

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

ANALYSE COÛTS-AVANTAGES DES OPTIONS D'ADAPTATION EN ZONE CÔTIÈRE AU QUÉBEC

Rapport synthèse
Mars 2016



Ressources naturelles
Canada

Natural Resources
Canada

Canada



Québec



ANALYSE COÛTS-AVANTAGES DES OPTIONS D'ADAPTATION EN ZONE CÔTIÈRE AU QUÉBEC – RAPPORT SYNTHÈSE

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
Ursule Boyer-Villemare, Ouranos
Guillaume Duff, Ouranos
Claude Desjarlais, Ouranos
François Morneau, Ouranos

Principaux collaborateurs :

Pascal Bernatchez, UQAR
Steeve Dugas, UQAR
Jean-Pierre Savard, Ouranos
Travis Logan, Ouranos

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

Numéro de projet : 540010-000

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

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 l'ensemble des organisations ayant collaboré à l'étude, en particulier les municipalités de Percé, Maria, Carleton-sur-Mer, des Îles-de-la-Madeleine et la MRC de Kamouraska. Les principaux collaborateurs sont identifiés dans les cinq rapports d'étude de cas.

Nous tenons également à souligner la contribution des membres des différents comités mis en place dans le cadre du projet dont la participation a permis, notamment de mieux cerner l'ensemble des enjeux dans les zones d'étude : Josée Michaud (Bureau des Changements climatiques), Nick Xenos (Ressources naturelles Canada), Jean-Pierre

Revéret (UQAM), Adam Fenech (UPEI), Dominique Bérubé (UNB), Élisabeth Marceau (MPO), Graham Frank (Baird), Marcel Roussy (MAPAQ), Rénald 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), Gérard Bédard (Transports Québec), Valérie Labrecque (MRC de Kamouraska) et Paul Gingras (MRC La Mitis).



TABLE DES MATIÈRES

1.	INTRODUCTION.....	1
2.	APPROCHES MÉTHODOLOGIQUES POUR LA PROJECTION DES ALÉAS CÔTIERS	4
2.1	Scénario de rehaussement marin.....	4
2.2	Érosion côtière.....	4
2.3	Submersion côtière.....	8
3.	APPROCHE MÉTHODOLOGIQUE ÉCONOMIQUE.....	10
3.1	Analyse économique	11
3.1.1	Identification des options d'adaptation	12
3.1.2	Identification des impacts appréhendés	14
3.1.3	Monétisation des impacts négatifs et positifs	14
3.1.4	Estimation des coûts de mise en œuvre des options d'adaptation	15
3.1.5	Comparaison des coûts et des avantages	16
3.1.6	Analyse de sensibilité des résultats.....	16
4.	ÉTUDE DE CAS DE PERCÉ	17
4.1	Zone d'étude	17
4.2	Options d'adaptation.....	18
4.3	Côte Surprise.....	19
4.4	Anse du Sud	21
4.5	Mont-Joli Sud.....	24
4.6	Anse du Nord.....	25

4.7	Conclusion	27
5.	ÉTUDE DE CAS DE MARIA	29
5.1	Zone d'étude	29
5.2	Options d'adaptation	30
5.3	Maria Centre-Ouest	31
5.4	Maria Centre-Est	32
5.5	Pointe-Verte Ouest	32
5.6	Pointe-Verte Est	33
5.7	Approche systémique	34
5.8	Conclusion	34
6.	ÉTUDE DE CAS DE CARLETON-SUR-MER	37
6.1	Zone d'étude	37
6.2	Options d'adaptation	39
6.3	Secteur Banc St-Omer	39
6.4	Secteur Berthelot- Éperlan	43
6.5	Secteur Carleton Est	45
6.6	Conclusion	49
7.	ÉTUDE DE CAS DES ÎLES-DE-LA-MADELEINE	51
7.1	Zone d'étude	51
7.2	Options d'adaptation	53
7.3	Secteur Cap-aux-Meules	54
7.4	La Grave	56
7.5	Grande-Entrée	57
7.6	Conclusion	58
8.	ÉTUDE DE CAS DE RIVIÈRE-OUELLE	60
8.1	Zone d'étude	60
8.2	Options d'adaptation	61
8.3	Problématique	62
8.4	Résultats de l'ACA	63
9.	RÉSULTATS INTÉGRÉS	65
9.1	Coûts de la non-intervention	65
9.2	La rentabilité des options d'adaptation	70
9.2.1	Premier groupe : La non-intervention n'est pas une option	74

9.2.2	Deuxième groupe : Avantage net à intervenir	75
9.2.3	Troisième groupe : Mince avantage à intervenir	77
9.2.4	Quatrième groupe : À l'intérieur d'une marge de 25 000 \$	78
9.2.5	Cinquième groupe : Pas d'avantage économique à intervenir	80
10.	LEÇONS APPRISSES	82
10.1	Approche collaborative	82
10.2	Leçons apprises sur les résultats	84
10.2.1	Diversité des impacts considérés	84
10.2.2	Hypothèses hydrodynamiques	85
10.2.3	Hypothèses économiques	85
11.	CONCLUSION	87
12.	RÉFÉRENCES.....	92



LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.1 – Références des rapports d’analyse coûts-avantages réalisés au Québec2

Tableau 2.1 – Taux d’évolution côtière probables pour chaque segment étudié6

Tableau 2.2 – Hypothèses relatives à la submersion9

Tableau 3.1 – Options d’adaptation considérées par segment 13

Tableau 3.2 – Ensemble des impacts appréhendés..... 15

Tableau 4.1 – Options d’adaptation considérées dans chacun des segments à Percé..... 19

Tableau 5.1 – Options d’adaptation considérées dans chacun des segments à Maria 31

Tableau 7.1 – Options d’adaptation considérées dans chacun des segments aux Îles-de-la-Madeleine..... 53

Tableau 7.2 – Option d’adaptation privilégiée, avantage net par rapport à la non-intervention et ratio avantages-coûts pour chaque segment de Cap-aux-Meules 55

Tableau 9.1 – Options d’adaptation la plus avantageuse par segment et avantages nets par rapport à la non-intervention pour les 25 segments 72

Tableau 11.1 – Principales caractéristiques des cinq groupes de segment..... 90



LISTE DES FIGURES

Figure 4.1 – Localisation de la zone d'étude et des 4 segments étudiés in Percé	18
Figure 4.2 – Avantages actualisés nets par rapport à la non-intervention et ratios avantages-coûts dans l'anse du Sud	22
Figure 4.3 – Avantages actualisés nets par rapport à la non-intervention et ratios avantages-coûts dans l'anse du Nord	27
Figure 5.1 – Localisation de la zone d'étude et des 4 segments étudiés in Maria.....	30
Figure 5.2 – Avantages actualisés nets par rapport à la non-intervention et ratios avantages-coûts pour chaque segment à Maria.....	36
Figure 6.1 – Localisation de la zone d'étude et des 3 secteurs étudiés à Carleton-sur-Mer	38
Figure 6.2 – Limites des trois segments à l'étude du secteur Banc St-Omer	40
Figure 6.3 – Valeur actualisée nette par rapport à la non-intervention et ratio avantages-coûts de chaque option d'adaptation étudiée par segment dans le secteur Banc St-Omer .	42
Figure 6.4 – Limites des deux segments à l'étude du secteur Berthelot-Éperlan	43
Figure 6.5 – Valeur actualisée nette par rapport à la non-intervention et ratio avantages-coûts de chaque option d'adaptation étudiée par segment dans le secteur Berthelot-Éperlan	45
Figure 6.6 – Limites des trois segments à l'étude dans le secteur Carleton Est.....	46
Figure 6.7 – Valeur actualisée nette par rapport à la non-intervention et ratio avantages-coûts de chaque option d'adaptation étudiée par segment dans le secteur Carleton Est	48
Figure 6.8 – Valeur actualisée nette de l'option d'adaptation la plus avantageuse par rapport à la non-intervention à Carleton-sur-Mer	50
Figure 7.1 – Zone d'étude et localisation des trois secteurs étudiés aux Îles-de-la-Madeleine ...	52
Figure 7.2 – Secteur Cap-aux-Meules et les 6 segments retenus pour l'ACA.....	54
Figure 7.3 – Avantages actualisés nets par rapport à la non-intervention et ratio avantages-coûts de chaque option d'adaptation à La Grave	57

Figure 7.4 – Valeur actualisée nette de l'option la plus avantageuse par rapport à la non-intervention aux Îles-de-la-Madeleine	lix
Figure 8.1 – Localisation de la zone d'étude pour l'étude de cas de Rivière-Ouelle	61
Figure 8.2 – Valeur actualisée nette par rapport à la non-intervention et ratio avantages-coûts de chaque option d'adaptation à Rivière-Ouelle	63
Figure 9.1 – Coûts liés à l'érosion et à la submersion des options de non-intervention pour les 25 segments.....	66
Figure 9.2 – Coûts de l'option de non-intervention par segment.....	68
Figure 9.3 – Coûts au mètre linéaire de l'option de non-intervention par segment.....	69
Figure 9.4 – Avantages nets de l'options la plus avantageuse par rapport à la non-intervention par segment	73
Figure 9.5 – VAN des options les plus avantageuses par rapport à la non-intervention et ratios avantages-coûts pour le premier groupe de segments	75
Figure 9.6 – VAN des options les plus avantageuses par rapport à la non-intervention et ratios avantages-coûts pour le deuxième groupe de segments.....	77
Figure 9.7 – VAN des options les plus avantageuses par rapport à la non-intervention et ratios avantages-coûts pour le troisième groupe de segments	78
Figure 9.8 – VAN des options les plus avantageuses par rapport à la non-intervention et ratios avantages-coûts pour le quatrième groupe de segments.....	80
Figure 9.9 – VAN des options les plus avantageuses par rapport à la non-intervention et ratios avantages-coûts pour le cinquième groupe de segments	81
Figure 11.1 – Distribution des options les plus avantageuses parmi les 25 segments étudiés ...	88
Figure 11.2 – Distribution des 25 segments en fonction des cinq groupes.....	88



1. INTRODUCTION

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 lancée par le Groupe de travail économique 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). En plus du soutien de Ressources naturelles Canada, cette étude était financé par le Fonds vert du Gouvernement du Québec dans le cadre du Plan d'action 2013-2020. Au total, 25 segments de côte ont font l'objet d'analyse coûts-avantages, soit 16 segments dans trois municipalités en Gaspésie (Percé, Maria et Carleton-sur-Mer), 8 segments aux Îles-de-la-Madeleine et un segment dans le Bas Saint-Laurent, au sud de l'embouchure de la rivière Ouelle.

Le présent rapport vise à intégrer les résultats des différentes analyses coûts-avantages réalisées en comparant ceux-ci à l'aide des indicateurs économiques retenus, soit la valeur actualisée nette (VAN) et le ratio avantages-coûts (ratio A/C). Il constitue une synthèse de cinq rapports d'études de cas qui sont disponibles sur le site internet d'Ouranos (tableau 1.1).

Tableau 1.1 – Références des rapports d'analyse coûts-avantages réalisés au Québec

Site d'étude	Référence des rapports
Percé	Circé, M., Da Silva, L., Mercier, X., Boyer-Villemare, U., Desjarlais, C. et Morneau, F. (2015) Analyse coûts-avantages des options d'adaptation en zone côtière à Percé. Ouranos, Montréal. 157 pages et annexes (rapport aussi disponible en anglais).
Maria	Circé, M., Da Silva, L., Mercier, X., Boyer-Villemare, 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 (rapport aussi disponible en anglais).
Carleton-sur-Mer	Circé, M., Da Silva, L., Mercier, X., Duff, G., Boyer-Villemare, U., Corbeil, S., Desjarlais, C. et Morneau F. (2016) Analyse coûts-avantages d'options d'adaptation en zone côtière à Carleton-sur-Mer. Ouranos, Montréal. 169 pages et annexes (résumé exécutif aussi disponible en anglais).
Îles-de-la-Madeleine	Circé, M., Da Silva, L., Duff, G., Boyer-Villemare, U., Corbeil, S., Desjarlais, C. et Morneau F. (2016) Analyse coûts-avantages des options d'adaptation en zone côtière aux Îles-de-la-Madeleine. Ouranos, Montréal. 174 pages et annexes (résumé exécutif aussi disponible en anglais).
Kamouraska	Circé, M., Da Silva, L., Duff, G., Boyer-Villemare, U., Desjarlais, C. et Morneau, F. (2016) Analyse coûts-avantages des options d'adaptation en zone côtière à Rivière-Ouelle. Ouranos, Montréal. 69 pages et annexes (résumé exécutif aussi disponible en anglais).

Ce rapport présente au deuxième chapitre un résumé des approches méthodologiques retenues pour développer les projections d'évolution de la côte et de submersion côtière de 2015 à 2064 pour chacun des segments étudiés. Le troisième chapitre, pour sa part, expose brièvement l'approche méthodologique économique adoptée afin d'estimer les coûts et les avantages des différentes options d'adaptation et de les comparer par rapport à l'option de non-intervention.

Les cinq chapitres suivants portent respectivement sur les segments de côte étudiés à Percé, Maria, Carleton-sur-Mer, aux Îles-de-la-Madeleine et à Rivière-Ouelle. Chaque chapitre décrit sommairement la zone d'étude et les segments de côte ciblés, les options d'adaptation considérées et les résultats des ACA réalisées.

Le chapitre 9 analyse et compare les résultats obtenus pour les 25 segments de côte étudiés au Québec dans le cadre de ce projet de recherche. Les VAN et les ratios A/C sont utilisés comme indicateurs économiques afin de déterminer s'il est préférable ou non d'intervenir pour protéger le littoral.

Quant au chapitre 10, il met en évidence les principales leçons apprises au cours de la réalisation de ces études de cas. Ces apprentissages proposent des approches à suivre pour la réalisation d'études à l'avenir et suggèrent des avenues de recherche qui permettraient de raffiner certaines composantes méthodologiques des ACA en milieu côtier et rendre les résultats encore plus pertinents pour les décideurs.

Enfin, la conclusion met l'emphasis sur les grands acquis de cette étude et sur les principaux éléments qui pourraient aider les décideurs à faire des choix plus éclairés en matière d'adaptation aux changements climatiques en milieu côtier au Québec.



2. APPROCHES MÉTHODOLOGIQUES POUR LA PROJECTION DES ALÉAS CÔTIERS

Ce chapitre présente les principaux choix méthodologiques retenus pour établir les projections d'évolution de la côte et de submersion côtière dans les cinq sites à l'étude dans un contexte de changements climatiques.

2.1 SCÉNARIO DE REHAUSSEMENT MARIN

La référence retenue en matière de rehaussement du niveau marin mondial est le scénario d'émissions RCP 8.5 avec une augmentation constante des gaz à effet de serre extrait du 5^e rapport du GIEC (2013). Ce scénario extrême peut sembler surestimer la remontée anticipée, mais ce choix est fondé sur la littérature scientifique récente qui met en évidence la sous-estimation des fluctuations du niveau marin durant le 21^e siècle (Horton et al., 2014).

2.2 ÉROSION CÔTIÈRE

Les scénarios d'évolution côtière probables de chaque segment de côte, sur la période d'étude de 2015 à 2064, ont été développés par le LDGIZC de l'UQAR, qui a accumulé un imposant bagage de connaissances en matière d'érosion et de submersion sur les côtes du Québec. Les scénarios du LDGIZC sont basés sur l'analyse des taux historiques et de leur évolution.

Par ordre de priorité, le LDGIZC s'est référé aux sources de données suivantes pour déterminer les taux d'évolution probables dans la mesure où ces données reflétaient les nouvelles conditions climatiques associées aux changements climatiques :

- Les données d'évolution côtière de la période la plus récente (années 2000);
- Les données issues du réseau de suivi de l'érosion côtière du LDGIZC qui compte près de 5 000 bornes de mesures;
- Les données d'évolution côtière historiques;
- Les données provenant d'une moyenne par type de côte estimée pour une région donnée.

De plus, le LDGIZC a estimé les taux de recul potentiels lors d'événements de tempête en fonction des données observées par type de côte dans une région donnée. Ces taux sont généralement supérieurs aux taux de recul annuels moyens, mais ils n'ont pas été explicitement pris en compte dans le calcul des impacts appréhendés dus à l'érosion, en raison de l'impossibilité de prévoir à quel moment surviendront les événements de tempête. Ces taux événementiels sont plutôt pris en compte dans les taux de recul probables qui ont été déterminés en tenant compte des événements passés.

Le tableau 2.1 présente les taux d'évolution côtière probables pour chaque segment étudié en précisant le type de côte et la longueur du segment.

Tableau 2.1 – Taux d'évolution côtière probables pour chaque segment étudié

Site d'étude	Segment	Type de côte dominant	Longueur du segment (m)	Taux d'érosion probables (m)
Percé	Côte Surprise	Falaise sédimentaire	1 388	-0,11
	Anse du Sud	Terrasse de plage	907	-0,08 à -0,13
	Mont-Joli Sud	Falaise sédimentaire	605	-0,1
	Anse du Nord	Terrasse de plage	415	-0,13 à -0,14
Maria	Maria Centre-Ouest	Terrasse de plage	616	-0,24
	Maria Centre-Est	Terrasse de plage	382	-0,83
	Pointe-Verte Ouest	Terrasse de plage	146	-0,76
	Pointe-Verte Est	Flèche littorale	341	0,51
Carleton-sur-Mer	Banc Saint-Omer Ouest	Flèche littorale	4 971	-1,9
	Banc Saint-Omer Centre	Terrasse de plage	538	0,07
	Banc Saint-Omer Est	Terrasse de plage	990	-0,72
	Rue Berthelot	Basse falaise meuble	286	-0,22
	Ruisseau de l'Éperlan	Basse falaise meuble	1 140	-0,35
	Plage municipale	Flèche littorale	980	0,18
	Pédoncule	Flèche littorale	1 031	-0,27
	Caps de Maria	Falaises meubles	5 038	-0,69
Îles-de-la-Madeleine	La Grave	Tombolo	440	-0,23
	Camping Gros Cap	Falaise sédimentaire	1 734	-0,37 à -0,82

Site d'étude	Segment	Type de côte dominant	Longueur du segment (m)	Taux d'érosion probables (m)
	Gros Cap Est	Terrasse de plage	180	-0,45 à -1,0
	Échouerie Ouest	Falaise sédimentaire	460	-0,45
	Route municipale	Falaise sédimentaire	1 258	-0,38
	Plage municipale	Terrasse de plage	345	-0,38 à -0,64
	Centre-ville	Falaise sédimentaire	2 163	-0,31 à -0,43
	Grande-Entrée	Zone portuaire	500	-1,61
Kamouraska	Rivière-Ouelle	Marais salé endigué (agriculture)	4 223	+0,3 à -1,9

2.3 SUBMERSION CÔTIÈRE

Les épisodes de submersion causant des dommages dépendent des niveaux d'eau extrêmes et des vagues qui déferlent sur la côte et se transforment en jet de rive. On prévoit que les récurrences de hauts niveaux d'eau seront accrues en raison de l'augmentation du niveau marin relatif et de l'adoucissement hivernal¹. Le premier est dû principalement au réchauffement des océans (par expansion thermique) associé aux changements climatiques et à l'enfoncement du continent (ajustement isostatique). Quant à l'adoucissement des températures hivernales, 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).

L'approche générale a consisté à calculer des récurrences de hauteurs de submersion pour la situation actuelle de même que pour les horizons temporels de 2030 et 2055 en tenant compte de l'impact des changements climatiques et 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; et
- les probabilités conjointes (co-récurrences) de surcotes de tempête et de vagues.

Le tableau 2.2 présente les augmentations nettes de niveau marin relatif (hausse eustatique plus ajustement isostatique par rapport à la période centrée sur 1995), les durées hivernales (mois avec couvert de glace), le facteur de correction des co-récurrences et de même que les niveaux de submersion 2, 10, 30 et 100 ans pour chacun des sites d'étude.

¹ 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.

Les segments de côte étudiés à Percé et à Cap-aux-Meules (IDM) ne sont pas menacés de submersion. Les données du secteur Est de Maria et celles de Carleton-sur-Mer proviennent de Didier et al. (2014). Celles du secteur Ouest de Maria, des Îles-de-la-Madeleine et de Kamouraska ont été calculées par Ouranos. À Kamouraska, le faible impact du jet de rive sur les niveaux de submersion explique l'absence de facteur de correction pour les co-réurrences, y compris pour la saison hivernale.

En raison du court horizon temporel des séries initiales de données de vagues à Maria et Carleton-sur-Mer, les réurrences ont été calculées jusqu'à 30 ans, alors que dans les deux autres secteurs, des données sur 33 ans ont permis de calculer des réurrences jusqu'à 100 ans.

Tableau 2.2 – Hypothèses relatives à la submersion

Site	Maria		Carleton-sur-Mer		Îles-de-la-Madeleine			Kamou-raska
Secteur	Ouest	Est	Avec jet de rive	Sans jet de rive	La Grave	GE	GE sans jet de rive	
Rehaussement du niveau marin (cm)								
- actuel	+4	+4	+4	+4	+10	+10	+10	+2
- 2030	+19	+19	+19	+19	+25	+25	+25	+8
- 2055	+40	+40	+40	+40	+50	+50	+50	+22
Hiver : (Mois avec couvert de glace)	JFMA	JFMA	JFMA	JFMA	JFM	JFM	JFM	NA
Facteur de correction des co-réurrences	3-10	3-10	3-10	3-10	16,67	16,67	16,67	NA
Runup estimé pour décembre 2010 (m)	1,2	0,41	0,41	-	1,07	1,07	-	NA
Hauteur d'eau maximale estimée décembre 2010 (m géodésique)	3,69	2,90	2,90	2,49	2,24	2,61	1,55	3,93
Niveau total corrigé de submersion en 2055 (m géodésique)								
2 ans	3,44	2,55	2,55	2,19	2,08	1,96	1,23	3,74
10 ans	4,16	3,07	3,07	2,65	2,48	2,43	1,50	3,96
30 ans	4,62	3,43	3,43	2,97	2,74	2,73	1,69	4,11
100 ans	-	-	-	-	3,02	3,06	1,90	4,27



3. APPROCHE MÉTHODOLOGIQUE ÉCONOMIQUE

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, l'approche était centrée sur l'implication des parties prenantes à toutes les étapes de l'étude de façon à favoriser le partage de connaissances essentiel à la pertinence du projet.

Plus concrètement, quatre types de comités ont été mis sur pied pour assister l'équipe de projet dans l'avancement de l'analyse : des comités locaux d'orientation, un comité régional, un comité technique et un comité avisier.

Dans chaque municipalité ciblée par la présente étude, un comité local d'orientation, composé d'intervenants du milieu, de décideurs, de fonctionnaires et d'élus, a été constitué par la municipalité afin d'orienter les travaux selon les besoins et les réalités locales. Les membres de ces comités ont de plus été d'une aide précieuse pour l'obtention des données permettant la quantification et la monétisation des impacts ou du coût des options d'adaptation.

Le comité régional, 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 économiques. Les résultats préliminaires des cinq études

de cas ont aussi été discutés avec le comité régional 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, le ministère de la Culture et des Communications de même que le ministère des Transports. Des représentants de Pêches et Océans Canada siégeaient également sur ce comité.

