045	(523 \$)	(26 457 \$)	(207 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(27 187 \$)
2046	(501 \$)	(25 439 \$)	(199 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(26 139 \$)
2047	(489 \$)	(24 461 \$)	(191 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(25 141 \$)
2048	(472 \$)	(23 520 \$)	(184 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(24 176 \$)
2049	(448 \$)	(22 616 \$)	(177 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(23 240 \$)
2050	(434 \$)	(21 746 \$)	(170 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(22 349 \$)
2051	(415 \$)	(20 909 \$)	(163 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(21 487 \$)
2052	(402 \$)	(20 105 \$)	(157 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(20 664 \$)
2053	(387 \$)	(13 196 \$)	(151 \$)	(97 592 \$)	(26 725 \$)	0 \$	(138 049 \$)
2054	(351 \$)	(12 688 \$)	(145 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(13 185 \$)
2055	(321 \$)	(12 009 \$)	(279 \$)	(9 985 \$)	0 \$	0 \$	(22 594 \$)
2056	(307 \$)	(11 547 \$)	(268 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(12 123 \$)
2057	(298 \$)	(11 103 \$)	(258 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(11 660 \$)
2058	(288 \$)	(10 676 \$)	(248 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(11 212 \$)
2059	(282 \$)	(10 265 \$)	(239 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(10 786 \$)
2060	(269 \$)	(9 656 \$)	(229 \$)	(18 791 \$)	(1 485 \$)	(3 275 \$)	(33 706 \$)
2061	(245 \$)	(9 285 \$)	(221 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(9 750 \$)
2062	(222 \$)	(8 928 \$)	(212 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(9 362 \$)
2063	(219 \$)	(8 584 \$)	(204 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(9 007 \$)
2064	(205 \$)	(8 254 \$)	(196 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(8 655 \$)
TOTAL	(184 422 \$)	(2 879 657 \$)	(16 144 \$)	(318 072 \$)	(71 010 \$)	(3 275 \$)	(3 472 581 \$)



ANNEXE D
DÉTAILS DES COÛTS
POUR MARIA CENTRE-EST

OPTION DE NON INTERVENTION

Année	Érosion	Submersion	Domages aux infrastructures publiques	Coûts des mesures	Impacts économiques	Impacts sociaux	Somme des coûts
2015	(3 938 \$)	(34 040 \$)	(2 563 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(40 540 \$)
2016	(4 124 \$)	(32 731 \$)	(2 464 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(39 318 \$)
2017	(4 005 \$)	(31 472 \$)	(2 369 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(37 846 \$)
2018	(3 858 \$)	(30 261 \$)	(2 278 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(36 398 \$)
2019	(3 724 \$)	(29 097 \$)	(2 191 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(35 012 \$)
2020	(3 597 \$)	(27 978 \$)	(2 106 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(33 682 \$)
2021	(3 467 \$)	(26 902 \$)	(2 025 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(32 394 \$)
2022	(3 339 \$)	(25 867 \$)	(1 947 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(31 154 \$)
2023	(3 214 \$)	(24 873 \$)	(1 872 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(29 959 \$)
2024	(122 882 \$)	(22 574 \$)	(1 800 \$)	(7 350 \$)	0 \$	(13 442 \$)	(168 048 \$)
2025	(2 560 \$)	(21 706 \$)	(1 731 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(25 997 \$)
2026	(2 448 \$)	(20 871 \$)	(1 665 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(24 984 \$)
2027	(2 357 \$)	(20 069 \$)	(1 601 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(24 027 \$)
2028	(85 988 \$)	(19 060 \$)	(1 539 \$)	(6 649 \$)	0 \$	(11 490 \$)	(124 726 \$)
2029	(1 714 \$)	(18 327 \$)	(1 480 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(21 521 \$)
2030	(1 653 \$)	(19 887 \$)	(2 846 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(24 386 \$)
2031	(1 593 \$)	(19 122 \$)	(2 736 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(23 451 \$)
2032	(1 532 \$)	(18 387 \$)	(2 631 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(22 550 \$)
2033	(1 478 \$)	(17 680 \$)	(2 530 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(21 687 \$)
2034	(1 420 \$)	(17 000 \$)	(2 433 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(20 852 \$)
2035	(1 370 \$)	(16 346 \$)	(2 339 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(20 055 \$)
2036	(22 276 \$)	(15 120 \$)	(2 249 \$)	(2 762 \$)	0 \$	(8 396 \$)	(50 802 \$)
2037	(1 072 \$)	(14 538 \$)	(2 163 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(17 773 \$)
2038	(1 039 \$)	(13 979 \$)	(2 079 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(17 097 \$)
2039	(999 \$)	(13 441 \$)	(1 999 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(16 440 \$)
2040	(963 \$)	(12 924 \$)	(1 923 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(15 810 \$)
2041	(929 \$)	(12 427 \$)	(1 849 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(15 205 \$)
2042	(895 \$)	(11 949 \$)	(1 778 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(14 622 \$)
2043	(70 181 \$)	(10 943 \$)	(1 709 \$)	(3 147 \$)	0 \$	(6 380 \$)	(92 359 \$)
2044	(831 \$)	(10 522 \$)	(1 643 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(12 996 \$)
2045	(801 \$)	(10 117 \$)	(1 580 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(12 499 \$)
2046	(773 \$)	(9 728 \$)	(1 519 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(12 021 \$)
2047	(41 767 \$)	(9 080 \$)	(1 461 \$)	(2 674 \$)	0 \$	(5 454 \$)	(60 436 \$)
2048	(715 \$)	(8 731 \$)	(1 405 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(10 851 \$)
2049	(690 \$)	(8 395 \$)	(1 351 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(10 437 \$)
2050	(667 \$)	(8 072 \$)	(1 299 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(10 038 \$)
2051	(641 \$)	(7 762 \$)	(1 249 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(9 652 \$)
2052	(618 \$)	(7 463 \$)	(1 201 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(9 282 \$)
2053	(595 \$)	(7 176 \$)	(1 155 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(8 926 \$)
2054	(571 \$)	(6 900 \$)	(1 110 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(8 582 \$)
2055	(551 \$)	(14 187 \$)	(2 491 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(17 229 \$)
2056	(533 \$)	(13 642 \$)	(2 395 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(16 570 \$)
2057	(512 \$)	(13 117 \$)	(2 303 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(15 932 \$)
2058	(494 \$)	(12 612 \$)	(2 214 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(15 321 \$)
2059	(475 \$)	(12 127 \$)	(2 129 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(14 732 \$)
2060	(461 \$)	(11 661 \$)	(2 047 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(14 169 \$)
2061	(485 \$)	(11 212 \$)	(1 969 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(13 666 \$)
2062	(488 \$)	(10 781 \$)	(1 893 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(13 162 \$)
2063	(480 \$)	(10 367 \$)	(1 820 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(12 667 \$)
2064	(476 \$)	(9 968 \$)	(1 750 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(12 194 \$)
TOTAL	(412 237 \$)	(813 195 \$)	(96 879 \$)	(22 582 \$)	0 \$	(45 160 \$)	(1 390 054 \$)

OPTION DE RECHARGE DE PLAGE

Année	Érosion	Submersion	Dommmages aux infrastructures publiques	Coûts des mesures	Impacts économiques	Impacts sociaux	Gains d'usage récréatif	Somme des coûts
2015	(3 938 \$)	(34 040 \$)	(2 563 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	(40 540 \$)
2016	(4 124 \$)	(32 731 \$)	(2 464 \$)	(230 769 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(270 088 \$)
2017	(4 005 \$)	(31 472 \$)	(2 369 \$)	(73 964 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(111 810 \$)
2018	0 \$	0 \$	0 \$	(1 482 846 \$)	0 \$	(54 745 \$)	6 886 \$	(1 530 705 \$)
2019	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	6 621 \$	6 621 \$
2020	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	6 367 \$	6 367 \$
2021	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	6 122 \$	6 122 \$
2022	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	5 886 \$	5 886 \$
2023	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	5 660 \$	5 660 \$
2024	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	5 442 \$	5 442 \$
2025	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	5 233 \$	5 233 \$
2026	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	5 032 \$	5 032 \$
2027	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	4 838 \$	4 838 \$
2028	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	4 652 \$	4 652 \$
2029	0 \$	0 \$	0 \$	(138 594 \$)	0 \$	0 \$	4 473 \$	(134 121 \$)
2030	0 \$	0 \$	0 \$	(44 421 \$)	0 \$	0 \$	4 301 \$	(40 120 \$)
2031	0 \$	0 \$	0 \$	(890 559 \$)	0 \$	0 \$	4 136 \$	(886 423 \$)
2032	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	3 977 \$	3 977 \$
2033	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	3 824 \$	3 824 \$
2034	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	3 677 \$	3 677 \$
2035	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	3 535 \$	3 535 \$
2036	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	3 399 \$	3 399 \$
2037	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	3 268 \$	3 268 \$
2038	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	3 143 \$	3 143 \$
2039	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	3 022 \$	3 022 \$
2040	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	2 906 \$	2 906 \$
2041	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	2 794 \$	2 794 \$
2042	0 \$	0 \$	0 \$	(83 236 \$)	0 \$	0 \$	2 686 \$	(80 550 \$)
2043	0 \$	0 \$	0 \$	(26 678 \$)	0 \$	0 \$	2 583 \$	(24 095 \$)
2044	0 \$	0 \$	0 \$	(534 847 \$)	0 \$	0 \$	2 484 \$	(532 363 \$)
2045	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	2 388 \$	2 388 \$
2046	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	2 296 \$	2 296 \$
2047	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	2 208 \$	2 208 \$
2048	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	2 123 \$	2 123 \$
2049	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	2 041 \$	2 041 \$
2050	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	1 963 \$	1 963 \$
2051	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	1 887 \$	1 887 \$
2052	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	1 815 \$	1 815 \$
2053	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	1 745 \$	1 745 \$
2054	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	1 678 \$	1 678 \$
2055	0 \$	0 \$	0 \$	(49 989 \$)	0 \$	0 \$	1 613 \$	(48 376 \$)
2056	0 \$	0 \$	0 \$	(16 022 \$)	0 \$	0 \$	1 551 \$	(14 471 \$)
2057	0 \$	0 \$	0 \$	(321 215 \$)	0 \$	0 \$	1 492 \$	(319 723 \$)
2058	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	1 434 \$	1 434 \$
2059	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	1 379 \$	1 379 \$
2060	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	1 326 \$	1 326 \$
2061	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	1 275 \$	1 275 \$
2062	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	1 226 \$	1 226 \$
2063	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	1 179 \$	1 179 \$
2064	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	1 134 \$	1 134 \$
TOTAL	(12 066 \$)	(98 242 \$)	(7 396 \$)	(3 893 141 \$)	0 \$	(54 745 \$)	150 702 \$	(3 914 888 \$)

