



Raymond Brow via Flickr



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

ANALYSE COÛTS-AVANTAGES DES OPTIONS D'ADAPTATION EN ZONE CÔTIÈRE AUX ÎLES-DE-LA-MADELEINE

Résumé exécutif

Mars 2016



Ressources naturelles
Canada

Natural Resources
Canada

Canada



Québec

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 Gouvernement du Québec dans le cadre du Plan d'action 2013 - 2020 sur les changements climatiques.

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

Nous tenons à remercier la municipalité des Îles-de-la-Madeleine pour sa collaboration et son support indéfectible, notamment Serge Bourgeois, Benoît Boudreau et Caroline Richard. L'apport précieux des nombreux partenaires locaux, dont les membres du comité local d'orientation, a permis d'avoir accès aux informations et aux données essentielles à la

réalisation du projet. Nous voulons également saluer la précieuse aide de Louis Vigneau (Transports Québec) et de Guglielmo Tita.

Nous tenons également à souligner la contribution des membres des différents comités mis en place dans le cadre du projet. Leur participation a permis, entre autres, de mieux intégrer l'ensemble des enjeux de la zone d'étude : Josée Michaud (Bureau des Changements climatiques), Nick Xenos (Ressources naturelles Canada), Jean-Pierre Revéret (UQAM), Adam Fenech (UPEI), Dominique Bérubé (UNB), Élisabeth Marceau (MPO), Graham Frank (Baird), Marcel Roussy (MAPAQ), Rénaud 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), Valérie Labrecque (MRC Kamouraska) et Paul Gingras (MRC La Mitis).

Finalement, nous remercions toutes les organisations et firmes qui ont fourni des données essentielles à cette analyse, notamment les firmes Roche et Consultants Ropars.

ANALYSE COÛTS-AVANTAGES DES OPTIONS D'ADAPTATION EN ZONE CÔTIÈRE AUX ÎLES-DE-LA-MADELEINE

**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
Guillaume Duff, Ouranos
Ursule Boyer-Villemare, Ouranos
Sylvie Corbeil, AECOM
François Morneau, Ouranos
Claude Desjarlais, Ouranos
Travis Logan, Ouranos

Principaux collaborateurs :

Pascal Bernatchez, UQAR
Steeve Dugas, UQAR
Susan Drejza, UQAR
Municipalité des Îles-de-la-Madeleine
Jean-Pierre Savard, Ouranos
Philippe Roy, Ouranos

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

Crédit photo page couverture : Raymond Brow via Flickr

Numéro de projet : 540010-000

Citation suggérée : 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

Mars 2016



RÉSUMÉ EXÉCUTIF

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

Au Québec, l'étude a été réalisée par Ouranos

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

Dans le cadre de la présente étude, cinq sites ont fait l'objet d'analyses coûts-avantages (ACA). Il s'agit des Îles-de-la-Madeleine, de Maria, de Carleton-sur-Mer, de Percé et de Kamouraska. Le présent rapport s'intéresse au littoral des Îles-de-la-Madeleine situé au milieu du golfe du Saint-Laurent.

Le littoral des Îles-de-la-Madeleine subit déjà d'importants impacts liés aux changements climatiques, lesquels se traduisent par la montée du niveau marin, l'adoucissement hivernal et la perte du couvert de glace dans le golfe du Saint-Laurent, 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 plusieurs infrastructures se trouvant en bord de mer, 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.

APPROCHE MÉTHODOLOGIQUE

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

L'analyse coûts-avantages consiste à comparer d'un point de vue économique l'ensemble des avantages et des coûts de différentes options d'adaptation techniquement réalisables. L'ACA

se base sur deux indicateurs économiques pour comparer les options d'adaptation à la non-intervention : la valeur actualisée nette (VAN) et le ratio avantages-coûts.

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

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

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 A présente les trois secteurs à l'étude aux Îles-de-la-Madeleine.