Quant au comité technique, il était composé de spécialistes dans le domaine côtier, dont deux ingénieurs côtiers, deux géomorphologues, un océanographe et des économistes. Le comité avait comme principal mandat de proposer des options d'adaptation pour chaque segment de côte étudié en fonction des problématiques côtières en jeu.

Enfin, le comité aviseur regroupait des spécialistes du milieu côtier et de l'analyse coûts-avantages, ainsi que des représentants des organismes finançant le projet. Ce comité a validé les grandes orientations de recherche du projet et la méthodologie adoptée pour réaliser les différentes étapes de l'étude.

3.1 ANALYSE ÉCONOMIQUE

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

La méthode utilisée est l'analyse coûts-avantages. Celle-ci permet de comparer la somme des avantages nets de chaque option 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. La méthodologie est relativement simple, bien établie et documentée, notamment en milieu côtier (Penning-Rowsell et al., 2013).

Sur une période donnée, l'ACA permet de comparer différentes options d'adaptation sur une base commune à l'aide d'indicateurs, dont la valeur actualisée nette et le ratio

avantages-coûts. Ceux-ci permettent alors de classer les options étudiées en fonction de leur performance économique.

Afin d'offrir un cadre d'analyse uniforme entre les sites d'étude (au Québec et dans les provinces Atlantiques), des paramètres économiques communs ont été retenus pour tous les segments :

- Période d'étude de 50 ans, entre 2015 et 2064;
- Taux d'actualisation de 4 %, avec des analyses de sensibilité à 2 et 6 %;
- Monétisation en dollars constants de 2012.

La réalisation des ACA dans le cadre de ce projet comprenait six étapes principales : 1) identification des options d'adaptation; 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; 5) comparaison des coûts et des avantages; 6) analyse de sensibilité des résultats.

3.1.1 Identification des options d'adaptation

En fonction du contexte spécifique du secteur à l'étude et à l'aide des rencontres avec les comités local, régional et technique, des options d'adaptation de trois catégories ont été sélectionnées pour les différents segments à l'étude : des structures côtières rigides, des structures côtières mobiles et des options sans structure côtière (tableau 3.1). Les structures rigides représentent des structures d'ingénierie côtière classiques, telles que des murs et des enrochements, lesquelles viennent fixer la ligne de rivage. Les structures mobiles, comme la recharge de plage (avec ou sans épis) et les dunes végétalisées, permettent un certain mouvement naturel des sédiments. Les options sans structure côtière, quant à elles, visent plutôt à réduire l'exposition 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 décrits dans les chapitres consacrés à chacune des études de cas.

Tableau 3.1 – Options d'adaptation considérées par segment

Études de cas	Segments	Type de côte dominant	Structures rigides	Structures mobiles	Options sans structure côtière
Percé	Côte Surprise	Falaise sédimentaire			RS
	Anse du Sud	Terrasse de plage	MB, ENR, RR	RP, RPE	
	Mont-Joli Sud	Falaise sédimentaire			RS
	Anse du Nord	Terrasse de plage	ENR, RR	RP	RS
Maria	Maria Centre-Ouest	Terrasse de plage	MPP		IRS
	Maria Centre-Est	Terrasse de plage	MB	RP, RPE	IRS
	Pointe-Verte Ouest	Terrasse de plage	MB	RP, RPE	IRS
	Pointe-Verte Est	Flèche littorale	D+MB	RP, RPE	IRS
Carleton-sur-Mer	Banc de Saint-Omer Ouest	Flèche littorale		RP, RPE,	IRS
	Banc de Saint-Omer Centre	Terrasse de plage	ENR		IRS
	Banc de Saint-Omer Est	Terrasse de plage	ENR	RP, RPE	RS
	Rue Berthelot	Basse falaise meuble	ENR		RS
	Ruisseau de l'Éperlan	Basse falaise meuble	ENR	RP, RPE	RS
	Plage municipale	Flèche littorale	PM		I
	Pédoncule	Flèche littorale	MB	RP, RPE	
	Caps de Maria	Falaises meubles			RS
Îles-de-la-Madeleine	La Grave	Tombolo	ENR, RR	RP	IRS
	Camping Gros Cap	Falaise sédimentaire	ENR, RR		RS
	Gros Cap Est	Terrasse de plage	RR	RP+Butée	RS
	Échouerie Ouest	Falaise sédimentaire	ENR, RR		RS
	Route municipale	Falaise sédimentaire	ENR, RR		RS, RS+route déplacée
	Plage municipale	Terrasse de plage	ENR, RR	RP+Butée	RS
	Centre-ville	Falaise sédimentaire	ENR, RR		RS
	Grande-Entrée	Zone portuaire	ENR, RR	RPE	IRS
Rivière-Ouelle (Kamouraska)	Rivière-Ouelle	Marais salé endigué pour agriculture	EPT, ENR		Recul partiel, Dépoldérisation

Légende : Mur de béton (MB), Riprap (RR), Digue (D), Enrochement (ENR), Épis en T (EPT) Mur de palplanches (MPP), Protection multiple (PM); Recharge de plage (RP), Recharge de plage avec épis (RPE), Recharge de plage avec bioingénierie (RPB), Relocalisation stratégique (RS), Immunisation et relocalisation stratégique (IRS) et Immunisation (I)

3.1.2 Identification des impacts appréhendés

Il convient ensuite d'évaluer comment la non-intervention et chaque option d'adaptation affecte l'environnement économique et social de même que l'environnement naturel qui est souvent perturbé par l'intervention humaine.

Un premier groupe d'impacts est celui des conséquences directes des aléas côtiers (érosion et submersion). 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. Dans le cadre de cette étude, l'ensemble de ces conséquences sont qualifiées d'impacts directs de l'érosion et de la submersion. Ceux-ci seront amplifiés par les changements climatiques.

En plus des impacts liés directement à l'érosion et à la submersion, il y a les impacts économiques, environnementaux² et sociaux. Ces impacts sont variés et doivent être déterminés au cas par cas, autant pour la non-intervention que pour chaque option d'adaptation. Le tableau 3.2 présente l'ensemble des impacts positifs et négatifs appréhendés dans les études de cas.

3.1.3 Monétisation des impacts négatifs et positifs

Dans le cadre de cette étude, plusieurs méthodes d'évaluation monétaire ont été utilisées selon la nature des impacts 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 permettant de monétiser indirectement la valeur d'un impact ont été utilisées. Il s'agit, entre autres, de la méthode de prix hédoniques et celle des coûts de transport. Dans un troisième cas, en l'absence 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 estimations ont alors été

² 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, devraient considérer ces impacts comme il se doit selon les pratiques reconnues dans le domaine.

réalisées grâce à des sondages menés auprès d'individus concernés, notamment au niveau de l'usage du littoral. Finalement, pour certains impacts, l'utilisation de résultats disponibles dans la littérature économique a été utilisée. C'est le cas notamment pour certains impacts environnementaux.

Tableau 3.2 – Ensemble des impacts appréhendés

Types d'impact	Impacts négatifs	Impacts positifs
Liés à l'érosion	- Perte de terrains - Perte totale ou partielle de bâtiments résidentiels ou commerciaux - Perte ou dommages aux infrastructures publiques	
Liés à la submersion	- Dommages aux terrains - Dommages aux bâtiments résidentiels ou commerciaux - Dommages aux infrastructures publiques - Évacuation d'urgence - Nettoyage de débris - Congestion routière ou détour	
Économiques	- Diminution de la valeur économique des terrains - Perte de marchandises et de revenus commerciaux - Perte de revenus touristiques	- Gain de revenus touristiques
Environnementaux	- Perte d'habitats naturels - Perte de sites pour la fraie des poissons	- Amélioration de sites pour la fraie des poissons
Sociaux	- 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	- Amélioration de l'usage récréatif du littoral - Amélioration de la qualité de vie (sécurité) - Amélioration du paysage

3.1.4 Estimation des coûts de mise en œuvre des options d'adaptation

En plus des coûts liés aux impacts négatifs 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 coûts encourus lors de projets similaires ou par des ingénieurs spécialisés dans la conception des mesures considérées. Quoique ces coûts soient relativement faciles à estimer puisqu'ils sont basés sur des projets déjà réalisés, ils demeurent approximatifs car ils sont rarement basés sur des études d'ingénierie détaillées effectuées sur le segment de côte à l'étude.

3.1.5 Comparaison des coûts et des avantages

Une fois les impacts quantifiés et monétisés, l'ensemble des coûts et des avantages de chacune des options d'adaptation sont comparés aux coûts de la non-intervention afin d'évaluer la performance économique de chacune des options d'adaptation. L'ensemble des coûts et des avantages des différentes options d'adaptation et de la non-intervention sont ramenés à des valeurs comparables en actualisant au taux de 4 % sur la période considérée, soit de 2015 à 2064. Toutes les valeurs sont également exprimées en une unité monétaire commune, soit en dollars de 2012, afin d'éliminer toute distorsion due à l'inflation. Les prochains chapitres décrivent les résultats des ACA réalisées pour les cinq études de cas.

3.1.6 Analyse de sensibilité des résultats

L'analyse de sensibilité est un élément important dans une ACA. Celle-ci permet d'examiner la robustesse de la VAN obtenue lorsque des hypothèses ou paramètres importants de l'analyse varient. Les différentes valeurs utilisées dans l'analyse de sensibilité visent à refléter le degré d'incertitude relatif à chacune des variables utilisées. En particulier, des analyses de sensibilité relatives au taux d'actualisation sont réalisées aux taux de 2 % et 6 %. L'analyse de sensibilité exprime l'étendue de la variabilité potentielle de la VAN.



4. ÉTUDE DE CAS DE PERCÉ

Depuis plusieurs années, la ville de Percé est confrontée à d'importants impacts liés aux changements climatiques se traduisant par la montée du niveau marin, l'adoucissement hivernal et la perte du couvert de glace sur le golfe du Saint-Laurent ainsi que la modification du régime des tempêtes. En particulier, la promenade en front de mer et les propriétés qui la longent subissent des dommages à répétition. Il devient de plus en plus urgent de prendre des mesures appropriées pour protéger le littoral, notamment pour assurer le maintien de l'achalandage touristique.

4.1 ZONE D'ÉTUDE

Dans la ville de Percé, 4 segments du littoral ont été étudiés et ceux-ci sont présentés à la figure 4.1. Il s'agit de Côte Surprise, de l'anse du Sud, de Mont-Joli Sud et de l'anse du Nord. Ces segments ont été définis et choisis en fonction de leurs caractéristiques physiques et d'occupation du sol ainsi que des risques appréhendés.



Figure 4.1 – Localisation de la zone d'étude et des 4 segments étudiés in Percé

4.2 OPTIONS D'ADAPTATION

Les options d'adaptation étudiées, tout particulièrement les structures d'ingénierie, sont tirées de l'étude conceptuelle réalisée par la firme BPR (BPR et al., 2014). Celles-ci prennent en compte les conditions hydrodynamiques, l'érosion, la sédimentation et les contraintes géotechniques liées aux segments à l'étude. Les options d'adaptation ont été conçues pour éviter tout problème d'érosion au cours des 50 prochaines années.

Lorsqu'approprié, plusieurs options ont été comparées à l'option de non-intervention. Toutefois, seule la relocalisation stratégique a été envisagée pour deux segments constitués de falaises. Le tableau 4.1 présente les différentes options d'adaptation étudiées dans chacun des segments.

Tableau 4.1 – Options d'adaptation considérées dans chacun des segments à Percé

Options d'adaptation	Côte Surprise	Anse du Sud	Mont-Joli Sud	Anse du Nord
Structures côtières rigides		Mur de béton Enrochement Riprap		Enrochement Riprap
Structures côtières mobiles		Recharge de plage Recharge de plage avec épis		Recharge de plage
Options sans structure côtière	Relocalisation stratégique		Relocalisation stratégique	Relocalisation stratégique

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

4.3 CÔTE SURPRISE

Le segment Côte Surprise est localisé au sud-ouest de la baie de Percé. Il est borné à l'ouest par le cap Blanc et à l'est par l'enrochement qui débute devant l'hôtel Riôtel. Cette portion de côte est composée principalement de falaises de roches sédimentaires d'une hauteur de plus de 30 mètres et de faible résistance à l'érosion. Excentrique par rapport au village de Percé, ce segment accueille peu de bâtiments au sud de la route provinciale. On y trouve, à l'ouest, un motel comprenant trois bâtiments de 12 unités d'hébergement chacun, de même qu'un restaurant et un pub, au centre, un camping de 125 emplacements, alors que l'est du segment n'est pas bâti, ni aménagé.

L'érosion et la possibilité d'un effondrement du haut de la falaise constituent les enjeux majeurs dans ce segment. En effet, les falaises actives en surplomb peuvent reculer brusquement et de manière imprévisible. Ainsi, sur un horizon temporel de 50 ans, si rien n'est fait, on estime que plusieurs actifs commerciaux de ce segment sont à risque dont les 3 bâtiments du motel La Côte Surprise, de même qu'une trentaine d'emplacements de camping.

En plus des pertes de bâtiments et de terrain, il y aura perte de revenus commerciaux pour la région, puisque les unités d'hébergement avec vue sur le rocher Percé et l'île

Bonaventure qui seront perdues ne pourront probablement pas être remplacées par des unités offrant une aussi belle vue. Les emplacements de camping pourraient par contre aisément être remplacés. Le résultat de l'analyse coûts-avantages indique que la non-intervention dans ce segment conduirait à une valeur actualisée nette négative de près de -560 000 \$ sur 50 ans.

Compte tenu de la hauteur des falaises, seule la relocalisation stratégique est considérée comme une mesure d'adaptation techniquement appropriée dans ce segment. Cette solution consiste à déménager les actifs à risque sur le même terrain si sa superficie le permet, ce qui est le cas des bâtiments du motel La Côte Surprise. Le déménagement devrait se faire dès que les bâtiments se situent à 5 m du bord de la falaise, afin de pouvoir manœuvrer en toute sécurité les équipements et les bâtiments. La valeur actualisée nette de la relocalisation stratégique est d'environ -401 000 \$. Cette option offre donc des avantages nets actualisés de près de 160 000 \$ sur 50 ans par rapport à la non-intervention.

Une analyse de sensibilité montre que les résultats de l'ACA sont robustes à une augmentation de la valeur des actifs à risque ainsi qu'à une diminution de la valeur estimée de la vue sur le rocher Percé et l'île Bonaventure des unités d'hébergement à Percé. De plus, en considérant que les bâtiments sont à risque d'effondrement dès qu'ils sont situés à 4,3 mètres du haut de la falaise, il est encore plus avantageux de les relocaliser. Enfin, les résultats de l'ACA favorisent la relocalisation stratégique lorsque le taux d'actualisation diminue à 2 %, mais ce n'est plus le cas lorsqu'il augmente à 6 %.

Ainsi, dans tous les cas, sauf pour l'utilisation d'un taux d'actualisation de 6 %, la relocalisation stratégique est l'option la plus rentable économiquement sur une période de 50 ans. Le ratio avantages-coûts de la relocalisation stratégique par rapport à la non-intervention est, quant à lui, de 1,4. La relocalisation stratégique générerait donc des avantages équivalant à 1,40 \$ pour chaque dollar consenti.

Dans le segment Côte Surprise, les bâtiments exposés ont une valeur économique suffisamment importante sur un horizon de 50 ans pour que leur préservation grâce à la relocalisation stratégique soit économiquement justifiée. Même en modifiant certaines hypothèses de calcul, la relocalisation stratégique demeure toujours l'option la moins coûteuse sur un horizon temporel de 50 ans.

4.4 ANSE DU SUD

Le segment de l'anse du Sud constitue le cœur patrimonial, culturel et économique de Percé. Ce segment de côte, compris entre le motel Riôtel et le quai de Percé, est aujourd'hui menacé par les assauts de la mer qui causent annuellement plusieurs dizaines de milliers de dollars de dommages. La portion principale du segment (secteur plus au nord) est protégée par un mur de béton qui supporte la promenade en bord de mer. Au cours des dernières années, des interventions ponctuelles d'urgence ont permis de maintenir le mur et la promenade en place, mais le mur est en fin de vie utile et ces deux infrastructures sont extrêmement vulnérables aux événements de tempête.

En l'absence d'une protection adéquate, il est prévu que le littoral dans le secteur plus au nord sera à nouveau sujet à l'érosion à partir de 2020 et reculera en moyenne de -15 cm par an. Plus au sud, la côte est formée de basses falaises rocheuses protégées par un enrochement en mauvais état et sous-calibré où le taux d'érosion observé est de -8 cm par an, malgré la protection existante.

Au cours des prochaines années, de nombreux actifs commerciaux et touristiques de ce segment seront à risque. En effet, des motels et des commerces seront directement exposés à l'érosion à l'intérieur de la période d'étude (50 ans). De plus, le cachet touristique de la ville de Percé est grandement menacé avec la disparition prévue de la promenade en front de mer. En effet, l'axe structurant que forment la promenade et le quai accueille annuellement plus de 400 000 visiteurs.

Les résultats d'une analyse des impacts potentiels de la non-intervention montrent que l'incapacité du mur à protéger les actifs sur la côte pourrait mener à des pertes totales actualisées de près de 705 M\$ sur 50 ans, dont la plus grande partie serait due à une baisse d'achalandage touristique dans l'ensemble de la région gaspésienne. Une enquête en ligne menée auprès de 2 000 Québécois a révélé que de nombreux visiteurs réduiraient la durée de leur séjour en Gaspésie ou diminueraient leur nombre de visites si la promenade était perdue. Cette modification de comportement entraînerait une réduction de 21 % du nombre de nuitées dans la région gaspésienne, soit environ 320 000 nuitées de moins par année.

Compte tenu de l'importance de ces impacts, cinq options d'adaptation ont été étudiées afin de réaménager et de protéger le littoral de Percé : la construction d'un mur, l'enrochement du littoral, l'installation d'un riprap ainsi que la recharge de plage avec ou sans épis³. Une analyse de l'ensemble des coûts et des avantages de chacune de ces options a été réalisée, en considérant non seulement les coûts de mise en œuvre des options, mais également les coûts et avantages liés à leurs impacts économiques, environnementaux et sociaux. Les résultats de l'enquête québécoise ont, entre autres, permis d'évaluer la variation d'achalandage touristique que la réalisation de chacune des cinq mesures pourrait générer.

Parmi les options étudiées, la recharge de plage avec galets est la mesure la plus avantageuse du point de vue économique. Elle offre des avantages actualisés nets de l'ordre de 773 M\$ sur 50 ans par rapport à la non-intervention (voir figure 4.2). Elle permet d'éviter l'ensemble des coûts de la non-intervention (705 M\$) et génère des avantages nets supplémentaires de 68 M\$. Ces gains additionnels proviennent d'un accroissement des retombées touristiques de 2 %, soit environ 35 000 nuitées annuellement.

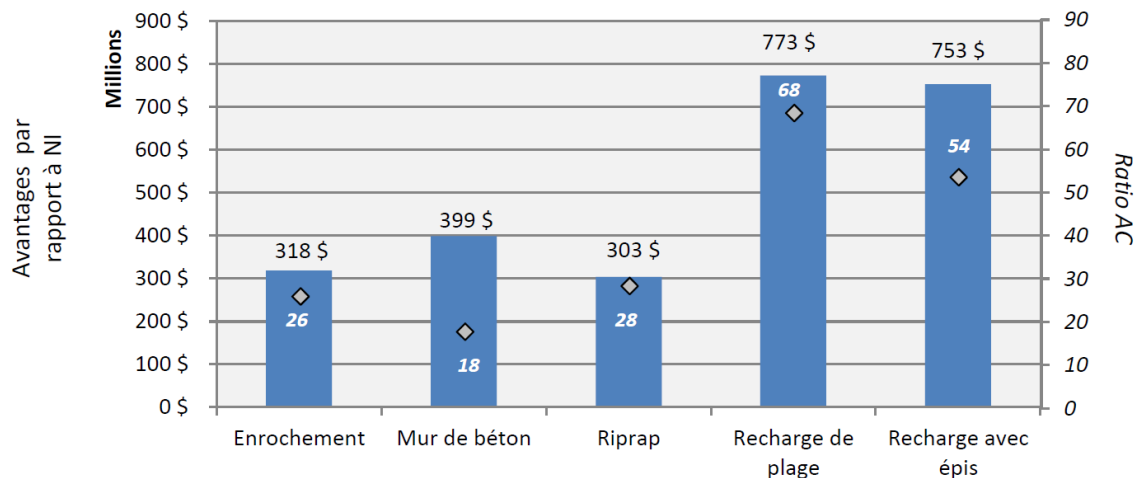


Figure 4.2 – Avantages actualisés nets par rapport à la non-intervention et ratios avantages-coûts dans l'anse du Sud

³ Se référer à BPR et al. (2014) pour le design et les caractéristiques de ces options d'adaptation.

La recharge de plage avec galets présente également le meilleur ratio avantages-coûts, les avantages excédant de 68 fois les coûts. Ainsi, chaque dollar consenti pourrait générer 68 \$ d'avantages. Ce résultat est dû aux gains touristiques importants et à des coûts de construction plus faibles que pour les autres mesures, même si cette option implique des coûts d'entretien élevés aux douze ans. Un apport additionnel régulier de galets est en effet essentiel afin de maintenir l'intégrité de cette solution à long terme et sa capacité à protéger les infrastructures sur les 50 prochaines années.

La deuxième option d'adaptation la plus avantageuse est celle de la recharge de plage avec des épis en T, soit des structures de roches perpendiculaires à la côte permettant de retenir les galets. Les avantages actualisés nets de cette option sont de l'ordre de 753 M\$ par rapport à la non-intervention. Cette solution est plus coûteuse à réaliser que la recharge sans épis, mais n'exige pas d'entretien sur la période d'étude. Les avantages excèdent de 54 fois les coûts.

La construction d'un nouveau mur de béton avec déflecteur, afin de mieux résister aux événements de tempêtes, présente des avantages actualisés nets de 399 M\$. Cette option, tout comme celles de l'enrochement et du riprap⁴, sont avantageuses par rapport à la non-intervention, mais ces options ne permettraient pas de maintenir l'achalandage touristique des dernières années en Gaspésie. Ces résultats mettent en évidence l'importance d'agir, car peu importe l'option envisagée, il sera toujours plus avantageux de protéger et d'aménager le littoral de l'anse du Sud que de ne rien faire.

Une analyse de sensibilité a montré que les résultats de l'analyse coûts-avantages sont robustes à des changements d'hypothèses. La variation du taux d'actualisation influence les résultats, mais sans modifier l'ordre des options d'adaptation qui sont à privilégier. Quant aux hypothèses concernant la variation de l'achalandage touristique, même les prévisions les plus pessimistes en matière d'achalandage touristique ne changent pas

⁴ Un riprap consiste à déverser sur la plage des roches en vrac, dont la taille granulométrique est diversifiée, afin d'absorber et dissiper l'énergie des vagues.

l'ordonnance des options. La recharge de plage avec galets demeure la plus rentable économiquement.