OPTION DE RECHARGE DE PLAGE AVEC ÉPIS

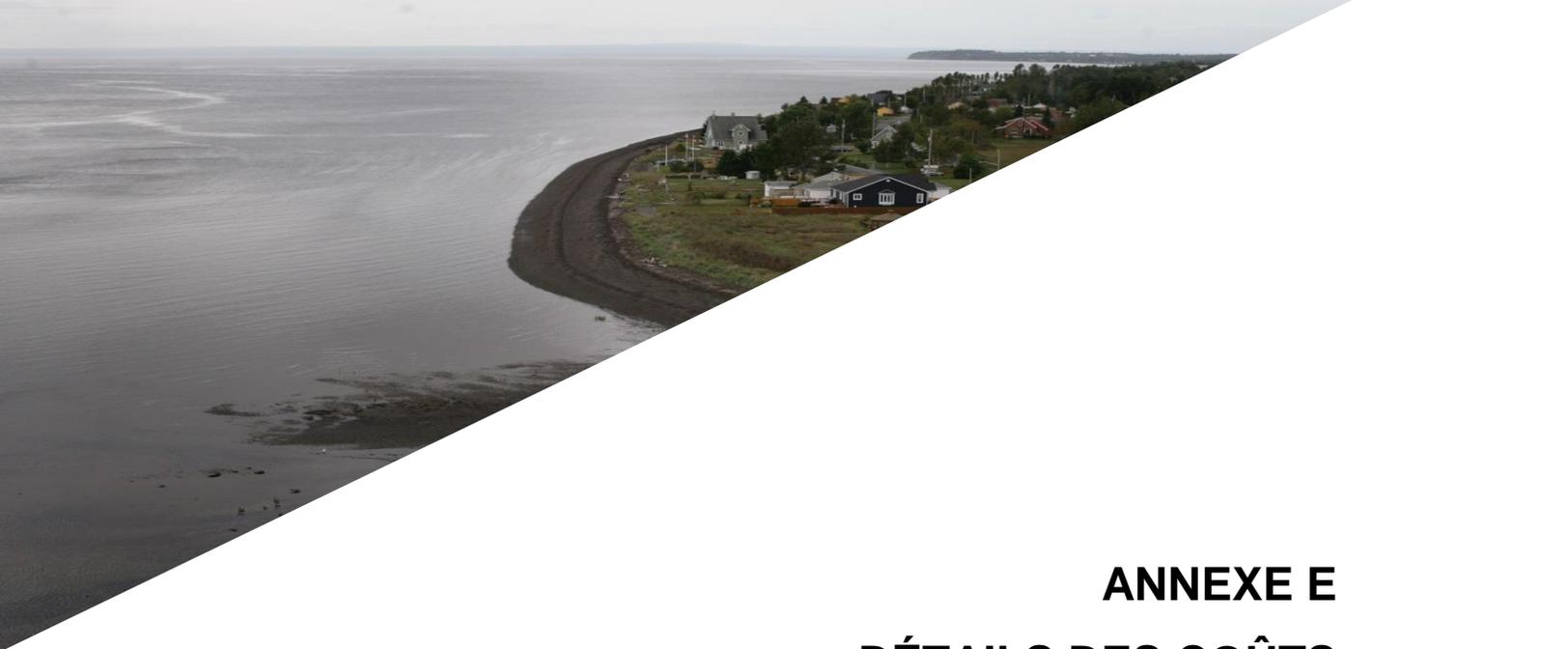
Année	Érosion	Submersion	Dommmages aux infrastructures publiques	Coûts des mesures	Impacts économiques	Impacts sociaux	Gains d'usage récréatif	Somme des coûts
2015	(3 938 \$)	(34 040 \$)	(2 563 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	(40 540 \$)
2016	(4 124 \$)	(32 731 \$)	(2 464 \$)	(274 038 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(313 357 \$)
2017	(4 005 \$)	(31 472 \$)	(2 369 \$)	(87 833 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(125 679 \$)
2018	0 \$	0 \$	0 \$	(1 786 883 \$)	0 \$	(54 745 \$)	6 886 \$	(1 834 742 \$)
2019	0 \$	0 \$	0 \$	(15 045 \$)	0 \$	0 \$	6 621 \$	(8 423 \$)
2020	0 \$	0 \$	0 \$	(14 466 \$)	0 \$	0 \$	6 367 \$	(8 099 \$)
2021	0 \$	0 \$	0 \$	(13 910 \$)	0 \$	0 \$	6 122 \$	(7 788 \$)
2022	0 \$	0 \$	0 \$	(13 375 \$)	0 \$	0 \$	5 886 \$	(7 488 \$)
2023	0 \$	0 \$	0 \$	(12 860 \$)	0 \$	0 \$	5 660 \$	(7 200 \$)
2024	0 \$	0 \$	0 \$	(12 366 \$)	0 \$	0 \$	5 442 \$	(6 923 \$)
2025	0 \$	0 \$	0 \$	(11 890 \$)	0 \$	0 \$	5 233 \$	(6 657 \$)
2026	0 \$	0 \$	0 \$	(11 433 \$)	0 \$	0 \$	5 032 \$	(6 401 \$)
2027	0 \$	0 \$	0 \$	(10 993 \$)	0 \$	0 \$	4 838 \$	(6 155 \$)
2028	0 \$	0 \$	0 \$	(10 570 \$)	0 \$	0 \$	4 652 \$	(5 918 \$)
2029	0 \$	0 \$	0 \$	(10 164 \$)	0 \$	0 \$	4 473 \$	(5 690 \$)
2030	0 \$	0 \$	0 \$	(9 773 \$)	0 \$	0 \$	4 301 \$	(5 472 \$)
2031	0 \$	0 \$	0 \$	(9 397 \$)	0 \$	0 \$	4 136 \$	(5 261 \$)
2032	0 \$	0 \$	0 \$	(9 035 \$)	0 \$	0 \$	3 977 \$	(5 059 \$)
2033	0 \$	0 \$	0 \$	(8 688 \$)	0 \$	0 \$	3 824 \$	(4 864 \$)
2034	0 \$	0 \$	0 \$	(8 354 \$)	0 \$	0 \$	3 677 \$	(4 677 \$)
2035	0 \$	0 \$	0 \$	(8 032 \$)	0 \$	0 \$	3 535 \$	(4 497 \$)
2036	0 \$	0 \$	0 \$	(7 723 \$)	0 \$	0 \$	3 399 \$	(4 324 \$)
2037	0 \$	0 \$	0 \$	(7 426 \$)	0 \$	0 \$	3 268 \$	(4 158 \$)
2038	0 \$	0 \$	0 \$	(7 141 \$)	0 \$	0 \$	3 143 \$	(3 998 \$)
2039	0 \$	0 \$	0 \$	(6 866 \$)	0 \$	0 \$	3 022 \$	(3 844 \$)
2040	0 \$	0 \$	0 \$	(6 602 \$)	0 \$	0 \$	2 906 \$	(3 696 \$)
2041	0 \$	0 \$	0 \$	(6 348 \$)	0 \$	0 \$	2 794 \$	(3 554 \$)
2042	0 \$	0 \$	0 \$	(6 104 \$)	0 \$	0 \$	2 686 \$	(3 418 \$)
2043	0 \$	0 \$	0 \$	(5 869 \$)	0 \$	0 \$	2 583 \$	(3 286 \$)
2044	0 \$	0 \$	0 \$	(5 643 \$)	0 \$	0 \$	2 484 \$	(3 160 \$)
2045	0 \$	0 \$	0 \$	(5 426 \$)	0 \$	0 \$	2 388 \$	(3 038 \$)
2046	0 \$	0 \$	0 \$	(5 218 \$)	0 \$	0 \$	2 296 \$	(2 921 \$)
2047	0 \$	0 \$	0 \$	(5 017 \$)	0 \$	0 \$	2 208 \$	(2 809 \$)
2048	0 \$	0 \$	0 \$	(4 824 \$)	0 \$	0 \$	2 123 \$	(2 701 \$)
2049	0 \$	0 \$	0 \$	(4 639 \$)	0 \$	0 \$	2 041 \$	(2 597 \$)
2050	0 \$	0 \$	0 \$	(4 460 \$)	0 \$	0 \$	1 963 \$	(2 497 \$)
2051	0 \$	0 \$	0 \$	(4 289 \$)	0 \$	0 \$	1 887 \$	(2 401 \$)
2052	0 \$	0 \$	0 \$	(4 124 \$)	0 \$	0 \$	1 815 \$	(2 309 \$)
2053	0 \$	0 \$	0 \$	(3 965 \$)	0 \$	0 \$	1 745 \$	(2 220 \$)
2054	0 \$	0 \$	0 \$	(3 813 \$)	0 \$	0 \$	1 678 \$	(2 135 \$)
2055	0 \$	0 \$	0 \$	(3 666 \$)	0 \$	0 \$	1 613 \$	(2 052 \$)
2056	0 \$	0 \$	0 \$	(3 525 \$)	0 \$	0 \$	1 551 \$	(1 974 \$)
2057	0 \$	0 \$	0 \$	(3 389 \$)	0 \$	0 \$	1 492 \$	(1 898 \$)
2058	0 \$	0 \$	0 \$	(3 259 \$)	0 \$	0 \$	1 434 \$	(1 825 \$)
2059	0 \$	0 \$	0 \$	(3 134 \$)	0 \$	0 \$	1 379 \$	(1 754 \$)
2060	0 \$	0 \$	0 \$	(3 013 \$)	0 \$	0 \$	1 326 \$	(1 687 \$)
2061	0 \$	0 \$	0 \$	(2 897 \$)	0 \$	0 \$	1 275 \$	(1 622 \$)
2062	0 \$	0 \$	0 \$	(2 786 \$)	0 \$	0 \$	1 226 \$	(1 560 \$)
2063	0 \$	0 \$	0 \$	(2 679 \$)	0 \$	0 \$	1 179 \$	(1 500 \$)
2064	0 \$	0 \$	0 \$	(10 449 \$)	0 \$	0 \$	1 134 \$	(9 315 \$)
TOTAL	(12 066 \$)	(98 242 \$)	(7 396 \$)	(2 483 395 \$)	0 \$	(54 745 \$)	150 702 \$	(2 505 143 \$)

