



$$VAN = \sum_{t=1}^T \frac{\text{avantages}_t}{(1+\rho)^t} - \sum_{t=1}^T \frac{\text{coûts}_t}{(1+\rho)^t}$$

# ANALYSE COÛTS-AVANTAGES DES OPTIONS D'ADAPTATION EN ZONE CÔTIÈRE À CARLETON-SUR-MER

Résumé exécutif  
Mars 2016



Ressources naturelles Canada / Natural Resources Canada

Canada

Fondsvert 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 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 ville de Carleton-sur-Mer et en particulier les membres du comité local d'orientation pour leur étroite collaboration. Un remerciement particulier à Danick Boulay, Samuel Landry et Karl Leblanc pour leur disponibilité et leur apport précieux au projet.

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), 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) et Paul Gingras (MRC La Mitis).

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

# **ANALYSE COÛTS-AVANTAGES DES OPTIONS D'ADAPTATION EN ZONE CÔTIÈRE À CARLETON-SUR-MER**

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

**Directrice de projet :** Manon Circé, Ouranos

**Équipe de réalisation :**

Laurent Da Silva, Ouranos  
Xavier Mercier, Ouranos  
Guillaume Duff, Ouranos  
François Morneau, Ouranos  
Claude Desjarlais, Ouranos  
Ursule Boyer-Villemare, Ouranos  
Sylvie Corbeil, AECOM  
Travis Logan, Ouranos

**Principaux collaborateurs :**

Pascal Bernatchez, UQAR  
Steeve Dugas, UQAR  
Ville de Carleton-sur-Mer  
Jean-Pierre Savard, Ouranos  
Philippe Roy, 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., Mercier, X., Duff, G., Boyer-Villemare, U., Corbeil, S., Desjarlais, C., Morneau F. (2016) *Analyse coûts-avantages des options d'adaptation en zone côtière à Carleton-sur-Mer*. Ouranos : Montréal. 169 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), celui-ci ayant développé un imposant bagage de connaissances en matière d'érosion et de submersion sur les côtes du Québec. Les objectifs de l'étude étaient d'évaluer les impacts économiques de l'érosion sur les régions maritimes du Québec dans un contexte de changement climatique et d'analyser les coûts et les avantages de différentes options d'adaptation à l'érosion et à la submersion côtières.

Dans le cadre de la présente étude, cinq sites font l'objet d'analyses coûts-avantages (ACA) : il s'agit de Carleton-sur-Mer, de Percé, des Îles-de-la-Madeleine, de Maria et de Kamouraska. Le présent rapport s'intéresse au littoral de la municipalité de Carleton-sur-Mer située dans la baie des Chaleurs.

Comme plusieurs municipalités côtières au Québec, Carleton-sur-Mer subit déjà d'importants impacts liés aux changements climatiques qui se traduisent par la remontée

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. 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.

## **APPROCHE MÉTHODOLOGIQUE**

Cette étude vise à déterminer, en utilisant l'analyse coûts-avantages, les options d'adaptation les plus avantageuses pour protéger la zone côtière de Carleton-sur-Mer 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 de l'UQAR.

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

L'étude présente une évaluation des impacts économiques, environnementaux et sociaux ainsi que des coûts des options d'adaptation. Ces derniers comprennent à la fois les coûts des

études préparatoires, les coûts de construction et d'entretien des différentes options. Quant aux avantages de l'adaptation, ils proviennent en majeure partie des coûts évités et des gains liés à l'usage du littoral.

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

## **ZONE D'ÉTUDE**

Sise dans la baie des Chaleurs, la ville de Carleton-sur-Mer couvre une superficie de 244 km<sup>2</sup> dans la MRC d'Avignon. La ville actuelle est issue de la fusion, en 2000, des municipalités de St-Omer et de Carleton et compte environ 4 000 habitants.

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 A.

## **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



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

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.

## 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 B.

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.



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



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.