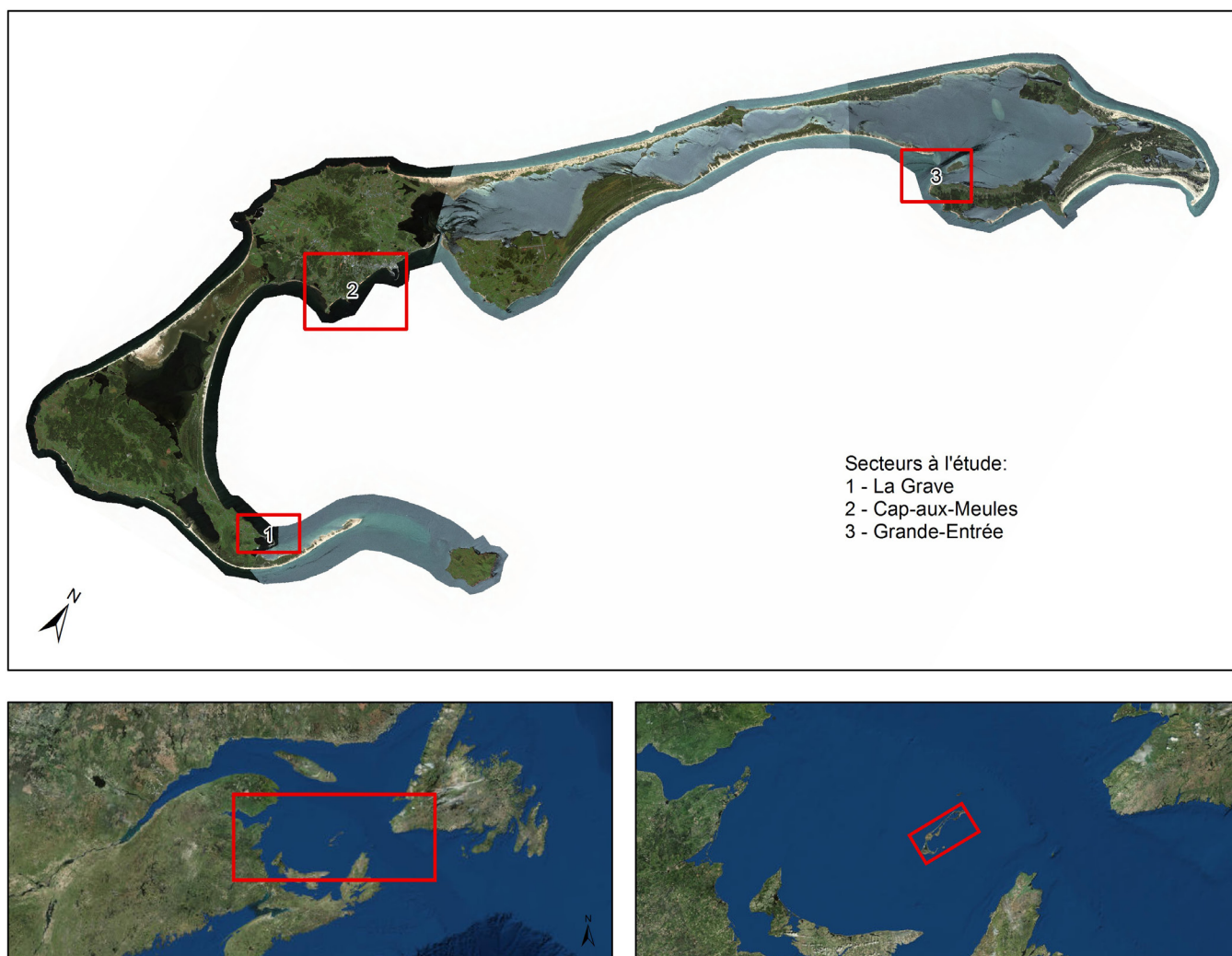


Figure A- Carte de la zone d'étude et localisation des trois secteurs étudiés

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 A.