OPTION DE MUR DE BÉTON

Année	Érosion	Submersion	Domages aux infrastructures publiques	Coûts des mesures	Impacts économiques	Impacts sociaux	Somme des coûts
2015	(3 938 \$)	(34 040 \$)	(2 563 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(40 540 \$)
2016	(4 124 \$)	(32 731 \$)	(2 464 \$)	(432 692 \$)	0 \$	0 \$	(472 011 \$)
2017	(4 005 \$)	(31 472 \$)	(2 369 \$)	(138 683 \$)	0 \$	0 \$	(176 529 \$)
2018	0 \$	0 \$	0 \$	(2 924 798 \$)	0 \$	(304 638 \$)	(3 229 436 \$)
2019	0 \$	0 \$	0 \$	(63 016 \$)	0 \$	(125 806 \$)	(188 822 \$)
2020	0 \$	0 \$	0 \$	(60 592 \$)	0 \$	(120 967 \$)	(181 559 \$)
2021	0 \$	0 \$	0 \$	(58 262 \$)	0 \$	(116 314 \$)	(174 576 \$)
2022	0 \$	0 \$	0 \$	(56 021 \$)	0 \$	(111 841 \$)	(167 862 \$)
2023	0 \$	0 \$	0 \$	(53 866 \$)	0 \$	(107 539 \$)	(161 406 \$)
2024	0 \$	0 \$	0 \$	(51 795 \$)	0 \$	(103 403 \$)	(155 198 \$)
2025	0 \$	0 \$	0 \$	(49 803 \$)	0 \$	(99 426 \$)	(149 229 \$)
2026	0 \$	0 \$	0 \$	(47 887 \$)	0 \$	(95 602 \$)	(143 489 \$)
2027	0 \$	0 \$	0 \$	(46 045 \$)	0 \$	(91 925 \$)	(137 970 \$)
2028	0 \$	0 \$	0 \$	(44 274 \$)	0 \$	(88 389 \$)	(132 664 \$)
2029	0 \$	0 \$	0 \$	(42 571 \$)	0 \$	(84 990 \$)	(127 561 \$)
2030	0 \$	0 \$	0 \$	(40 934 \$)	0 \$	(81 721 \$)	(122 655 \$)
2031	0 \$	0 \$	0 \$	(39 360 \$)	0 \$	(78 578 \$)	(117 937 \$)
2032	0 \$	0 \$	0 \$	(37 846 \$)	0 \$	(75 556 \$)	(113 401 \$)
2033	0 \$	0 \$	0 \$	(36 390 \$)	0 \$	(72 650 \$)	(109 040 \$)
2034	0 \$	0 \$	0 \$	(34 991 \$)	0 \$	(69 855 \$)	(104 846 \$)
2035	0 \$	0 \$	0 \$	(33 645 \$)	0 \$	(67 169 \$)	(100 813 \$)
2036	0 \$	0 \$	0 \$	(32 351 \$)	0 \$	(64 585 \$)	(96 936 \$)
2037	0 \$	0 \$	0 \$	(31 107 \$)	0 \$	(62 101 \$)	(93 208 \$)
2038	0 \$	0 \$	0 \$	(29 910 \$)	0 \$	(59 713 \$)	(89 623 \$)
2039	0 \$	0 \$	0 \$	(28 760 \$)	0 \$	(57 416 \$)	(86 176 \$)
2040	0 \$	0 \$	0 \$	(27 654 \$)	0 \$	(55 208 \$)	(82 861 \$)
2041	0 \$	0 \$	0 \$	(26 590 \$)	0 \$	(53 084 \$)	(79 674 \$)
2042	0 \$	0 \$	0 \$	(25 567 \$)	0 \$	(51 043 \$)	(76 610 \$)
2043	0 \$	0 \$	0 \$	(24 584 \$)	0 \$	(49 079 \$)	(73 663 \$)
2044	0 \$	0 \$	0 \$	(23 638 \$)	0 \$	(47 192 \$)	(70 830 \$)
2045	0 \$	0 \$	0 \$	(22 729 \$)	0 \$	(45 377 \$)	(68 106 \$)
2046	0 \$	0 \$	0 \$	(21 855 \$)	0 \$	(43 631 \$)	(65 487 \$)
2047	0 \$	0 \$	0 \$	(21 014 \$)	0 \$	(41 953 \$)	(62 968 \$)
2048	0 \$	0 \$	0 \$	(20 206 \$)	0 \$	(40 340 \$)	(60 546 \$)
2049	0 \$	0 \$	0 \$	(19 429 \$)	0 \$	(38 788 \$)	(58 217 \$)
2050	0 \$	0 \$	0 \$	(18 682 \$)	0 \$	(37 296 \$)	(55 978 \$)
2051	0 \$	0 \$	0 \$	(17 963 \$)	0 \$	(35 862 \$)	(53 825 \$)
2052	0 \$	0 \$	0 \$	(17 272 \$)	0 \$	(34 483 \$)	(51 755 \$)
2053	0 \$	0 \$	0 \$	(16 608 \$)	0 \$	(33 156 \$)	(49 764 \$)
2054	0 \$	0 \$	0 \$	(15 969 \$)	0 \$	(31 881 \$)	(47 850 \$)
2055	0 \$	0 \$	0 \$	(15 355 \$)	0 \$	(30 655 \$)	(46 010 \$)
2056	0 \$	0 \$	0 \$	(14 764 \$)	0 \$	(29 476 \$)	(44 240 \$)
2057	0 \$	0 \$	0 \$	(14 197 \$)	0 \$	(28 342 \$)	(42 539 \$)
2058	0 \$	0 \$	0 \$	(13 651 \$)	0 \$	(27 252 \$)	(40 903 \$)
2059	0 \$	0 \$	0 \$	(13 126 \$)	0 \$	(26 204 \$)	(39 329 \$)
2060	0 \$	0 \$	0 \$	(12 621 \$)	0 \$	(25 196 \$)	(37 817 \$)
2061	0 \$	0 \$	0 \$	(12 135 \$)	0 \$	(24 227 \$)	(36 362 \$)
2062	0 \$	0 \$	0 \$	(11 669 \$)	0 \$	(23 295 \$)	(34 964 \$)
2063	0 \$	0 \$	0 \$	(11 220 \$)	0 \$	(22 399 \$)	(33 619 \$)
2064	0 \$	0 \$	0 \$	1 739 \$	0 \$	(21 538 \$)	(19 799 \$)
TOTAL	(12 066 \$)	(98 242 \$)	(7 396 \$)	(4 852 361 \$)	0 \$	(3 037 140 \$)	(8 007 205 \$)

OPTION D'IMMUNISATION ET DE RELOCALISATION STRATÉGIQUE

Année	Érosion	Submersion	Dommages aux infrastructures publiques	Coûts des mesures	Impacts économiques	Impacts sociaux	Somme des coûts
2015	(3 938 \$)	(26 325 \$)	(2 563 \$)	(156 175 \$)	(31 497 \$)	(19 131 \$)	(239 628 \$)
2016	(3 509 \$)	(25 312 \$)	(2 464 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(31 286 \$)
2017	(3 384 \$)	(24 339 \$)	(2 369 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(30 092 \$)
2018	(3 252 \$)	(21 705 \$)	(2 278 \$)	(108 745 \$)	(23 339 \$)	(17 008 \$)	(176 328 \$)
2019	(2 595 \$)	(20 870 \$)	(2 191 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(25 656 \$)
2020	(2 494 \$)	(20 068 \$)	(2 106 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(24 668 \$)
2021	(2 396 \$)	(19 296 \$)	(2 025 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(23 717 \$)
2022	(2 301 \$)	(18 254 \$)	(1 947 \$)	(95 176 \$)	(21 075 \$)	(14 538 \$)	(153 292 \$)
2023	(1 601 \$)	(17 552 \$)	(1 872 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(21 026 \$)
2024	(1 538 \$)	(16 877 \$)	(1 800 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(20 215 \$)
2025	(1 479 \$)	(16 228 \$)	(1 731 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(19 438 \$)
2026	(1 406 \$)	(15 604 \$)	(1 665 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(18 674 \$)
2027	(1 351 \$)	(15 003 \$)	(1 601 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(17 955 \$)
2028	(1 298 \$)	(14 426 \$)	(1 539 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(17 264 \$)
2029	(1 247 \$)	(13 872 \$)	(1 480 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(16 599 \$)
2030	(1 199 \$)	(13 341 \$)	(1 426 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(15 966 \$)
2031	(1 154 \$)	(12 839 \$)	(1 376 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(15 373 \$)
2032	(1 106 \$)	(12 368 \$)	(1 329 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(14 803 \$)
2033	(1 064 \$)	(11 928 \$)	(1 285 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(14 277 \$)
2034	(1 022 \$)	(11 518 \$)	(1 243 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(13 783 \$)
2035	(984 \$)	(11 137 \$)	(1 203 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(13 324 \$)
2036	(944 \$)	(10 784 \$)	(1 165 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(12 893 \$)
2037	(905 \$)	(10 459 \$)	(1 129 \$)	(26 019 \$)	(15 761 \$)	0 \$	(58 693 \$)
2038	(752 \$)	(10 162 \$)	(1 095 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(16 145 \$)
2039	(721 \$)	(9 891 \$)	(1 063 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(15 522 \$)
2040	(691 \$)	(9 636 \$)	(1 033 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(14 923 \$)
2041	(665 \$)	(9 397 \$)	(1 005 \$)	(22 136 \$)	(11 950 \$)	0 \$	(48 090 \$)
2042	(514 \$)	(9 174 \$)	(979 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(13 339 \$)
2043	(492 \$)	(8 967 \$)	(955 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(12 824 \$)
2044	(474 \$)	(8 776 \$)	(933 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(12 332 \$)
2045	(457 \$)	(8 599 \$)	(913 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(11 859 \$)
2046	(439 \$)	(8 436 \$)	(894 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(11 402 \$)
2047	(422 \$)	(8 287 \$)	(876 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(10 964 \$)
2048	(403 \$)	(8 152 \$)	(860 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(10 539 \$)
2049	(390 \$)	(8 031 \$)	(845 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(10 136 \$)
2050	(375 \$)	(7 924 \$)	(831 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(9 746 \$)
2051	(360 \$)	(7 831 \$)	(818 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(9 371 \$)
2052	(348 \$)	(7 752 \$)	(806 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(9 012 \$)
2053	(333 \$)	(7 687 \$)	(795 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(8 664 \$)
2054	(318 \$)	(7 635 \$)	(785 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(8 329 \$)
2055	(307 \$)	(7 596 \$)	(776 \$)	(13 413 \$)	0 \$	0 \$	(22 968 \$)
2056	(297 \$)	(7 569 \$)	(768 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(9 189 \$)
2057	(284 \$)	(7 553 \$)	(761 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(8 834 \$)
2058	(272 \$)	(7 547 \$)	(755 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(8 493 \$)
2059	(263 \$)	(7 550 \$)	(750 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(8 167 \$)
2060	(256 \$)	(7 563 \$)	(746 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(7 857 \$)
2061	(286 \$)	(7 586 \$)	(743 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(7 594 \$)
2062	(294 \$)	(7 629 \$)	(741 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(7 321 \$)
2063	(290 \$)	(7 692 \$)	(740 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(7 047 \$)
2064	(291 \$)	(7 775 \$)	(740 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(6 788 \$)
TOTAL	(53 162 \$)	(640 636 \$)	(96 879 \$)	(421 664 \$)	(103 621 \$)	(50 678 \$)	(1 366 639 \$)



