

Évaluation économique des impacts potentiels de l'érosion des côtes du Québec maritime dans un contexte de changements climatiques

Rapport de recherche remis à Ouranos

Sous la direction de
Pascal Bernatchez, Ph.D.

Mai 2015



ÉQUIPE DE RÉALISATION

Direction et recherche

Pascal Bernatchez, Ph.D. Géomorphologie côtière et télédétection
Responsable du projet
Professeur titulaire de la Chaire du Québec en géoscience côtière
Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières (LDGIZC)
Département de biologie, chimie et géographie
Université du Québec à Rimouski
Courriel : pascal_bernatchez@uqar.ca

Équipe de recherche

Steeve Dugas, B.Sc., Professionnel de recherche, LDGIZC, UQAR
Traitement et analyse des données, géomatique, rédaction
Christian Fraser, M.Sc., Professionnel de recherche, LDGIZC, UQAR
Analyse des données, rédaction
Laurent Da Silva, M. Sc., Économiste, Ouranos
Recherche, traitement et analyse économique et rédaction
Maude Corriveau, M.Sc., Professionnelle de recherche, LDGIZC, UQAR
Traitement et validation des données
Nicolas Marion, étudiant B.Sc., UQAR
Traitement de données (Déplacement des points du rôle d'évaluation)
Mia Charette, étudiante B.Sc., UQAR
Traitement de données (Déplacement des points du rôle d'évaluation et des routes)
Tessa Parisé, étudiante B.Sc., UQAR
Traitement de données (Déplacement des points du rôle d'évaluation)
Caroline Côté, étudiante DESS, UQAR
Traitement de données (Déplacement des points localisant les chemins de fer)

Collaborateurs

François Morneau, M. Sc., Coordonnateur scientifique, Ouranos
Manon Circé, M. A., Économiste principale, Ouranos
Xavier Mercier, M. Sc., Économiste, Ouranos
Claude Desjarlais, M. Sc., Économiste sénior, Consultant auprès d'Ouranos
Ursule Boyer-Villemaire, M. Sc., Océanographe, Consultante auprès d'Ouranos
Susan Drejza, M. Sc., Professionnelle de recherche, LDGIZC, UQAR

Référence complète

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

REMERCIEMENTS

La présente étude a été réalisée avec l'appui financier du ministère des Ressources naturelles Canada, du Fonds vert dans le cadre du Plan d'action 2013-2020 sur les changements climatiques et d'Ouranos. Nous tenons à remercier le ministère des Affaires municipales et de l'Occupation du territoire du Québec (MAMOT), les MRC et les municipalités pour les rôles d'évaluation foncière et les données cadastrales.



Ressources naturelles
Canada

Natural Resources
Canada

Canada



SYNTHÈSE

Cette étude constitue la première évaluation économique de l'impact potentiel de l'érosion côtière sur les infrastructures du Québec maritime dans un contexte de changements climatiques, si aucune nouvelle mesure d'adaptation n'est mise en place et que celles déjà en place ne sont pas entretenues. Tous les bâtiments, les routes et les chemins de fer ont été identifiés à partir d'une cartographie à haute résolution et une valeur d'exposition à l'érosion leur a été attribuée d'ici 2065. Le calcul d'exposition se base sur deux paramètres : 1) le taux probable de déplacement de la ligne de rivage ou du trait de côte appréhendé pour chaque unité géomorphologique homogène et 2) sur une marge de sécurité variant en fonction des caractéristiques de la côte.

L'évaluation économique a été effectuée en dollars constants de 2012 en se basant sur les rôles d'évaluation et les coûts de projets déjà réalisés. Ainsi, la valeur des bâtiments exposés a été estimée à partir de la valeur foncière ajustée pour une même année de référence, soit 2012. La valeur foncière tient compte du marché, mais sous-estime légèrement la valeur réelle. Dans le cas des routes et des chemins de fer, c'est la valeur de remplacement de ces infrastructures ainsi que des ouvrages de protection qui a été privilégiée. Ces estimations fournissent un ordre de grandeur des pertes potentielles et non une évaluation précise des sommes qui devront être investies au cours des prochains 50 ans pour maintenir ou remplacer les infrastructures à risque.

Le territoire à l'étude couvre 3 220 km de côte et comprend 16 MRC réparties entre le Bas-Saint-Laurent, la Côte-Nord, la Gaspésie et les Îles-de-la-Madeleine. Pour l'ensemble de ce territoire, les résultats de l'étude indiquent que 5 426 bâtiments seront exposés d'ici 2065 si aucune mesure d'adaptation n'est mise en place et que les ouvrages existants ne sont pas entretenus, en conservant une marge de sécurité d'au moins 5 mètres par rapport au littoral côtier. La valeur de ces bâtiments, en dollars de 2012, s'élève à 732 M\$. On compte aussi 294 km de routes et 26 km de chemins de fer exposés d'ici 2065, représentant une valeur de 776 M\$. La perte économique potentielle pour la période 2015-2064, soit les 50 prochaines années, est donc estimée à 1,5 milliard de dollars.

Au niveau des bâtiments exposés à l'érosion, ce sont principalement les bâtiments résidentiels qui seront affectés, soit 83% de la valeur de tous les bâtiments exposés d'ici 2065. C'est dans la région administrative du Bas-Saint-Laurent que le nombre (41 %) et la valeur (53 %) des bâtiments potentiellement exposés d'ici 2065 sont les plus élevés du Québec maritime. En nombre de bâtiments, la MRC la plus affectée est nettement celle de Manicouagan sur la Côte-Nord, alors que la MRC de Rimouski-Neigette présente la valeur totale la plus élevée.

Le portrait des infrastructures de transport menacées par l'érosion indique que les routes municipales et locales exposées dominent avec 154 km, suivie de près par les routes nationales avec 138 km. Cependant, le coût estimé pour maintenir ou remplacer les routes nationales exposées est nettement supérieur, soit 60 % de la valeur totale des infrastructures de transport exposées à l'érosion côtière d'ici 2065. C'est de loin dans la région administrative de la Gaspésie - Îles-de-la-Madeleine que la longueur (54 % des côtes) et la valeur (79 % du total) des infrastructures de transport potentiellement exposées d'ici 2065 sont les plus élevés du Québec maritime, plus précisément dans la MRC de La Haute-Gaspésie.

Enfin, les résultats de cette étude soulignent l'importance d'une gestion préventive des risques littoraux qui permettrait de limiter considérablement les coûts associés à l'érosion côtière.

TABLE DES MATIÈRES

Équipe de réalisation	ii
Remerciements	iii
Synthèse	iv
Table des matières	v
Liste des figures	vi
Liste des tableaux	vii
Liste des annexes	vii
1 Introduction	1
1.1 Problématique	1
1.2 Mandat et objectifs	1
1.3 Territoire d'étude	2
2. Méthodologie	3
2.1 Scénarios d'évolution future de la côte	3
2.1.1 Conditions climatiques et océanographiques récentes	3
2.1.2 Patrons d'évolution côtière et délimitation des unités géomorphologiques homogènes	4
2.1.3 Choix du taux de déplacement probable	5
2.1.4 Ouvrages de protection côtière	6
2.1.5 Côtes en accumulation	9
2.2 Cartographie des éléments exposés	9
2.2.1 Traitement des données ponctuelles : bâtiments et terrains	9
2.2.2 Traitement des données linéaires : routes et chemins de fer	10
2.3 Calcul de l'exposition	11
2.4 Marge de sécurité	12
2.4.1 Marge proposée pour les bâtiments	12
2.4.2 Marge proposée pour les routes et les chemins de fer	12
2.5 Évaluation économique des éléments exposés	13
2.5.1 Principes de l'évaluation économique	13
2.5.2 Évaluation foncière des bâtiments	13
2.5.3 Valeur de remplacement ou de déplacement des routes et des chemins de fer	14
2.5.4 Évaluation foncière des terrains bâtis et non bâtis	19
3. Portrait de l'exposition des bâtiments, des routes et des chemins de fer au Québec maritime	20

3.1 Portrait général	20
3.2 Bâtiments	22
3.3 Routes et chemins de fer	31
3.4 Discussion sur l'exposition des routes	37
5. Conclusion	39
Références	41