En somme, dans le segment de l'anse du Sud, les pertes potentielles sont importantes, mais les gains économiques pouvant être réalisés par la mise en place de mesures d'adaptation le sont encore davantage et représentent des centaines de millions de dollars sur 50 ans. Le choix de la recharge de plage comme option d'adaptation est le plus avantageux, suivi de près par la réalisation d'une recharge de plage accompagnée d'épis en T.

4.5 MONT-JOLI SUD

Le troisième segment, la portion sud du cap du Mont-Joli, constitue un paysage emblématique de Percé. Il est formé de falaises rocheuses de 12 à 25 m de haut. Les taux de recul sont assez faibles, soit entre -1 à -10 cm/an selon la nature des roches constituant les falaises. Toutefois, quelques bâtiments se retrouvent très près de la falaise et apparaissent vulnérables à l'érosion sur un horizon de moyen à long terme. Selon les projections d'érosion, la villa Frederick-James, qui est actuellement située à moins de 4 m du bord de la falaise, sera exposée à l'érosion pendant la période d'étude. Bâtiment patrimonial d'exception à Percé, sa présence sur le cap du Mont-Joli bonifie la valeur du paysage et de la vue sur le rocher Percé.

La non-intervention dans le segment Mont-Joli Sud résulterait en une VAN de -209 470 \$ en dollars de 2012 actualisés à 4 %. Cette perte économique comprend essentiellement la perte de la valeur foncière et patrimoniale de la villa Frederick-James qui s'élève à plus d'un demi-million de dollars. L'actualisation joue ici un rôle majeur puisque la perte du bâtiment est prévue en 2042 selon le taux d'érosion probable projeté pour ce segment.

Sur un horizon temporel de 50 ans et avec un taux d'actualisation de 4 %, la non-intervention et la relocalisation stratégique présentent des valeurs actualisées nettes pratiquement équivalentes. En d'autres mots, dans le segment Mont-Joli Sud, la relocalisation stratégique ne semble pas avoir préséance sur l'option de non-intervention.

Des analyses de sensibilité sur la valeur patrimoniale, le taux d'actualisation et le taux d'érosion ont été effectuées afin de tenter de discriminer entre l'option de non-intervention et celle de la relocalisation stratégique. Les analyses de sensibilité sur la valeur du patrimoine et sur le taux d'érosion n'ont pas permis de déterminer clairement laquelle de ces deux options est plus avantageuse économiquement, la différence entre les VAN des deux options demeurant à l'intérieur de la marge d'erreur de l'analyse économique. Toutefois, une analyse de sensibilité qui combinerait une augmentation de 20 % de la valeur patrimoniale et de paysage de la villa Frederick-James et une légère hausse du taux d'érosion (10 %) conduirait à privilégier la relocalisation stratégique par rapport à la non-intervention.

Quant aux variations du taux d'actualisation, l'analyse de sensibilité a démontré que le facteur temps est critique dans ce segment. D'ailleurs, même si la villa Frederick-James est menacée en 2042 seulement, sa préservation exigerait une relocalisation imminente puisque ce bâtiment est déjà localisé à moins de 5 mètres du haut de falaise. Ainsi, une décision s'impose à très court terme si l'on veut pouvoir le préserver pour les générations futures.

4.6 ANSE DU NORD

Le quatrième segment étudié à Percé est celui de l'anse du Nord, compris entre les caps Mont-Joli et Barré. Il s'agit d'une plage de galets à l'aspect naturel, un élément complémentaire à l'anse du Sud dans l'offre touristique de Percé. Bien que beaucoup moins achalandé que le segment de l'anse du Sud, quelques milliers de visiteurs vont annuellement se balader, se baigner, pêcher et admirer la vue sur le rocher Percé à cet endroit. Le segment offre un cadre naturel d'exception qui pourrait bénéficier d'une mise en valeur permettant d'en apprécier pleinement la beauté.

En termes d'érosion, le littoral est en évolution plus rapide que les autres segments : le taux d'érosion est estimé à -18 cm/an. En raison de ce recul du littoral, la non-intervention entraînerait des pertes de terrain et de bâtiments résidentiels, hôteliers et commerciaux. La valeur des pertes actualisées à 4 % s'élèverait à 420 000 \$ sur une période de 50 ans.

Quatre options d'adaptation ont été évaluées pour éviter ces pertes : la construction d'un enrochement, l'installation d'un riprap, la recharge de plage avec galets et la relocalisation stratégique⁵.

Les résultats de l'ACA montrent que seule la recharge de plage est une option avantageuse économiquement comparativement à la non-intervention sur une période de 50 ans. Cette option d'adaptation se distingue des autres en raison des gains potentiels qu'elle permettrait au niveau de la bonification de l'usage récréatif de la côte (3,0 M\$), lesquels surpassent le coût de cette option (2,1 M\$). Sur toute la période, la recharge de plage offrirait des avantages de 1,3 M\$ par rapport à la non-intervention (figure 4.3). En considérant les gains d'usage récréatif et la protection des actifs, chaque dollar consenti à la recharge de plage permet de générer 1,62 \$ d'avantage.

En comparaison, la relocalisation des actifs génèrerait une valeur actualisée nette négative d'un peu plus de -100 000 \$ par rapport à la non-intervention. Autrement dit, la non-intervention est préférable au déménagement des actifs à risque dans ce segment. Cela s'explique par le coût élevé du déménagement des bâtiments relativement à leur valeur foncière. Dans le cas de la relocalisation, chaque dollar consenti génèrerait moins d'un dollar d'avantage (0,77 \$).

Quant à l'aménagement d'une protection en riprap qui aurait un coût similaire à la recharge, elle entraînerait davantage de coûts environnementaux (destruction de frayères à capelan), sans générer de gains d'usage récréatif. Ses avantages actualisés nets sont négatifs et son ratio avantages-coûts est inférieur à 1. Cette option n'est donc pas justifiable économiquement. Finalement, l'enrochement constituerait la solution la moins rentable économiquement en comparaison à la non-intervention (-4,0 M\$) en raison du coût élevé de la mesure (4,4 M\$) et de l'absence d'avantages indirects comme une bonification de l'usage récréatif de la côte.

⁵ Se référer à BPR et al., (2014) pour le design et les caractéristiques de ces options d'adaptation.

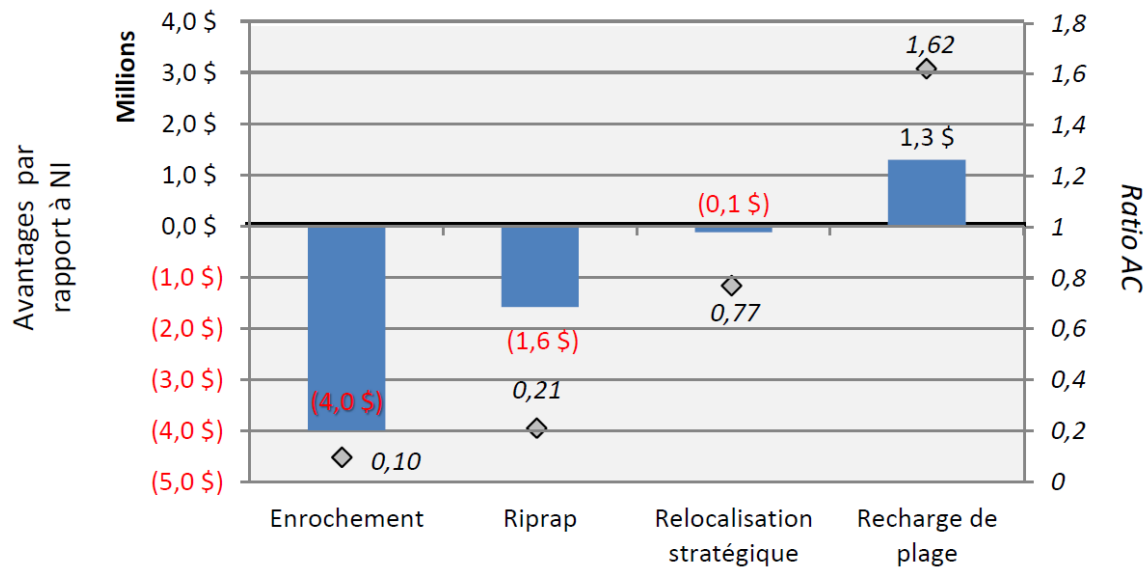


Figure 4.3 – Avantages actualisés nets par rapport à la non-intervention et ratios avantages-coûts dans l'anse du Nord

À la lumière de ces résultats, il apparaît clairement que la valeur du cadre bâti à risque dans l'anse du Nord évaluée sur l'horizon temporel 2015-2064 ne peut justifier à elle seul la mise en place de mesures de protection telles que la recharge de plage, l'enrochement ou le riprap. Il faut que ces options puissent générer des avantages supplémentaires, notamment une bonification de l'usage récréatif du littoral, pour qu'elles deviennent plus avantageuses que l'inaction.

La VAN de la recharge de plage s'est révélée robuste à toutes les analyses de sensibilité. Ces analyses confirment que la recharge de plage est l'option la plus avantageuse économiquement pour lutter contre l'érosion côtière dans l'anse du Nord à Percé.

4.7 CONCLUSION

Cette analyse coûts-avantages visait principalement à comparer différentes options d'adaptation en milieu côtier afin de déterminer celles dont la mise en place à Percé seraient plus avantageuses économiquement. L'ACA fournit deux indicateurs économiques, la valeur actualisée nette et le ratio avantages-coûts, qui peuvent aider les décideurs locaux, régionaux et nationaux à faire des choix mieux adaptés aux défis

auxquels seront confrontées les communautés côtières au cours des 50 prochaines années.

Les résultats de l'ACA indiquent clairement que l'option la plus profitable économiquement pour l'ensemble de la société est la recharge de plage en galets à la fois dans l'anse du Sud et dans l'anse du Nord. Les avantages de cette option excèdent les coûts dans les deux cas, car elle favorise la mise en valeur du littoral et améliore l'offre touristique de Percé, surtout à l'anse du Sud.

En ce qui concerne les deux autres segments étudiés qui sont formés de falaises rocheuses, soit Côte Surprise et Mont-Joli Sud, la relocalisation stratégique des bâtiments à risque est la seule option qui permettrait d'assurer la préservation des infrastructures touristiques et des actifs patrimoniaux de Percé. La relocalisation stratégique est avantageuse économiquement pour le segment Côte Surprise, où le risque d'effondrement menace les bâtiments à court terme.

Cette option devrait aussi être considérée pour le segment Mont-Joli Sud, où la villa patrimoniale Frederick-James est menacée. Quoique l'ACA indique que la relocalisation et la non-intervention sont deux options presque équivalentes pour le segment Mont-Joli Sud, la perte de la villa Frederick-James diminuerait la valeur patrimoniale de Percé ainsi que la beauté du paysage, deux aspects difficiles à évaluer monétairement avec fiabilité.

En conclusion, cette analyse coûts-avantages a montré que les options les plus avantageuses économiquement sont celles qui améliorent l'usage du littoral et l'offre touristique, tout en minimisant les coûts de réalisation.



5. ÉTUDE DE CAS DE MARIA

Municipalité linéaire située 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. 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.

Comme plusieurs municipalités côtières, 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.

5.1 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 5.1.



Figure 5.1 – Localisation de la zone d'étude et des 4 segments étudiés in Maria

5.2 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 5.1.

Tableau 5.1 – Options d'adaptation considérées dans chacun des segments à Maria

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

5.3 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 m⁶, 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 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.

⁶ Toutes les valeurs de submersion sont exprimées en mètre (m) géodésique soit l'élévation par rapport au zéro géodésique.

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.

5.4 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.

5.5 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 optimales 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 \$.

5.6 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.

5.7 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 optimales pour chacun d'entre eux 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.

5.8 CONCLUSION

La figure 5.2 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.

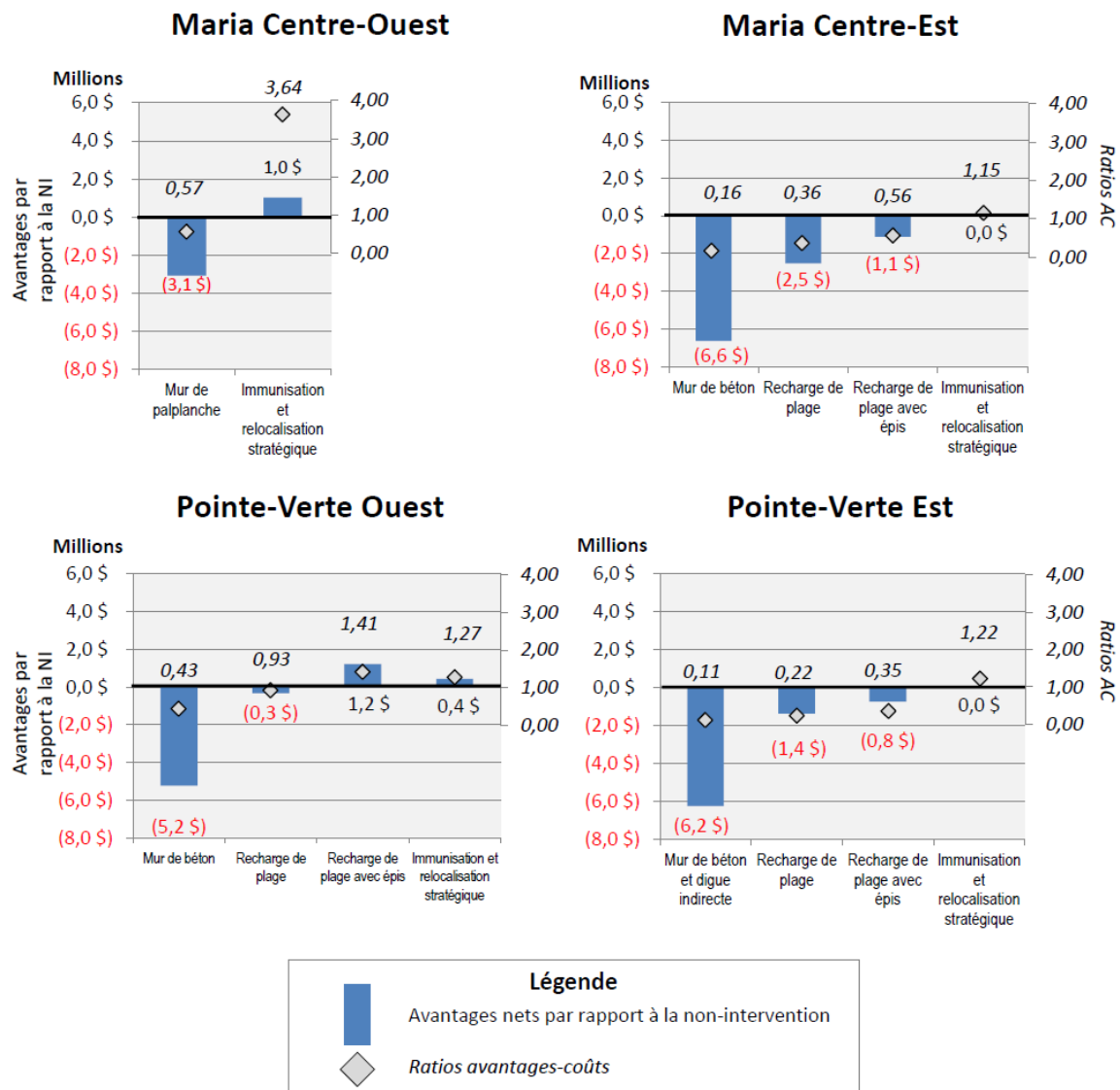


Figure 5.2 – Avantages actualisés nets par rapport à la non-intervention et ratios avantages-coûts pour chaque segment à Maria



6. ÉTUDE DE CAS DE CARLETON-SUR-MER

Sise dans la baie des Chaleurs, la ville de Carleton-sur-Mer couvre une superficie de 244 km² dans la MRC d'Avignon. La ville actuelle est issue de la fusion, en 2000, du village de St-Omer et de la ville de Carleton et compte environ 4 000 habitants. Carleton-sur-Mer subit déjà les impacts liés aux changements climatiques qui se traduisent par la remontée du niveau marin, la perte du couvert de glace dans la baie des Chaleurs ainsi que la modification du régime des tempêtes. La modification de ces paramètres hydro-climatiques vient accélérer et amplifier les aléas côtiers d'érosion et de submersion menaçant les terres, les bâtiments et les infrastructures qui se trouvent en bord de mer.

6.1 ZONE D'ÉTUDE

La zone d'étude couvre la portion du littoral située entre le cœur de St-Omer et les Caps de Maria, sur une longueur totale de 29,9 km. Elle a été divisée en 8 segments selon les caractéristiques physiques de la côte et d'occupation du sol. Ces segments ont été regroupés en trois secteurs, soit les secteurs Banc St-Omer, Berthelot-Éperlan et Carleton Est, qui sont délimités à la figure 6.1.



Figure 6.1 – Localisation de la zone d'étude et des 3 secteurs étudiés à Carleton-sur-Mer

6.2 OPTIONS D'ADAPTATION

Les options d'adaptation étudiées à Carleton-sur-Mer comprennent des structures côtières rigides (enrochement, digue, mur de béton), des structures côtières mobiles (recharge de plage avec ou sans épis, recharge de plage avec bio-ingénierie, dunes végétalisées), ainsi qu'une option sans structure côtière combinant l'immunisation et la relocalisation stratégique lorsque des actifs sont touchés par l'érosion, la submersion ou les deux.

Les options d'adaptation qui ont été retenues pour l'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 Carleton-sur-Mer, Baird a identifié de façon préliminaire des ouvrages qui pourraient protéger le littoral de Carleton-sur-Mer contre des événements de 500 ans de récurrence.

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

6.3 SECTEUR BANC ST-OMER

Le premier secteur étudié à Carleton-sur-Mer est celui du Banc St-Omer, qui s'étend sur une distance de 6,5 km, de la route Leblanc jusqu'à la route Beaulieu. Il comprend trois segments dont la problématique côtière diffère grandement : Banc St-Omer Ouest, Banc St-Omer Centre et Banc St-Omer Est. Les limites de ces segments sont présentées à la figure 6.2.



Figure 6.2 – Limites des trois segments à l'étude du secteur Banc St-Omer

Le segment le plus à l'ouest, Banc St-Omer Ouest, est dominé par des flèches littorales et de basses falaises meubles. Près de 90 % de la côte est naturelle. Au cours des 50 prochaines années, on prévoit que 58 % de la côte sera en érosion, alors que 42 % sera stable ou en légère accrétion. Au total, 80 % de la côte sera aussi sujette à la submersion. Plusieurs résidences sont dotées d'ouvrages de protection contre l'érosion ou de remblais immunisant contre la submersion.

De par la protection qu'il assure, le banc de St-Omer permet le maintien d'un marais saumâtre abritant un écosystème diversifié et d'une grande valeur écologique. Le barachois de St-Omer est d'ailleurs désigné zone protégée par Environnement Canada. Cet endroit accueille également de nombreux visiteurs qui y exercent des activités récréatives de toutes sortes. Dans la zone à l'arrière du barachois, on trouve plusieurs résidences et commerces, ainsi que le centre local de services communautaires (CLSC) de St-Omer. Sur l'horizon à l'étude, on prévoit la formation d'une brèche dans la flèche en l'an 2017. Les bâtiments situés à l'arrière de la flèche seront ainsi davantage exposés aux aléas de submersion (82 bâtiments sur l'horizon temporel retenu) et

d'érosion (1 bâtiment). Cette brèche implique également la perte du marais saumâtre et de l'accès à la flèche pour les visiteurs.

L'ACA indique que, si rien n'est fait, les dommages anticipés sont évalués à près de 5,9 M\$ à un taux d'actualisation de 4 % sur 50 ans. Près de 62 % de ces coûts sont dus à la perte d'usage de la flèche et 28 % aux dommages de submersion. Parmi les options d'adaptation étudiées, la recharge de sable est la plus avantageuse, permettant de générer un gain de près de 2,7 M\$ par rapport à la non-intervention.

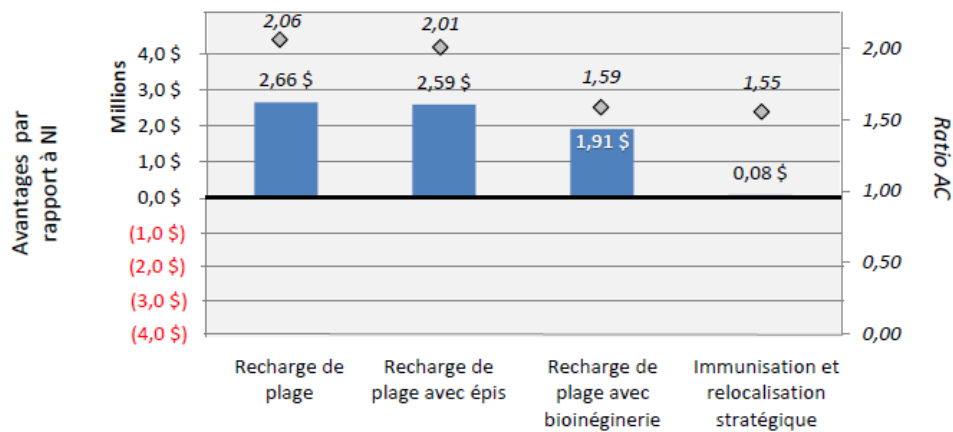
Le segment Banc St-Omer Centre, d'une longueur d'environ 0,5 km, est compris entre la rue Caissy et la rivière Stewart. Il est constitué presque entièrement de terrasses de plage dont près de la moitié sont en érosion. Bien qu'il y ait peu de bâtiments à cet endroit, la totalité de la côte est sujette à des épisodes de submersion qui pourraient endommager certains bâtiments. Dans ce segment, les dommages des aléas côtiers sur une période de 50 ans atteindraient environ 724 000 \$. Près de 88 % de ces coûts sont dus à la submersion. L'immunisation combinée à la relocalisation stratégique des bâtiments constitue l'option d'adaptation la plus avantageuse sur ce segment bien que son avantage d'un peu plus de 20 000 \$ par rapport à la non-intervention soit faible.

Le dernier segment de ce secteur, soit Banc St-Omer Est, s'étend de la rivière Stewart jusqu'à la route Beaulieu sur une distance d'un peu moins d'un kilomètre. La côte y est assez basse, composée de terrasses de plage (58 %) et de basses falaises meubles (29 %). Bien que les résidences ne soient pas exposées à l'érosion à court terme, le taux d'érosion probable dans cette zone, de même que le taux de recul événementiel des falaises et des terrasses de plage, entraîneront des dommages à moyen et long termes.