ANNEXE E
DÉTAILS DES COÛTS
POUR POINTE-VERTE OUEST

OPTION DE NON INTERVENTION

Année	Érosion	Submersion	Dommages aux infrastructures publiques	Coûts des mesures	Impacts économiques	Impacts sociaux	Somme des coûts
2015	(9 088 \$)	(173 926 \$)	(5 376 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(188 390 \$)
2016	(9 442 \$)	(167 237 \$)	(5 169 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(181 848 \$)
2017	(9 392 \$)	(160 805 \$)	(4 970 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(175 168 \$)
2018	(9 268 \$)	(154 620 \$)	(4 779 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(168 668 \$)
2019	(9 339 \$)	(148 673 \$)	(4 595 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(162 608 \$)
2020	(9 518 \$)	(142 955 \$)	(4 419 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(156 892 \$)
2021	(9 304 \$)	(137 457 \$)	(4 249 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(151 009 \$)
2022	(9 169 \$)	(132 170 \$)	(4 085 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(145 424 \$)
2023	(8 994 \$)	(127 086 \$)	(3 928 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(140 008 \$)
2024	(8 704 \$)	(122 198 \$)	(3 777 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(134 679 \$)
2025	(176 484 \$)	(115 876 \$)	(3 632 \$)	(11 819 \$)	0 \$	(25 849 \$)	(333 660 \$)
2026	(297 997 \$)	(72 239 \$)	(3 492 \$)	(13 447 \$)	0 \$	(24 855 \$)	(412 031 \$)
2027	(5 677 \$)	(69 460 \$)	(3 358 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(78 496 \$)
2028	(43 227 \$)	(66 493 \$)	(3 229 \$)	(4 377 \$)	0 \$	(11 490 \$)	(128 815 \$)
2029	(4 999 \$)	(63 936 \$)	(3 104 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(72 039 \$)
2030	(4 811 \$)	(75 807 \$)	(5 970 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(86 588 \$)
2031	(98 804 \$)	(72 348 \$)	(5 741 \$)	(9 554 \$)	0 \$	(20 429 \$)	(206 875 \$)
2032	(170 172 \$)	(59 639 \$)	(5 520 \$)	(12 171 \$)	0 \$	(29 465 \$)	(276 967 \$)
2033	(66 558 \$)	(46 549 \$)	(5 307 \$)	(5 617 \$)	0 \$	(9 444 \$)	(133 475 \$)
2034	(101 564 \$)	(40 762 \$)	(5 103 \$)	(3 905 \$)	0 \$	(9 081 \$)	(160 415 \$)
2035	(35 638 \$)	(39 052 \$)	(4 907 \$)	(3 355 \$)	0 \$	(8 731 \$)	(91 684 \$)
2036	(1 532 \$)	(37 550 \$)	(4 718 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(43 800 \$)
2037	(1 472 \$)	(36 106 \$)	(4 537 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(42 115 \$)
2038	(1 415 \$)	(34 717 \$)	(4 362 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(40 495 \$)
2039	(106 050 \$)	(31 718 \$)	(4 195 \$)	(6 773 \$)	0 \$	(14 927 \$)	(163 662 \$)
2040	(834 \$)	(30 499 \$)	(4 033 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(35 366 \$)
2041	(803 \$)	(29 326 \$)	(3 878 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(34 007 \$)
2042	(782 \$)	(28 198 \$)	(3 729 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(32 708 \$)
2043	(766 \$)	(27 113 \$)	(3 586 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(31 464 \$)
2044	(761 \$)	(26 070 \$)	(3 448 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(30 279 \$)
2045	(799 \$)	(25 068 \$)	(3 315 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(29 182 \$)
2046	(800 \$)	(24 103 \$)	(3 188 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(28 091 \$)
2047	(784 \$)	(23 176 \$)	(3 065 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(27 025 \$)
2048	(755 \$)	(22 285 \$)	(2 947 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(25 987 \$)
2049	(710 \$)	(21 428 \$)	(2 834 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(24 972 \$)
2050	(695 \$)	(20 604 \$)	(2 725 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(24 024 \$)
2051	(679 \$)	(19 811 \$)	(2 620 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(23 110 \$)
2052	(646 \$)	(19 049 \$)	(2 519 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(22 214 \$)
2053	(616 \$)	(18 317 \$)	(2 422 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(21 355 \$)
2054	(23 553 \$)	(16 615 \$)	(2 329 \$)	(1 718 \$)	0 \$	0 \$	(44 215 \$)
2055	(291 \$)	(21 793 \$)	(5 226 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(27 310 \$)
2056	(268 \$)	(20 955 \$)	(5 025 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(26 247 \$)
2057	(196 \$)	(20 149 \$)	(4 831 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(25 176 \$)
2058	(113 \$)	(19 374 \$)	(4 645 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(24 133 \$)
2059	(105 \$)	(18 629 \$)	(4 467 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(23 200 \$)
2060	(108 \$)	(17 912 \$)	(4 295 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(22 315 \$)
2061	(140 \$)	(17 223 \$)	(4 130 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(21 493 \$)
2062	(171 \$)	(16 561 \$)	(3 971 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(20 703 \$)
2063	(228 \$)	(15 924 \$)	(3 818 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(19 970 \$)
2064	(268 \$)	(15 311 \$)	(3 671 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(19 251 \$)
TOTAL	(1 244 489 \$)	(2 864 872 \$)	(203 238 \$)	(72 735 \$)	0 \$	(154 271 \$)	(4 539 606 \$)

OPTION DE RECHARGE DE PLAGE

Année	Érosion	Submersion	Dommages aux infrastructures publiques	Coûts des mesures	Impacts économiques	Impacts sociaux	Gains d'usage récréatif	Somme des coûts
2015	(9 088 \$)	(173 926 \$)	(5 376 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	(188 390 \$)
2016	(9 442 \$)	(167 237 \$)	(5 169 \$)	(245 192 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(427 040 \$)
2017	(9 392 \$)	(160 805 \$)	(4 970 \$)	(78 587 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(253 755 \$)
2018	0 \$	0 \$	0 \$	(1 677 536 \$)	0 \$	(132 953 \$)	7 559 \$	(1 802 930 \$)
2019	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	7 268 \$	7 268 \$
2020	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	6 989 \$	6 989 \$
2021	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	6 720 \$	6 720 \$
2022	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	6 462 \$	6 462 \$
2023	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	6 213 \$	6 213 \$
2024	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	5 974 \$	5 974 \$
2025	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	5 744 \$	5 744 \$
2026	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	5 523 \$	5 523 \$
2027	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	5 311 \$	5 311 \$
2028	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	5 107 \$	5 107 \$
2029	0 \$	0 \$	0 \$	(147 256 \$)	0 \$	0 \$	4 910 \$	(142 346 \$)
2030	0 \$	0 \$	0 \$	(47 197 \$)	0 \$	0 \$	4 721 \$	(42 476 \$)
2031	0 \$	0 \$	0 \$	(1 007 485 \$)	0 \$	0 \$	4 540 \$	(1 002 945 \$)
2032	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	4 365 \$	4 365 \$
2033	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	4 197 \$	4 197 \$
2034	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	4 036 \$	4 036 \$
2035	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	3 881 \$	3 881 \$
2036	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	3 731 \$	3 731 \$
2037	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	3 588 \$	3 588 \$
2038	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	3 450 \$	3 450 \$
2039	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	3 317 \$	3 317 \$
2040	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	3 190 \$	3 190 \$
2041	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	3 067 \$	3 067 \$
2042	0 \$	0 \$	0 \$	(88 438 \$)	0 \$	0 \$	2 949 \$	(85 489 \$)
2043	0 \$	0 \$	0 \$	(28 346 \$)	0 \$	0 \$	2 836 \$	(25 510 \$)
2044	0 \$	0 \$	0 \$	(605 069 \$)	0 \$	0 \$	2 727 \$	(602 343 \$)
2045	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	2 622 \$	2 622 \$
2046	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	2 521 \$	2 521 \$
2047	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	2 424 \$	2 424 \$
2048	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	2 331 \$	2 331 \$
2049	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	2 241 \$	2 241 \$
2050	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	2 155 \$	2 155 \$
2051	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	2 072 \$	2 072 \$
2052	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	1 992 \$	1 992 \$
2053	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	1 916 \$	1 916 \$
2054	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	1 842 \$	1 842 \$
2055	0 \$	0 \$	0 \$	(53 114 \$)	0 \$	0 \$	1 771 \$	(51 343 \$)
2056	0 \$	0 \$	0 \$	(17 024 \$)	0 \$	0 \$	1 703 \$	(15 321 \$)
2057	0 \$	0 \$	0 \$	(363 389 \$)	0 \$	0 \$	1 637 \$	(361 751 \$)
2058	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	1 574 \$	1 574 \$
2059	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	1 514 \$	1 514 \$
2060	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	1 456 \$	1 456 \$
2061	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	1 400 \$	1 400 \$
2062	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	1 346 \$	1 346 \$
2063	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	1 294 \$	1 294 \$
2064	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	1 244 \$	1 244 \$
TOTAL	(27 922 \$)	(501 968 \$)	(15 515 \$)	(4 358 633 \$)	0 \$	(132 953 \$)	165 430 \$	(4 871 562 \$)