LISTE DES FIGURES

<i>Figure 1. Localisation du territoire d'étude</i>	<i>2</i>
<i>Figure 2. Équation pour calculer l'exposition des bâtiments, de terrains et des infrastructures de transport à l'érosion côtière (modifiée de Fraser et al., 2014a, b, c; Drejza et al., 2014a, b)</i>	<i>11</i>
<i>Figure 3. Répartition spatiale des coûts liés à l'exposition des</i>	<i>21</i>
<i>Figure 4. Nombre de bâtiments</i>	<i>22</i>
<i>Figure 5. Valeur des bâtiments (terrains inclus)</i>	<i>22</i>
<i>Figure 6. Nombre de bâtiments</i>	<i>23</i>
<i>Figure 7. Valeur des bâtiments (terrains inclus)</i>	<i>23</i>
<i>Figure 8. Nombre de bâtiments exposés à l'érosion côtière d'ici 2065</i>	<i>24</i>
<i>Figure 9. Valeur des bâtiments exposés à l'érosion côtière d'ici 2065</i>	<i>24</i>
<i>Figure 10. Nombre de bâtiments (terrains inclus) exposés</i>	<i>25</i>
<i>Figure 11. Valeur des bâtiments (terrains inclus) exposés</i>	<i>25</i>
<i>Figure 12. Nombre et valeur des bâtiments (terrains inclus)</i>	<i>28</i>
<i>Figure 13. Nombre de bâtiments</i>	<i>29</i>
<i>Figure 14. Valeur des bâtiments (terrains inclus)</i>	<i>29</i>
<i>Figure 15. Valeur des bâtiments (terrains inclus) exposés à l'érosion côtière en incluant la marge de sécurité d'ici 2065 pour le Québec maritime</i>	<i>30</i>
<i>Figure 16. Longueur des routes et de chemins de fer</i>	<i>31</i>
<i>Figure 17. Coût estimé des routes et des chemins de fer</i>	<i>31</i>
<i>Figure 18. Longueur des routes et des chemins de fer exposés à l'érosion côtière d'ici 2065 pour chaque région du Québec maritime, avec et sans marge de sécurité</i>	<i>32</i>
<i>Figure 19. Coût estimé des routes et des chemins de fer exposés à l'érosion côtière d'ici 2065 pour chaque région du Québec maritime, avec et sans marge de sécurité</i>	<i>32</i>
<i>Figure 20. Longueur et coût estimé des routes et des chemins de fer exposés à l'érosion côtière d'ici 2065 pour chaque région du Québec maritime, avec et sans marge de sécurité</i>	<i>34</i>
<i>Figure 21. Longueur des routes et des chemins de fer</i>	<i>35</i>
<i>Figure 22. Coût estimé des routes et des chemins de fer</i>	<i>35</i>
<i>Figure 23. Portrait de l'exposition des routes et des chemins de fer en incluant la marge de sécurité d'ici 2065 pour chaque MRC du Québec maritime</i>	<i>36</i>

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Données disponibles pour établir les scénarios d'évolution côtière, Côte-Nord*	7
Tableau 2. Données disponibles pour établir les scénarios d'évolution côtière, Bas-Saint-Laurent, Gaspésie et Îles-de-la-Madeleine*	8
Tableau 3. Classes de bâtiments	10
Tableau 4. Classes d'infrastructures linéaires	10
Tableau 5. Largeur des marges de sécurité	12
Tableau 6. Coût de remplacement moyen en dollar de 2012 (CAN) au mètre par type d'infrastructure et par municipalité	17
Tableau 7. Exemples de coûts unitaires de travaux d'infrastructures linéaires et d'ouvrages de protection côtière	18
Tableau 8. Portrait global de l'exposition des bâtiments, des terrains non bâtis et des infrastructures de transport au Québec maritime d'ici 2065 avec et sans marge de sécurité	21
Tableau 9. Comparaison des résultats de la présente étude sur l'exposition des routes nationales avec l'étude de Drejza et al. (2014)	37

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1. Tableau de la valeur des pertes totales actualisées de 2015 à 2065	46
Annexe 2. Portrait temporel des types de bâtiments (terrain inclus) exposés à l'érosion côtière d'ici 2065 par MRC, avec et sans marge de sécurité	47
Annexe 3. Portrait des infrastructures de transport exposées à l'érosion côtière d'ici 2065 par MRC, avec et sans marge de sécurité	53

1 INTRODUCTION

1.1 Problématique

La littérature scientifique récente confirme l'importance de la problématique de l'érosion côtière et de la vulnérabilité des collectivités côtières liée aux changements climatiques à l'échelle de la planète (GIEC, 2013; Dalrymple, 2012; USGS, 2012; Moser *et al.*, 2012; Marchand, 2010; Allison *et al.*, 2009; Harvey et Nicholls, 2008; Lozano *et al.*, 2004). Les côtes du Québec n'échappent pas à cette tendance (Drejza *et al.*, 2014a, b; Bernatchez et Fraser, 2012; Bernatchez *et al.*, 2008; Bernatchez et Dubois, 2004). Au Québec, les communautés côtières et les différents niveaux de gouvernement ont toujours été en réaction plutôt qu'en prévention face à cet aléa. Le manque de connaissances sur les aléas côtiers, ainsi que le manque d'outils pour l'aménagement, la prévention et le choix de stratégies d'adaptation sont au premier plan des raisons évoquées par les communautés côtières et les gestionnaires du territoire pour expliquer cette attitude (Bernatchez *et al.*, 2008; Drejza *et al.*, 2011; Friesinger et Bernatchez, 2010). En 2006, le gouvernement du Québec s'est doté du *Cadre de prévention des principaux risques naturels* qui a permis l'amélioration des connaissances sur les risques et l'analyse et la mise en œuvre de solutions (Gagné, 2013).

Au cours des dernières années, plusieurs régions du Québec ont fait l'objet de relevés et d'études afin d'évaluer l'évolution historique de la ligne de rivage et de projeter son évolution future. Notamment, sur la Côte-Nord, ces données ont servi à déterminer un premier zonage du risque d'érosion du littoral (Dubois *et al.*, 2006; Bernatchez *et al.*, 2012b, c, d, e). Dans la baie des Chaleurs et aux Îles-de-la-Madeleine, les données recueillies ont également servi à l'étude de l'exposition à l'érosion côtière des bâtiments et des infrastructures et au développement d'un outil de planification de l'aménagement côtier (Fraser *et al.*, 2014a, b, c). Enfin, l'amélioration des connaissances sur les aléas côtiers a permis d'évaluer l'exposition des routes nationales à l'érosion et à la submersion côtière dans l'Est du Québec (Drejza *et al.*, 2014a, b).

Cependant, jusqu'à maintenant, il n'existait pas de portrait global de l'exposition des bâtiments et des infrastructures de transport à l'érosion côtière pour l'ensemble du Québec maritime. Par conséquent, aucune évaluation du coût potentiellement engendré par l'érosion des berges n'avait été réalisée à ce jour. Or, dans la plupart des communautés côtières, des bâtiments et des infrastructures routières et ferroviaires sont déjà affectés par l'érosion côtière. Ces informations s'avèrent fondamentales pour la prise de décision en matière de gestion des enjeux côtiers. Cette étude propose donc un portrait global de la situation de l'érosion côtière et de ses enjeux avec une projection à court, moyen et long terme.

1.2 Mandat et objectifs

Le Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières (LDGIZC) de l'Université du Québec à Rimouski (UQAR), en collaboration avec l'équipe d'Ouranos, a comme mandat de réaliser l'évaluation économique des pertes potentielles en bâtiments, terrains non bâtis et infrastructures de transport (routes et chemins de fer) liées à l'érosion du littoral du Québec maritime, si aucune nouvelle mesure d'adaptation n'est mise en place et que les mesures existantes ne sont pas maintenues. Ce mandat s'inscrit dans un projet d'étude portant sur

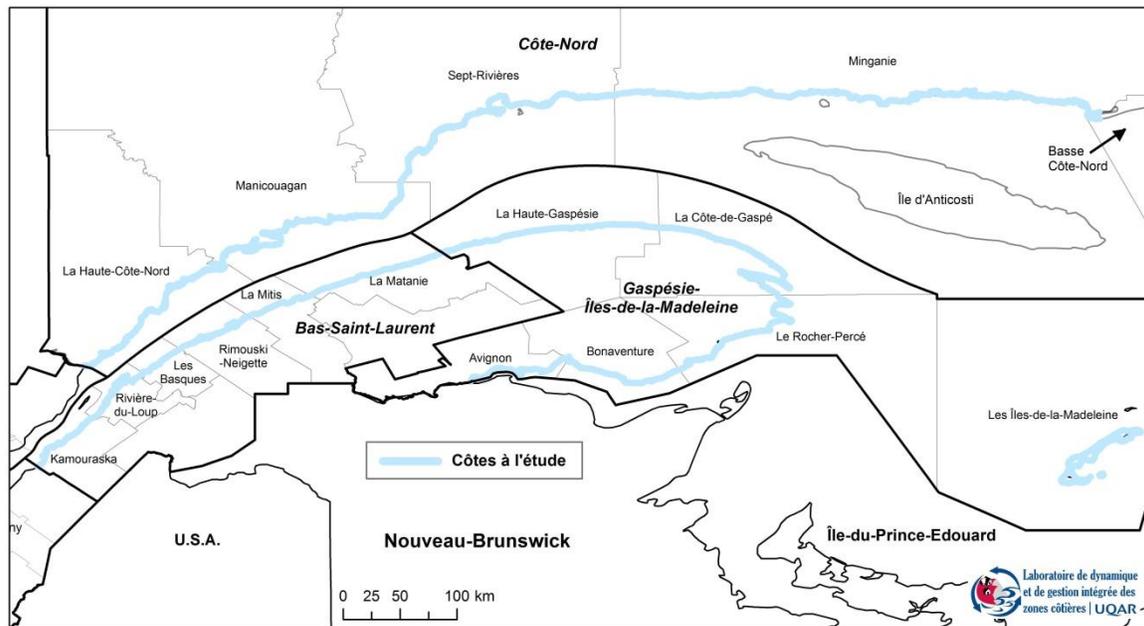
l'évaluation économique des répercussions des changements climatiques et l'analyse coûts-avantages d'options d'adaptation aux changements climatiques en zone côtière au Québec et dans les provinces de l'Atlantique.