Tableau A- Options d'adaptation considérées dans chacun des segments

Secteur	Segment	Structure côtière rigide	Structure côtière mobile	Solution sans intervention 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.

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 B. 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.

Le tableau B 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.

Finalement, la relocalisation stratégique est privilégiée dans les segments Plage municipale

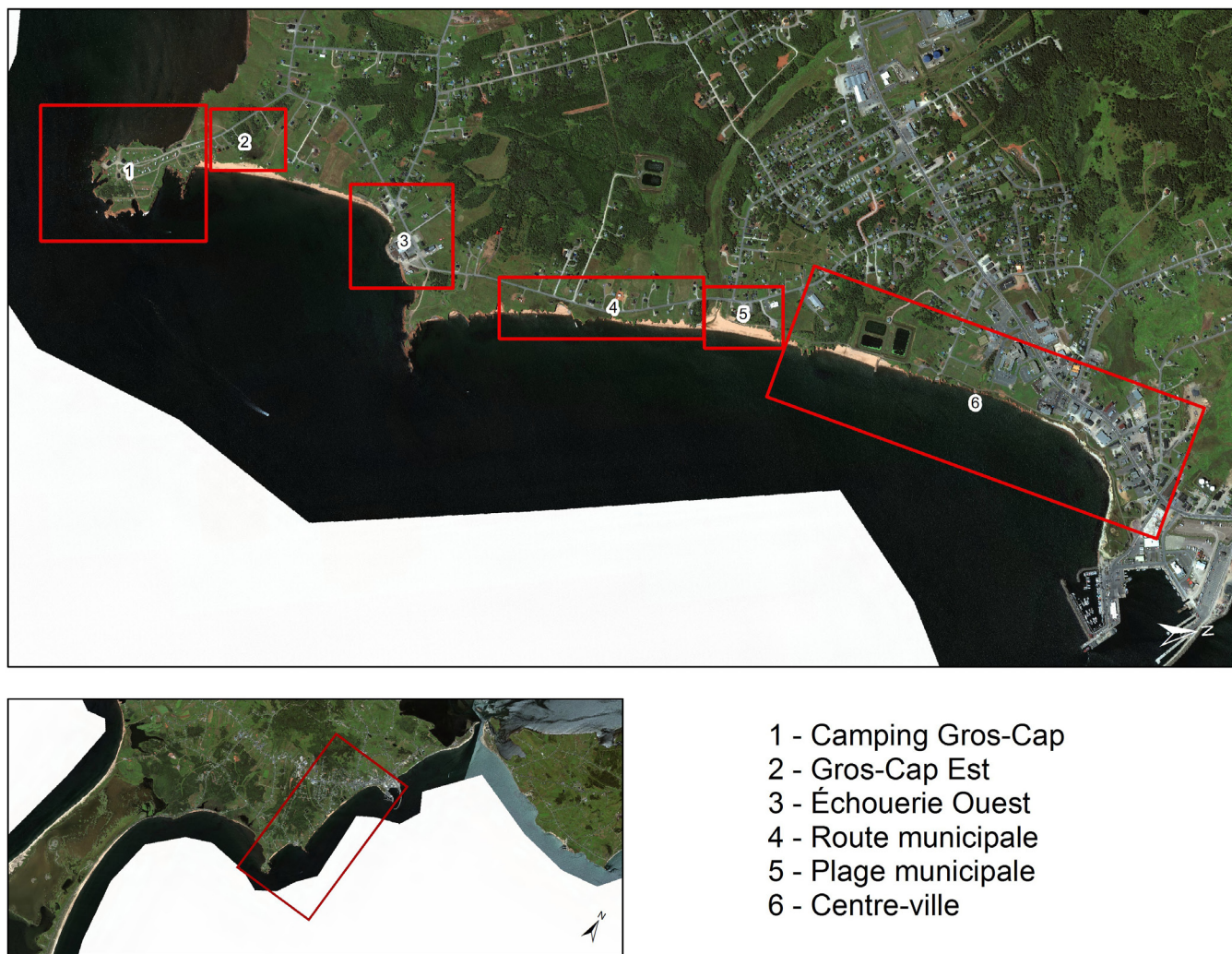


Figure B- Secteur Cap-aux-Meules et les six segments retenus pour l'ACA

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.