OPTION DE RECHARGE DE PLAGE AVEC ÉPIS

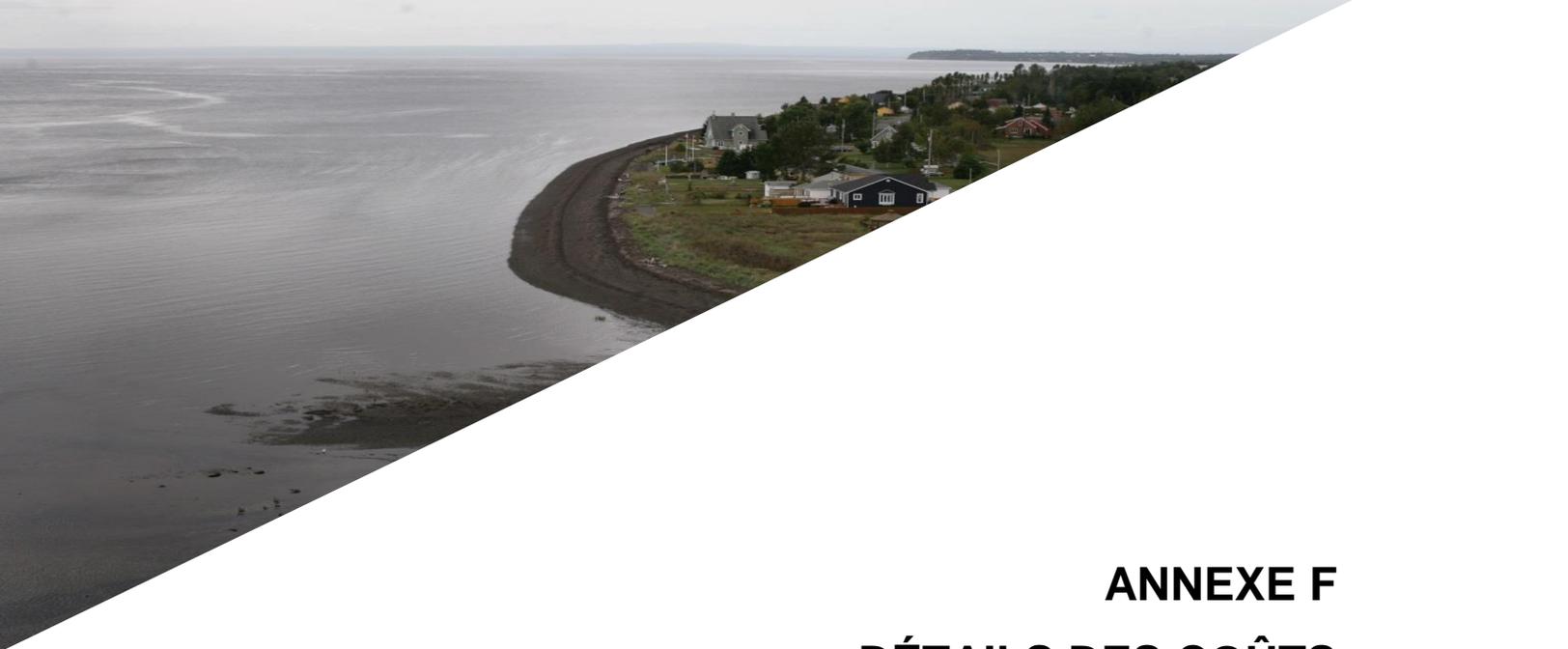
Année	Érosion	Submersion	Dommages aux infrastructures publiques	Coûts des mesures	Impacts économiques	Impacts sociaux	Gains d'usage récréatif	Somme des coûts
2015	(9 088 \$)	(173 926 \$)	(5 376 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	(188 390 \$)
2016	(9 442 \$)	(167 237 \$)	(5 169 \$)	(302 885 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(484 732 \$)
2017	(9 392 \$)	(160 805 \$)	(4 970 \$)	(97 078 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(272 246 \$)
2018	0 \$	0 \$	0 \$	(2 040 247 \$)	0 \$	(132 953 \$)	7 559 \$	(2 165 641 \$)
2019	0 \$	0 \$	0 \$	(17 438 \$)	0 \$	0 \$	7 268 \$	(10 170 \$)
2020	0 \$	0 \$	0 \$	(16 767 \$)	0 \$	0 \$	6 989 \$	(9 778 \$)
2021	0 \$	0 \$	0 \$	(16 122 \$)	0 \$	0 \$	6 720 \$	(9 402 \$)
2022	0 \$	0 \$	0 \$	(15 502 \$)	0 \$	0 \$	6 462 \$	(9 041 \$)
2023	0 \$	0 \$	0 \$	(14 906 \$)	0 \$	0 \$	6 213 \$	(8 693 \$)
2024	0 \$	0 \$	0 \$	(14 333 \$)	0 \$	0 \$	5 974 \$	(8 359 \$)
2025	0 \$	0 \$	0 \$	(13 782 \$)	0 \$	0 \$	5 744 \$	(8 037 \$)
2026	0 \$	0 \$	0 \$	(13 251 \$)	0 \$	0 \$	5 523 \$	(7 728 \$)
2027	0 \$	0 \$	0 \$	(12 742 \$)	0 \$	0 \$	5 311 \$	(7 431 \$)
2028	0 \$	0 \$	0 \$	(12 252 \$)	0 \$	0 \$	5 107 \$	(7 145 \$)
2029	0 \$	0 \$	0 \$	(11 780 \$)	0 \$	0 \$	4 910 \$	(6 870 \$)
2030	0 \$	0 \$	0 \$	(11 327 \$)	0 \$	0 \$	4 721 \$	(6 606 \$)
2031	0 \$	0 \$	0 \$	(10 892 \$)	0 \$	0 \$	4 540 \$	(6 352 \$)
2032	0 \$	0 \$	0 \$	(10 473 \$)	0 \$	0 \$	4 365 \$	(6 108 \$)
2033	0 \$	0 \$	0 \$	(10 070 \$)	0 \$	0 \$	4 197 \$	(5 873 \$)
2034	0 \$	0 \$	0 \$	(9 683 \$)	0 \$	0 \$	4 036 \$	(5 647 \$)
2035	0 \$	0 \$	0 \$	(9 310 \$)	0 \$	0 \$	3 881 \$	(5 430 \$)
2036	0 \$	0 \$	0 \$	(8 952 \$)	0 \$	0 \$	3 731 \$	(5 221 \$)
2037	0 \$	0 \$	0 \$	(8 608 \$)	0 \$	0 \$	3 588 \$	(5 020 \$)
2038	0 \$	0 \$	0 \$	(8 277 \$)	0 \$	0 \$	3 450 \$	(4 827 \$)
2039	0 \$	0 \$	0 \$	(7 958 \$)	0 \$	0 \$	3 317 \$	(4 641 \$)
2040	0 \$	0 \$	0 \$	(7 652 \$)	0 \$	0 \$	3 190 \$	(4 463 \$)
2041	0 \$	0 \$	0 \$	(7 358 \$)	0 \$	0 \$	3 067 \$	(4 291 \$)
2042	0 \$	0 \$	0 \$	(7 075 \$)	0 \$	0 \$	2 949 \$	(4 126 \$)
2043	0 \$	0 \$	0 \$	(6 803 \$)	0 \$	0 \$	2 836 \$	(3 967 \$)
2044	0 \$	0 \$	0 \$	(6 541 \$)	0 \$	0 \$	2 727 \$	(3 815 \$)
2045	0 \$	0 \$	0 \$	(6 290 \$)	0 \$	0 \$	2 622 \$	(3 668 \$)
2046	0 \$	0 \$	0 \$	(6 048 \$)	0 \$	0 \$	2 521 \$	(3 527 \$)
2047	0 \$	0 \$	0 \$	(5 815 \$)	0 \$	0 \$	2 424 \$	(3 391 \$)
2048	0 \$	0 \$	0 \$	(5 592 \$)	0 \$	0 \$	2 331 \$	(3 261 \$)
2049	0 \$	0 \$	0 \$	(5 376 \$)	0 \$	0 \$	2 241 \$	(3 135 \$)
2050	0 \$	0 \$	0 \$	(5 170 \$)	0 \$	0 \$	2 155 \$	(3 015 \$)
2051	0 \$	0 \$	0 \$	(4 971 \$)	0 \$	0 \$	2 072 \$	(2 899 \$)
2052	0 \$	0 \$	0 \$	(4 780 \$)	0 \$	0 \$	1 992 \$	(2 787 \$)
2053	0 \$	0 \$	0 \$	(4 596 \$)	0 \$	0 \$	1 916 \$	(2 680 \$)
2054	0 \$	0 \$	0 \$	(4 419 \$)	0 \$	0 \$	1 842 \$	(2 577 \$)
2055	0 \$	0 \$	0 \$	(4 249 \$)	0 \$	0 \$	1 771 \$	(2 478 \$)
2056	0 \$	0 \$	0 \$	(4 086 \$)	0 \$	0 \$	1 703 \$	(2 383 \$)
2057	0 \$	0 \$	0 \$	(3 929 \$)	0 \$	0 \$	1 637 \$	(2 291 \$)
2058	0 \$	0 \$	0 \$	(3 777 \$)	0 \$	0 \$	1 574 \$	(2 203 \$)
2059	0 \$	0 \$	0 \$	(3 632 \$)	0 \$	0 \$	1 514 \$	(2 118 \$)
2060	0 \$	0 \$	0 \$	(3 492 \$)	0 \$	0 \$	1 456 \$	(2 037 \$)
2061	0 \$	0 \$	0 \$	(3 358 \$)	0 \$	0 \$	1 400 \$	(1 958 \$)
2062	0 \$	0 \$	0 \$	(3 229 \$)	0 \$	0 \$	1 346 \$	(1 883 \$)
2063	0 \$	0 \$	0 \$	(3 105 \$)	0 \$	0 \$	1 294 \$	(1 811 \$)
2064	0 \$	0 \$	0 \$	5 971 \$	0 \$	0 \$	1 244 \$	7 215 \$
TOTAL	(27 922 \$)	(501 968 \$)	(15 515 \$)	(2 810 008 \$)	0 \$	(132 953 \$)	165 430 \$	(3 322 937 \$)

OPTION DE MUR DE BÉTON

Année	Érosion	Submersion	Dommages aux infrastructures publiques	Coûts des mesures	Impacts économiques	Impacts sociaux	Somme des coûts
2015	(9 088 \$)	(173 926 \$)	(5 376 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(188 390 \$)
2016	(9 442 \$)	(167 237 \$)	(5 169 \$)	(504 808 \$)	0 \$	0 \$	(686 656 \$)
2017	(9 392 \$)	(160 805 \$)	(4 970 \$)	(161 797 \$)	0 \$	0 \$	(336 965 \$)
2018	0 \$	0 \$	0 \$	(3 400 411 \$)	0 \$	(565 710 \$)	(3 966 121 \$)
2019	0 \$	0 \$	0 \$	(73 240 \$)	0 \$	(138 100 \$)	(211 340 \$)
2020	0 \$	0 \$	0 \$	(70 423 \$)	0 \$	(132 789 \$)	(203 211 \$)
2021	0 \$	0 \$	0 \$	(67 714 \$)	0 \$	(127 681 \$)	(195 396 \$)
2022	0 \$	0 \$	0 \$	(65 110 \$)	0 \$	(122 771 \$)	(187 880 \$)
2023	0 \$	0 \$	0 \$	(62 606 \$)	0 \$	(118 049 \$)	(180 654 \$)
2024	0 \$	0 \$	0 \$	(60 198 \$)	0 \$	(113 508 \$)	(173 706 \$)
2025	0 \$	0 \$	0 \$	(57 882 \$)	0 \$	(109 143 \$)	(167 025 \$)
2026	0 \$	0 \$	0 \$	(55 656 \$)	0 \$	(104 945 \$)	(160 601 \$)
2027	0 \$	0 \$	0 \$	(53 515 \$)	0 \$	(100 908 \$)	(154 424 \$)
2028	0 \$	0 \$	0 \$	(51 457 \$)	0 \$	(97 027 \$)	(148 485 \$)
2029	0 \$	0 \$	0 \$	(49 478 \$)	0 \$	(93 296 \$)	(142 774 \$)
2030	0 \$	0 \$	0 \$	(47 575 \$)	0 \$	(89 707 \$)	(137 282 \$)
2031	0 \$	0 \$	0 \$	(45 745 \$)	0 \$	(86 257 \$)	(132 002 \$)
2032	0 \$	0 \$	0 \$	(43 986 \$)	0 \$	(82 939 \$)	(126 925 \$)
2033	0 \$	0 \$	0 \$	(42 294 \$)	0 \$	(79 749 \$)	(122 043 \$)
2034	0 \$	0 \$	0 \$	(40 667 \$)	0 \$	(76 682 \$)	(117 350 \$)
2035	0 \$	0 \$	0 \$	(39 103 \$)	0 \$	(73 733 \$)	(112 836 \$)
2036	0 \$	0 \$	0 \$	(37 599 \$)	0 \$	(70 897 \$)	(108 496 \$)
2037	0 \$	0 \$	0 \$	(36 153 \$)	0 \$	(68 170 \$)	(104 323 \$)
2038	0 \$	0 \$	0 \$	(34 763 \$)	0 \$	(65 548 \$)	(100 311 \$)
2039	0 \$	0 \$	0 \$	(33 426 \$)	0 \$	(63 027 \$)	(96 453 \$)
2040	0 \$	0 \$	0 \$	(32 140 \$)	0 \$	(60 603 \$)	(92 743 \$)
2041	0 \$	0 \$	0 \$	(30 904 \$)	0 \$	(58 272 \$)	(89 176 \$)
2042	0 \$	0 \$	0 \$	(29 715 \$)	0 \$	(56 031 \$)	(85 746 \$)
2043	0 \$	0 \$	0 \$	(28 572 \$)	0 \$	(53 876 \$)	(82 448 \$)
2044	0 \$	0 \$	0 \$	(27 473 \$)	0 \$	(51 804 \$)	(79 277 \$)
2045	0 \$	0 \$	0 \$	(26 417 \$)	0 \$	(49 811 \$)	(76 228 \$)
2046	0 \$	0 \$	0 \$	(25 401 \$)	0 \$	(47 895 \$)	(73 296 \$)
2047	0 \$	0 \$	0 \$	(24 424 \$)	0 \$	(46 053 \$)	(70 477 \$)
2048	0 \$	0 \$	0 \$	(23 484 \$)	0 \$	(44 282 \$)	(67 766 \$)
2049	0 \$	0 \$	0 \$	(22 581 \$)	0 \$	(42 579 \$)	(65 160 \$)
2050	0 \$	0 \$	0 \$	(21 713 \$)	0 \$	(40 941 \$)	(62 654 \$)
2051	0 \$	0 \$	0 \$	(20 878 \$)	0 \$	(39 367 \$)	(60 244 \$)
2052	0 \$	0 \$	0 \$	(20 075 \$)	0 \$	(37 852 \$)	(57 927 \$)
2053	0 \$	0 \$	0 \$	(19 302 \$)	0 \$	(36 397 \$)	(55 699 \$)
2054	0 \$	0 \$	0 \$	(18 560 \$)	0 \$	(34 997 \$)	(53 557 \$)
2055	0 \$	0 \$	0 \$	(17 846 \$)	0 \$	(33 651 \$)	(51 497 \$)
2056	0 \$	0 \$	0 \$	(17 160 \$)	0 \$	(32 356 \$)	(49 516 \$)
2057	0 \$	0 \$	0 \$	(16 500 \$)	0 \$	(31 112 \$)	(47 612 \$)
2058	0 \$	0 \$	0 \$	(15 865 \$)	0 \$	(29 915 \$)	(45 781 \$)
2059	0 \$	0 \$	0 \$	(15 255 \$)	0 \$	(28 765 \$)	(44 020 \$)
2060	0 \$	0 \$	0 \$	(14 668 \$)	0 \$	(27 658 \$)	(42 327 \$)
2061	0 \$	0 \$	0 \$	(14 104 \$)	0 \$	(26 595 \$)	(40 699 \$)
2062	0 \$	0 \$	0 \$	(13 562 \$)	0 \$	(25 572 \$)	(39 133 \$)
2063	0 \$	0 \$	0 \$	(13 040 \$)	0 \$	(24 588 \$)	(37 628 \$)
2064	0 \$	0 \$	0 \$	1 642 \$	0 \$	(23 643 \$)	(22 001 \$)
TOTAL	(27 922 \$)	(501 968 \$)	(15 515 \$)	(5 643 603 \$)	0 \$	(3 565 252 \$)	(9 754 261 \$)