Les objectifs spécifiques du mandat du LDGIZC sont :

- déterminer les scénarios les plus probables d'évolution côtière pour l'horizon 2065 sur la base des connaissances actuelles en fonction de la dynamique côtière;
- déterminer l'exposition à l'érosion côtière des bâtiments, des terrains non bâtis et des infrastructures de transport (routes et chemins de fer) selon trois horizons (2025, 2045 et 2065) avec et sans marge de sécurité;
- estimer la valeur économique des pertes anticipées en collaboration avec Ouranos.

1.3 Territoire d'étude

Le territoire d'étude comprend les régions administratives de la Côte-Nord (excluant l'île d'Anticosti), du Bas-Saint-Laurent et de la Gaspésie/Îles-de-la-Madeleine. Ces régions du Québec maritime sont les mieux documentées en terme d'évolution côtière historique et récente (tableaux 1 et 2). Au total, ce territoire s'étend sur plus de 3 220 km de côtes et couvre 16 MRC (figure 1).



Cartographie réalisée par le Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières, UQAR, Janvier 2015. Fond de carte de la BNDT au 1:250 000

Figure 1. Localisation du territoire d'étude

2. MÉTHODOLOGIE

2.1 Scénarios d'évolution future de la côte

Pour répondre au premier objectif de déterminer les scénarios probables d'évolution de la côte, la méthode est basée sur l'analyse des conditions climatiques et océanographiques récentes, une division de la côte en unités géomorphologiques homogènes sur la base des patrons d'évolution côtière, pour ensuite sélectionner des taux de déplacement probables pour chacune de ces unités. Des précisions quant aux structures de protection et aux côtes en accumulation sont mentionnées.

2.1.1 Conditions climatiques et océanographiques récentes

Depuis la fin des années 80, un réchauffement important des températures moyennes annuelles, mais surtout des températures hivernales a été observé (Bernatchez *et al.*, 2008). Par exemple, la hausse de la température hivernale pour la période de 1987 à 2006 a été de 2,63°C à Sept-Îles, 2,71°C à Gaspé et de 3,34°C aux Îles-de-la-Madeleine (Bernatchez *et al.*, 2008). Il s'agit d'une hausse des températures semblable à celle qui est attendue au cours des prochaines décennies. Pour cette raison, on estime que la vitesse de déplacement du littoral de la période couvrant la fin des années 80 à aujourd'hui est représentative de l'évolution future des littoraux, du moins pour les prochaines décennies.

Ce réchauffement des températures entraîne différentes conséquences sur la dynamique côtière, dont l'accélération des processus cryogéniques, la réduction du couvert de glace, la hausse des dommages associés aux tempêtes et la hausse du niveau marin relatif. En premier lieu, il favorise l'érosion des falaises de sédiments fins par les processus cryogéniques (Bernatchez et Dubois, 2008; Bernatchez *et al.*, 2011). La modélisation de l'onde de gel et des processus d'érosion qui en découlent montre que les valeurs élevées de recul mesurées au cours de la période récente devraient se maintenir dans le futur, sans toutefois s'accélérer (Bernatchez *et al.*, 2014).

Une autre conséquence importante du réchauffement climatique est la réduction du couvert de glace dans l'estuaire maritime et le golfe du Saint-Laurent durant la période hivernale (Senneville *et al.*, 2014). Déjà, à la lumière du suivi effectué par le Service canadien des glaces (SCG), on observe que le pourcentage de couverture de glace pour le total cumulé est passé de 13,9 % durant la période de 1968-1998 à 8,5 % durant la période de 1998-2013 (Service canadien des glaces, 2014). Les prévisions obtenues pour certains sites d'étude de la Côte-Nord et des Îles-de-la-Madeleine indiquent que le nombre de jours où le pied de glace sera complet et qu'il protégera la côte de l'action des vagues diminuera de l'ordre de 38 à 53 jours, si l'on compare la période de 1981-2010 à la période projetée de 2041-2070 (Senneville *et al.*, 2014). D'ailleurs, tout indique que cette tendance est déjà en cours : pour la période de 2008-2012, le nombre de jours où le pied de glace a été complet est même parfois inférieur à ce qui est prévu pour l'horizon 2055.

Cette diminution de la glace côtière augmente le temps d'exposition de la côte aux agents hydrodynamiques. Par conséquent, la côte est susceptible d'être exposée à un plus grand nombre d'événements de tempête. Toutefois, les conséquences directes de la réduction de la couverture de glace sur la vitesse de recul du littoral ont rarement été quantifiées jusqu'à

maintenant. Les seuls résultats dont nous disposons indiquent qu'aux Îles-de-la-Madeleine, les périodes de faible englacement correspondent à des périodes marquées par la réduction des largeurs de plage et subséquemment au recul du trait de côte (Bernatchez *et al.*, 2008). La réduction du couvert de glace pourrait donc être responsable d'une part non négligeable de la croissance récente du déficit sédimentaire des plages (Bernatchez et Dubois, 2004). À son tour, le déficit sédimentaire des plages pourrait expliquer la recrudescence importante du nombre d'événements de tempête ayant provoqué des dommages à la côte entre 2000 et 2010 (Bernatchez *et al.*, 2012a).

Enfin, la période de 1987 à aujourd'hui est caractérisée par une accélération importante de la hausse relative du niveau marin dans le nord-est des États-Unis et dans l'est du Canada (Boon, 2012). Cette accélération est aussi mesurée au Québec, dans le golfe du Saint-Laurent (Bernatchez *et al.*, 2013). Ce n'est donc pas un phénomène local puisqu'il s'inscrit dans la tendance à la hausse du niveau marin mondial (Vermeer et Rahmstorf, 2009). La tendance du niveau marin mondial est d'ailleurs passée de $1,7 \pm 0,2$ mm/an entre 1900 et 2009 (Church et White, 2011) à $3,2 \pm 0,5$ mm/an entre 1993 et 2011 (Rahmstorf *et al.*, 2012). Par ailleurs, la région du golfe du Saint-Laurent fait partie des régions du monde où la tendance à la hausse du niveau marin a été la plus élevée (Slangen *et al.*, 2014).

2.1.2 Patrons d'évolution côtière et délimitation des unités géomorphologiques homogènes

L'application des projections d'évolution côtière implique au préalable une très bonne connaissance de la dynamique hydrosédimentaire de la côte à l'échelle locale. Pour obtenir des projections précises, elles doivent être calculées en fonction d'unités géomorphologiques homogènes qui reflètent des caractéristiques physiques similaires. Ces unités s'apparentent aux *cliff behavior units* de Lee et Clark (2002), qui représentent des sections de falaise comprenant une géologie et une hydrodynamique similaire. Les caractéristiques de l'unité sont définies par le type de côte, la composition lithologique et stratigraphique de la côte, les vitesses de déplacement du littoral et le patron d'évolution côtière. L'identification des unités géomorphologiques homogènes doit aussi s'effectuer en tenant compte des limites des cellules hydrosédimentaires et de la direction du transport sédimentaire par la dérive littorale. Le littoral du Québec maritime a donc été segmenté en unités géomorphologiques homogènes sur lesquelles sont appliquées les projections d'évolution côtière pour différents horizons de temps jusqu'en 2065.