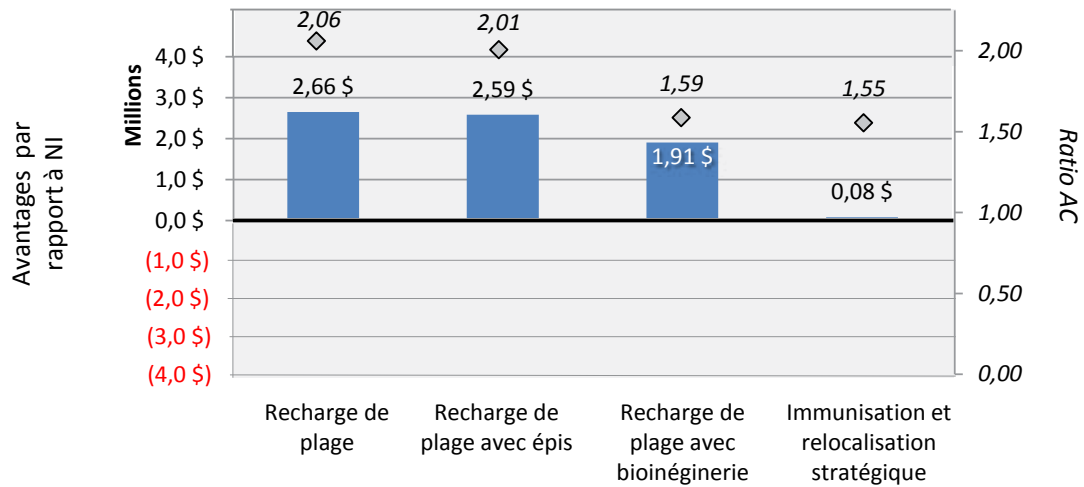
Le segment Banc St-Omer Centre, d'une longueur d'environ 0,5 km, est compris entre la rue Caissy et la rivière Stewart. Il est constitué presque entièrement de terrasses de plage dont près de la moitié sont en érosion. Bien qu'il y ait peu de bâtiments à cet endroit, la totalité de la côte est sujette 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.

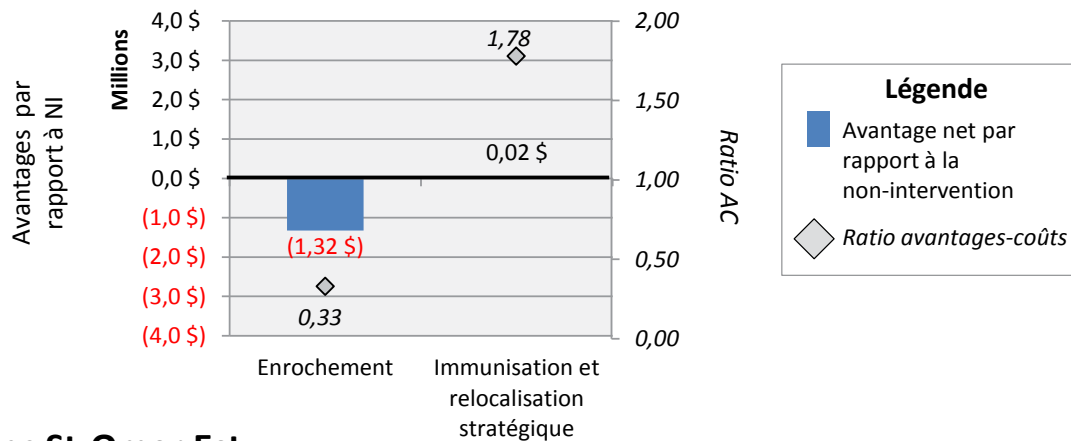
L'ACA indique que les dommages sur ce segment totaliseraient près de 160 000 \$ à un taux d'actualisation de 4 % sur 50 ans. L'érosion, qui affectera trois bâtiments, est responsable d'un peu plus de 90 % de ces dommages. La relocalisation stratégique est l'option d'adaptation la plus avantageuse dans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