Tableau B- Option d'adaptation retenue, 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	591 227 \$	1,05

Les segments où la relocalisation stratégique est retenue 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 retenues 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.

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

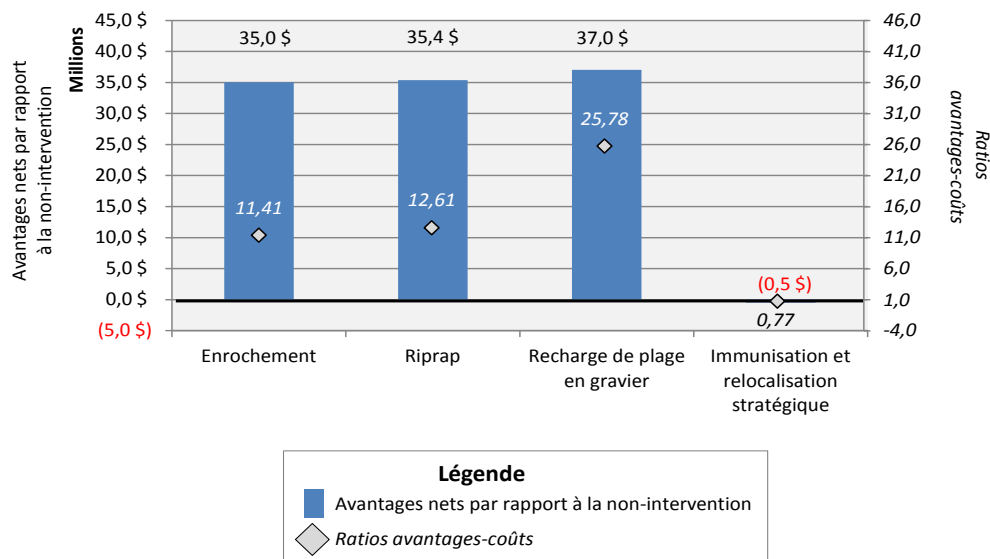


Figure C – Avantages nets de chaque option par rapport à la non-intervention et ratios avantages-coûts à La Grave

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.

Comme indiqué à la figure C, 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).

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.