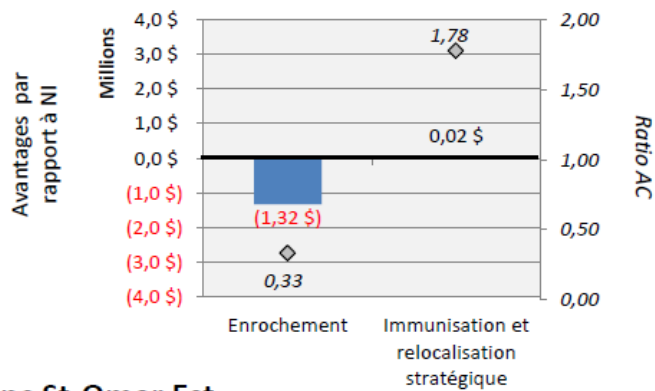
L'ACA indique que les dommages sur ce segment totaliseraient près de 160 000 \$ à un taux d'actualisation de 4 % sur 50 ans. L'érosion, qui affectera trois bâtiments, est responsable d'un peu plus de 90 % de ces dommages. La relocalisation stratégique est l'option d'adaptation la plus avantageuse dans ce segment, bien qu'à nouveau, l'écart entre la VAN de cette option et celle de la non-intervention soit faible.

La figure 6.3 présente les résultats de l'ACA pour toutes les options d'adaptation étudiées dans le secteur Banc St-Omer.

Banc St-Omer Ouest



Banc St-Omer Centre



Banc St-Omer Est

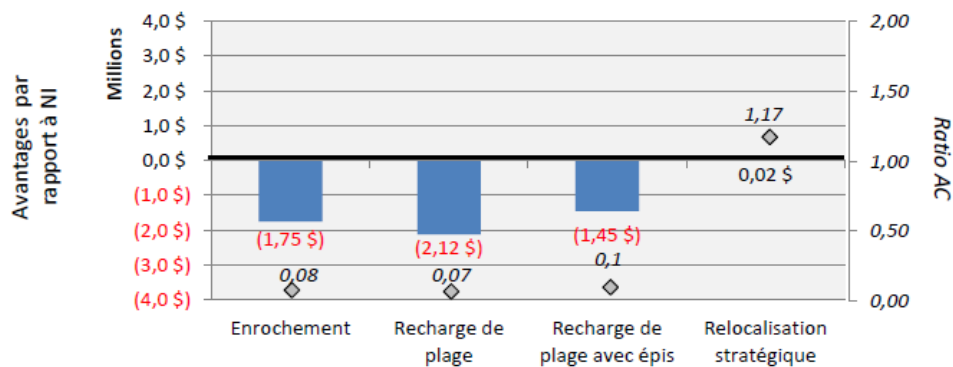


Figure 6.3 – Valeur actualisée nette par rapport à la non-intervention et ratio avantages-coûts de chaque option d'adaptation étudiée par segment dans le secteur Banc St-Omer

6.4 SECTEUR BERTHELOT- ÉPERLAN

Ce secteur s'étend sur 1,4 km entre la rue Berthelot et la rue Landry, jusqu'au point où cette dernière rejoint la côte. Le segment du corridor ferroviaire a été exclu, car une intervention pour protéger ce segment devrait s'inscrire dans une perspective de réhabilitation de l'ensemble de la voie ferrée. Ce secteur comprend deux segments, soit Rue Berthelot et Ruisseau de l'Éperlan dont les limites sont présentées à la figure 6.4.



Figure 6.4 – Limites des deux segments à l'étude du secteur Berthelot-Éperlan

Le segment Rue Berthelot est confiné entre la route 132 et le chemin de fer. Formé de basses falaises meubles, il accueille un quartier résidentiel protégé par un enrochement en bon état de plusieurs mètres de haut. Celui-ci a permis de ralentir le recul de la côte, mais a entraîné la perte de la plage. Les vagues de tempêtes frappent avec force les ouvrages de protection qui pourraient éventuellement céder. Pour les 50 prochaines années, l'érosion menace 7 des 11 habitations de ce segment, mais aucun bâtiment n'est à risque de submersion.

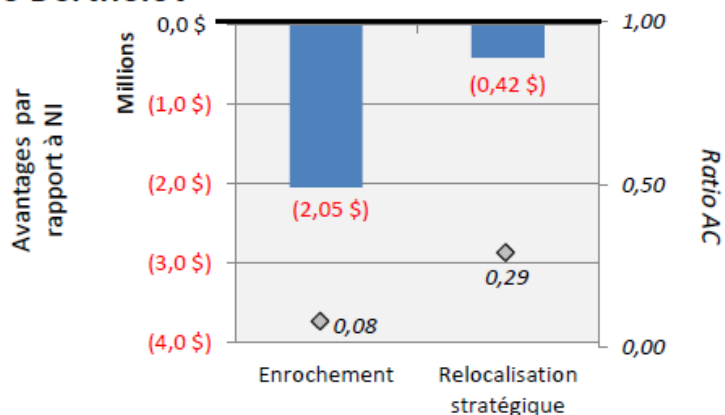
Selon les résultats de l'ACA, les dommages sur ce segment atteindraient près de 200 000 \$, dont 14 % seraient liés à la perte physique de terrains et 54 % seraient dus

aux coûts de démolition de 3 résidences. Sur ce segment, l'option de non-intervention implique de protéger la route d'accès de la route 132 à la rue Berthelot pour les résidents qui y vivent. L'option la moins coûteuse est la non-intervention, car les coûts de relocalisation excèdent les coûts de la perte des résidences exposées à l'érosion au cours des 50 prochaines années.

Le segment Ruisseau de l'Éperlan, quant à lui, s'étend sur un peu plus de 1 km entre le chemin de la Mer et la rue Landry. En son centre se trouve le delta du ruisseau, bordé d'une terrasse de plage, encadrée de part et d'autre de falaises meubles. Ce segment est à risque d'érosion (recul entre -0,24 et -0,35 m par année) et les deux tiers de sa côte sont artificialisés. À l'ouest du ruisseau de l'Éperlan, plusieurs chalets et roulottes sont installés sur le haut de la basse falaise meuble. À l'est, on retrouve des résidences principales exposées à l'érosion. Pour ce segment, l'ACA indique que les dommages actualisés pour les 50 prochaines années s'élèveraient à près de 300 000 \$. À l'instar du segment Rue Berthelot, toutes les options d'adaptation étudiées pour le segment Ruisseau de l'Éperlan sont plus coûteuses que la non-intervention.

La figure 6.5 présente les résultats de l'ACA pour les options d'adaptation étudiées dans les segments Rue Berthelot et Ruisseau de l'Éperlan.

Rue Berthelot



Ruisseau de l'Éperlan

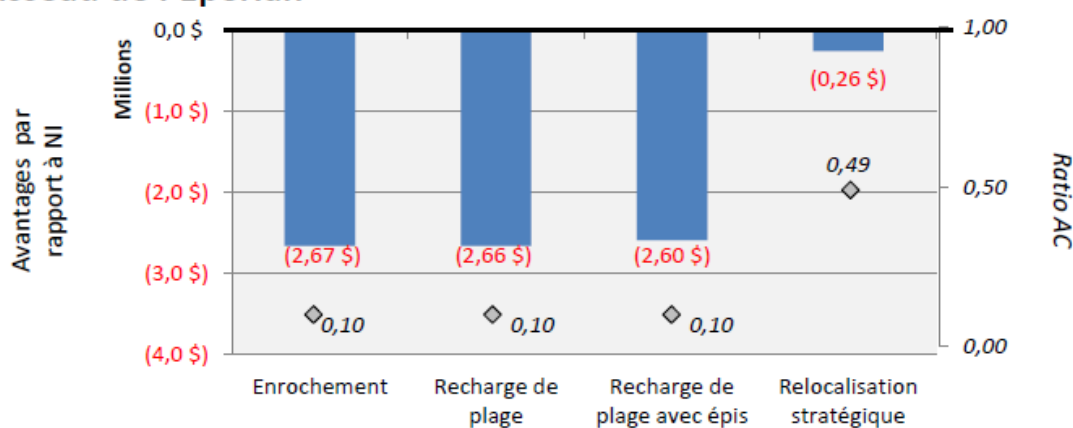


Figure 6.5 – Valeur actualisée nette par rapport à la non-intervention et ratio avantages-coûts de chaque option d'adaptation étudiée par segment dans le secteur Berthelot-Éperlan

6.5 SECTEUR CARLETON EST

Le secteur Carleton Est s'étend sur plus de 10,6 km au cœur de la municipalité de Carleton-sur-Mer. On y retrouve les infrastructures et services les plus importants. Ce secteur compte trois segments dont les dynamiques côtières sont très différentes : Plage municipale, Pédoncule et Caps de Maria. La figure 6.6 présente les limites de chacun de ces segments.



Figure 6.6 – Limites des trois segments à l'étude dans le secteur Carleton Est

À l'ouest, le segment Plage municipale, d'une longueur de près d'un kilomètre, s'étend de la rue de la Gare jusqu'au quai de Carleton. La plage municipale de Carleton est située sur une flèche littorale et est historiquement en accrétion, alimentée par les sédiments en provenance du ruisseau de l'Éperlan et des falaises meubles à proximité. Toutefois, les derniers 200 m de la plage avant le quai sont en érosion ($-0,21$ m/an) et la section précédant le quai est artificialisée.

Ce segment connaît des problèmes de submersion, lesquels proviennent tant du déferlement de l'eau en façade que de celui des vagues à l'est du quai. Sur un horizon de 50 ans, une trentaine de bâtiments et infrastructures localisés dans la portion ouest du segment seront touchés par les épisodes de submersion. La route menant au quai de Carleton est également sujette à la submersion, mais les épisodes de submersion ne sont pas suffisamment longs pour compromettre les activités qui dépendent de l'accès au quai et ainsi entraîner des pertes économiques.

Selon les résultats de l'ACA, les coûts de l'inaction sur l'horizon temporel considéré s'élèveraient à 6,1 M\$ dont 74 % seraient des dommages liés à la submersion. Parmi

les options d'adaptation étudiées sur ce segment, l'immunisation des bâtiments constitue l'option la plus avantageuse puisqu'elle offre un avantage net de 1,85 M\$ par rapport à la non-intervention.

Situé sur la flèche littorale du camping municipal le long du barachois de Carleton, le segment du Pédoncule s'étend sur 1 km, soit du début du pédoncule (zone plus mince de la flèche littorale) jusqu'à la courbe de la route du camping. Soumis à des aléas d'érosion et de submersion lors de tempêtes, les deux-tiers du segment sont artificialisés principalement par de l'enrochement et des murets de bois. Malgré l'apport de sédiments en provenance des caps de Maria, la dynamique côtière à cet endroit n'en permet pas l'accumulation.

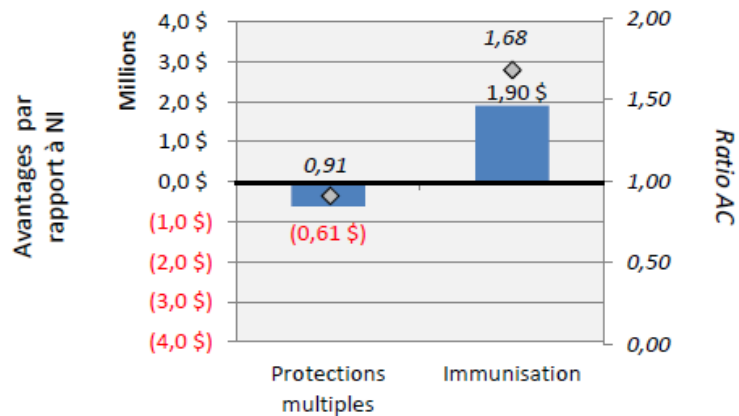
Si rien n'est fait, l'érosion pourrait gruger le pédoncule de la flèche vers 2040, ce qui empêcherait d'accéder au camping par la route et entraînerait la perte des revenus associés à cette activité. Les résultats de l'ACA montrent que les dommages actualisés à 4 % sur un horizon de 50 ans de l'inaction atteindraient 3,25 M\$ dans ce segment. Parmi les options d'adaptation étudiées, la recharge de plage avec épis constitue l'option la plus avantageuse, puisqu'elle offre un avantage net d'un peu plus de 1,24 M\$.

Le segment Caps de Maria, d'une longueur de 5,4 km, débute à l'avenue du Phare et prend fin à l'Auberge des Caps. Il est composé essentiellement de falaises meubles de 20 à 30 m de hauteur subissant une érosion variant entre -0,28 m et -0,69 m annuellement. Les sédiments ainsi générés contribuent à alimenter la flèche littorale du barachois de Carleton et sont donc essentiels pour ralentir la création d'une brèche dans le pédoncule du segment du même nom.

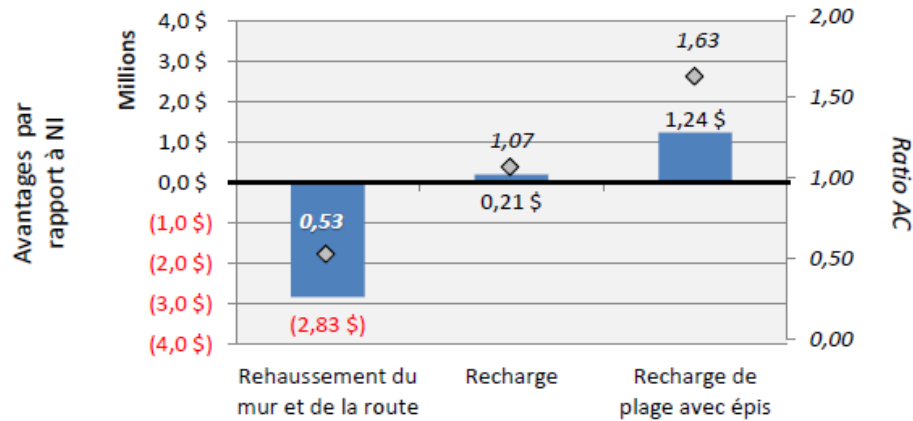
Sur l'horizon temporel d'étude, il est anticipé que l'érosion conduira à la perte d'une bande de terrain d'une largeur de 14 à 35 mètres, ce qui affectera une trentaine de résidences sises au sommet de ces falaises. Malgré ces pertes potentielles, les résultats de l'ACA indiquent que la non-intervention constitue l'option la moins coûteuse pour ce segment avec des coûts actualisés évalués à environ 1,54 M\$. La relocalisation stratégique à cet endroit engendrerait des coûts additionnels de 1,37 M\$.

La figure 6.7 présente les résultats de l'ACA pour toutes les options d'adaptation étudiées pour le secteur Carleton Est.

Plage municipale



Pédoncule



Caps de Maria Ouest

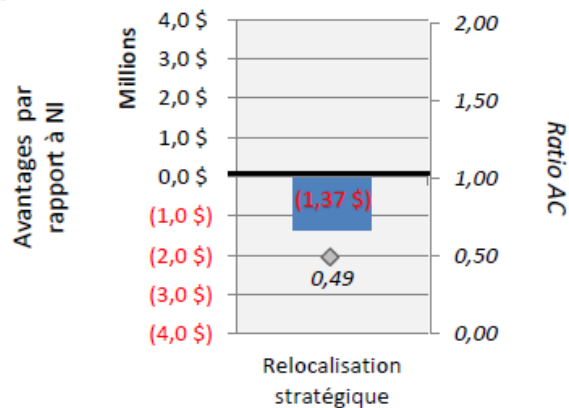


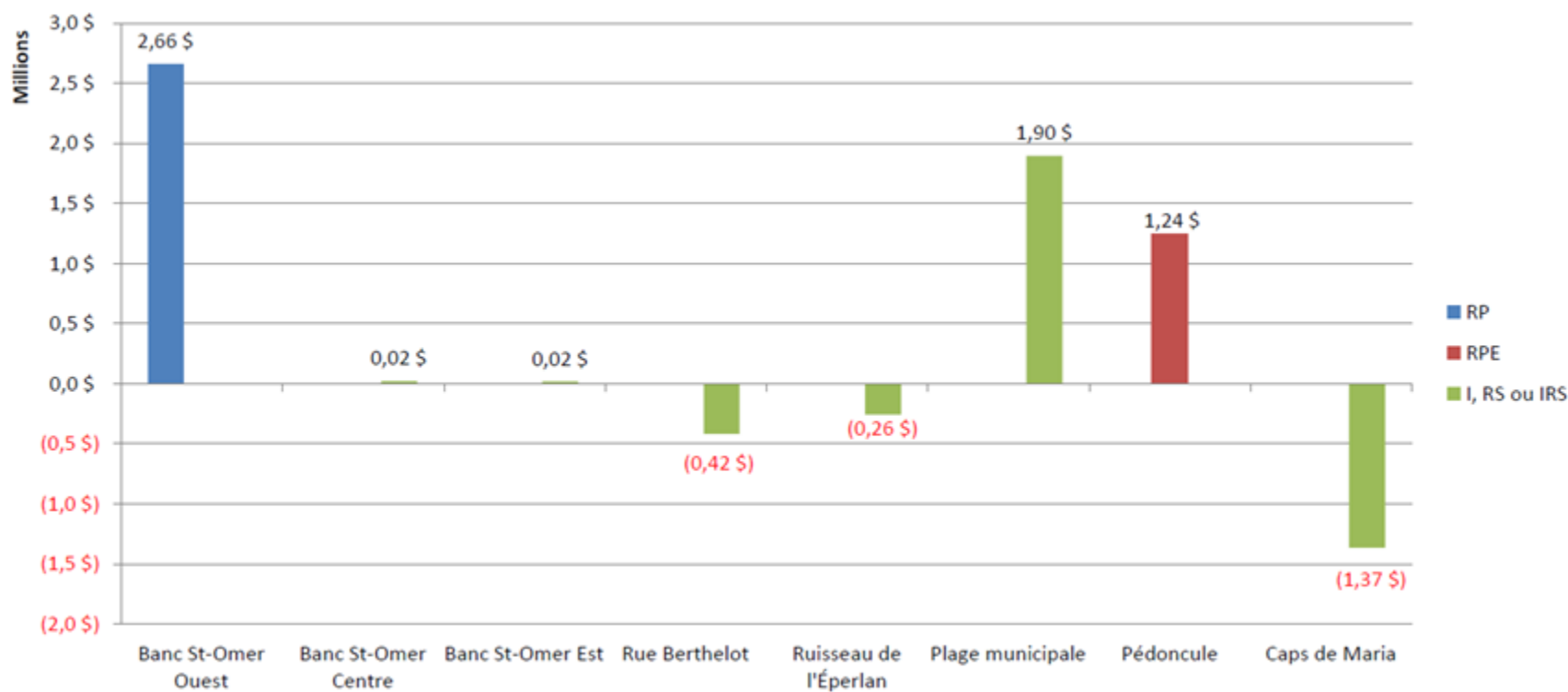
Figure 6.7 – Valeur actualisée nette par rapport à la non-intervention et ratio avantages-coûts de chaque option d'adaptation étudiée par segment dans le secteur Carleton Est

6.6 CONCLUSION

L'analyse coûts-avantages des options d'adaptation proposées pour éviter les dommages dus aux aléas côtiers sur le littoral de Carleton-sur-Mer vise principalement à aider les décideurs à sélectionner les options les plus avantageuses, et ce, en comparant l'ensemble des coûts et avantages économiques sur un horizon temporel de 50 ans.

La figure 6.8 permet, pour chacun des 8 segments à l'étude, de visualiser la valeur actualisée nette de la solution la plus avantageuse par rapport à l'option de non-intervention. Il est ainsi possible de constater que pour 3 segments, soit Rue Berthelot, Ruisseau de l'Éperlan et Caps de Maria, la non-intervention constitue la solution à privilégier d'un point de vue économique. Pour les segments Banc St-Omer Ouest, Plage municipale et Pédoncule, la mise en place de différentes solutions, soit respectivement, la recharge de plage, l'immunisation des bâtiments et la recharge de plage avec épis est nettement préférable à la non-intervention. Pour les segments Banc St-Omer Centre et Banc St-Omer Est, les avantages nets de l'option la plus avantageuse (immunisation et/ou relocalisation stratégique) par rapport à la non-intervention sont très faibles et ne permettent pas de statuer clairement sur l'option à privilégier d'un point de vue économique.

Les résultats de l'ACA sont principalement influencés par l'ampleur des dommages envisagés, par la valeur foncière des terrains et des propriétés à protéger, par l'utilisation du littoral, de même que par le coût des options d'adaptation proposées sur l'horizon temporel. Sur le littoral de Carleton-sur-Mer, le coût de mise en place de structures côtières rigides est de beaucoup supérieur à la valeur des dommages attendus. La mise en place de telles structures n'est donc pas justifiée d'un point de vue économique. Pour les segments Banc St-Omer Ouest et Pédoncule, où la valeur d'usage du littoral est importante, les structures côtières mobiles permettant de préserver cette valeur sont les plus avantageuses. Dans les cas où la valeur des bâtiments et des terrains affectés par les aléas est assez élevée, ce qui est le cas pour le segment Plage municipale et, dans une moindre mesure, pour les segments Banc St-Omer Centre et Est, la relocalisation et l'immunisation stratégique apparaissent comme des options d'adaptation plus avantageuses pour la société relativement à l'inaction.



Légende : RP= Recharge de plage, RPE= Recharge de plage avec épis, I= immunisation, RS= relocalisation stratégique, IRS = I+RS

Figure 6.8 – Valeur actualisée nette de l'option d'adaptation la plus avantageuse par rapport à la non-intervention à Carleton-sur-Mer



7. ÉTUDE DE CAS DES ÎLES-DE-LA-MADELEINE

Au cœur du golfe du Saint-Laurent, l'archipel des Îles-de-la-Madeleine est localisé à 105 km de l'Île-du-Prince-Édouard, à 95 km du Cap-Breton et à 215 km de la péninsule gaspésienne. La municipalité des Îles-de-la-Madeleine est déjà grandement affectée par les aléas côtiers qui s'amplifieront en raison des changements climatiques. La modification des paramètres hydroclimatiques, notamment le rehaussement marin appréhendé de 50 cm en 2055 par rapport à la période 1986-2005, ainsi que la réduction de l'englacement, vont accélérer l'érosion et la submersion que subit déjà l'archipel. Plusieurs infrastructures se trouvant en bord de mer sont menacées, dont des bâtiments résidentiels et commerciaux, mais également des installations et des sites touristiques d'importance pour la vitalité économique et le dynamisme touristique des Îles-de-la-Madeleine.

7.1 ZONE D'ÉTUDE

La zone d'étude des Îles-de-la-Madeleine a été divisée en 3 secteurs, soit les secteurs Cap-aux-Meules, La Grave et Grande-Entrée. Ces secteurs regroupaient initialement 20 segments de côte découpés en fonction des caractéristiques physiques de la côte et d'occupation du sol. Une analyse plus détaillée a conduit à la rétention de 6 segments distincts dans le secteur Cap-aux-Meules, d'un segment dans le secteur La Grave et d'un segment dans le secteur Grande-Entrée pour un total de 8 segments. La figure 7.1 présente les trois secteurs à l'étude aux Îles-de-la-Madeleine.