La figure C 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

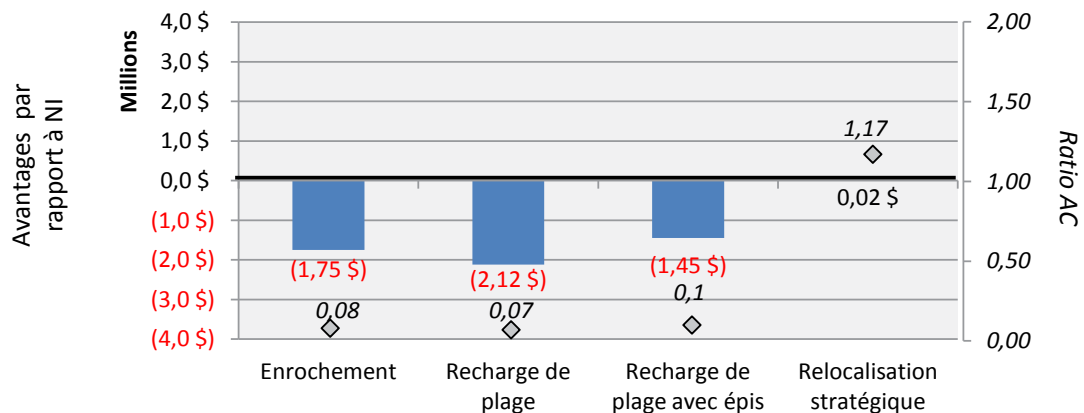


Figure C - Valeur actualisée nette et ratio avantages-coûts de chaque option d'adaptation étudiée par segment

## 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 D.



**Figure D** - 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.

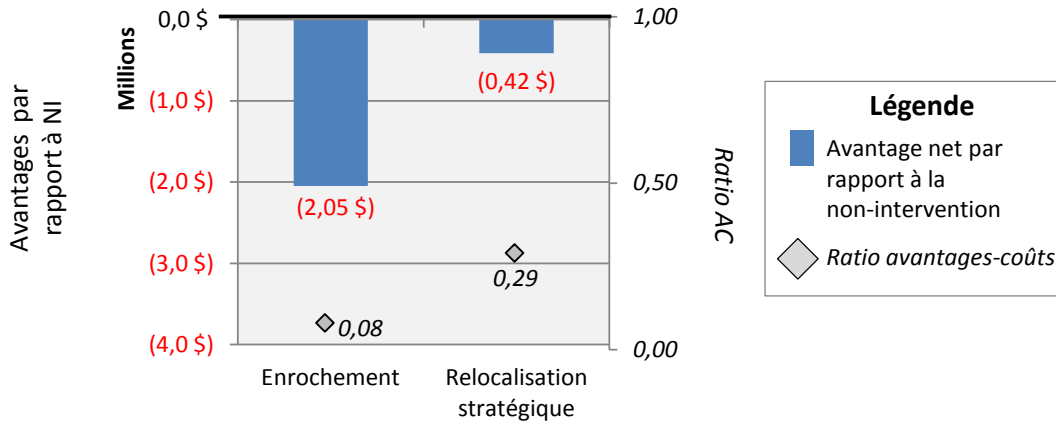
Selon les résultats de l'ACA, les dommages sur ce segment atteindraient près de 200 000 \$, dont 14 % seraient liés à la perte physique de terrains et 54 % seraient dus aux coûts de démolition de 3 résidences. Sur ce segment, l'option de non-intervention implique de protéger la route d'accès de la route 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 E 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

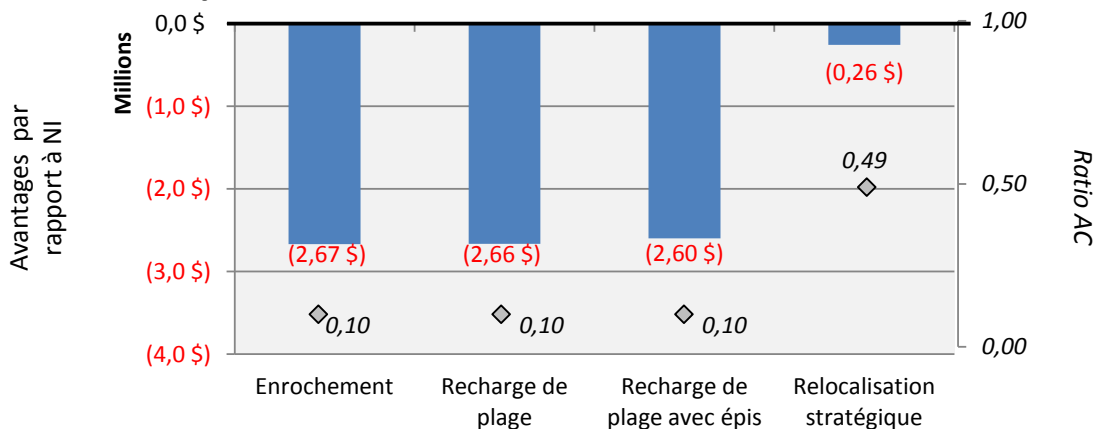


Figure E - Valeur actualisée nette par rapport à la non-intervention et ratio avantages-coûts de chaque option d'adaptation étudiée par segment

## 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 F présente les limites de chacun de ces segments.

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.