CONCLUSION

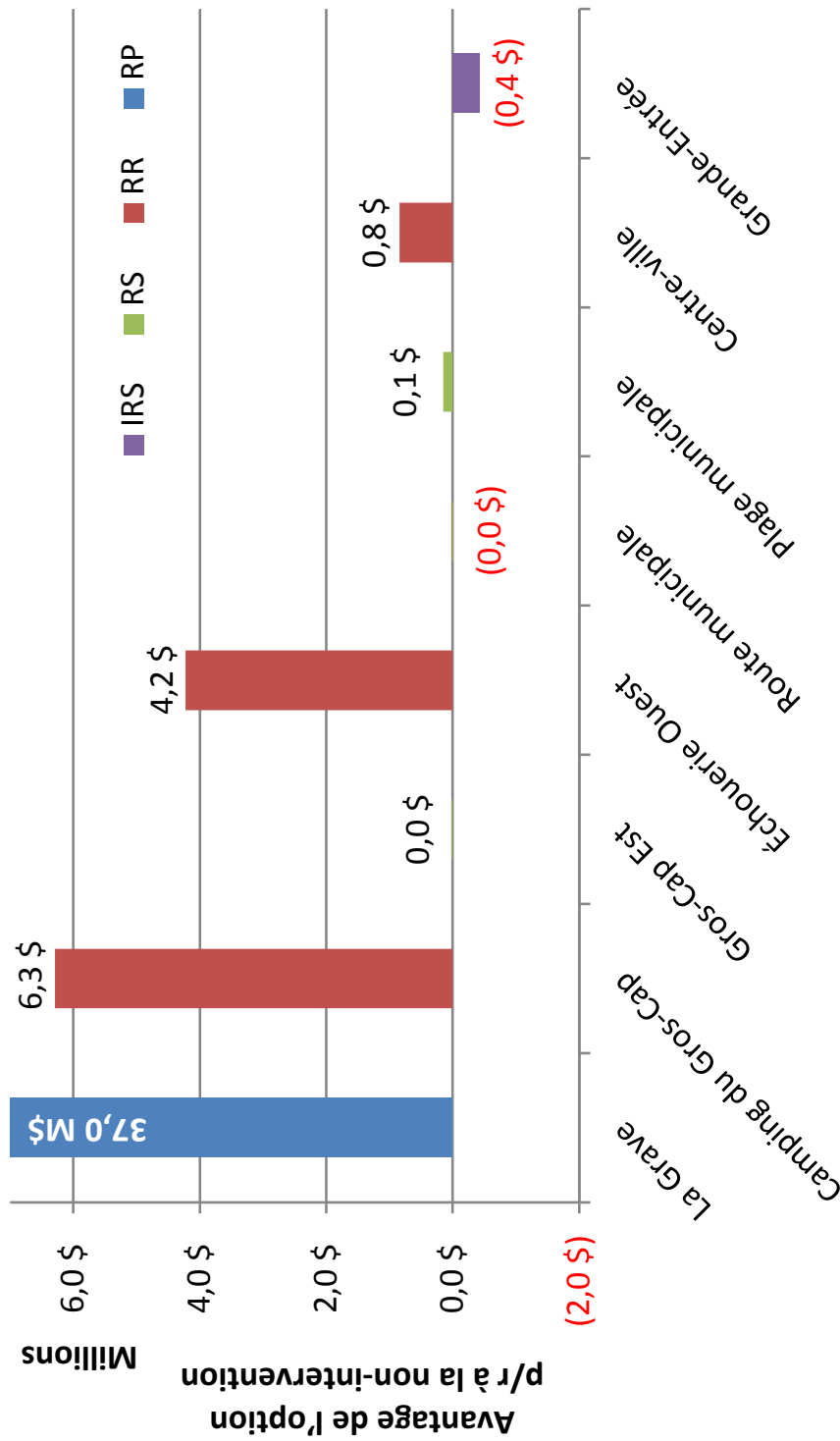
L'analyse coûts-avantages des options d'adaptation proposées pour éviter les dommages dus aux aléas côtiers sur le littoral des Îles-de-la-Madeleine vise principalement à aider les décideurs à sélectionner les options les plus avantageuses, et ce, en comparant l'ensemble des coûts et avantages économiques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

La figure D 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 meilleure solution 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 D- Valeur actualisée nette de l'option la plus avantageuse par rapport à la non-intervention

LISTE DES ACRONYMES

ACA :	Analyse coûts-avantages
CC :	Changements climatiques
LDGIZC :	Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières
MAMOT :	Ministère des Affaires municipales et de l'Occupation du territoire
MAPAQ :	Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec
MCC :	Ministère de la Culture et des Communications
MDDELCC :	Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques
MPO :	Ministère des Pêches et Océans
MRC :	Municipalité régionale de comté
UNB :	Université du Nouveau-Brunswick
UPEI :	Université de l'Île-du-Prince-Édouard
UQAM :	Université du Québec à Montréal
UQAR :	Université du Québec à Rimouski
VAN :	Valeur actualisée nette