L'analyse de l'évolution du littoral à haute résolution temporelle et spatiale effectuée au cours des dernières années par le LDGIZC et la Chaire de recherche en géoscience côtière de l'UQAR a permis de constater qu'il existe différents patrons d'évolution côtière le long des littoraux du Québec maritime, notamment en raison de la diversité des types de côte et de la grande variabilité lithostratigraphique des côtes. Cette forte géodiversité des systèmes côtiers du Québec maritime entraîne par conséquent un très grand nombre de processus d'érosion, soit plus d'une vingtaine (Bernatchez et Dubois, 2004). Si les modes de recul des falaises ont bien été quantifiés jusqu'à maintenant (Bernatchez, 2003; Bernatchez et Dubois, 2008; Corriveau, 2010; Boucher-Brossard, 2013; Bernatchez *et al.*, 2011b; Bernatchez *et al.*, 2014), il en est autrement pour les côtes basses sablonneuses (terrasse de plage, flèche littorale, dune, tombolo, cordon littoral).

Les côtes basses sablonneuses constituent génétiquement des formes d'accumulation littorale. Leur évolution s'effectue par une succession d'avancées et de reculs dans le temps et les reculs sont souvent associés aux événements de tempête (Bernatchez et Dubois, 2004). Le bilan d'évolution pour une période donnée peut donc être négatif (érosion), positif (accumulation et progradation) ou stable. Même si la mesure de la ligne de rivage est stable pour une période donnée, cela ne veut pas nécessairement dire que la ligne de rivage n'est pas dynamique et qu'elle n'a pas bougé à l'intérieur de cet intervalle de temps. Les analyses du rythme d'évolution historique de la ligne de rivage ont permis de constater différents patrons d'évolution. Le patron d'évolution peut être cyclique, c'est-à-dire qu'une alternance de périodes de recul et d'avancée maintient un bilan sédimentaire plutôt stable, voire même positif dans certains cas. C'est notamment le cas dans certains secteurs de Natashquan (Bernatchez *et al.*, 2012b), de Sept-Îles (Bernatchez *et al.*, 2012c) et des Îles-de-la-Madeleine (Bernatchez *et al.*, 2010). Pour d'autres secteurs où la dérive littorale est importante et pratiquement unidirectionnelle, le déplacement de la ligne de rivage s'effectue en dents de scie, c'est-à-dire que les pointes de recul et d'avancée se déplacent dans le temps dans le sens du transit sédimentaire (Bernatchez *et al.*, 2008). D'autres secteurs enregistrent de forts reculs lors de tempêtes qui sont complètement compensés par des accumulations après seulement quelques années, de sorte que le bilan reste plutôt stable dans le temps. C'est particulièrement le cas de plusieurs secteurs de la rive sud du Saint-Laurent. L'analyse détaillée de chaque système côtier est ainsi importante afin de déterminer des unités géomorphologiques homogènes conformes au patron d'évolution côtière à la dynamique du milieu.

2.1.3 Choix du taux de déplacement probable

Pour chacune des unités géomorphologiques homogènes, le choix du taux de déplacement le plus probable doit être effectué en fonction des conditions climatiques et océanographiques projetées. Au Québec maritime, plusieurs études ont été réalisées depuis les années 2000 et ont permis de calculer un taux de déplacement probable de la ligne de rivage ou du trait de côte pour une bonne partie du territoire (Dubois *et al.*, 2006; Bernatchez *et al.* 2008, Bernatchez *et al.*, 2010; Bernatchez *et al.*, 2012b, c, d, e; Bernatchez *et al.*, 2013; Drejza *et al.*, 2014a, b; Fraser *et al.*, 2014a, b, c). Chaque taux a été choisi en fonction de l'état des connaissances sur la rapidité et les modes d'évolution dans chaque secteur. Les méthodes de calcul diffèrent donc d'une région à l'autre puisqu'elles ont évolué avec l'avancement des connaissances scientifiques. De plus, les données sur le rythme d'évolution côtière ne sont pas disponibles pour l'ensemble des côtes du Québec maritime. La combinaison de différentes sources d'informations fut ainsi nécessaire afin d'attribuer aux unités géomorphologiques homogènes un taux de déplacement le plus probable d'ici 2065 (tableau 1 et 2). Le choix de la source de données utilisée pour évaluer les pertes économiques futures a été fait selon l'ordre de priorité suivant :

- 1- Présence de données d'évolution côtière récente (≈1990 à aujourd'hui) (15 % des côtes traitées);
- 2- Présence de données issues du réseau de suivi de l'érosion côtière du LDGIZC (2000-2012) lorsque la densité des bornes est importante à l'intérieur d'un même segment homogène (20 % des côtes traitées);
- 3- Présence de données d'évolution côtière historique (42 % des côtes traitées);
- 4- Utilisation d'une moyenne par type de côte pour une région homogène (ex. Baie des Chaleurs, Côte-Nord) des mesures de stations de suivi, entre 2000 et 2012 (24 % des côtes traitées).

La diversité des sources de données n'a pas permis de distinguer la part des changements climatiques pour chaque taux de recul. Cependant, sur la base des connaissances acquises (section 2.1.1), il est justifié de croire que les valeurs de déplacement du littoral mesurées au cours de la période récente sont en bonne partie le résultat des changements climatiques et qu'il est probable que ces valeurs se maintiennent d'ici 2065. La période récente a ainsi été sélectionnée d'emblée dans au moins 58% des côtes (cas numéros 1, 2 et 4). Pour le cas numéro 3 où les données historiques étaient disponibles, c'est principalement la période récente qui a été sélectionnée, mais une période plus ancienne a aussi pu être priorisée en fonction du patron d'évolution côtière qui représenterait le mieux les conditions attendues avec les changements climatiques (souvent la période où les taux étaient les plus élevés). Nous assumons ainsi que les scénarios probables tiennent tous compte des perturbations dues aux changements climatiques.

Un taux probable a été déterminé pour 65 % des côtes à l'étude (2 096 km). Les taux probables anticipés pour ces côtes permettront de projeter l'évolution future de chaque unité géomorphologique homogène en 2025, 2045 et 2065, et ainsi d'identifier les infrastructures exposées. Les autres 35 % (1 123 km) n'ont aucun taux de recul ni de marge de sécurité. Il s'agit des côtes granitiques de la Côte-Nord et des zones portuaires qui sont considérées comme stables.

2.1.4 Ouvrages de protection côtière

Le taux probable est basé sur l'évolution historique de chaque unité géomorphologique homogène comprenant ou non des ouvrages de protection. Ainsi, lorsque des ouvrages présents depuis quelques décennies ont permis de stabiliser le trait de côte, le taux probable peut être nul ou très faible. Dans le cas où un ouvrage est récent et que les mesures d'évolution historique ont permis d'enregistrer des reculs, un taux de recul probable sera projeté même si un ouvrage de protection est actuellement en place. En effet, l'hypothèse de travail est qu'aucune nouvelle mesure d'adaptation n'est mise en place et que les mesures existantes ne sont pas maintenues. Il est ainsi possible que des bâtiments ou des infrastructures situés dans une zone avec ouvrage de protection soient considérés comme exposés à court, moyen ou long terme. La date réelle d'exposition dépendra de la qualité de conception et de l'entretien de l'ouvrage. Dans le cas des infrastructures de transport, on assume que les ressources nécessaires seront disponibles pour maintenir le service, peu importe que la stratégie optimale soit le renforcement de la protection ou le déplacement de l'infrastructure.

Ces choix méthodologiques ont été faits parce qu'il n'est pas possible de connaître hors de tout doute le degré d'entretien des ouvrages existants. De plus, tel qu'observé lors de la tempête du 6 décembre 2010, même des ouvrages de protection récents et en bon état peuvent être complètement endommagés et des reculs de plusieurs mètres peuvent être mesurés (Quintin *et al.*, 2013). D'ailleurs, lors de cette tempête, le recul derrière les ouvrages de protection a été similaire et parfois supérieur à celui observé dans les secteurs sans ouvrage de protection (Quintin *et al.*, 2013). Ces ouvrages peuvent être réparés ou reconstruits ou encore abandonnés, laissant la côte évoluer naturellement. Enfin, le choix de considérer certaines infrastructures potentiellement exposées, même si elles sont présentement bordées d'un ouvrage de protection, permet de mettre en lumière l'importance d'entretenir cet ouvrage et peut aussi aider à orienter les gestionnaires dans la planification de l'aménagement du territoire.