OPTION D'IMMUNISATION ET DE RELOCALISATION STRATÉGIQUE

Année	Érosion	Submersion	Dommages aux infrastructures publiques	Coûts des mesures	Impacts économiques	Impacts sociaux	Somme des coûts
2015	(9 088 \$)	(108 717 \$)	(5 376 \$)	(287 487 \$)	(60 700 \$)	(19 131 \$)	(490 499 \$)
2016	(9 301 \$)	(104 536 \$)	(5 169 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(119 006 \$)
2017	(9 173 \$)	(100 515 \$)	(4 970 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(114 659 \$)
2018	(8 950 \$)	(95 275 \$)	(4 779 \$)	(111 343 \$)	(21 344 \$)	(17 008 \$)	(258 698 \$)
2019	(8 184 \$)	(90 148 \$)	(4 595 \$)	(179 363 \$)	(42 955 \$)	(32 707 \$)	(357 954 \$)
2020	(6 739 \$)	(86 681 \$)	(4 419 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(97 838 \$)
2021	(6 560 \$)	(83 347 \$)	(4 249 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(94 156 \$)
2022	(6 507 \$)	(79 767 \$)	(4 085 \$)	(78 997 \$)	(10 961 \$)	(14 538 \$)	(194 855 \$)
2023	(6 161 \$)	(76 699 \$)	(3 928 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(86 788 \$)
2024	(5 968 \$)	(73 206 \$)	(3 777 \$)	(158 506 \$)	(28 540 \$)	(26 883 \$)	(296 880 \$)
2025	(4 708 \$)	(69 787 \$)	(3 632 \$)	(72 527 \$)	(10 739 \$)	(12 925 \$)	(174 318 \$)
2026	(4 253 \$)	(57 148 \$)	(3 492 \$)	(140 858 \$)	(31 639 \$)	(24 855 \$)	(262 245 \$)
2027	(3 237 \$)	(39 183 \$)	(3 358 \$)	(147 902 \$)	(27 351 \$)	(23 899 \$)	(244 929 \$)
2028	(2 276 \$)	(37 533 \$)	(3 229 \$)	(62 705 \$)	(9 393 \$)	(11 490 \$)	(126 626 \$)
2029	(1 908 \$)	(36 090 \$)	(3 104 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(41 103 \$)
2030	(1 835 \$)	(40 534 \$)	(5 970 \$)	(25 498 \$)	0 \$	0 \$	(73 837 \$)
2031	(1 766 \$)	(38 975 \$)	(5 741 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(46 482 \$)
2032	(1 693 \$)	(36 812 \$)	(5 520 \$)	(56 348 \$)	(10 089 \$)	(9 822 \$)	(120 283 \$)
2033	(1 331 \$)	(33 930 \$)	(5 307 \$)	(57 133 \$)	(9 281 \$)	(9 444 \$)	(116 427 \$)
2034	(954 \$)	(32 625 \$)	(5 103 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(38 682 \$)
2035	(931 \$)	(31 370 \$)	(4 907 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(37 208 \$)
2036	(894 \$)	(30 164 \$)	(4 718 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(35 776 \$)
2037	(860 \$)	(29 003 \$)	(4 537 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(34 400 \$)
2038	(827 \$)	(27 888 \$)	(4 362 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(33 077 \$)
2039	(795 \$)	(26 815 \$)	(4 195 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(31 805 \$)
2040	(765 \$)	(25 784 \$)	(4 033 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(30 582 \$)
2041	(736 \$)	(24 792 \$)	(3 878 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(29 406 \$)
2042	(708 \$)	(23 839 \$)	(3 729 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(28 276 \$)
2043	(680 \$)	(22 922 \$)	(3 586 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(27 187 \$)
2044	(655 \$)	(22 040 \$)	(3 448 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(26 143 \$)
2045	(628 \$)	(21 193 \$)	(3 315 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(25 135 \$)
2046	(605 \$)	(20 377 \$)	(3 188 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(24 170 \$)
2047	(552 \$)	(19 594 \$)	(3 065 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(23 211 \$)
2048	(510 \$)	(18 840 \$)	(2 947 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(22 297 \$)
2049	(475 \$)	(18 115 \$)	(2 834 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(21 424 \$)
2050	(470 \$)	(17 419 \$)	(2 725 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(20 614 \$)
2051	(456 \$)	(16 749 \$)	(2 620 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(19 825 \$)
2052	(435 \$)	(16 105 \$)	(2 519 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(19 058 \$)
2053	(420 \$)	(15 485 \$)	(2 422 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(18 327 \$)
2054	(350 \$)	(14 890 \$)	(2 329 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(17 569 \$)
2055	(291 \$)	(14 467 \$)	(5 226 \$)	(57 005 \$)	0 \$	0 \$	(76 989 \$)
2056	(268 \$)	(13 911 \$)	(5 025 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(19 203 \$)
2057	(196 \$)	(13 376 \$)	(4 831 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(18 403 \$)
2058	(113 \$)	(12 861 \$)	(4 645 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(17 620 \$)
2059	(105 \$)	(12 367 \$)	(4 467 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(16 938 \$)
2060	(102 \$)	(11 891 \$)	(4 295 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(16 289 \$)
2061	(99 \$)	(11 434 \$)	(4 130 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(15 662 \$)
2062	(102 \$)	(10 994 \$)	(3 971 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(15 066 \$)
2063	(105 \$)	(10 571 \$)	(3 818 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(14 494 \$)
2064	(99 \$)	(10 165 \$)	(3 671 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(13 935 \$)
TOTAL	(114 824 \$)	(1 886 926 \$)	(203 238 \$)	(1 435 670 \$)	(262 992 \$)	(202 702 \$)	(4 106 353 \$)



ANNEXE F
DÉTAILS DES COÛTS
POUR POINTE-VERTE EST

OPTION DE NON-INTERVENTION

Année	Submersion	Dommages aux infrastructures publiques	Coûts des mesures	Impacts environnementaux	Impacts sociaux	Somme des coûts
2015	(32 021 \$)	(1 263 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(33 283 \$)
2016	(30 789 \$)	(1 214 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(32 003 \$)
2017	(29 605 \$)	(1 167 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(30 772 \$)
2018	(28 466 \$)	(1 122 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(29 589 \$)
2019	(27 371 \$)	(1 079 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(28 451 \$)
2020	(26 319 \$)	(1 038 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(27 356 \$)
2021	(25 306 \$)	(998 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(26 304 \$)
2022	(24 333 \$)	(959 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(25 292 \$)
2023	(23 397 \$)	(923 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(24 320 \$)
2024	(22 497 \$)	(887 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(23 384 \$)
2025	(21 632 \$)	(853 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(22 485 \$)
2026	(20 800 \$)	(820 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(21 620 \$)
2027	(20 000 \$)	(789 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(20 789 \$)
2028	(19 231 \$)	(758 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(19 989 \$)
2029	(18 491 \$)	(729 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(19 220 \$)
2030	(21 904 \$)	(1 402 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(23 306 \$)
2031	(21 062 \$)	(1 348 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(22 410 \$)
2032	(20 252 \$)	(1 296 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(21 548 \$)
2033	(19 473 \$)	(1 246 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(20 719 \$)
2034	(18 724 \$)	(1 198 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(19 922 \$)
2035	(18 004 \$)	(1 152 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(19 156 \$)
2036	(17 311 \$)	(1 108 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(18 419 \$)
2037	(16 646 \$)	(1 065 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(17 711 \$)
2038	(16 005 \$)	(1 024 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(17 030 \$)
2039	(15 390 \$)	(985 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(16 375 \$)
2040	(14 798 \$)	(947 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(15 745 \$)
2041	(14 229 \$)	(911 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(15 139 \$)
2042	(13 681 \$)	(876 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(14 557 \$)
2043	(13 155 \$)	(842 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(13 997 \$)
2044	(12 649 \$)	(810 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(13 459 \$)
2045	(12 163 \$)	(779 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(12 941 \$)
2046	(11 695 \$)	(749 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(12 444 \$)
2047	(11 245 \$)	(720 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(11 965 \$)
2048	(10 813 \$)	(692 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(11 505 \$)
2049	(10 397 \$)	(665 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(11 062 \$)
2050	(9 997 \$)	(640 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(10 637 \$)
2051	(9 612 \$)	(615 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(10 228 \$)
2052	(9 243 \$)	(592 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(9 834 \$)
2053	(8 887 \$)	(569 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(9 456 \$)
2054	(8 545 \$)	(547 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(9 092 \$)
2055	(10 831 \$)	(1 227 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(12 058 \$)
2056	(10 415 \$)	(1 180 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(11 595 \$)
2057	(10 014 \$)	(1 135 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(11 149 \$)
2058	(9 629 \$)	(1 091 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(10 720 \$)
2059	(9 259 \$)	(1 049 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(10 308 \$)
2060	(8 903 \$)	(1 009 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(9 911 \$)
2061	(8 560 \$)	(970 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(9 530 \$)
2062	(8 231 \$)	(933 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(9 163 \$)
2063	(7 914 \$)	(897 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(8 811 \$)
2064	(7 610 \$)	(862 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(8 472 \$)
TOTAL	(817 503 \$)	(47 729 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(865 232 \$)