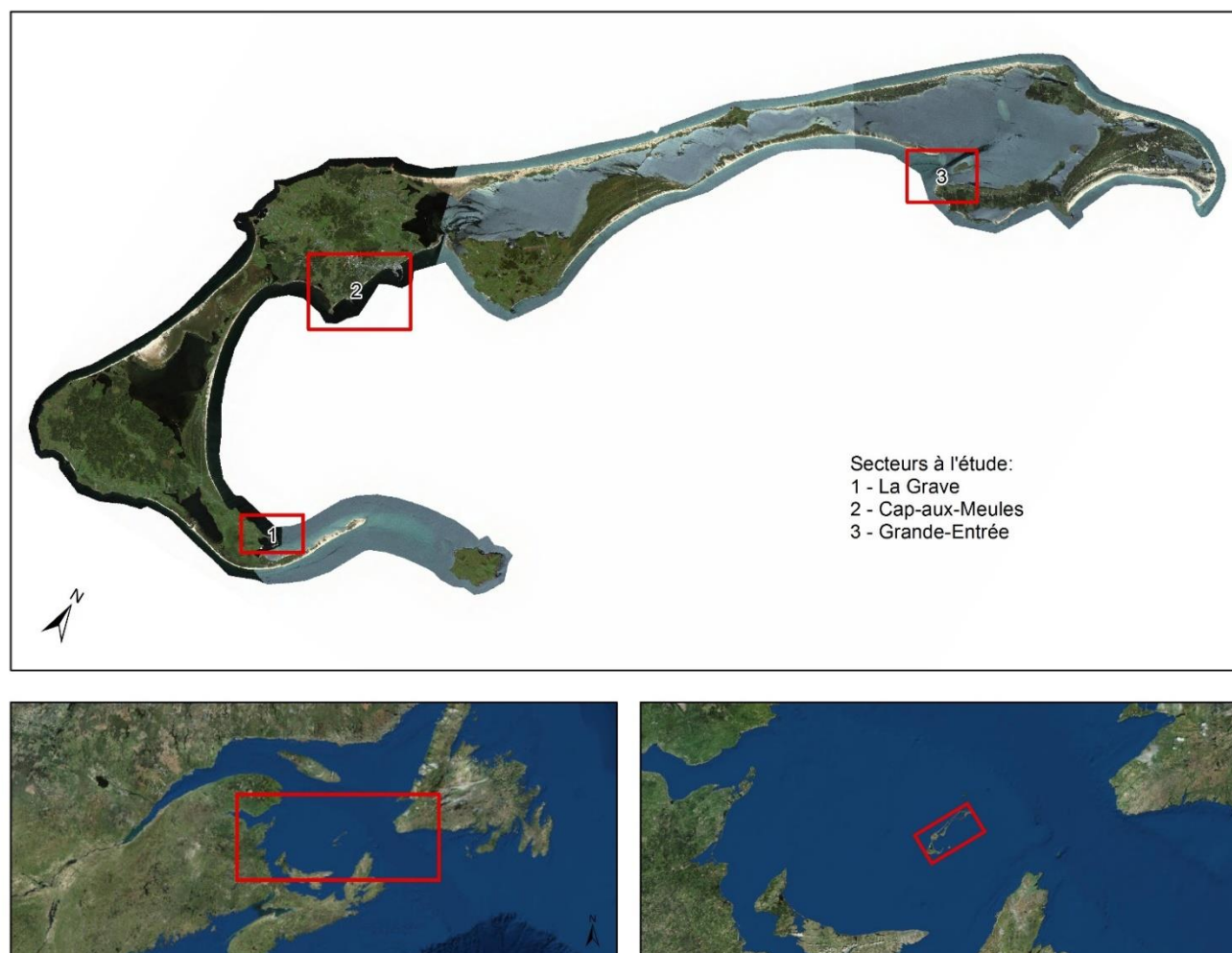


Figure 7.1 – Zone d'étude et localisation des trois secteurs étudiés aux Îles-de-la-Madeleine

7.2 OPTIONS D'ADAPTATION

Les options d'adaptation étudiées comprennent des structures côtières rigides (enrochement, riprap), des structures côtières mobiles (recharge de plage en gravier, recharge de plage avec butée), ainsi qu'une option sans structure côtière combinant l'immunisation et la relocalisation stratégique lorsque des actifs sont touchés par l'érosion, la submersion ou les deux. Les options d'adaptation considérées dans chacun des 8 segments à l'étude sont présentées au tableau 7.1.

Tableau 7.1 – Options d'adaptation considérées dans chacun des segments aux Îles-de-la-Madeleine

Secteur	Segment	Structure côtière rigide	Structure côtière mobile	Solution sans structure côtière
Cap-aux-Meules	Camping Gros-Cap	Riprap Enrochement		Relocalisation stratégique
	Gros-Cap Est	Riprap Enrochement	Recharge de plage avec butée	Relocalisation stratégique
	Échouerie Ouest	Riprap Enrochement		Relocalisation stratégique
	Route municipale	Riprap Enrochement		Relocalisation stratégique
	Plage municipale	Riprap Enrochement	Recharge de plage avec butée	Relocalisation stratégique
	Centre-ville	Riprap Enrochement		Relocalisation stratégique
La Grave		Riprap Enrochement	Recharge de plage en gravier	Immunisation et relocalisation stratégique
Grande-Entrée		Riprap Enrochement	Recharge de plage avec épis	Immunisation et relocalisation stratégique

Les solutions techniques étudiées, tout particulièrement les structures d'ingénierie, ont été tirées de l'étude conceptuelle réalisée par la firme Roche (Roche, 2011) et d'une étude complémentaire réalisée pour évaluer la faisabilité technique de certaines options d'adaptation à La Grave par Consultants Ropars (Ropars, 2016). Ces études de conception fournissent uniquement une évaluation préliminaire des options envisageables. Le design des ouvrages prend en compte les conditions

hydrodynamiques, l'érosion, la sédimentation et les contraintes géotechniques liées aux segments à l'étude. Les options d'adaptation ont été conçues pour éviter tout problème d'érosion et de submersion au cours des 50 prochaines années.

Les principales conclusions relatives aux trois secteurs d'intervention retenus aux Îles-de-la-Madeleine sont exposées ci-dessous.

7.3 SECTEUR CAP-AUX-MEULES

Le secteur Cap-aux-Meules est constitué de 14 segments, dont 6 ont été retenus aux fins d'analyse économique. Les segments qui ont fait l'objet de l'ACA sont présentés à la figure 7.2. Ils couvrent plus de 6 km de côtes alternant entre des zones de terrasses de plage et de falaises de grès. Les segments étudiés abritent une diversité d'actifs de grande importance pour l'économie régionale et le dynamisme touristique des Îles-de-la-Madeleine, dont le camping du Gros-Cap, une plage municipale, un sentier multifonctionnel, des hébergements touristiques et un bâtiment industriel majeur.

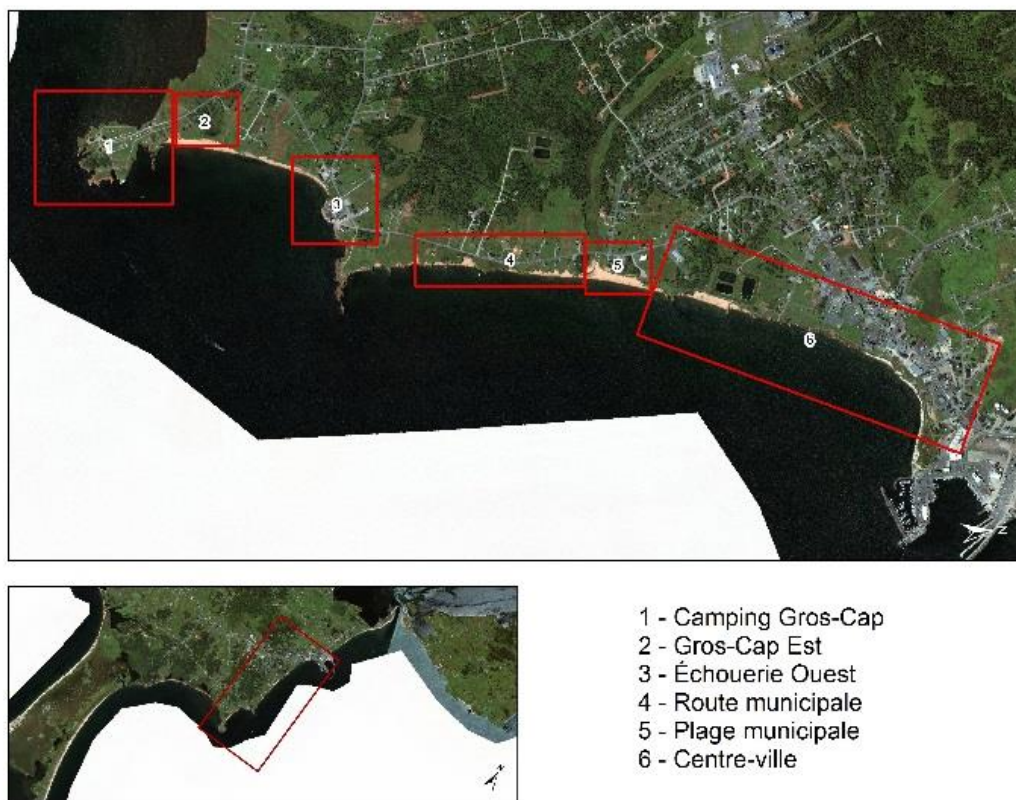


Figure 7.2 – Secteur Cap-aux-Meules et les 6 segments retenus pour l'ACA

Le tableau 7.2 résume les résultats des ACA pour chacun des segments du secteur de Cap-aux-Meules. Plusieurs constats peuvent être tirés des analyses réalisées. Premièrement, dans 5 des 6 segments à l'étude, il est préférable d'intervenir que de ne rien faire. Seul le segment Route municipale fait exception. Cela s'explique par la faible valeur des actifs à risque dans ce secteur. Deuxièmement, là où il y a présence d'enjeux économiques ou touristiques majeurs, des structures côtières rigides telles que le riprap sont justifiables pour préserver les actifs en bord de mer et les activités économiques qu'ils supportent. C'est notamment le cas pour les segments Camping du Gros-Cap, Échouerie Ouest et Centre-ville.

Tableau 7.2 – Option d'adaptation privilégiée, avantage net par rapport à la non-intervention et ratio avantages-coûts pour chaque segment de Cap-aux-Meules

Segment	Option d'adaptation la plus avantageuse	Avantage net par rapport à la non-intervention	Ratio avantages-coûts
Camping du Gros-Cap	Riprap	6 287 928 \$	4,54
Gros-Cap Est	Relocalisation stratégique	17 585 \$	1,29
Échouerie Ouest	Riprap	4 227 590 \$	2,54
Route municipale	Non-intervention	-	NA
Plage municipale	Relocalisation stratégique	147 561 \$	1,72
Centre-ville	Riprap	842 052 \$	1,07

Finalement, la relocalisation stratégique est privilégiée dans les segments Plage municipale et Gros-Cap Est, là où peu d'actifs bâtis sont présents et où une intervention sur le littoral viendrait restreindre l'usage de la côte.

Les avantages nets par rapport à la non-intervention et les ratios avantages-coûts permettent de mettre en perspective la rentabilité des options d'adaptation privilégiées par l'ACA. Certaines des options d'adaptation génèrent des avantages nets par rapport à la non-intervention de plusieurs millions de dollars (Camping du Gros-Cap et Échouerie Ouest). Ce sont également les options d'adaptation ayant les ratios avantages-coûts les plus élevés. Autrement dit, ces options permettent à la fois de

maximiser la quantité totale des bénéfices générés par l'intervention et de tirer un maximum de bénéfices pour chaque dollar consenti.

Les segments où la relocalisation stratégique est la plus avantageuse ont des avantages nets beaucoup plus faibles tout en ayant des ratios avantages-coûts qui suggèrent une bonne rentabilité sociale de l'option. Cette option génère peu d'avantages, mais coûte également peu cher.

La plupart des analyses de sensibilité suggèrent que les options d'adaptation privilégiées dans les 6 segments sont robustes aux variations dans les hypothèses de base des ACA. La seule exception est le segment Centre-ville où les analyses de sensibilité favorisent parfois le riprap et parfois la non-intervention. Ces résultats doivent être mis en perspective considérant que l'efficacité d'un riprap n'a pas été confirmée par une étude d'ingénierie spécifique dans ce segment. La hauteur des falaises implique que d'autres processus d'érosion (notamment éolien et cryogénique) sont en jeu dans ce type de côte. Il est possible qu'une protection en riprap en bas de falaise ne puisse pas totalement freiner l'ensemble des processus actifs.

7.4 LA GRAVE

Le secteur La Grave, d'une longueur de 6,5 km, est constitué de cinq segments dont les caractéristiques côtières et le niveau de vulnérabilité diffèrent grandement. Après une analyse préliminaire des segments, seul le site patrimonial de La Grave a été retenu aux fins de l'analyse économique. Le segment La Grave est constitué d'un tombolo de 440 m reliant deux îlots rocheux. Il abrite le cœur historique, patrimonial et culturel de La Grave.

L'ACA a permis d'évaluer que la non-intervention pour ce segment aurait des impacts appréhendés d'une valeur actualisée de plus de 40 M\$ sur 50 ans, générés principalement par la perte de retombées touristiques et une baisse de la valeur d'usage du site. Toutes les options d'adaptation considérées, à l'exception de l'immunisation et de la relocalisation stratégique, permettent de préserver intégralement la majeure partie du segment La Grave.

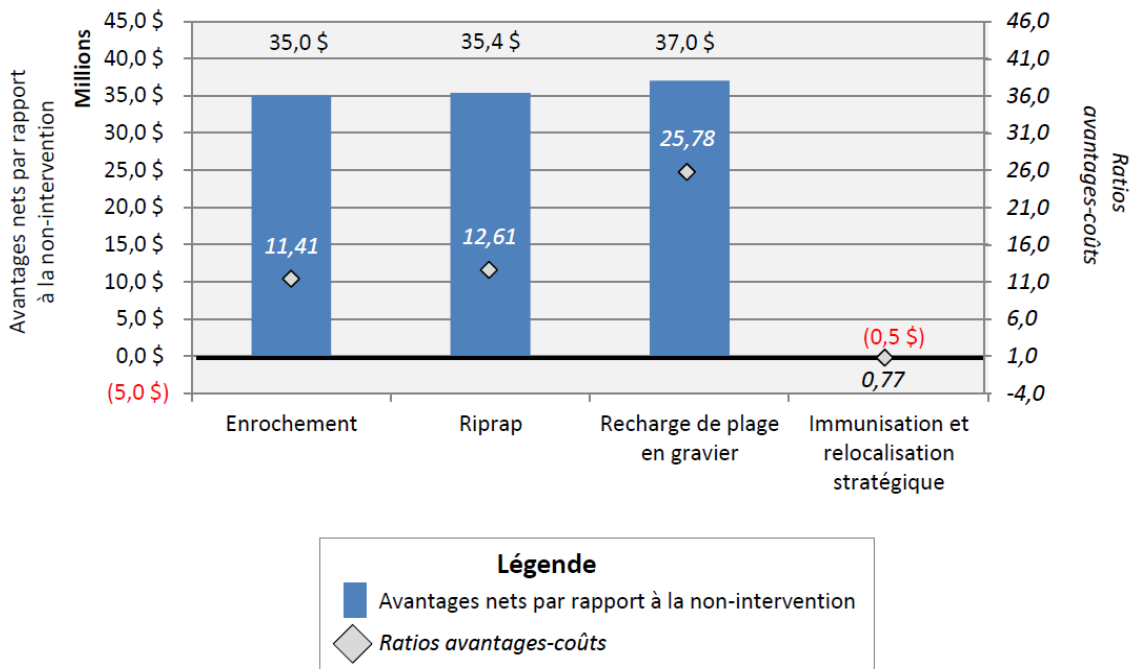


Figure 7.3 – Avantages actualisés nets par rapport à la non-intervention et ratio avantages-coûts de chaque option d'adaptation à La Grave

Comme indiqué à la figure 7.3, l'option d'adaptation la plus rentable économiquement est la recharge de plage en gravier grâce à un coût de mise en œuvre relativement faible et au fait qu'elle permettrait d'accroître la valeur d'usage du littoral. Les analyses de sensibilité ont permis de démontrer la robustesse de ce résultat qui apparaît toujours comme l'option la plus avantageuse lorsque des variables clés sont modifiées (taux d'actualisation, niveaux d'eau extrêmes et retombées économiques).

7.5 GRANDE-ENTRÉE

Le segment Pointe de Grande-Entrée est une zone basse largement artificialisée par les installations portuaires qui accueillent la plus grande flottille de pêche des Îles-de-la-Madeleine. La portion non artificialisée est composée d'une côte à terrasse de plage qui est en recul rapide depuis le milieu des années 2000.

Au cours des 50 prochaines années, l'érosion viendra gruger une proportion importante de la Pointe de Grande-Entrée sans toutefois venir toucher les infrastructures majeures

dans la zone, soit les installations portuaires et l'usine de transformation des produits de la mer. Quant à la submersion, les épisodes de niveaux d'eau extrêmes généreront des dommages aux quelques bâtiments résidentiels et commerciaux présents dans la zone.

Malgré ces impacts appréhendés, l'ACA a montré que la non-intervention serait l'option la plus avantageuse pour ce segment d'un point de vue économique. Les structures côtières considérées sont trop coûteuses en comparaison aux dommages qu'elles permettent d'éviter, et ce, même en utilisant un coût de construction minimal. Quant à l'option de relocalisation et d'immunisation, elle n'est pas économiquement efficace. En conséquence, en vertu des conditions prévalant actuellement dans le segment Pointe de Grande-Entrée et de l'évolution des aléas côtiers au cours des cinquante prochaines années, il apparaît plus avantageux économiquement de ne pas agir.

7.6 CONCLUSION

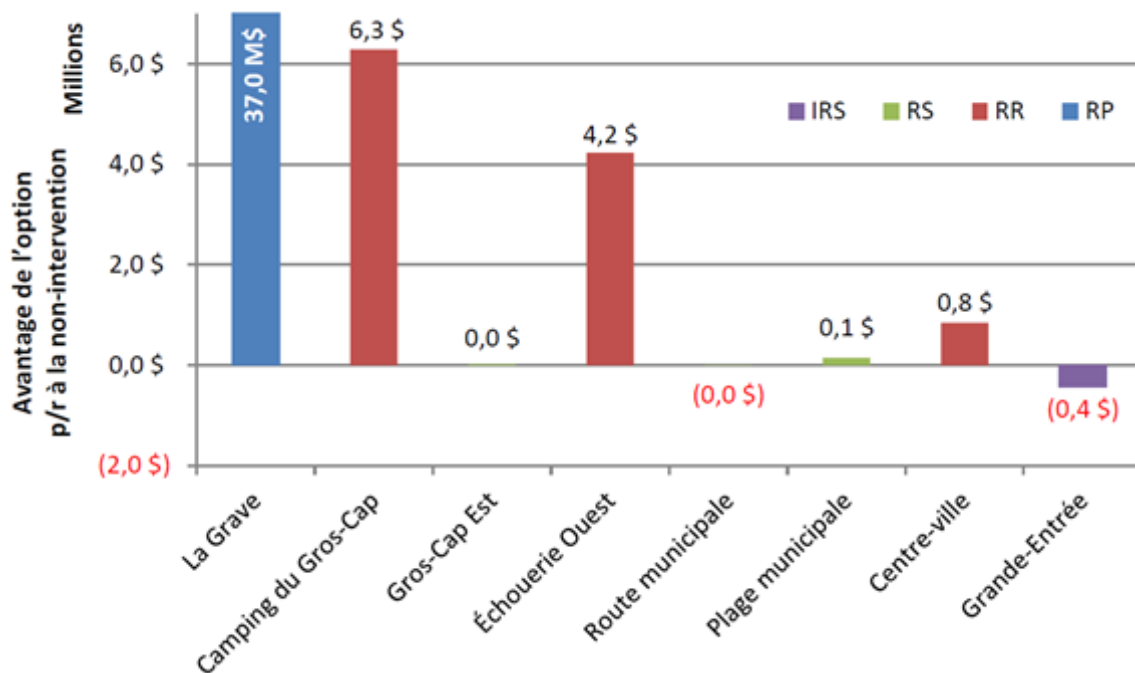
L'analyse coûts-avantages des options d'adaptation proposées pour éviter les dommages dus aux aléas côtiers sur le littoral des Îles-de-la-Madeleine vise principalement à aider les décideurs à sélectionner les options les plus avantageuses, et ce, en comparant l'ensemble des coûts et avantages économiques sur un horizon temporel de 50 ans.

La figure 7.4 permet, pour chacun des 8 segments à l'étude, de visualiser la valeur actualisée nette de la solution la plus avantageuse par rapport à l'option de non-intervention. Il est ainsi possible de constater que pour 2 segments, soit Route municipale et Pointe de Grande-Entrée, la non-intervention constitue la solution à privilégier du point de vue économique. Pour les segments La Grave, Camping du Gros-Cap, Échouerie Ouest, Centre-ville et Plage municipale, la mise en place de différentes options est nettement préférable à la non-intervention. Pour le segment Gros Cap Est, les avantages nets de l'option la plus avantageuse (relocalisation stratégique) par rapport à la non-intervention sont très faibles et ne permettent pas de statuer clairement sur l'option à privilégier d'un point de vue économique.

Aux Îles-de-la-Madeleine, certains segments de côte à protéger abritent des actifs économiques majeurs ou des attraits touristiques fortement utilisés qui sont vulnérables à l'érosion. Considérant la valeur des pertes anticipées et le type de côte (basses

falaises rocheuses) sur lequel ces infrastructures sont situées, des structures côtières rigides comme le riprap sont justifiées économiquement. Pour d'autres segments, situés sur de basses côtes où l'usage du littoral a une valeur importante, tant pour les touristes que pour les résidents, les options d'adaptation privilégiées favorisent le maintien d'une côte naturelle avec des structures côtières mobiles ou une stratégie de relocalisation des actifs à risque. C'est le cas des segments Plage municipale et La Grave.

Finalement, dans les segments où les impacts appréhendés sont faibles, comme c'est le cas à Gros-Cap Est et à Route municipale, les options d'adaptation considérées sont très légèrement avantageuses ou encore non justifiées économiquement.



Légende : IRS : Immunisation et relocalisation stratégique; RS : Relocalisation stratégique; RR : Riprap;
RP : Recharge de plage

Figure 7.4 – Valeur actualisée nette de l'option la plus avantageuse par rapport à la non-intervention aux Îles-de-la-Madeleine



8. ÉTUDE DE CAS DE RIVIÈRE-OUELLE

Cette étude de cas porte sur un territoire localisé dans les municipalités de Rivière-Ouelle et de La Pocatière, toutes deux situées sur la rive sud du Saint-Laurent dans la MRC de Kamouraska. Il s'agit d'un territoire agricole dont les terres sont réputées être de grande qualité, notamment à cause de la présence d'argile favorable à l'agriculture. Les terres agricoles sont protégées par un aboiteau de 4,2 km de long, qui est en fait une digue construite en terre dans les années 1930 afin de drainer et de protéger les terres et de permettre leur mise en culture. À l'avant de l'aboiteau se trouve un marais qui protège l'aboiteau de l'érosion et de la submersion, puisqu'il amortit l'énergie des vagues lors de tempêtes. L'aboiteau de Rivière-Ouelle⁷ a été identifié comme une structure vulnérable qui pourrait être fortement touchée par l'érosion dans les prochaines années.