Tableau 1. Données disponibles pour établir les scénarios d'évolution côtière, Côte-Nord*

Lieux	Scénario probable	Période (méthode)	Références
CÔTE-NORD			
Tadoussac à la baie des Îlets-Jérémie	Taux moyen d'érosion maximal	1931 à 1996 (photos) ou 2000-2005 (bornes)	Dubois <i>et al.</i> , 2006
De la baie des Îlets Jérémie à Papinachois (Innus)	S1 (taux d'évolution historique) ou S2 (moyenne des taux d'évolution mesurés sur une période variant entre 10 et 15 ans).	1950 à 1996 ou 2006 (photos)	Bernatchez <i>et al.</i> 2012b
De Papinachois à la rivière Ragueneau	Taux moyen d'érosion maximal	1931 à 1996 (photos) ou 2000-2008 (bornes)	Dubois <i>et al.</i> , 2006
De la rivière Ragueneau à Chute-aux-Outardes	S2 (moyenne des taux de recul de la période la plus intense)	2001-2008 (photos) ou 2000-2008 (bornes)	Documentation interne (LDGIZC)
Estuaire de la rivière aux Outardes (Les Buissons)	Taux de déplacement moyen des bornes du secteur ou moyenne régionale des bornes par type de côte de la région (2000-2012)	2000-2012 (bornes)	Documentation interne (LDGIZC) Données modifiées de Bernatchez, 2003 et de Dubois <i>et al.</i> , 2006
De la pointe du Bout à Baie-Saint-Ludger (Pointe-aux-Outardes)	S2 (moyenne des taux de recul de la période la plus intense)	1931 à 2008 (photos)	Documentation interne (LDGIZC) Données modifiées de Bernatchez, 2003
De Baie-Saint-Ludger à la pointe Label (Pointe-Label)	S2 (moyenne des taux de recul de la période la plus intense)	1931 à 2007 (photos)	Documentation interne (LDGIZC) Données modifiées de Bernatchez, 2003
De Baie-Comeau à Rivière-Brochu	Taux moyen d'érosion maximal	1931 à 1996 (photos) ou 2000-2008 (bornes)	Documentation interne (LDGIZC) Données modifiées de Dubois <i>et al.</i> , 2006
Rivière Brochu	S1 (taux d'évolution historique) ou S2 (moyenne des taux d'évolution mesurés sur une période variant entre 3 et 14 ans).	1931 à 2005 (photos)	Bernatchez <i>et al.</i> 2012c
Gallix et Ste-Marguerite	S1 (taux d'évolution historique) ou S2 (moyenne des taux de recul de la période la plus intense)	1931-2006 (photos)	Bernatchez <i>et al.</i> 2008
De Val-Marguerite à la pointe du Poste	Taux moyen d'érosion maximal	1931 à 1996 (photos) ou 2000-2005 (bornes)	Dubois <i>et al.</i> , 2006
De la pointe du Poste à la rivière Moisie	S1 (taux d'évolution historique) ou S2 (moyenne des taux d'évolution mesurés sur une période variant entre 3 et 14 ans).	1931 à 2005 (ou 2006 pour Mani-Utenam) (photos)	Bernatchez <i>et al.</i> 2012c
De la rivière Moisie à la rivière Matamek	Taux moyen d'érosion maximal	1931 à 1996 (photos) ou 2000-2005 (bornes)	Dubois <i>et al.</i> , 2006
De la rivière Matamek à Rivière-au-Bouleau	S2 (moyenne des taux de recul de la période la plus intense)	1975-76 à 2005 (photos)	Documentation interne (LDGIZC) modifiées de Dubois <i>et al.</i> , 2006
Rivière-au-Tonnerre	S2 (moyenne des taux de recul de la période la plus intense)	1975-1976 ou 1987-1989 à 2005 (photos) ou 2000-2008 (bornes)	Documentation interne (LDGIZC) Données modifiées de Dubois <i>et al.</i> , 2006
Rivière-Saint-Jean	S2 (moyenne des taux de recul de la période la plus intense)	1975-1976 ou 1989 à 2005 (photos) ou 2000-2008 (bornes)	Documentation interne (LDGIZC) Données modifiées de Dubois <i>et al.</i> , 2006
De la Rivière Saint-Jean à la rivière Romaine	S1 (taux d'évolution historique) ou S2 (moyenne des taux d'évolution mesurés sur une période variant entre 6 et 19 ans).	1948 à 2005 (photos)	Bernatchez <i>et al.</i> 2012e
De la rivière Romaine au village de Havre-St-Pierre	S2 (moyenne des taux de recul de la période la plus intense)	1989 à 2005 (photos) ou 2000-2008 (bornes)	Documentation interne (LDGIZC) modifiées de Dubois <i>et al.</i> , 2006
Village de Havre-St-Pierre	S2 (moyenne des taux de recul de la période la plus intense)	1933-2005 (photos) ou 2000-2008 (bornes)	Documentation interne (LDGIZC) Données modifiées de Dubois <i>et al.</i> , 2006
Est du village de Havre-St-Pierre à la Baie-Nickerson	S2 (moyenne des taux de recul de la période la plus intense)	1933-2005 (photos) ou 2000-2008 (bornes)	Documentation interne (LDGIZC) Données modifiées de Dubois <i>et al.</i> , 2006
Baie Nickerson à pointe Pashashibou (Aguanish)	Taux de déplacement moyen régional des bornes par type de côte (2000-2012)	2000-2012 (bornes)	Documentation interne (LDGIZC)
Pointe Pashashibou à la petite rivière Natashquan	S2 (moyenne des taux de recul de la période la plus intense)	1933-2005 (photos) ou 2000-2008 (bornes)	Documentation interne (LDGIZC) Données modifiées de Dubois <i>et al.</i> , 2006
Petite rivière Natashquan à la pointe du Vieux poste	S1 (taux d'évolution historique) ou S2 (moyenne des taux d'évolution mesurés sur une période variant entre 8 et 19 ans).	1930 à 2005 (photos)	Bernatchez <i>et al.</i> , 2012b

* S1, S2 et S3 font références à des scénarios développés antérieurement dans les études citées et sont respectivement le plus optimiste au plus pessimiste

Tableau 2. Données disponibles pour établir les scénarios d'évolution côtière, Bas-Saint-Laurent, Gaspésie et Îles-de-la-Madeleine*

Lieux	Scénario probable	Période (méthode)	Références
BAS-SAINT-LAURENT-GASPÉSIE-ÎLES DE LA MADELEINE			
De La Pocatière au quai de Pointe-au-Père	Taux de déplacement moyen des bornes du secteur ou moyenne régionale des bornes par type de côte de la région (2005-2012)	2005 à 2012 (bornes)	Documentation interne (LDGIZC)
Du quai de Pointe-au-Père à Matane	S2 (moyenne des taux d'évolution de la période 1992-1993-2012).	1948-50 à 2012 (photos)	Documentation interne (LDGIZC)
Matane au quai de Tourelle	S2 (moyenne des taux d'évolution de la période 1992-1993-2012).	1938-1939 à 2012 (photos)	Documentation interne (LDGIZC)
De Tourelle à Penouille	Taux de déplacement moyen des bornes du secteur ou moyenne régionale des bornes par type de côte de la région (2002-2012)	2002 à 2012 (bornes)	Documentation interne (LDGIZC)
Penouille	S2 (moyenne des taux de d'évolution de la période la plus représentative de l'évolution future soit de 1993-2010).	1948 à 2010 (photos)	Bernatchez <i>et al.</i> , 2013
Baie de Gaspé	Taux de déplacement moyen des bornes du secteur ou moyenne régionale des bornes par type de côte de la région (2004-2012)	2004 à 2012 (bornes)	Documentation interne (LDGIZC)
Sandy Beach	S2 (moyenne des taux de d'évolution de la période la plus représentative de l'évolution future soit de 1993-2010).	1948 à 2010 (photos)	Bernatchez <i>et al.</i> , 2013
Sandy Beach à Pointe-St-Pierre (Percé)	Taux de déplacement moyen des bornes du secteur ou moyenne régionale des bornes par type de côte de la région (2004-2012)	2004-2012	Documentation interne (LDGIZC)
De la pointe St-Pierre au cap Barré	S2 (moyenne des taux de recul de la période la plus intense ente 1931 et 2001) ou	1931 à 2001 (photos)	Bernatchez <i>et al.</i> , 2008
	S3 (moyenne des valeurs de recul supérieur à la moyenne des taux de recul de la période la plus intense ente 1931 et 2001)		
Du cap Barré au cap Blanc	S2 (moyenne des taux de d'évolution de la période la plus représentative de l'évolution future soit de 1992-2013)	1931 à 2013 (photos)	Documentation interne (LDGIZC), Projet ACA 2014, données modifiées de Bernatchez <i>et al.</i> 2008
Du cap Blanc au cap d'Espoir	S2 (moyenne des taux de recul de la période la plus intense ente 1931 et 2001) ou	1931 à 2001 (photos)	Bernatchez <i>et al.</i> 2008
	S3 (moyenne des valeurs de recul supérieur à la moyenne des taux de recul de la période la plus intense ente 1931 et 2001)		
Du cap d'Espoir à Shigawake	Taux de déplacement moyen des bornes du secteur ou moyenne régionale des bornes par type de côte de la région (2004-2012)	2004 à 2012 (bornes)	Documentation interne (LDGIZC)
De Shigawake à rivière Cascapédia	S1 (taux d'évolution historique) ou	1934 à 2007 (photos)	Documentation interne (LDGIZC)
	S2 (moyenne des taux de recul de la période la plus intense comprise entre 1934 et 2007) ou moyenne des bornes (2005-2011)	2005-2010 (bornes)	
De la rivière Cascapédia à Pointe-à-la-Garde	S1 (taux d'évolution historique) ou	1934 à 2001 ou 2007 (photos)	Documentation interne (LDGIZC)
	S2 (moyenne des taux de recul de la période la plus intense comprise entre 1934 et 2007) ou moyenne des bornes (2005-2011)	2005-2011 (bornes)	
De Pointe-à-la-Garde à Pointe-à-la-Croix (pont)	Taux de déplacement moyen régional des bornes par type de côte (2004-2012)	2004 à 2012 (bornes)	Documentation interne (LDGIZC)
Îles de la Madeleine	S1 (taux d'évolution historique) ou	1963 à 2008 (photos)	Documentation interne (LDGIZC)
	S2 (moyenne des taux de recul ou d'évolution de la période la plus intense selon la longueur des périodes)	2005 à 2010 (bornes)	