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

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

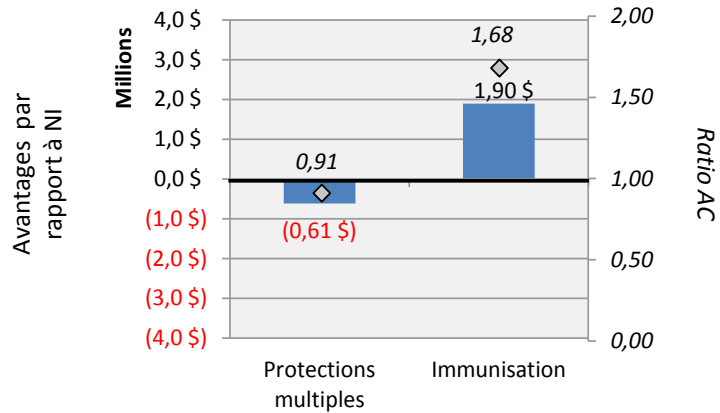
avec épis constitue l'option la plus avantageuse, puisqu'elle offre un avantage net d'un peu plus de 1,24 M\$.

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.

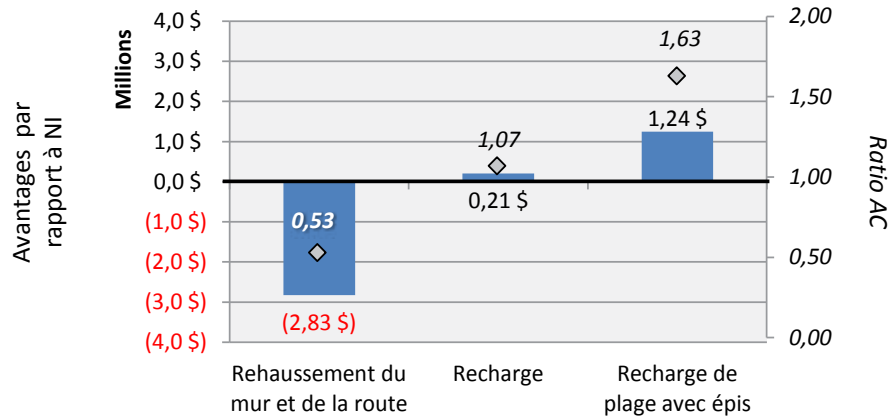
Sur l'horizon temporel d'étude, il est anticipé que l'érosion conduira à la perte d'une bande de terrain d'une largeur de 14 à 35 mètres, ce qui affectera une trentaine de résidences sises au sommet de ces falaises. Malgré ces pertes potentielles, les résultats de l'ACA indiquent que la non-intervention 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 G présente les résultats de l'ACA pour toutes les options d'adaptation étudiées pour le secteur Carleton Est.

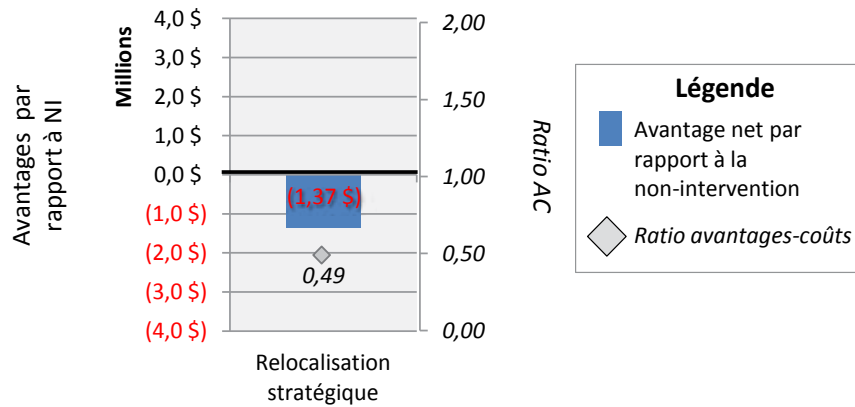
### Plage municipale



### Pédoncule



### Caps de Maria Ouest



**Figure G** - Valeur actualisée nette par rapport à la non-intervention et ratio avantages-coûts de chaque option d'adaptation étudiée par segment

## 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 H 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 meilleure solution du 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 H - 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