8.1 ZONE D'ÉTUDE

La zone d'étude couvre 370 hectares et est comprise entre l'autoroute 20, la route 132, la rivière Saint-Jean et la rivière Ouelle, comme indiqué à la figure 8.1. L'aboiteau qui protège les terres est d'une élévation moyenne de 3,9 mètres.

⁷ Même si la zone d'étude inclut des terres situées dans deux municipalités, c'est l'aboiteau de Rivière-Ouelle qui est menacé sur la période d'étude. C'est pourquoi cette étude de cas s'intitule *Analyse coûts-avantages d'options d'adaptation en zone côtière à Rivière-Ouelle*.



Figure 8.1 – Localisation de la zone d'étude pour l'étude de cas de Rivière-Ouelle

8.2 OPTIONS D'ADAPTATION

À Rivière-Ouelle, quatre options d'adaptation ont été évaluées afin d'atteindre l'un ou l'autre des objectifs suivants : 1) éviter toute brèche dans l'aboteau afin de protéger la majeure partie des terres agricoles ou 2) permettre au marais de se régénérer afin qu'il assure à plus long terme la protection de l'aboteau. Compte tenu du rehaussement marin, les quatre options considérées incluent toutes le rehaussement de l'aboteau qui

devrait passer d'une élévation moyenne de 3,9 m géodésique à environ 5 m géodésique.

La première option envisagée est de protéger l'aboteau par un épi en T formé de pierres qui serait construit à l'avant de la partie de l'aboteau la plus vulnérable à l'érosion du marais. La seconde mesure consiste à enrocher l'aboteau afin qu'il soit en mesure de contrer l'érosion et d'éviter ainsi la formation de brèches. La troisième option est plutôt basée sur un recul partiel de l'aboteau dans sa partie la plus vulnérable (perte d'environ 14 hectares de terres agricoles), afin de permettre au marais de continuer à assurer une protection naturelle contre l'érosion. Enfin, la quatrième option est la dépoldérisation. Elle implique de reculer l'aboteau jusqu'au rang de l'Éventail permettant ainsi au marais de se régénérer sur une superficie potentielle de 200 hectares.

Les options d'adaptation qui ont été retenues pour l'analyse proviennent de différentes études techniques réalisées sur le territoire de la MRC de Kamouraska au cours des dernières années afin de réhabiliter et/ou d'entretenir les aboteaux. Celles-ci prennent en compte les conditions hydrodynamiques, l'érosion, la sédimentation et les contraintes géotechniques liées à la zone d'étude. Les options d'adaptation étudiées dans cette analyse ont été conçues pour une vie utile de 50 ans.

8.3 PROBLÉMATIQUE

Les principaux enjeux au niveau de la zone d'étude sont liés à la disparition du marais qui pourrait conduire à la formation de brèches dans l'aboteau, ce qui inonderait alors les terres agricoles de façon récurrente. Actuellement, les terres agricoles sont submergées à de très rares occasions lors d'événements de tempête majeurs comme en décembre 2010 lorsque le niveau d'eau est supérieur à l'élévation de l'aboteau.

Normalement, la présence du marais saumâtre protège l'aboteau, mais avec un taux de recul probable du marais de -1,93 m par an à son point le plus critique, l'aboteau sera exposé à l'érosion à partir de 2035. L'aboteau n'ayant pas été conçu pour résister à l'assaut des vagues, il est prévu que des brèches se formeront et que l'eau salée submergera les terres agricoles les plus basses.

Sur un horizon temporel de 50 ans, si rien n'est fait, c'est plus de 200 hectares de terres agricoles qui pourraient être perdus dans la zone d'étude. En contrepartie, les terres submergées permettraient la régénération du marais qui pourrait accroître graduellement sa superficie. En effet, les terres agricoles perdues pourraient être en partie retournées à un état naturel de marais saumâtre offrant des services écologiques, dont un habitat pour la biodiversité.

Les impacts potentiels de la non-intervention sont estimés à 619 571 \$ sur 50 ans à un taux d'actualisation de 4 %. La majeure partie des dommages appréhendés proviendrait de la perte de terres cultivables, qui sont évaluées à 10 000 \$ l'hectare dans la région.

8.4 RÉSULTATS DE L'ACA

Les résultats de l'ACA montrent que seul le recul partiel de l'aboteau est une option avantageuse économiquement comparativement à la non-intervention sur une période de 50 ans. Cette option d'adaptation se distingue des autres en raison de son faible coût de construction et parce qu'elle favorise la régénération du marais sur une superficie d'environ 14 hectares permettant ainsi de protéger l'aboteau de l'érosion. Sur la période d'étude, l'option de recul partiel l'aboteau offre des avantages actualisés nets de 189 308 \$ par rapport à la non-intervention (voir figure 8.2). Chaque dollar consenti pour cette option permet de générer 1,37 \$ d'avantage pour la société.

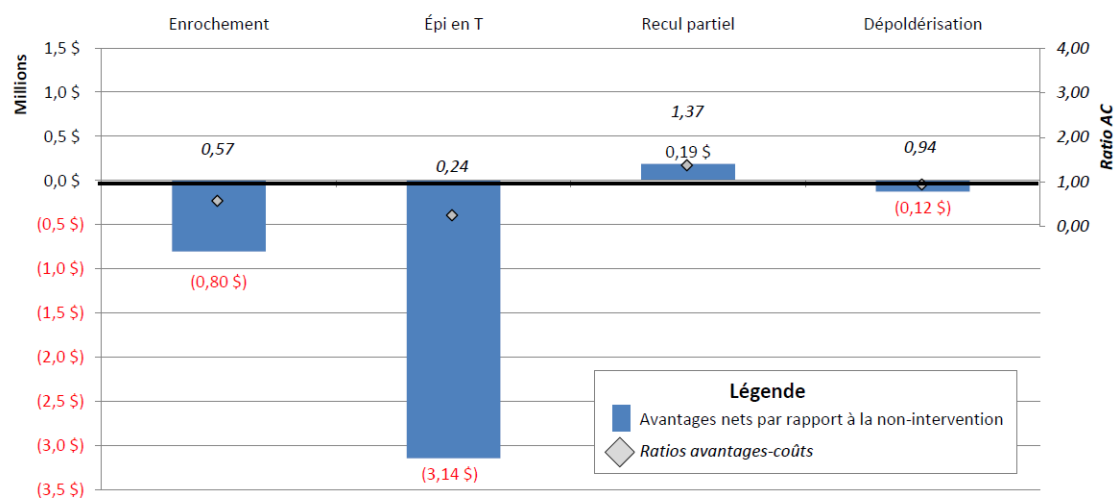


Figure 8.2 – Valeur actualisée nette par rapport à la non-intervention et ratio avantages-coûts de chaque option d'adaptation à Rivière-Ouelle

Les analyses de sensibilité indiquent que la valeur des services écologiques associés au marais est un facteur qui influence significativement les résultats de l'ACA. De plus, l'hypothèse relative à la rapidité à laquelle le marais pourrait se régénérer et offrir des services écologiques modifie les résultats de l'ACA. Ainsi, avec une valeur des services écologiques plus élevée ou une augmentation du taux de régénération du marais, la dépoldérisation devient l'option la plus avantageuse économiquement. Malheureusement, les gains environnementaux liés à l'existence d'un marais sont difficiles à évaluer monétairement, car on ne peut pas observer de transactions sur le marché pour les services écologiques. De plus, les conditions favorisant la régénération d'un marais sont encore peu connues.

Somme toute, suite à l'ensemble des analyses de sensibilité réalisées, l'option du recul partiel combinée au rehaussement de l'aboteau demeure la solution privilégiée. Elle permet de redonner à l'aboteau sa protection naturelle, soit un marais, ce qui évite d'avoir à enrocher l'aboteau ou à le protéger par un épi en T, deux options très coûteuses par rapport aux dommages appréhendés au cours des 50 prochaines années.



9. RÉSULTATS INTÉGRÉS

La réalisation des cinq études de cas résumées précédemment a permis d'étudier 25 segments de côte représentatifs des enjeux côtiers au Québec. Les sections qui suivent présentent une analyse intégrée de ces vingt-cinq ACA et en dégagent les principaux constats.

9.1 COÛTS DE LA NON-INTERVENTION

Deux constats peuvent être formulés concernant les coûts de la non-intervention. Le premier a trait à la répartition des coûts entre la submersion et l'érosion, alors que le second porte sur la grande variabilité des coûts en fonction des actifs à risque et des activités économiques qui y sont associées.

Répartition des coûts entre l'érosion et la submersion

Bien que l'érosion soit plus fréquente que la submersion, cette dernière est une composante majeure des dommages causés par la non-intervention. Dans les segments retenus pour analyse, on remarque en effet que 56 % des segments sont aux prises avec une problématique d'érosion seulement, 4 % des segments avec une problématique de submersion seulement et 40 % avec les deux. Cependant, sur les quelque 28 M\$ de dommages estimés dus à l'érosion et à la submersion, près de 20 M\$ proviennent des dommages causés par la submersion (71 %), alors que seulement 8 M\$ sont une conséquence directe de l'érosion.

Ce constat est évidemment tributaire des méthodologies employées pour calculer les coûts de ces deux aléas. Il reflète surtout l'aspect récurrent des dommages de submersion par opposition à ceux de l'érosion. Sur une période d'étude de 50 ans, il est possible qu'un bâtiment subisse des dommages de submersion totaux qui soient supérieurs à la valeur du bâtiment, tandis que l'érosion causera la perte totale du bâtiment une seule fois, de sorte que la perte ne peut excéder la valeur totale du bâtiment. La figure 9.1 présente les dommages directs totaux causés par les aléas côtiers en fonction du type d'aléas considérés pour les 25 segments étudiés.

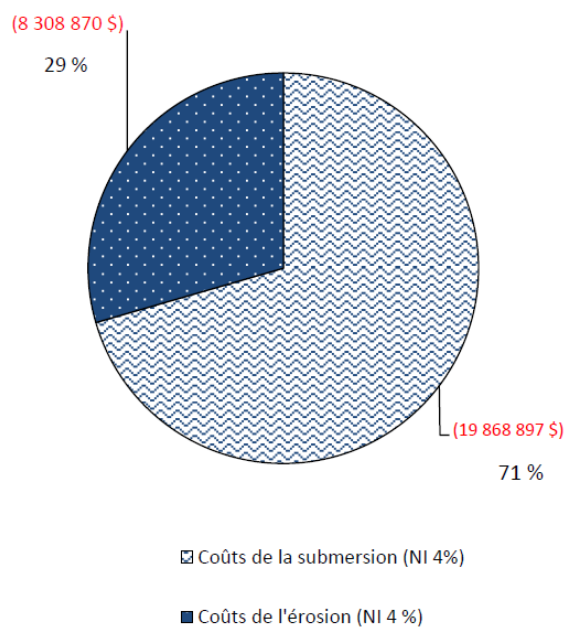


Figure 9.1 – Coûts liés à l'érosion et à la submersion des options de non-intervention pour les 25 segments

Ce rapport entre les dommages de submersion et d'érosion est encore plus marqué lorsque les coûts sont analysés sur une base unitaire (au mètre linéaire). Dans ce cas, les dommages de submersion sont en moyenne 4,5 fois plus importants que les dommages causés par l'érosion.

Variabilité des coûts

Le second constat important est que les coûts de l'érosion et de la submersion présentent une grande variabilité en fonction des actifs à risque et des activités économiques qui y sont reliées.

Les figures 9.2 et 9.3 résument les résultats de l'estimation des coûts de la non-intervention pour les 25 segments étudiés sur l'ensemble des enjeux identifiés et monétisés. Ces coûts incluent non seulement les dommages directs de l'érosion et de la submersion, mais également les coûts économiques, sociaux et environnementaux de la non-intervention.

Les coûts globaux pour la société de la non-intervention sont importants et s'élèvent à plus de 825 M\$ sur les 25 segments à l'étude au cours des cinquante prochaines années.

Il est en outre intéressant de remarquer la grande variabilité dans les coûts relatifs de la non-intervention entre les segments. Les coûts totaux de la non-intervention varient entre 705 M\$ pour le segment Anse du Sud (Percé) à environ 100 000 \$ pour le segment Gros-Cap Est (Îles-de-la-Madeleine). Cette variabilité est en partie due à l'importance des actifs menacés par les aléas (nombreux bâtiments, infrastructures municipales) dans certains segments par rapport à d'autres. Cependant, il apparaît clairement que dans les segments où les coûts anticipés de la non-intervention sont très élevés, comme l'Anse du Sud ou La Grave, la présence d'enjeux supplémentaires au cadre bâti vient gonfler les coûts de la non-intervention. Que ce soit la présence d'une infrastructure touristique ou encore la valeur patrimoniale ou récréative du site, dans plusieurs cas l'impact de la non-intervention sur ces variables explique une large part de l'importance des coûts associés à l'option de la non-intervention.

À la figure 9.3., on peut observer la grande variabilité des coûts de la non-intervention au mètre linéaire qui varient entre 123 \$ et 777 000 \$. Ceci démontre que la longueur du segment n'a qu'un faible rôle explicatif dans la disparité des impacts appréhendés.

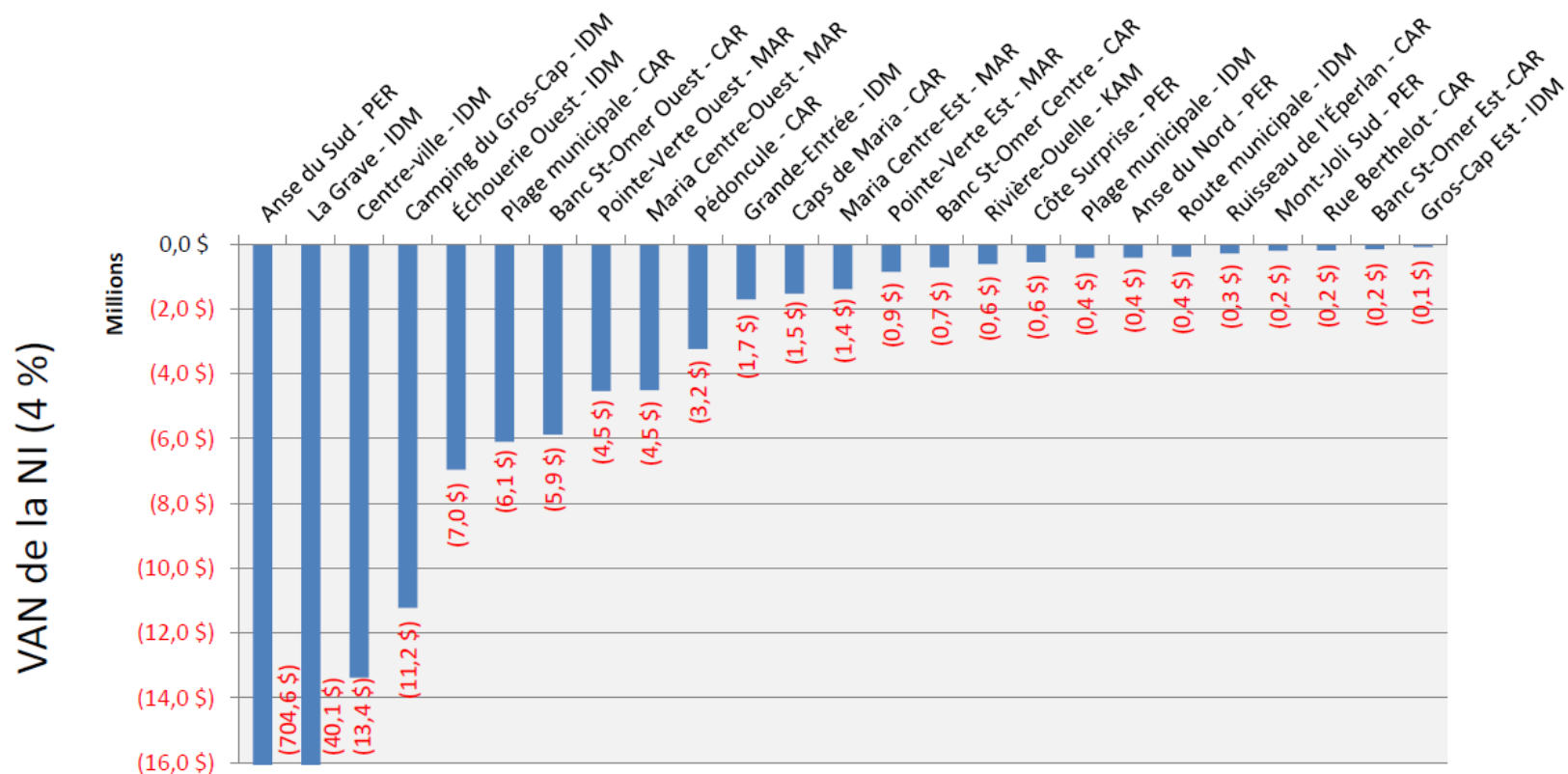


Figure 9.2 – Coûts de l'option de non-intervention par segment

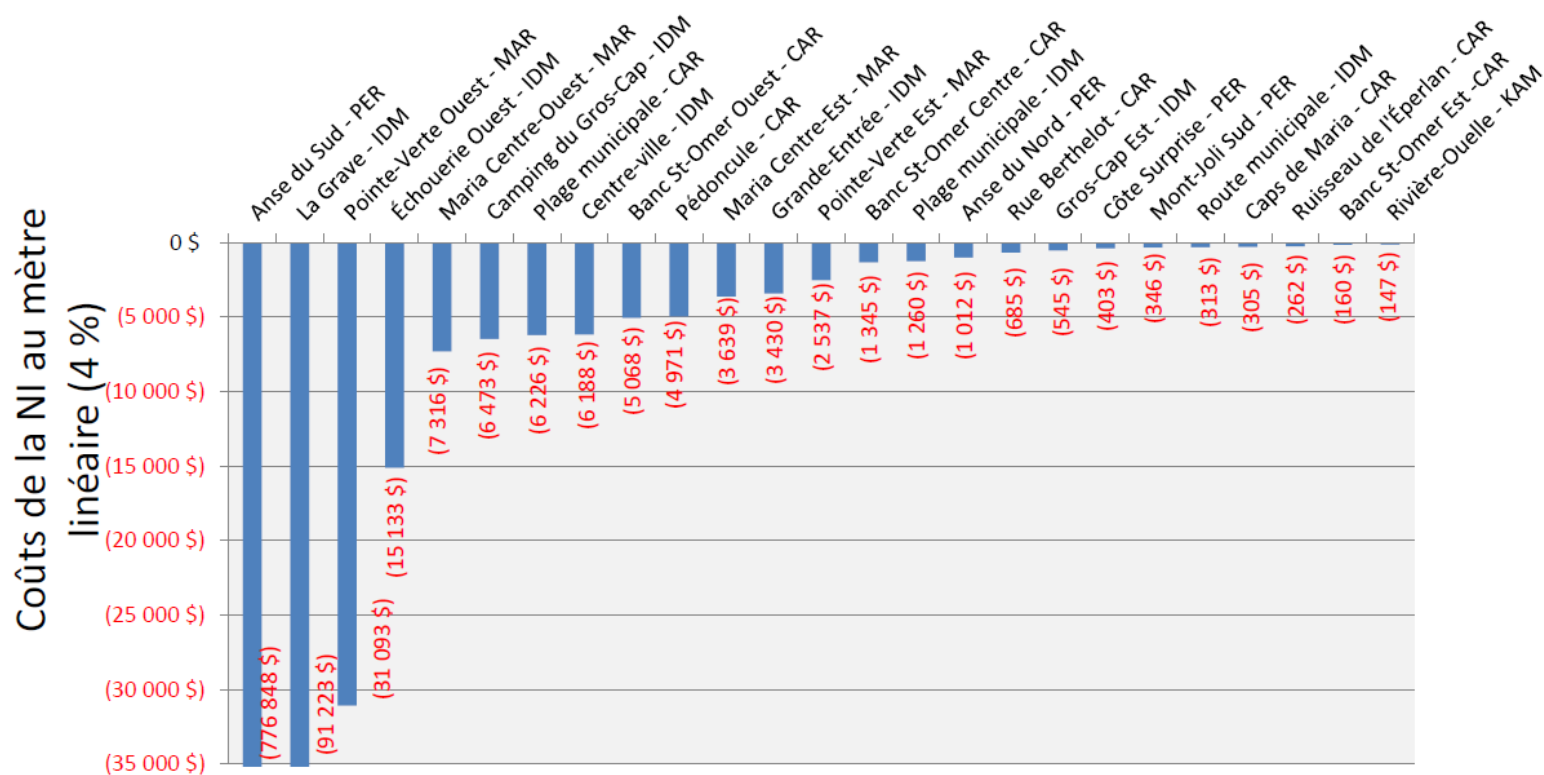


Figure 9.3 – Coûts au mètre linéaire de l'option de non-intervention par segment

9.2 RENTABILITÉ DES OPTIONS D'ADAPTATION

Un premier constat concernant les options d'adaptation découlant de l'ensemble des ACA est que l'intervention est justifiée dans une majorité de cas. En effet, comme on peut le voir au tableau 9.1 qui présente les résultats des ACA pour chacun des 25 segments à l'étude, une intervention est justifiée sur une base économique dans 19 des 25 segments à l'étude. Ainsi, au moins une mesure d'adaptation est plus avantageuse que la non-intervention (avantages nets supérieurs à 0) dans 76 % des cas.

Il faut cependant prendre en considération que les segments sélectionnés l'ont été sur la base de la vulnérabilité de leurs actifs aux aléas et constituent une sélection qui n'est pas nécessairement représentative de l'ensemble des segments côtiers du Québec. Autrement dit, on ne peut à partir de cette analyse faire l'hypothèse qu'il serait économiquement avantageux d'intervenir sur 76 % des côtes québécoises.

On peut également constater grâce aux résultats présentés dans ce tableau que les avantages nets de l'option la plus avantageuse varient beaucoup selon le segment. Ainsi, le segment qui retire le plus d'avantages de la mise en place d'une option d'adaptation est l'Anse du Sud avec plus de 770 M\$ de bénéfices sur 50 ans. À l'inverse, certains segments comme Banc de Saint-Omer Centre ont des avantages nets sur la non-intervention qui sont beaucoup plus modestes (moins de 25 000 \$).

En fait, dans un nombre assez important des cas (44 %), la rentabilité de l'intervention est marginale ou non justifiée. Cette grande diversité des résultats souligne que chaque site est unique, avec des enjeux qui lui sont propres et qu'on ne peut pas à priori savoir si une intervention est justifiée. L'analyse de la rentabilité de l'intervention passe d'abord et avant tout par une bonne compréhension de la vulnérabilité des actifs, des activités et des usages.

Pour mieux illustrer cet aspect, la figure 9.4 propose une représentation graphique des résultats des ACA par segment avec la valeur actuelle nette comparée à la non-intervention (avantages nets) et le ratio avantages-coûts. Cette représentation permet de regrouper les segments en fonction des valeurs des VAN obtenues.