* S1, S2 et S3 font références à des scénarios développés antérieurement dans les études citées et sont respectivement le plus optimiste au plus pessimiste

2.1.5 Côtes en accumulation

Il arrive que des segments côtiers présentent un bilan positif à long terme. Ceci n'exclut pas qu'ils puissent reculer ponctuellement lors d'un événement de tempête. Ainsi, dans ces secteurs, les infrastructures qui sont à une distance inférieure à la marge de sécurité (voir section 2.5) ont toutes été considérées comme étant exposées d'ici 2015 et sont donc incluses dans l'horizon 2025.

2.2 Cartographie des éléments exposés

Avant de calculer l'exposition des infrastructures à l'érosion, un important travail de traitement des données fut nécessaire afin de valider la position des infrastructures. L'approche utilisée est fortement inspirée de celle de Fraser *et al.* (2014a, 2014b).

2.2.1 Traitement des données ponctuelles : bâtiments et terrains

Le rôle d'évaluation a été utilisé pour répertorier les bâtiments et les terrains, mais aussi pour obtenir le type d'utilisation et la valeur foncière. À l'aide des orthophotographies aériennes les plus récentes disponibles, chaque point centroïde de la matrice graphique situé à moins de 150 m du littoral a été déplacé sur la façade côté mer des bâtiments, afin d'être localisé au point le plus près du trait de côte. Lorsque la résolution de l'image le permettait, l'échelle de référence était le 1 : 500 et, lorsque la résolution était moins précise, le déplacement des points s'est fait à l'échelle du 1 : 2000. Les images obliques prises à vol d'hélicoptère en septembre 2010 par le LDGIZC de l'UQAR ont aussi été utilisées afin d'obtenir plus de précision. L'identification et l'utilisation des bâtiments ont été validées à l'aide des matrices graphiques fournies par chacune des MRC, à l'exception de la MRC de Manicouagan, de la ville de Port-Cartier dans la MRC des Sept-Rivières, de la MRC de la Minganie, du Rocher-Percé (sauf le secteur de l'anse du Nord jusqu'au cap Blanc) et de la ville de Matane dans la MRC de La Matanie.

Plusieurs bâtiments secondaires et autres bâtiments non inventoriés dans les données du rôle d'évaluation 2010 ont été répertoriés sur l'imagerie et ensuite intégrés à la base de données. Les bâtiments secondaires n'étant pas spécifiquement identifiés dans la base de données du rôle d'évaluation, leur valeur est incluse avec celle du bâtiment principal situé sur le même terrain. Le type d'utilisation des autres bâtiments non inventoriés est inconnu; ils n'ont donc pas de valeur foncière associée. Cet inventaire de bâtiments secondaires n'a pas été fait de manière uniforme sur l'ensemble du territoire. Les données sont ainsi présentées à titre indicatif seulement. Aux fins de l'étude, cinq classes de bâtiments ont été déterminées (tableau 3). Les terrains non bâtis sont aussi identifiés à partir du point centroïde de la matrice graphique. Ces points n'ont pas été déplacés et se situent ainsi au milieu de chaque terrain.

Tableau 3. Classes de bâtiments

Classes de bâtiments	Description et codes reliés au rôle d'évaluation
Résidentielle	Comprend toutes les résidences principales et secondaires, ainsi que les immeubles à logement (1000 à 1990).
Industrielle	Comprend les industries manufacturières (2000 à 3999) et l'exploitation et l'extraction d'autres richesses naturelles, telles l'agriculture, les mines, la chasse et la pêche (8000 à 8900).
Commerciale	Comprend tous les bâtiments à vocation commerciale (5000 à 5999).
Services	Comprend les bâtiments liés aux transports, aux communications et aux services publics (4000 à 4990), les bâtiments de services tels les services financiers, d'affaire, de santé ou personnels (6000 à 6999), ainsi que les bâtiments à vocation culturelle, récréative et de loisirs (7000 à 7990).
Non déterminée	Comprend les bâtiments ajoutés manuellement lors du déplacement des points. Ils peuvent correspondre à de nouvelles constructions ou des bâtiments secondaires.

2.2.2 Traitement des données linéaires : routes et chemins de fer

Les infrastructures linéaires considérées dans cette étude comprennent les routes provinciales, les routes municipales et locales, ainsi que les chemins de fer (tableau 4). Les routes et les chemins de fer ont été extraits de la base de données topographiques du Québec (BDTQ). À l'aide de l'imagerie aérienne et satellitaire la plus récente, les tracés ont ensuite été édités afin de longer le côté mer de l'infrastructure. Dans certains cas, ils ont été numérisés manuellement pour que leur tracé soit à jour. Cette numérisation s'est faite en respectant les mêmes critères qu'à la section 2.2.1, c'est-à-dire au 1 : 500 ou au 1 : 2000 selon la qualité de l'imagerie. À la suite de la validation de tous les tracés, une segmentation a été effectuée afin d'obtenir des tronçons de 10 m. Les ponts et les infrastructures portuaires ont été exclus de l'analyse.

Tableau 4. Classes d'infrastructures linéaires

Classes d'infrastructures linéaires	Description
Autoroute	Il s'agit de l'autoroute 20 qui longe la côte sud du fleuve Saint-Laurent.
Routes nationales	Il s'agit de la route 132 qui longe la côte au Bas-Saint-Laurent et en Gaspésie, de la route 138 sur la Côte-Nord et de la route 199 aux Îles-de-la-Madeleine.
Routes municipales et locales	Il s'agit des routes de juridiction municipale pavées et non pavées, des routes privées et autres routes non déterminées.
Chemins de fer	Il s'agit de la voie ferrée pour passagers et marchandises au Bas-Saint-Laurent et en Gaspésie, et de la voie ferrée industrielle à Baie-Comeau sur la Côte-Nord.

2.3 Calcul de l'exposition

Pour chaque point représentant un bâtiment ou un terrain et pour chaque ligne représentant un tronçon de 10 m d'une infrastructure linéaire, la distance la plus proche à la ligne de rivage ou au trait de côte a été calculée automatiquement à l'aide d'une fonction du logiciel ArcGIS. Une validation manuelle a ensuite été réalisée. L'exposition est basée sur deux paramètres : 1) le taux probable de déplacement de la ligne de rivage ou du trait de côte estimé pour chaque unité géomorphologique homogène (voir section 2.1) et 2) sur la marge de sécurité attribuée selon différents critères (voir section 2.5). Toutes les données présentées dans ce rapport prennent en considération ces deux paramètres.

Le taux de déplacement projeté dans le futur est le taux le plus probable en tenant compte des modifications récentes du climat. L'équation pour calculer l'exposition d'un bâtiment en nombre d'années résiduelles en zone sécuritaire est présentée à la figure 2. Il s'agit de mesurer la distance entre l'élément et la ligne de rivage ou le trait de côte actuel, d'en soustraire la marge de sécurité et de diviser cette différence par le taux de migration annuel probable pour obtenir le nombre d'années avant que l'élément ne soit exposé. L'exposition des bâtiments est ensuite présentée selon 3 horizons temporels : 2025 (court terme), 2045 (moyen terme) et 2065 (long terme).



Figure 2. Équation pour calculer l'exposition des bâtiments, de terrains et des infrastructures de transport à l'érosion côtière (modifiée de Fraser *et al.*, 2014a, b, c; Drejza *et al.*, 2014a, b)

Tel qu'expliqué à la section 2.1.3, les données sur l'évolution côtière ne sont pas disponibles pour les mêmes périodes dans toutes les régions. Ainsi, le trait de côte le plus récent varie entre 1996 et 2013 (tableau 1 et tableau 2). Tous les bâtiments ou infrastructures situés à une distance inférieure à la marge de sécurité sont considérés comme exposés à partir de 2015. Il en va de même pour tous les bâtiments ou infrastructures dont le résultat du calcul de l'exposition donne une année d'exposition antérieure à 2015. Entre 1996 et 2015, il est cependant possible que le recul ait été contrôlé par un ouvrage de protection, ou encore que le bâtiment ou l'infrastructure ait été déplacé depuis, ce qui peut surestimer le nombre et la valeur pour l'année 2015.