OPTION DE RECHARGE DE PLAGE

Année	Submersion	Dommages aux infrastructures publiques	Coûts des mesures	Impacts environnementaux	Impacts sociaux	Gains d'usage récréatif	Somme des coûts
2015	(32 021 \$)	(1 263 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	(33 283 \$)
2016	(30 789 \$)	(1 214 \$)	(100 962 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(132 964 \$)
2017	(29 605 \$)	(1 167 \$)	(32 359 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(63 132 \$)
2018	(17 801 \$)	0 \$	(657 857 \$)	0 \$	(54 745 \$)	4 507 \$	(725 897 \$)
2019	(17 117 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	4 334 \$	(12 783 \$)
2020	(16 458 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	4 167 \$	(12 291 \$)
2021	(15 825 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	4 007 \$	(11 818 \$)
2022	(15 217 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	3 853 \$	(11 364 \$)
2023	(14 631 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	3 705 \$	(10 927 \$)
2024	(14 069 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	3 562 \$	(10 506 \$)
2025	(13 528 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	3 425 \$	(10 102 \$)
2026	(13 007 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	3 293 \$	(9 714 \$)
2027	(12 507 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	3 167 \$	(9 340 \$)
2028	(12 026 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	3 045 \$	(8 981 \$)
2029	(11 563 \$)	0 \$	(60 635 \$)	0 \$	0 \$	2 928 \$	(69 270 \$)
2030	(14 323 \$)	0 \$	(19 434 \$)	0 \$	0 \$	2 815 \$	(30 942 \$)
2031	(13 772 \$)	0 \$	(395 092 \$)	0 \$	0 \$	2 707 \$	(406 157 \$)
2032	(13 242 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	2 603 \$	(10 639 \$)
2033	(12 733 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	2 503 \$	(10 230 \$)
2034	(12 243 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	2 407 \$	(9 837 \$)
2035	(11 772 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	2 314 \$	(9 458 \$)
2036	(11 319 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	2 225 \$	(9 095 \$)
2037	(10 884 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	2 139 \$	(8 745 \$)
2038	(10 466 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	2 057 \$	(8 408 \$)
2039	(10 063 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	1 978 \$	(8 085 \$)
2040	(9 676 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	1 902 \$	(7 774 \$)
2041	(9 304 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	1 829 \$	(7 475 \$)
2042	(8 946 \$)	0 \$	(36 416 \$)	0 \$	0 \$	1 758 \$	(43 603 \$)
2043	(8 602 \$)	0 \$	(11 672 \$)	0 \$	0 \$	1 691 \$	(18 583 \$)
2044	(8 271 \$)	0 \$	(237 282 \$)	0 \$	0 \$	1 626 \$	(243 927 \$)
2045	(7 953 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	1 563 \$	(6 390 \$)
2046	(7 647 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	1 503 \$	(6 144 \$)
2047	(7 353 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	1 445 \$	(5 908 \$)
2048	(7 070 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	1 390 \$	(5 680 \$)
2049	(6 798 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	1 336 \$	(5 462 \$)
2050	(6 537 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	1 285 \$	(5 252 \$)
2051	(6 285 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	1 235 \$	(5 050 \$)
2052	(6 044 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	1 188 \$	(4 856 \$)
2053	(5 811 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	1 142 \$	(4 669 \$)
2054	(5 588 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	1 098 \$	(4 489 \$)
2055	(7 046 \$)	(263 \$)	(21 870 \$)	0 \$	0 \$	1 056 \$	(28 124 \$)
2056	(6 775 \$)	(253 \$)	(7 010 \$)	0 \$	0 \$	1 015 \$	(13 022 \$)
2057	(6 515 \$)	(243 \$)	(142 505 \$)	0 \$	0 \$	976 \$	(148 287 \$)
2058	(6 264 \$)	(234 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	939 \$	(5 559 \$)
2059	(6 023 \$)	(225 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	903 \$	(5 345 \$)
2060	(5 792 \$)	(216 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	868 \$	(5 140 \$)
2061	(5 569 \$)	(208 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	835 \$	(4 942 \$)
2062	(5 355 \$)	(200 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	803 \$	(4 752 \$)
2063	(5 149 \$)	(192 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	772 \$	(4 569 \$)
2064	(4 951 \$)	(185 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	742 \$	(4 393 \$)
TOTAL	(558 303 \$)	(5 862 \$)	(1 723 095 \$)	0 \$	(54 745 \$)	98 641 \$	(2 243 363 \$)

OPTION DE RECHARGE DE PLAGE AVEC ÉPIS

Année	Submersion	Dommages aux infrastructures publiques	Coûts des mesures	Impacts environnementaux	Impacts sociaux	Gains d'usage récréatif	Somme des coûts
2015	(32 021 \$)	(1 263 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	(33 283 \$)
2016	(30 789 \$)	(1 214 \$)	(115 385 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(147 388 \$)
2017	(29 605 \$)	(1 167 \$)	(36 982 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(67 754 \$)
2018	(17 801 \$)	0 \$	(800 097 \$)	0 \$	(54 745 \$)	4 507 \$	(868 136 \$)
2019	(17 117 \$)	0 \$	(6 838 \$)	0 \$	0 \$	4 334 \$	(19 621 \$)
2020	(16 458 \$)	0 \$	(6 575 \$)	0 \$	0 \$	4 167 \$	(18 866 \$)
2021	(15 825 \$)	0 \$	(6 323 \$)	0 \$	0 \$	4 007 \$	(18 141 \$)
2022	(15 217 \$)	0 \$	(6 079 \$)	0 \$	0 \$	3 853 \$	(17 443 \$)
2023	(14 631 \$)	0 \$	(5 846 \$)	0 \$	0 \$	3 705 \$	(16 772 \$)
2024	(14 069 \$)	0 \$	(5 621 \$)	0 \$	0 \$	3 562 \$	(16 127 \$)
2025	(13 528 \$)	0 \$	(5 405 \$)	0 \$	0 \$	3 425 \$	(15 507 \$)
2026	(13 007 \$)	0 \$	(5 197 \$)	0 \$	0 \$	3 293 \$	(14 910 \$)
2027	(12 507 \$)	0 \$	(4 997 \$)	0 \$	0 \$	3 167 \$	(14 337 \$)
2028	(12 026 \$)	0 \$	(4 805 \$)	0 \$	0 \$	3 045 \$	(13 786 \$)
2029	(11 563 \$)	0 \$	(4 620 \$)	0 \$	0 \$	2 928 \$	(13 255 \$)
2030	(14 323 \$)	0 \$	(4 442 \$)	0 \$	0 \$	2 815 \$	(15 950 \$)
2031	(13 772 \$)	0 \$	(4 271 \$)	0 \$	0 \$	2 707 \$	(15 336 \$)
2032	(13 242 \$)	0 \$	(4 107 \$)	0 \$	0 \$	2 603 \$	(14 746 \$)
2033	(12 733 \$)	0 \$	(3 949 \$)	0 \$	0 \$	2 503 \$	(14 179 \$)
2034	(12 243 \$)	0 \$	(3 797 \$)	0 \$	0 \$	2 407 \$	(13 634 \$)
2035	(11 772 \$)	0 \$	(3 651 \$)	0 \$	0 \$	2 314 \$	(13 109 \$)
2036	(11 319 \$)	0 \$	(3 511 \$)	0 \$	0 \$	2 225 \$	(12 605 \$)
2037	(10 884 \$)	0 \$	(3 376 \$)	0 \$	0 \$	2 139 \$	(12 120 \$)
2038	(10 466 \$)	0 \$	(3 246 \$)	0 \$	0 \$	2 057 \$	(11 654 \$)
2039	(10 063 \$)	0 \$	(3 121 \$)	0 \$	0 \$	1 978 \$	(11 206 \$)
2040	(9 676 \$)	0 \$	(3 001 \$)	0 \$	0 \$	1 902 \$	(10 775 \$)
2041	(9 304 \$)	0 \$	(2 886 \$)	0 \$	0 \$	1 829 \$	(10 361 \$)
2042	(8 946 \$)	0 \$	(2 775 \$)	0 \$	0 \$	1 758 \$	(9 962 \$)
2043	(8 602 \$)	0 \$	(2 668 \$)	0 \$	0 \$	1 691 \$	(9 579 \$)
2044	(8 271 \$)	0 \$	(2 565 \$)	0 \$	0 \$	1 626 \$	(9 211 \$)
2045	(7 953 \$)	0 \$	(2 467 \$)	0 \$	0 \$	1 563 \$	(8 856 \$)
2046	(7 647 \$)	0 \$	(2 372 \$)	0 \$	0 \$	1 503 \$	(8 516 \$)
2047	(7 353 \$)	0 \$	(2 280 \$)	0 \$	0 \$	1 445 \$	(8 188 \$)
2048	(7 070 \$)	0 \$	(2 193 \$)	0 \$	0 \$	1 390 \$	(7 873 \$)
2049	(6 798 \$)	0 \$	(2 108 \$)	0 \$	0 \$	1 336 \$	(7 570 \$)
2050	(6 537 \$)	0 \$	(2 027 \$)	0 \$	0 \$	1 285 \$	(7 279 \$)
2051	(6 285 \$)	0 \$	(1 949 \$)	0 \$	0 \$	1 235 \$	(6 999 \$)
2052	(6 044 \$)	0 \$	(1 874 \$)	0 \$	0 \$	1 188 \$	(6 730 \$)
2053	(5 811 \$)	0 \$	(1 802 \$)	0 \$	0 \$	1 142 \$	(6 471 \$)
2054	(5 588 \$)	0 \$	(1 733 \$)	0 \$	0 \$	1 098 \$	(6 222 \$)
2055	(7 046 \$)	(263 \$)	(1 666 \$)	0 \$	0 \$	1 056 \$	(7 920 \$)
2056	(6 775 \$)	(253 \$)	(1 602 \$)	0 \$	0 \$	1 015 \$	(7 615 \$)
2057	(6 515 \$)	(243 \$)	(1 541 \$)	0 \$	0 \$	976 \$	(7 322 \$)
2058	(6 264 \$)	(234 \$)	(1 481 \$)	0 \$	0 \$	939 \$	(7 040 \$)
2059	(6 023 \$)	(225 \$)	(1 424 \$)	0 \$	0 \$	903 \$	(6 770 \$)
2060	(5 792 \$)	(216 \$)	(1 370 \$)	0 \$	0 \$	868 \$	(6 509 \$)
2061	(5 569 \$)	(208 \$)	(1 317 \$)	0 \$	0 \$	835 \$	(6 259 \$)
2062	(5 355 \$)	(200 \$)	(1 266 \$)	0 \$	0 \$	803 \$	(6 018 \$)
2063	(5 149 \$)	(192 \$)	(1 218 \$)	0 \$	0 \$	772 \$	(5 787 \$)
2064	(4 951 \$)	(185 \$)	2 341 \$	0 \$	0 \$	742 \$	(2 052 \$)
TOTAL	(558 303 \$)	(5 862 \$)	(1 097 482 \$)	0 \$	(54 745 \$)	98 641 \$	(1 617 751 \$)