En fonction de ces deux indicateurs de performance économique, les segments à l'étude ont été divisés en cinq groupes qui sont décrits dans les prochaines sections : 1) la non-intervention n'est pas une option, 2) avantage net à intervenir, 3) mince avantage à intervenir, 4) à l'intérieur d'une marge de 25 000 \$ et 5) pas d'avantage économique à intervenir.

Tableau 9.1 – Options d'adaptation la plus avantageuse par segment et avantages nets par rapport à la non-intervention pour les 25 segments

Site d'étude	Segments	Type de côte dominant	Érosion	Submersion	Longueur (m)	Option	Avantages nets par rapport à la non-intervention
Percé	Côte Surprise	Falaise sédimentaire	X		1 388	RS	158 833 \$
	Anse du Sud	Terrasse de plage	X		907	RP	772 504 733 \$
	Mont-Joli Sud	Falaise sédimentaire	X		605	NI	0 \$
	Anse du Nord	Terrasse de plage	X		415	RP	1 299 299 \$
Maria	Maria Centre-Ouest	Terrasse de plage	X	X	616	IRS	1 033 960 \$
	Maria Centre-Est	Terrasse de plage	X	X	382	IRS	23 415 \$
	Pointe-Verte Ouest	Terrasse de plage	X	X	146	RPE	1 216 670 \$
	Pointe-Verte Est	Flèche littorale		X	341	IRS	12 494 \$
Carleton-sur-Mer	Banc de Saint-Omer Ouest	Flèche littorale	X	X	5 320	RP	2 655 426 \$
	Banc de Saint-Omer Centre	Terrasse de plage	X	X	540	IRS	20 600 \$
	Banc de Saint-Omer Est	Flèche littorale	X		990	RS	17 646 \$
	Rue Berthelot	Basse falaise meuble	X		286	NI	0 \$
	Ruisseau de l'Éperlan	Basse falaise meuble	X		1 140	NI	0 \$
	Plage municipale	Flèche littorale	X	X	780	I	1 896 467 \$
	Pédoncule	Flèche littorale	X	X	4 418	RPE	1 242 650 \$
	Caps de Maria	Falaises meubles	X		5 406	NI	0 \$
Îles-de-la-Madeleine	La Grave	Tombolo	X	X	440	RS	37 035 761 \$
	Camping Gros Cap	Falaise sédimentaire	X		1 734	RP	6 287 928 \$
	Gros Cap Est	Terrasse de plage	X		180	RP	17 585 \$
	Échouerie Ouest	Falaise sédimentaire	X		460	RR	4 227 590 \$
	Route municipale	Falaise sédimentaire	X		1 258	NI	0 \$
	Plage municipale	Terrasse de plage	X		345	RS	147 561 \$
	Centre-ville	Falaise sédimentaire	X		2 163	RS	842 052 \$
	Grande-Entrée	Zone portuaire	X	X	500	NI	0 \$
Kamouraska	Rivière-Ouelle	Marais salé endigué	X	X	4 223	IRS	189 308 \$

Note : RR : Riprap; RP : Recharge de plage; RPE : Recharge de plage avec épis; RS : Relocalisation stratégique; I : Immunisation; IRS : I + RS; NI : Non-intervention

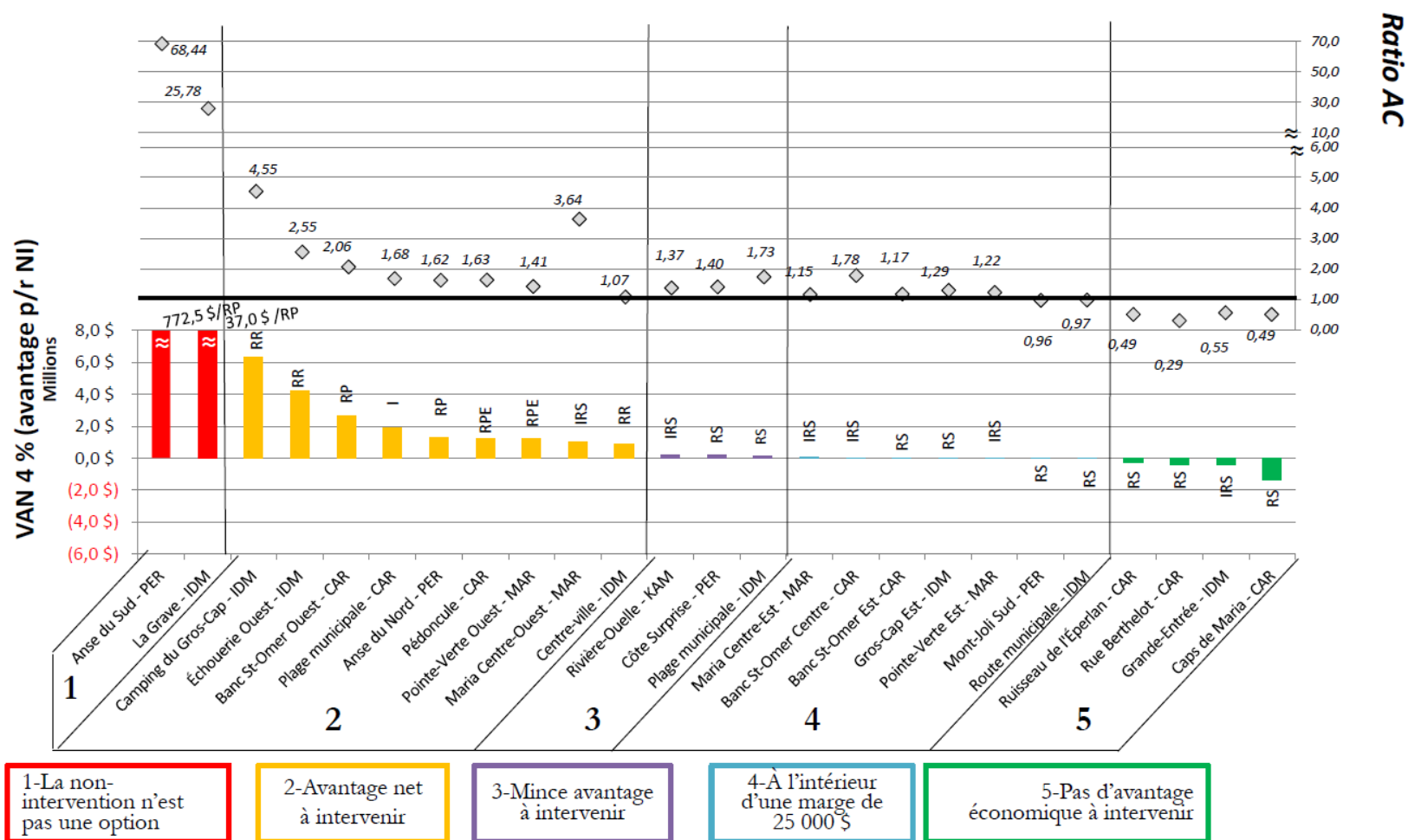


Figure 9.4 – Avantages nets de l'options la plus avantageuse par rapport à la non-intervention par segment

9.2.1 Premier groupe : La non-intervention n'est pas une option

Un premier groupe de segments comprend deux sites, l'anse du Sud à Percé et La Grave aux Îles-de-la-Madeleine, où les coûts potentiels de l'érosion et de la submersion sont très élevés en raison des actifs et des infrastructures touristiques à risque au cours des 50 prochaines années. Ces segments sont des pôles d'attraction régionaux qui soutiennent une économie locale basée sur les activités récréotouristiques. La perte de ces moteurs touristiques a des impacts économiques potentiels de plusieurs dizaines de millions de dollars. Pour ces deux segments, toutes les interventions sont plus avantageuses que la non-intervention. Au niveau du type d'options retenues, les structures côtières mobiles qui maintiennent l'accès au littoral sont les plus avantageuses, car elles offrent une attractivité touristique accrue et elles bonifient la valeur d'usage tout en évitant les coûts associés aux aléas côtiers. La mise en place de ces structures permettrait de générer des avantages de plusieurs dizaines de millions de dollars par rapport à la non-intervention (voir figure 9.5). Ces options sont également moins coûteuses que des structures d'ingénierie plus rigides, tel que les murs de béton ou l'enrochement.

En termes de ratio avantages-coûts, les deux segments de ce groupe présentent des ratios très élevés : pour chaque dollar consenti, plus de 25 \$ d'avantages sont estimés. Cela reflète l'importance des avantages offerts par ces options d'adaptation.

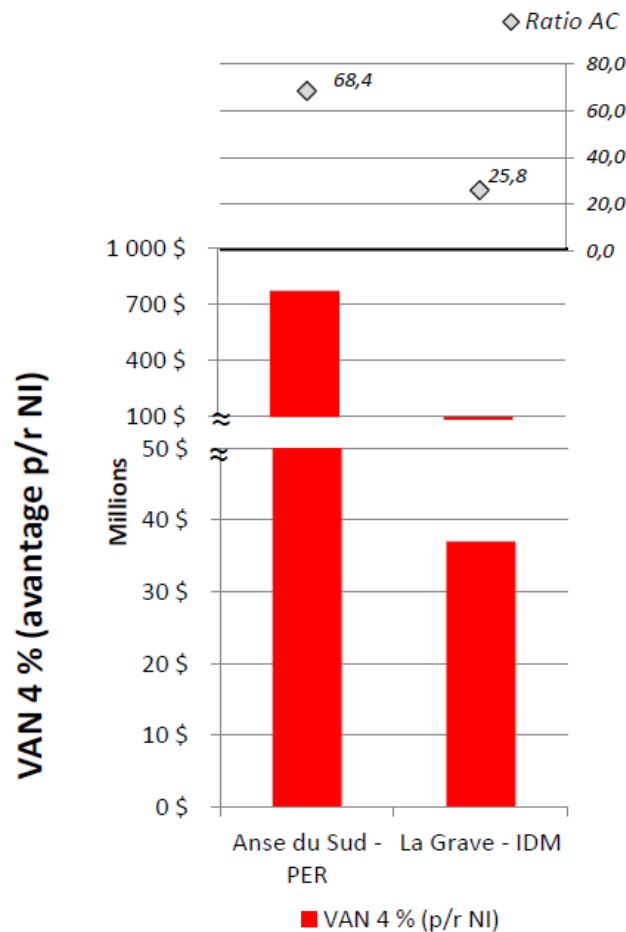


Figure 9.5 – VAN des options les plus avantageuses par rapport à la non-intervention et ratios avantages-coûts pour le premier groupe de segments

9.2.2 Deuxième groupe : Avantage net à intervenir

Le second groupe est composé de neuf segments qui subiront des dommages importants dus à l'érosion et à la submersion se traduisant par des pertes majeures d'actifs côtiers et de leur usage. Ces dommages se chiffrent entre 420 000 \$ et 13 M\$ au cours des prochains 50 ans.

Dans ce deuxième groupe, les dommages sont suffisamment importants pour justifier l'intervention. Ces neuf segments de côte peuvent être divisés en trois sous-groupes en fonction des options d'adaptation privilégiées et du type de côte.

- 1) Les segments de côtes basses avec des actifs à risque de grande valeur. Ce sous-groupe comprend quatre segments, soit Banc de Saint-Omer Ouest

- (Carleton-sur-Mer), Anse du Nord (Percé), Pédoncule (Carleton-sur-Mer) et Pointe-Verte Ouest (Maria). Il s'agit de terrasses de plage ou de flèches littorales où les recharges de plage avec ou sans épis sont les options les plus avantageuses économiquement (avantages nets entre 1,2 M\$ et 2,7 M\$)
- 2) Les segments de falaises avec des actifs à risque de grande valeur justifiant des structures de protection en riprap. Ces segments sont composés de falaises meubles ou sédimentaires de faible élévation sur lesquels il est impossible d'appliquer des structures mobiles. Ces segments possèdent tous au moins un actif de grande valeur économique ou récréative qui subira de lourdes pertes en situation de non-intervention. Ces segments sont tous situés à Cap-aux-Meules aux Îles-de-la-Madeleine : Camping du Gros-Cap, Échouerie Ouest et Centre-ville. La protection en riprap génère un avantage net sur la non-intervention variant entre 0,6 et 6,3 M\$ par segment. Pour ces trois segments, la seconde option la plus avantageuse est la relocalisation stratégique qui permet de préserver la majorité des actifs à risque, mais elle n'est pas aussi efficace que le riprap pour freiner les dommages causés par l'érosion.
- 3) Les segments où les mesures d'ingénierie sont trop dispendieuses. Ce sous-groupe comprend 2 segments, soit Plage municipale (Carleton-sur-Mer) et Maria Centre-Ouest (Maria), qui sont situés sur des côtes en terrasse de plage. Dans ces segments, les dommages causés par la submersion et l'érosion ne sont pas suffisamment élevés pour justifier des mesures d'ingénierie mobiles ou rigides. Toutefois, ces segments possèdent des bâtiments résidentiels et commerciaux situés dans des zones à risque qui subiront des dommages relativement importants. Dans ces deux segments, l'immunisation combinée ou non à la relocalisation stratégique (selon le cas) permet de réduire significativement les dommages et génère un avantage net sur la non-intervention entre 1,0 à 1,9 M\$ par segment.

Pour ce deuxième groupe de segments, le ratio avantages-coûts varie entre 1,07 dans le segment Centre-Ville (Îles-de-la-Madeleine) et 4,55 pour le segment Camping du Gros-Cap (Îles-de-la-Madeleine). Le faible ratio du segment Centre-ville s'explique par les coûts d'intervention importants, qui font diminuer le ratio.

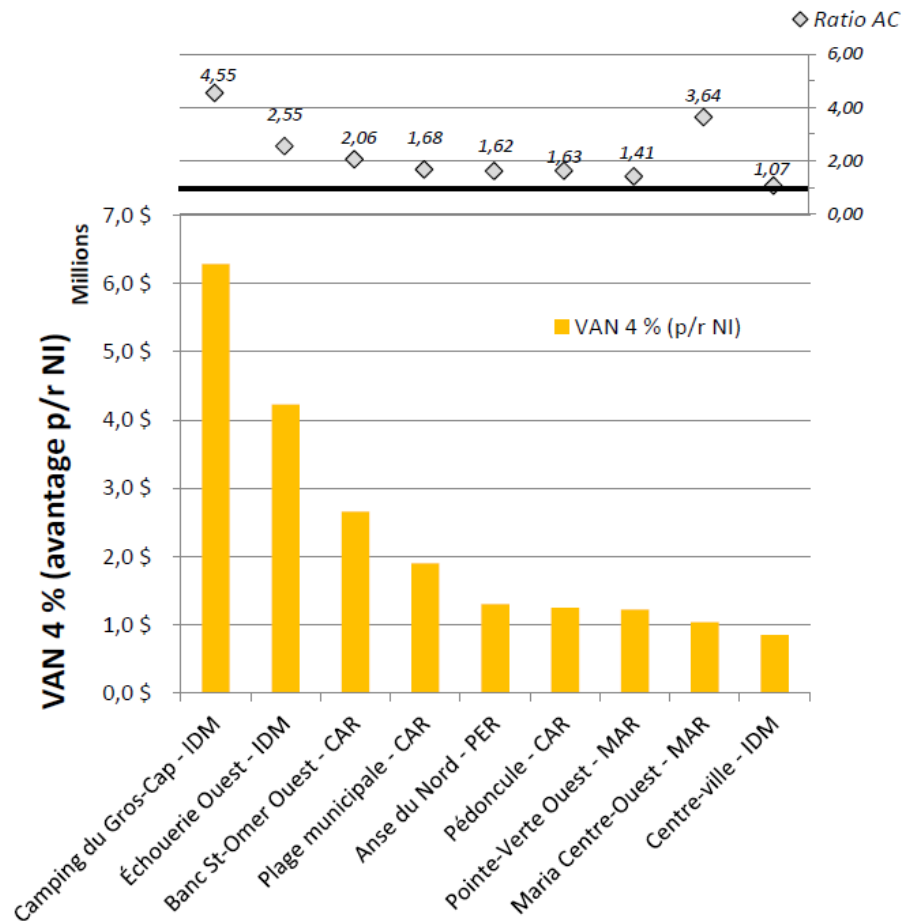


Figure 9.6 – VAN des options les plus avantageuses par rapport à la non-intervention et ratios avantages-coûts pour le deuxième groupe de segments

9.2.3 Troisième groupe : Mince avantage à intervenir

Le troisième groupe de segments comprend des cas où l'ACA a démontré un avantage à intervenir relativement modeste. Ces segments sont Côte Surprise (Percé), Plage municipale (Îles-de-la-Madeleine) et Rivière-Ouelle.

Ce groupe de segments est caractérisé par des dommages anticipés de la non-intervention qui sont relativement faibles (entre 400 000 et 600 000 \$) sur 50 ans, ne permettant pas de justifier des interventions coûteuses sur le littoral. Ces segments possèdent tous un actif majeur à risque qui sera exposé d'ici 50 ans.

L'avantage net de l'option d'adaptation la plus rentable se situe entre 140 000 \$ et 200 000 \$ (voir figure 9.7). Dans les trois segments, cette option est la relocalisation

stratégique des actifs à risque, soit les bâtiments résidentiels et commerciaux ou encore pour Rivière-Ouelle, un recul partiel combinée au rehaussement de l'aboteau.

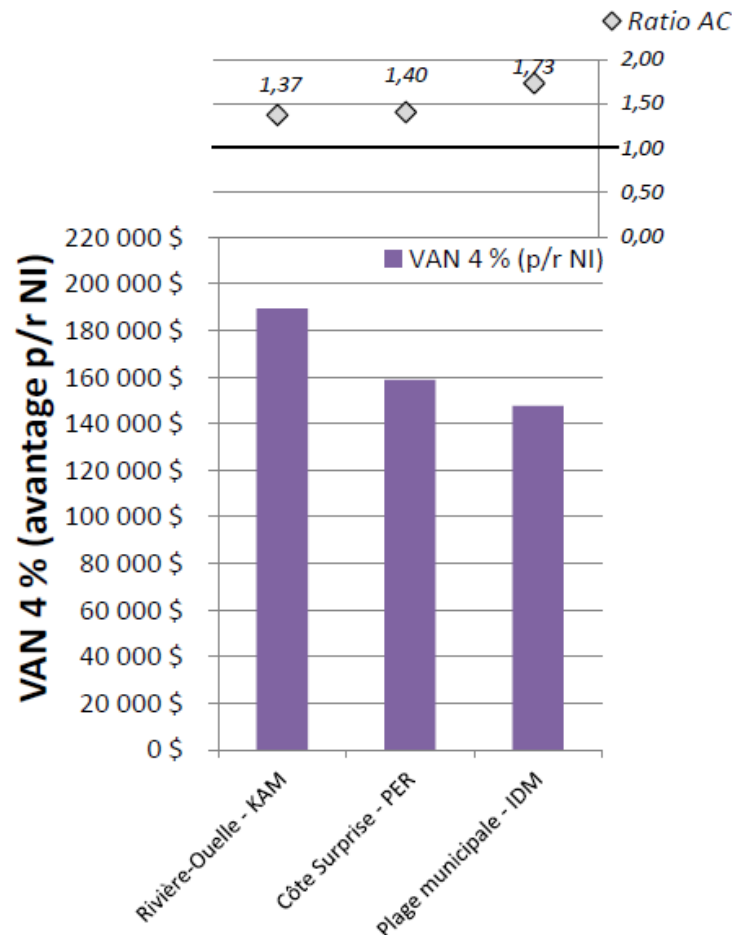


Figure 9.7 – VAN des options les plus avantageuses par rapport à la non-intervention et ratios avantages-coûts pour le troisième groupe de segments

Les ratios avantages-coûts de la relocalisation stratégique gravitent autour de 1,5, ce qui est relativement faible comparativement à ceux obtenus dans les segments précédents. Toutefois, les résultats semblent robustes et la rentabilité de la mesure est confortée par les analyses de sensibilité.

9.2.4 Quatrième groupe : À l'intérieur d'une marge de 25 000 \$

Ce groupe de sept segments comprend les cas où la VAN de l'option d'adaptation préventive (immunisation, relocalisation stratégique ou une combinaison des deux) est à l'intérieur d'une marge de 25 000 \$ par rapport à l'option de non-intervention. Pour 5

segments, cette différence est positive alors qu'elle est négative pour les 2 autres segments (voir figure 9.8). Dans tous les cas, aucune option d'adaptation impliquant une intervention sur le littoral n'apparaît comme avantageuse.

Les segments de ce groupe sont Maria Centre-Est (Maria), Banc St-Omer Centre et Est (Carleton-sur-Mer), Gros-Cap Est (Îles-de-la-Madeleine), Pointe-Verte Est (Maria), Mont-Joli Sud (Percé) et Route municipale (Îles-de-la-Madeleine).

La principale raison qui explique l'incertitude entourant la rentabilité de l'option privilégiée provient de l'ampleur des coûts anticipés en non-intervention qui sont tous inférieurs à 900 000 \$, à l'exception de Maria Centre Est (1,4 M\$). Dans les cas où les dommages anticipés sont faibles, il est rarement possible de justifier une intervention sauf si le coût de la mesure est encore plus faible.

Parmi les facteurs qui expliquent des dommages aussi faibles en non-intervention, il faut noter que :

- la plupart des actifs dans ces segments sont relativement loin de la côte et ne seront pas à risque à court ou moyen terme; et
- pour certains actifs, le coût de la relocalisation stratégique ou de l'immunisation dépasse la valeur de l'actif lui-même.

Lorsque les résultats de l'ACA sont à l'intérieur d'une marge de 25 000 \$, les analyses de sensibilité indiquent souvent un manque de robustesse. Dans ces cas, les variations de certaines hypothèses peuvent modifier les conclusions. Pour ce groupe, les résultats de l'ACA ont démontré une plus grande instabilité lors des analyses de sensibilité. Il est donc plus difficile de conclure qu'il est justifié d'agir du point de vue économique. D'autres motifs, par exemple éthiques, pourraient influencer la décision d'intervenir ou non.