Lorsqu'un court tronçon de route ou de chemin de fer considéré non exposé selon les calculs se retrouve entre deux tronçons exposés, un lissage a été effectué afin d'inclure ce tronçon dans les infrastructures exposées. Il s'agit souvent de portions de terrasses de plage dont la largeur varie devant l'infrastructure, faisant ainsi varier la distance utilisée pour le calcul de l'exposition. De façon opérationnelle et technique, il est peu probable de réparer ou refaire une route sans considérer les tronçons adjacents qui sont tout de même à proximité de la ligne de rivage ou du

trait de côte. Il a ainsi été jugé pertinent d'uniformiser les zones où l'exposition est intermittente.

Il arrive parfois qu'un bâtiment ou une infrastructure soit localisée directement sur le versant de la falaise, c'est-à-dire, devant le trait de côte utilisé pour le calcul de la distance. Pour ces rares exceptions, la distance entre la côte et l'infrastructure est négative. C'est pourquoi les infrastructures dans cette situation sont automatiquement considérées comme étant exposées d'ici 2015 et donc incluses dans l'horizon 2025.

2.4 Marge de sécurité

2.4.1 Marge proposée pour les bâtiments

Une marge de sécurité a été retenue dans le calcul de l'exposition afin de tenir compte du recul potentiel du trait de côte lors d'événements de tempêtes qui peuvent entraîner des pertes. En raison de l'importance de la longueur du littoral à analyser, des marges fixes ont été retenues selon trois grands types de côte. Les marges sont de cinq mètres pour les côtes basses, de dix mètres pour les falaises meubles et rocheuses et de 15 m pour les falaises meubles comprenant une unité argileuse (tableau 5). La marge de 15 m permet de tenir compte de l'ampleur du recul plus important associé aux glissements de terrain en sols argileux. La largeur des marges a été définie selon une bande minimale de terrain nécessaire pour intervenir de manière sécuritaire lorsque des infrastructures sont à risque imminent. À titre comparatif, les résultats obtenus sans utiliser de marge de sécurité sont également présentés dans ce rapport.

Tableau 5. Largeur des marges de sécurité

Type de côte	Largeur de la marge de sécurité (m)
Côtes basses (inférieur à 5 m d'altitude)	5
Falaises (5 m d'altitude et plus)	10
Falaises argileuses	15

2.4.2 Marge proposée pour les routes et les chemins de fer

Une marge de sécurité de 5 mètres a été ajoutée en bordure des infrastructures de transport équipées d'ouvrages de protection dans le calcul des pertes anticipées. Cette décision a été prise, car des travaux d'entretien ou de remplacement de ces ouvrages de protection et/ou de la route seront sans doute nécessaires d'ici 2065. Une validation manuelle a été effectuée afin d'inclure les infrastructures de transport munies d'une structure de protection contre l'érosion côtière, et ce, même pour les segments situés à une distance supérieure à 5 m du trait de côte, mais localisés entre deux tronçons routiers à moins de 5 m. Il serait en effet peu logique, de manière opérationnelle, d'effectuer des travaux de remplacement sur des tronçons discontinus. À titre comparatif, les résultats obtenus sans utiliser de marge de sécurité sont également présentés dans ce rapport.

2.5 Évaluation économique des éléments exposés

Ayant la cartographie et l'année d'exposition de chaque élément exposé à l'érosion côtière, il s'agissait ensuite de procéder à l'évaluation économique de ces éléments. Cette évaluation s'appuie d'abord sur des principes économiques présentés ci-dessous. L'estimation de la valeur des enjeux exposés sur 50 ans a été réalisée séparément pour les bâtiments, les infrastructures de transport et les terrains bâtis et non bâtis.

2.5.1 Principes de l'évaluation économique

Il existe trois hypothèses de départ qui cadrent l'évaluation économique réalisée pour cette étude. La première concerne le choix de l'unité monétaire. Il a été décidé d'utiliser des dollars constants de 2012. La deuxième hypothèse concerne la période d'étude et les intervalles d'estimation. L'évaluation de la valeur des pertes potentielles dues aux bâtiments et aux terrains exposés à l'érosion d'ici 2065 a été estimée sur une base annuelle, car l'année d'exposition était connue (voir section 2.4). Dans le cas des infrastructures de transport, l'année d'exposition n'étant pas connue avec précision, toutes les infrastructures exposées d'ici 2065 ont été considérées globalement et leurs coûts de remplacement ont été répartis également sur l'ensemble de la période, soit sur 50 ans (de 2015 à 2064 inclusivement). La dernière hypothèse concerne le taux d'actualisation utilisé pour tenir compte de la répartition temporelle de l'exposition des infrastructures. Étant donné que les pertes se matérialisent à différents moments pendant la période d'étude, la valeur monétaire des pertes annuelles doit être ramenée sur une base temporelle commune. L'actualisation est donc appliquée pour comparer les flux monétaires qui surviennent à divers moments dans le temps. L'actualisation est basée sur le fait que les individus préfèrent en général jouir de leur argent immédiatement plutôt que profiter des mêmes montants plus tard dans le temps.

Par ailleurs, le choix du taux d'actualisation est un aspect qui se révèle complexe. En effet, le taux de préférence pour le présent comparé au futur varie d'une personne à l'autre et fluctue considérablement avec le temps en fonction des événements sociaux, environnementaux et économiques. Il faut aussi tenir compte de l'horizon temporel d'étude. En règle générale, dans une étude à l'échelle intergénérationnelle comme celle-ci (50 ans), il est recommandé de choisir un taux compris entre 3 et 7 % (Dupras *et al.*, 2013). Ce taux doit être exprimé en termes réels, c'est-à-dire en excluant l'inflation. Considérant ces facteurs et les débats qui persistent dans la littérature, il est préférable de réaliser une analyse de sensibilité en faisant varier le taux d'actualisation. Cette étude faisant partie des évaluations économiques régionales financées par Ressources naturelles Canada, le taux d'actualisation retenu est conforme aux principes directeurs établis pour l'ensemble du projet, soit 4%, avec une analyse de sensibilité à 2% et 6%.

2.5.2 Évaluation foncière des bâtiments

L'évaluation économique des bâtiments repose sur l'utilisation du rôle d'évaluation foncière des municipalités, mis à jour tous les trois ans en fonction des valeurs marchandes observées. Quoique l'évaluation foncière soit encore considérée inférieure à la valeur marchande des propriétés foncières dans plusieurs municipalités, elle constitue tout de même la source la plus

fiable d'évaluation disponible. Ainsi, dans le cadre de cette évaluation, on peut supposer que l'estimation des pertes potentielles de bâtiments représente une valeur minimale.

Les données de valeurs foncières ont été fournies par le ministère des Affaires Municipales et de l'Occupation du Territoire (MAMOT). Ces données proviennent du rôle d'évaluation de 2010 pour l'ensemble des municipalités à l'exception des municipalités de la MRC de Kamouraska, de la MRC de Rimouski-Neigette et de la municipalité de Sainte-Anne-des-Monts. Pour ces dernières municipalités, le rôle d'évaluation utilisé est celui de 2014.

Afin d'évaluer les pertes en dollars de 2012, les données foncières ont été ajustées à la valeur de 2012, quelle que soit l'année d'origine. Au Québec, lorsqu'un nouveau rôle d'évaluation entre en vigueur, les valeurs qui y sont inscrites font référence aux conditions de marché prévalant 18 mois avant la date d'entrée en vigueur. À titre d'exemple, si un rôle d'évaluation entre en vigueur le 1^{er} janvier 2014, l'ensemble des valeurs inscrites au rôle a été établi en fonction des conditions du marché immobilier au 1^{er} juillet 2012. Par ailleurs, les rôles d'évaluation au Québec sont construits sur la base d'un cycle triennal qui n'est pas uniformisé à travers la province. Considérant ces deux facteurs, les valeurs foncières obtenues pour cette étude représentaient les conditions de marchés observées entre le 1^{er} juillet 2006 et le 1^{er} juillet 2012, selon le cas.