OPTION DE MUR DE BÉTON ET DIGUE

Année	Submersion	Dommmages aux infrastructures publiques	Coûts des mesures	Impacts environnementaux	Impacts sociaux	Somme des coûts
2015	(32 021 \$)	(1 263 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(33 283 \$)
2016	(30 789 \$)	(1 214 \$)	(461 538 \$)	0 \$	0 \$	(493 541 \$)
2017	(29 605 \$)	(1 167 \$)	(147 929 \$)	0 \$	0 \$	(178 701 \$)
2018	0 \$	0 \$	(2 898 128 \$)	(913 \$)	(259 439 \$)	(3 158 481 \$)
2019	0 \$	0 \$	(67 017 \$)	(878 \$)	(82 345 \$)	(150 240 \$)
2020	0 \$	0 \$	(64 439 \$)	(844 \$)	(79 178 \$)	(144 462 \$)
2021	0 \$	0 \$	(61 961 \$)	(812 \$)	(76 133 \$)	(138 905 \$)
2022	0 \$	0 \$	(59 578 \$)	(781 \$)	(73 205 \$)	(133 563 \$)
2023	0 \$	0 \$	(57 286 \$)	(751 \$)	(70 389 \$)	(128 426 \$)
2024	0 \$	0 \$	(55 083 \$)	(722 \$)	(67 682 \$)	(123 486 \$)
2025	0 \$	0 \$	(52 964 \$)	(694 \$)	(65 079 \$)	(118 737 \$)
2026	0 \$	0 \$	(50 927 \$)	(667 \$)	(62 576 \$)	(114 170 \$)
2027	0 \$	0 \$	(48 968 \$)	(642 \$)	(60 169 \$)	(109 779 \$)
2028	0 \$	0 \$	(47 085 \$)	(617 \$)	(57 855 \$)	(105 557 \$)
2029	0 \$	0 \$	(45 274 \$)	(593 \$)	(55 630 \$)	(101 497 \$)
2030	0 \$	0 \$	(43 533 \$)	(570 \$)	(53 490 \$)	(97 593 \$)
2031	0 \$	0 \$	(41 858 \$)	(548 \$)	(51 433 \$)	(93 840 \$)
2032	0 \$	0 \$	(40 248 \$)	(527 \$)	(49 455 \$)	(90 230 \$)
2033	0 \$	0 \$	(38 700 \$)	(507 \$)	(47 552 \$)	(86 760 \$)
2034	0 \$	0 \$	(37 212 \$)	(488 \$)	(45 724 \$)	(83 423 \$)
2035	0 \$	0 \$	(35 781 \$)	(469 \$)	(43 965 \$)	(80 214 \$)
2036	0 \$	0 \$	(34 405 \$)	(451 \$)	(42 274 \$)	(77 129 \$)
2037	0 \$	0 \$	(33 081 \$)	(433 \$)	(40 648 \$)	(74 163 \$)
2038	0 \$	0 \$	(31 809 \$)	(417 \$)	(39 085 \$)	(71 310 \$)
2039	0 \$	0 \$	(30 586 \$)	(401 \$)	(37 581 \$)	(68 568 \$)
2040	0 \$	0 \$	(29 409 \$)	(385 \$)	(36 136 \$)	(65 930 \$)
2041	0 \$	0 \$	(28 278 \$)	(370 \$)	(34 746 \$)	(63 395 \$)
2042	0 \$	0 \$	(27 190 \$)	(356 \$)	(33 410 \$)	(60 956 \$)
2043	0 \$	0 \$	(26 145 \$)	(343 \$)	(32 125 \$)	(58 612 \$)
2044	0 \$	0 \$	(25 139 \$)	(329 \$)	(30 889 \$)	(56 358 \$)
2045	0 \$	0 \$	(24 172 \$)	(317 \$)	(29 701 \$)	(54 190 \$)
2046	0 \$	0 \$	(23 242 \$)	(305 \$)	(28 559 \$)	(52 106 \$)
2047	0 \$	0 \$	(22 349 \$)	(293 \$)	(27 460 \$)	(50 102 \$)
2048	0 \$	0 \$	(21 489 \$)	(282 \$)	(26 404 \$)	(48 175 \$)
2049	0 \$	0 \$	(20 662 \$)	(271 \$)	(25 389 \$)	(46 322 \$)
2050	0 \$	0 \$	(19 868 \$)	(260 \$)	(24 412 \$)	(44 540 \$)
2051	0 \$	0 \$	(19 104 \$)	(250 \$)	(23 473 \$)	(42 827 \$)
2052	0 \$	0 \$	(18 369 \$)	(241 \$)	(22 570 \$)	(41 180 \$)
2053	0 \$	0 \$	(17 662 \$)	(231 \$)	(21 702 \$)	(39 596 \$)
2054	0 \$	0 \$	(16 983 \$)	(223 \$)	(20 868 \$)	(38 073 \$)
2055	0 \$	0 \$	(16 330 \$)	(214 \$)	(20 065 \$)	(36 609 \$)
2056	0 \$	0 \$	(15 702 \$)	(206 \$)	(19 293 \$)	(35 201 \$)
2057	0 \$	0 \$	(15 098 \$)	(198 \$)	(18 551 \$)	(33 847 \$)
2058	0 \$	0 \$	(14 517 \$)	(190 \$)	(17 838 \$)	(32 545 \$)
2059	0 \$	0 \$	(13 959 \$)	(183 \$)	(17 152 \$)	(31 293 \$)
2060	0 \$	0 \$	(13 422 \$)	(176 \$)	(16 492 \$)	(30 090 \$)
2061	0 \$	0 \$	(12 906 \$)	(169 \$)	(15 858 \$)	(28 932 \$)
2062	0 \$	0 \$	(12 409 \$)	(163 \$)	(15 248 \$)	(27 820 \$)
2063	0 \$	0 \$	(11 932 \$)	(156 \$)	(14 661 \$)	(26 750 \$)
2064	0 \$	0 \$	6 966 \$	(150 \$)	(14 097 \$)	(7 282 \$)
TOTAL	(92 414 \$)	(3 644 \$)	(4 944 761 \$)	(19 984 \$)	(2 047 986 \$)	(7 108 789 \$)

OPTION D'IMMUNISATION ET DE RELOCALISATION STRATÉGIQUE

Année	Submersion	Dommages aux infrastructures publiques	Coûts des mesures	Impacts environnementaux	Impacts sociaux	Somme des coûts
2015	(30 161 \$)	(1 263 \$)	(43 802 \$)	0 \$	0 \$	(75 226 \$)
2016	(29 001 \$)	(1 214 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(30 215 \$)
2017	(27 886 \$)	(1 167 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(29 053 \$)
2018	(26 813 \$)	(1 122 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(27 936 \$)
2019	(25 782 \$)	(1 079 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(26 861 \$)
2020	(24 790 \$)	(1 038 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(25 828 \$)
2021	(23 837 \$)	(998 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(24 835 \$)
2022	(22 920 \$)	(959 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(23 879 \$)
2023	(22 038 \$)	(923 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(22 961 \$)
2024	(21 191 \$)	(887 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(22 078 \$)
2025	(20 376 \$)	(853 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(21 229 \$)
2026	(19 592 \$)	(820 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(20 412 \$)
2027	(18 839 \$)	(789 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(19 627 \$)
2028	(18 114 \$)	(758 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(18 872 \$)
2029	(17 417 \$)	(729 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(18 146 \$)
2030	(20 314 \$)	(1 402 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(21 716 \$)
2031	(19 533 \$)	(1 348 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(20 881 \$)
2032	(18 781 \$)	(1 296 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(20 078 \$)
2033	(18 059 \$)	(1 246 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(19 305 \$)
2034	(17 364 \$)	(1 198 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(18 563 \$)
2035	(16 696 \$)	(1 152 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(17 849 \$)
2036	(16 054 \$)	(1 108 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(17 162 \$)
2037	(15 437 \$)	(1 065 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(16 502 \$)
2038	(14 843 \$)	(1 024 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(15 868 \$)
2039	(14 272 \$)	(985 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(15 257 \$)
2040	(13 723 \$)	(947 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(14 670 \$)
2041	(13 195 \$)	(911 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(14 106 \$)
2042	(12 688 \$)	(876 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(13 564 \$)
2043	(12 200 \$)	(842 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(13 042 \$)
2044	(11 731 \$)	(810 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(12 540 \$)
2045	(11 280 \$)	(779 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(12 058 \$)
2046	(10 846 \$)	(749 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(11 594 \$)
2047	(10 429 \$)	(720 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(11 148 \$)
2048	(10 027 \$)	(692 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(10 720 \$)
2049	(9 642 \$)	(665 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(10 307 \$)
2050	(9 271 \$)	(640 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(9 911 \$)
2051	(8 914 \$)	(615 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(9 530 \$)
2052	(8 572 \$)	(592 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(9 163 \$)
2053	(8 242 \$)	(569 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(8 811 \$)
2054	(7 925 \$)	(547 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(8 472 \$)
2055	(8 247 \$)	(1 227 \$)	(12 844 \$)	0 \$	0 \$	(22 319 \$)
2056	(7 930 \$)	(1 180 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(9 110 \$)
2057	(7 625 \$)	(1 135 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(8 760 \$)
2058	(7 332 \$)	(1 091 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(8 423 \$)
2059	(7 050 \$)	(1 049 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(8 099 \$)
2060	(6 779 \$)	(1 009 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(7 787 \$)
2061	(6 518 \$)	(970 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(7 488 \$)
2062	(6 267 \$)	(933 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(7 200 \$)
2063	(6 026 \$)	(897 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(6 923 \$)
2064	(5 794 \$)	(862 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(6 657 \$)
TOTAL	(748 363 \$)	(47 729 \$)	(56 646 \$)	0 \$	0 \$	(852 739 \$)