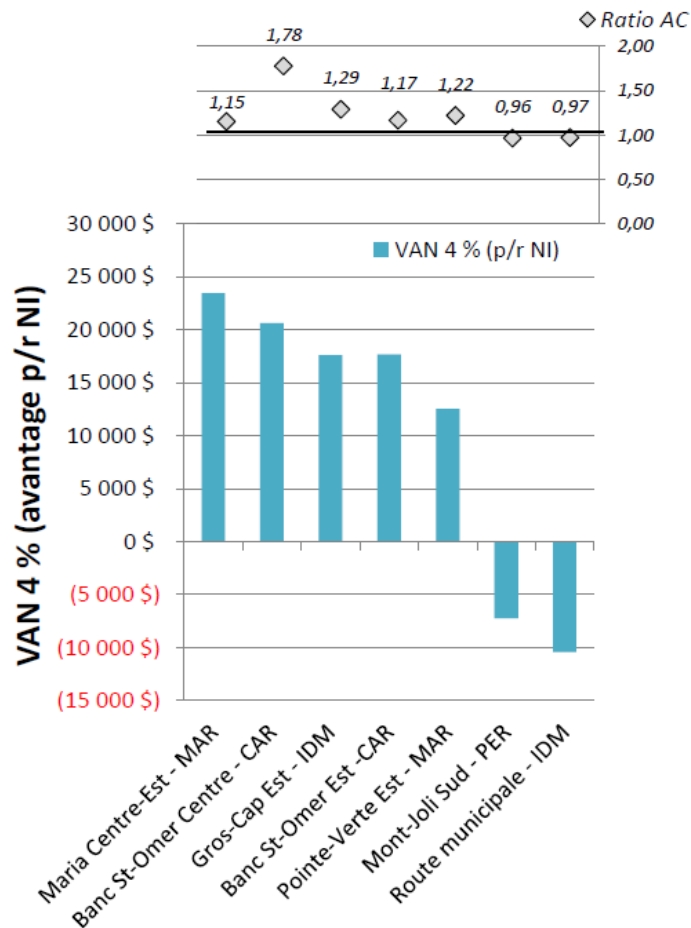


Figure 9.8 – VAN des options les plus avantageuses par rapport à la non-intervention et ratios avantages-coûts pour le quatrième groupe de segments

9.2.5 Cinquième groupe : Pas d'avantage économique à intervenir

Le cinquième groupe comprend les segments pour lesquels l'intervention semble clairement moins avantageuse que la non-intervention. Quatre segments répondent à cette classification, alors que les avantages nets des options d'adaptation sont clairement négatifs (-250 000 \$ et -1,3 M\$), tel qu'illustré à la figure 9.9.

Les segments compris dans ce groupe sont Ruisseau de l'Éperlan (Carleton-sur-Mer), Rue Berthelot (Carleton-sur-Mer), Caps de Maria (Carleton-sur-Mer) et Grande-Entrée (Îles-de-la-Madeleine).

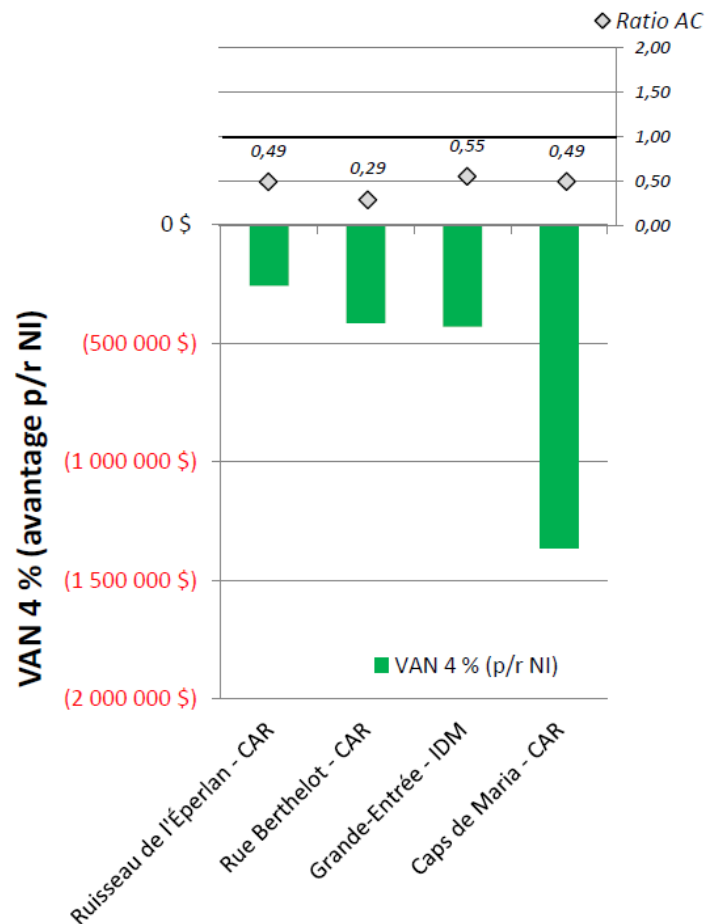


Figure 9.9 – VAN des options les plus avantageuses par rapport à la non-intervention et ratios avantages-coûts pour le cinquième groupe de segments

Trois des quatre segments présentent des caractéristiques similaires en termes d'aléas, de type de côte et d'actifs à risque. En effet, les trois segments de Carleton-sur-Mer qui font partie de ce groupe sont tous situés sur des falaises meubles avec des taux d'érosion de l'ordre de quelques décimètres par année et abritant majoritairement des résidences principales et de villégiature de faible valeur foncière.

Le quatrième segment dans ce groupe est une zone portuaire dont un côté est en érosion rapide, mais qui ne comprend pas d'actifs à risque de grande valeur à l'intérieur de la période d'étude.

Ainsi, le peu de dommages anticipés pour ces segments sur l'horizon d'étude ne permet pas de justifier une intervention.



10. LEÇONS APPRISSES

La réalisation de 25 ACA dans une diversité de milieux présentant des types de côte et des enjeux divers permet de dégager certains enseignements, tant du côté de la réalisation de l'étude elle-même que de celui des résultats obtenus. Ces leçons concernent à la fois les facteurs qui influencent la pertinence et l'utilité d'un tel outil d'aide à la décision, ainsi que les principales composantes qui jouent un rôle déterminant dans le choix de l'une ou l'autre des options d'adaptation considérées.

10.1 APPROCHE COLLABORATIVE

L'un des principaux constats tirés de la réalisation d'une telle étude concerne l'implication des parties prenantes. En effet, dès les premières phases de cette étude, une approche basée sur la collaboration avec les parties prenantes a été adoptée. Cette approche visait non seulement à établir un canal privilégié pour avoir accès aux informations et données servant à réaliser les ACA, mais surtout à garantir l'utilité, la pertinence et la crédibilité de l'étude aux yeux des usagers et des acteurs de l'adaptation.

Concrètement, cette collaboration s'est appuyée sur la mise sur pied de comités locaux d'orientation pour chacun des sites d'étude, et ce, dès le début du projet. Ces comités étaient constitués des principales parties prenantes locales, dont des fonctionnaires municipaux, des élus et des représentants des différents groupes d'intérêt locaux et régionaux.

Sur l'ensemble de la période d'étude, une communication constante a été entretenue et alimentée avec ces comités. Les membres ont été sollicités à différentes étapes charnières de l'étude dans le cadre de réunions de travail, afin d'appuyer l'équipe de projet dans l'identification des options d'adaptation à étudier, la définition des hypothèses de travail, l'identification des impacts appréhendés et la validation des résultats préliminaires. De plus, plusieurs échanges informels ont eu lieu entre l'équipe de projet et les différents membres des comités afin de partager des données et informations pertinentes.

Ce canal de communication privilégié avec les usagers et décideurs locaux a permis d'accroître la pertinence et l'utilité des ACA à plusieurs niveaux. D'abord, tel que mentionné précédemment, sans une collaboration avec les parties prenantes, il aurait été difficile, voire impossible, d'avoir accès à toutes les données et informations essentielles à une analyse rigoureuse. De plus, la transparence du processus a renforcé la crédibilité de l'équipe de recherche et du projet aux yeux des intervenants locaux. Cette crédibilité a favorisé une appropriation des résultats par les membres des différents comités qui pourront partager leur compréhension des résultats auprès d'un public plus large. Ayant participé activement à la réalisation de ce projet, les parties prenantes sont plus susceptibles d'utiliser et même de défendre les résultats, puisqu'elles ont été directement engagées dans l'établissement des hypothèses et la validation des résultats.

La mise sur pied d'un comité de fonctionnaires provinciaux et fédéraux a également augmenté la portée des résultats à l'intérieur des ministères responsables de la gestion et/ou du financement des projets d'aménagement côtiers. Les réunions du comité ont grandement contribué à vulgariser les concepts entourant la réalisation des ACA en milieux côtiers, en plus de démontrer leur pertinence dans une prise de décision éclairée sur des enjeux complexes. Les retombées sont déjà palpables, notamment pour le segment de l'anse du sud à Percé, où l'ACA réalisée par Ouranos a permis de justifier économiquement un projet de recharge de plage en galets. Les résultats ont reçu un accueil favorable auprès de l'ensemble des intervenants dans le dossier, en particulier auprès des instances politiques.

10.2 LEÇONS APPRISES SUR LES RÉSULTATS

Une étude d'une telle envergure, couvrant 25 segments de côte, devrait permettre de tirer de grandes leçons sur les tendances lourdes qui dictent l'adoption de l'une ou l'autre des options dans certains contextes spécifiques. Cet exercice a été réalisé au chapitre précédent en classifiant les résultats en cinq grands groupes.

Quoiqu'il n'y ait pas de relation simple et directe entre un type de côte et une option à privilégier pour la protéger, les résultats fournissent des pistes pour orienter l'analyse des différents types de segments. La classification en cinq groupes indique que certaines caractéristiques communes sont à considérer. Il n'en demeure pas moins que chaque segment de côte est unique, avec des enjeux et une dynamique qui lui est propre. Considérant ces éléments, une généralisation ne peut remplacer la réalisation d'une ACA. Il est souhaitable de recourir à cette méthode d'analyse lorsque les segments côtiers sont aux prises avec des problématiques d'érosion et de submersion à court terme qui menacent des actifs importants, qu'ils soient de nature économique, environnementale ou sociale.

La réalisation d'une telle étude permet d'identifier des leçons spécifiques et des avenues de recherche potentielles ainsi que de formuler des recommandations pour la réalisation d'ACA en milieu côtier.

10.2.1 Diversité des impacts considérés

Une ACA, par définition, vise à quantifier l'ensemble des coûts et des avantages des options d'adaptation étudiées afin de dresser un portrait le plus fidèle possible des enjeux présents dans la zone d'étude et d'identifier leur influence sur l'option à adopter.

Une compréhension fine et une monétisation adéquate des impacts économiques, environnementaux et sociaux indirects est indispensable à la réalisation d'ACA en milieu côtier. Dans plusieurs des segments étudiés, l'omission d'impacts indirects aurait mené à des conclusions différentes. Le cas de l'Anse du sud (Percé) illustre bien ce propos : pour ce segment, la quantification des impacts de la non-intervention et des mesures d'adaptation sur l'activité touristique montre que l'intervention est justifiée. Or, aucune option d'adaptation n'aurait été justifiée sur le plan économique si l'évaluation de ces impacts indirects avait été omise. Plus globalement, dans la majorité des segments où

des interventions sur le littoral ont été retenues, de multiples enjeux connexes aux impacts des aléas ont été considérés. Autrement dit, les dommages liés à l'érosion et à la submersion ne peuvent pas toujours justifier à eux seuls des interventions coûteuses sur le littoral.

À cet effet, il serait pertinent d'améliorer les connaissances scientifiques sur l'impact des aléas côtiers et des options d'adaptation sur les enjeux sociaux et de santé publique. La prise en compte de l'insécurité et du stress liés à l'incertitude et aux dangers des aléas côtiers pourrait bonifier les résultats de futures ACA en milieu côtier.

10.2.2 Hypothèses hydrodynamiques

La construction de scénarios réalistes d'érosion et de submersion intégrant l'évolution du climat est un exercice complexe. Pourtant, ces scénarios sont en grande partie responsables des résultats obtenus dans une ACA.

Au niveau de l'érosion, l'approche retenue dans cette étude s'appuie sur des taux historiques tirés de périodes jugées représentatives des conditions hydroclimatiques futures. Toutefois, dans un contexte où l'évolution de certains paramètres pourrait s'accélérer ou s'amplifier comparativement aux périodes historiques, à cause entre autres de la perte du couvert de glace, les taux utilisés pourraient sous-estimer la vitesse d'évolution future de la côte et donc minimiser les dommages anticipés.

Les mêmes constats s'appliquent aux scénarios de submersion où la compréhension des probabilités conjointes d'aléas liés aux niveaux d'eau extrêmes, aux vagues et à la variation de la couverture de glace est encore limitée. La réalisation des ACA a permis d'évaluer que les dommages de submersion sont de loin supérieurs aux dommages dus à l'érosion. Il est donc important de s'appuyer sur des scénarios de niveaux d'eau extrêmes bien établis afin d'anticiper la vulnérabilité des actifs dans les zones à risque.

10.2.3 Hypothèses économiques

L'influence des hypothèses économiques de base peut également jouer un rôle déterminant dans les résultats. La période d'étude, le taux d'actualisation et les hypothèses de croissance économique sont toutes des hypothèses qui peuvent favoriser l'une ou l'autre des options d'adaptation. Il est à noter à cet égard que l'hypothèse de statu quo économique retenue pour des fins de simplification de l'analyse

peut amener une sous-estimation des coûts des dommages et qu'il serait probablement approprié dans plusieurs cas de revoir les résultats à la lumière de projections socio-économiques plus réalistes.

L'adoption d'hypothèses réalistes et cohérentes avec le milieu d'étude est fondamentale autant pour la réalisation de l'analyse que pour son acceptabilité par les parties prenantes. Les nombreuses analyses de sensibilité permettent également de s'assurer que le choix de ces hypothèses ait une influence minimale sur la recommandation de l'option la plus avantageuse.



11. CONCLUSION

Parmi les 25 segments étudiés, l'analyse a permis de déterminer que la non-intervention était plus avantageuse que la mise en place d'une option d'adaptation pour six segments (24 %). Pour tous les autres segments étudiés (76 %) dans le cadre du projet d'ACA en zone côtière au Québec, il est plus rentable d'agir que de ne rien faire.

Parmi les 19 segments où l'intervention est préférée à la non-intervention, les options d'adaptation d'immunisation et de relocalisation sont privilégiées dans plus de la moitié des cas (10 sur 19), alors que les structures d'ingénierie mobiles et rigides représentent respectivement 12 et 24 % des options les plus avantageuses pour l'ensemble des segments à l'étude.

La classification des résultats obtenus dans les 25 segments a conduit à la construction de cinq groupes distincts. Le tableau 11.3 résume les principaux faits saillants des cinq groupes de segments étudiés dans le cadre de ce projet de recherche. À la lumière de cette classification, il est clairement avantageux d'intervenir dans 14 des 25 segments à l'étude (groupes 1, 2 et 3), soit dans 56 % des segments étudiés. Dans le reste des cas (44 % des segments), les critères de performance économique ne peuvent justifier une intervention (voir figure 11.2). Bien qu'il soit extrêmement difficile de généraliser à partir des cas étudiés, la classification réalisée permet de faire certains rapprochements entre les segments en fonction de leurs caractéristiques.

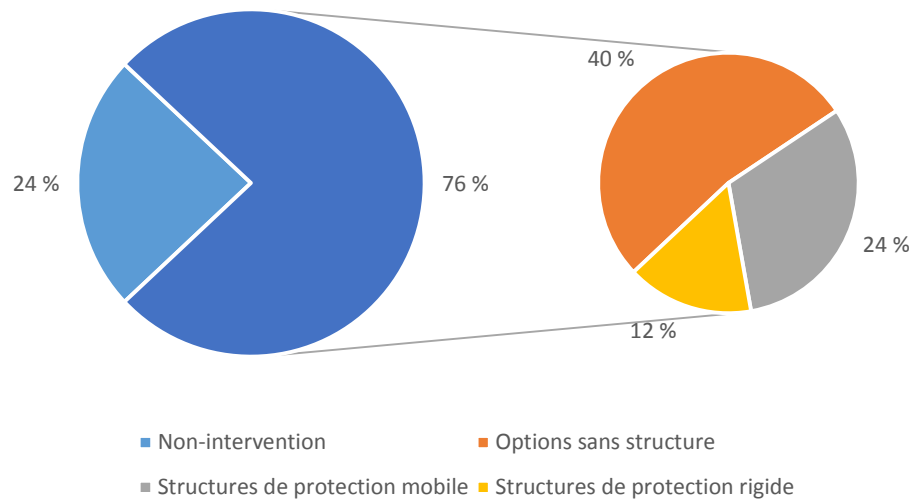


Figure 11.1 – Distribution des options les plus avantageuses parmi les 25 segments étudiés

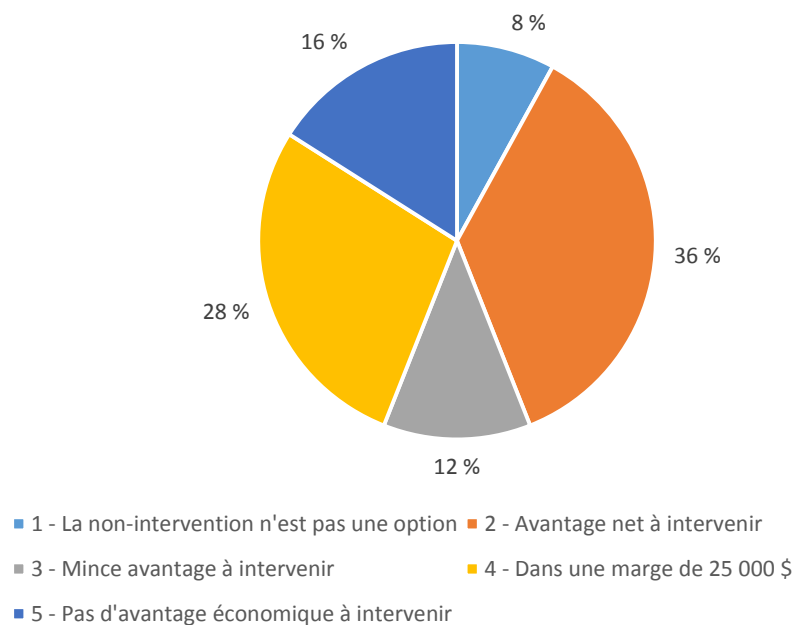


Figure 11.2 – Distribution des 25 segments en fonction des cinq groupes

L'étude a mis en évidence les facteurs qui influencent le choix d'intervenir ou non et celui entre les différentes options d'adaptation. Ces facteurs incluent le type de côte, les solutions techniques réalisables, les protections existantes, la longueur du segment à protéger, la valeur des actifs à risque, le niveau d'exposition aux aléas côtiers, la valeur des dommages anticipés incluant les coûts environnementaux et sociaux, ainsi que le coût de mise en œuvre des options d'adaptation.

Tableau 11.1 – Principales caractéristiques des cinq groupes de segment

Groupe de segments	VAN de l'option la plus avantageuse en comparaison à la non-intervention	Coût de la non-intervention par mètre de côte (VAN 4 %)	Coût d'implantation de l'option la plus avantageuse	Principales caractéristiques de chaque groupe
1-La non-intervention n'est pas une option (2 segments)	> 37,0 M\$	91 000 – 777 000 \$	1,5 – 9,4 M\$	- Actifs régionaux ou provinciaux à risque (infrastructure touristique) - Avantages directs lorsque les options d'adaptation contribuent à améliorer l'usage de la côte - Toutes les options d'adaptation envisagées sont plus avantageuses que la non-intervention
2- Avantage net à intervenir (9 segments)	0,5 M\$ - 6,3 M\$	1 000 – 6 500 \$	0,3 – 12,5 M\$	- Les options sans structure côtière (immunisation et relocalisation stratégique) sont favorisées lorsque les structures d'ingénierie sont impossibles ou trop dispendieuses - Les structures d'ingénierie mobiles sont les options les plus avantageuses pour les côtes basses abritant des actifs de grande valeur - Le riprap est l'option à privilégier lorsque la valeur des actifs à risque est élevée et que les côtes sont constituées de basses falaises sédimentaires friables.
3- Mince avantage à intervenir (3 segments)	140 000 – 200 000 \$	150 – 1 260 \$	154 000 – 397 000 \$	- Ces segments comprennent généralement un actif d'importance à risque au cours de l'horizon d'étude (bâtiments commerciaux, terres agricoles, etc.) - La sélection de l'option d'adaptation dépend du type d'intervention qu'il est possible d'entreprendre et du coût des options, les options les moins coûteuses étant privilégiées
4- Dans la marge d'incertitude (7 segments)	(25 000 \$) – 25 000 \$	160 – 3 700 \$	29 000 – 330 000 \$	- Les options sans structure côtière ou la non-intervention sont privilégiées dans ce groupe - La valeur des actifs à risque et les dommages anticipés de la non-intervention sont faibles - Les facteurs qui influencent le faible coût de la non-intervention : faible densité du cadre bâti, peu ou pas de dommages de submersion, dommages dû à l'érosion surviennent tard dans l'horizon d'étude.
5-Aucun avantage à intervenir (4 segments)	< (25 000 \$)	262 – 3 500 \$	n.a.	Aucune intervention n'est justifiée lorsque la relocalisation des actifs est plus dispendieuse que la valeur de ceux-ci, lorsque la reconstruction des structures de protection est plus dispendieuse que la valeur des actifs et quand les dommages anticipés sont très bas.

La présente étude a démontré que le processus autant que les résultats des ACA permettent aux différents acteurs une meilleure compréhension des problématiques ainsi qu'une évaluation plus précise de leur vulnérabilité face aux aléas côtiers. La compréhension des impacts que les interventions peuvent avoir sur le milieu s'en trouve également bonifiée. C'est ce processus d'appropriation locale des problématiques, complémentaires aux résultats des études, qui a poussé plusieurs gouvernements européens à intégrer l'ACA en tant que pratique courante et même réglementaire avant la réalisation de tout projet côtier.

À ce jour au Québec, l'utilisation de l'ACA n'est pas une pratique courante en gestion du littoral. Elle est surtout réservée au domaine de la recherche et n'est pas intégrée dans les processus de gestion des organisations gouvernementales, tous paliers confondus. Or, ce projet de recherche a démontré la pertinence d'un tel outil dans la prise de décision d'options d'adaptation aux changements climatiques surtout dans les cas où les enjeux le justifient. Au cours des prochaines années, il serait souhaitable que l'utilisation de cet outil migre du monde de la recherche vers une application pratique auprès des gestionnaires des administrations concernées.



12. RÉFÉRENCES

- Bernatchez, P., C. Fraser, S. Friesinger, Y. Jolivet, S. Dugas, S. Drejza et A. Morissette (2008). Sensibilité des côtes et vulnérabilité des communautés du golfe du Saint-Laurent aux impacts des changements climatiques. Rimouski, Chaire de recherche en géoscience côtière - Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières - Université du Québec à Rimouski, 256.
- BPR, Consultants Ropars, Groupe IBI/DAA (2014) Conception pour la reconstruction du mur de soutènement et de la promenade de Percé dans l'anse du Sud et pour la protection des berges dans l'anse du Nord. Rapport numéro 11522 (60ET), présenté à la ville de Percé, Gaspé, 104 p. + annexes.
- Didier, D., P. Bernatchez et A. Lambert (2014). Scénarios de submersion côtière pour la municipalité de Maria dans le cadre d'une analyse économique. Rimouski, Chaire de recherche en géoscience côtière - LDGIZC-UQAR for/pour Ouranos, 33 + annexes.
- Horton, B. P., Rahmstorf, S., Engelhart, S. E., et Kemp, A. C. (2014). Expert assessment of sea-level rise by AD 2100 and AD 2300. *Quaternary Science Reviews*, 84, 1–6.
- Penning-Rowsell, E., Priest, S., Parker, D., Morris, J., Tunstall, S., Viavattene, C., Chatterton, J. & Owen, D. (2014). *Flood and coastal erosion risk management: a manual for economic appraisal*. Routledge.