Afin de ramener l'ensemble de ces valeurs aux conditions de marché de juillet 2012, des ajustements ont été effectués en fonction de l'année du rôle d'évaluation. D'abord, dans le cas des valeurs provenant des rôles fonciers datant de 2010, l'ajustement consistait à utiliser un facteur correspondant au taux d'augmentation de la valeur moyenne des unités d'évaluation dans chaque municipalité entre les rôles de 2010 et 2014. Ce facteur d'ajustement a été calculé à l'aide des données sur les rôles d'évaluation foncière du MAMOT (MAMOT, 2014) et a permis de transposer les valeurs des rôles de 2010 en valeurs des rôles de 2014. Ensuite, les nouvelles valeurs obtenues ont subi un deuxième ajustement afin de toutes les ramener aux conditions de marché de juillet 2012, à cause de la différence entre la date de dépôt des rôles et la date de référence des valeurs observées sur le marché immobilier. Pour ce faire, le facteur comparatif de 2014 calculé par le MAMOT a été utilisé (voir www.mamrot.gouv.qc.ca/evaluation-fonciere/proportions-medianes-des-roles/description). Ce facteur est construit en calculant les ratios entre les prix de vente réalisés et les valeurs d'évaluation pour une même année et le MAMOT utilise ensuite la médiane de ces ratios comme facteur d'ajustement.

2.5.3 Valeur de remplacement ou de déplacement des routes et des chemins de fer

L'estimation des pertes potentielles au niveau des infrastructures de transport consiste essentiellement à évaluer le coût de remplacement de l'infrastructure visée par l'érosion de la côte. Ainsi, la valeur des dommages aux infrastructures de transport est calculée en fonction du coût de remplacement par kilomètre et par type d'infrastructure (chemin de fer, autoroute, route nationale, route municipale et chemin privé), en tenant compte de la situation géographique et des protections côtières existantes ou nécessaires pour chaque tronçon (se référer au tableau 5).

La valeur de remplacement d'une infrastructure linéaire n'est pas uniforme le long des tracés. Chaque tronçon présente des caractéristiques et des contraintes variées qui influencent les coûts et l'évaluation économique a tenté de prendre en considération les particularités des différents types de côte. Lorsque le déplacement d'une infrastructure était moins coûteux que de protéger cette infrastructure, alors cette option a été privilégiée et des coûts d'expropriation ont été ajoutés. Ainsi, il est en général moins coûteux de déplacer un corridor routier de niveau national sur la Côte-Nord qu'en Gaspésie considérant que la majorité du territoire est en terres publiques et que les secteurs bâtis sont peu densifiés. Lorsque les coûts d'expropriation des terres sont très élevés, tel qu'en Gaspésie, alors le maintien et la protection du corridor routier dans sa localisation actuelle représentent la solution optimale.

Afin d'établir une juste évaluation des coûts de construction, soit des ouvrages de protection côtière et des infrastructures routières de diverses catégories (nationale, locale, municipale, route d'accès), une revue des rapports techniques réalisés récemment pour différents projets dans les régions à l'étude a été réalisée (tableau 6). Des coûts unitaires, soit au mètre linéaire ou au kilomètre, ont été identifiés pour chaque type d'ouvrages. De plus, des consultations auprès d'ingénieurs des Services des projets de différentes directions régionales du ministère des Transports du Québec ont permis d'estimer des coûts généraux pour chacune des régions. Seuls les taux unitaires, présentés en caractère gras dans le tableau 6, ont servi aux fins de l'évaluation. Généralement, ces coûts unitaires constituent une moyenne des coûts des grands travaux réalisés par le ministère des Transports du Québec et dans certaines situations, les coûts des travaux réalisés récemment ont aussi été retenus.

En effet, dans chacune des régions du Québec, les coûts de construction sont influencés par la quantité, la proximité et la qualité des matériaux disponibles. Sur la Côte-Nord, le nombre plus élevé de carrières disposant des matériaux requis (formations géologiques granitiques) explique que généralement les taux unitaires sont moindres. Dans la baie des Chaleurs, la rareté des sources d'approvisionnement de pierres de fort calibre, peu friables, fait augmenter les coûts par un facteur de trois comparativement à ceux de la Côte-Nord principalement dû par les grandes distances de transports. Cette problématique d'approvisionnement en bonnes pierres est particulièrement aiguë aux Îles-de-la-Madeleine, où il est nécessaire de transporter la pierre de gros calibre à partir de la Nouvelle-Écosse.

À partir de la cartographie des tronçons vulnérables pour chaque municipalité, des coûts unitaires moyens de remplacement par type d'infrastructure ont été développés. En plus d'intégrer la variabilité des coûts des matériaux par région, ces coûts unitaires ont été estimés en prenant en compte les principales caractéristiques des infrastructures vulnérables (nature du sol, type de côte, nécessité de protection ou de déplacement, etc.). Ces coûts unitaires sont présentés au tableau 6 par type d'infrastructure. Ils ont ensuite été multipliés par la longueur des tronçons exposés à l'intérieur de l'horizon d'étude afin d'obtenir la valeur économique des impacts appréhendés.

Enfin, l'ensemble des coûts estimés pour le remplacement des infrastructures de transport et leur protection a été majoré de 15 % pour couvrir les frais liés aux études d'ingénierie et à la surveillance de chantiers.

Il est important de souligner que l'évaluation réalisée fournit un ordre de grandeur des coûts de remplacement estimés et non des coûts réels. Aucune étude d'ingénierie portant sur les tronçons vulnérables n'a été effectuée afin d'obtenir des coûts détaillés. De plus, compte tenu de la longueur des tronçons étudiés, soit 10 mètres, il est probable que les coûts aient été sous-estimés. En effet, le remplacement de tronçons exposés situés entre des tronçons non exposés exige parfois le remplacement de l'ensemble des tronçons d'une infrastructure de transport. Bien que cette possibilité ait été prise en compte en procédant au lissage des tronçons à certaines occasions, l'échelle d'analyse ne permettait pas d'identifier systématiquement tous les cas où des tronçons non exposés devraient également être remplacés ou protégés. Pour toutes ces raisons, les estimations présentées dans ce rapport ne devraient pas servir de référence pour prévoir les dépenses liées au maintien des infrastructures de transport dans une région donnée.

Tableau 6. Coût de remplacement moyen en dollar de 2012 (CAN) au mètre par type d'infrastructure et par municipalité

Bas-Saint-Laurent						Gaspésie/Îles-de-la-Madeleine					Côte-Nord				
Municipalité	Nationale	Municipale	Non identifiée	Autoroute 20	Chemin de fer	Municipalité	Nationale	Municipale	Non identifiée	Chemin de fer	Municipalité	Nationale	Municipale	Non identifiée	Chemin de fer
Baie-des-Sables	1000	800	800	-	-	Bonaventure	2500	1000	800	-	Aguanish	1000	250	250	-
Cacouna	1000	800	800	-	-	Cap-Chat	1000	1000	800	-	Baie-Comeau	1000	5000	0	4000
Grand-Métis	1000	800	800	-	-	Caplan	1500	1000	800	10000	Baie-Johan-Beetz	1000	250	250	-
Grosses-Roches	1000	800	800	-	-	Carleton-sur-Mer	3000	2000	1500	10000	Baie-Trinité	1000	250	50	-
Kamouraska	1000	800	800	-	-	Cascapédia-Saint-Jules	1000	800	800	-	Chute-aux-Outardes	1000	250	50	-
La Pocatière	1000	800	800	-	-	Chandler	1500	1500	1000	5000	Colombier	2000	250	50	-
Les Méchins	1000	1000	800	-	-	Cloridorme	4500	800	800	-	Essipit	1000	250	50	-
L'Isle-Verte	1000	500	800	-	-	Escuminac	2000	1500	800	-	Forestville	1000	2500	50	-
Matane	3000	1000	800	-	-	Gaspé	2000	2000	1500	2000	Franquelin	1000	0	50	-
Métis-sur-Mer	1000	800	800	-	-	Gesgapegiag	1000	800	800	-	Godbout	1000	2500	50	-
Mont-Joli	1000	800	800	-	-	Grande-Rivière	1500	800	800	2500	Havre-Saint-Pierre	1000	250	1000	-
Notre-Dame-des-Neiges	1000	800	800	-	5000	Grande-Vallée	1000	800	800	-	Les Bergeronnes	1000	250	50	-
Notre-Dame-des-Sept-Douleurs	1000	800	800	-	-	Grosse-Île	1000	250	50	-	Les Escoumins	1000	250	1000	-
Notre-Dame-du-Portage	1000	250	1000	-	-	Hope	1500	1000	800	-	Longue-Pointe-de-Mingan	3500	250	250	-
Rimouski	1000	800	800	-	1500	Hope Town	1500	1000	800	-	Longue-Rive	1000	250	50	-
Rivière-du-Loup	1000	1000	1000	5000	-	La Martre	2000	800	800	-	Maliotenam	1000	250	50	-
Rivière-Ouelle	1000	1000	800	-	-	Les Îles-de-la-Madeleine	4000	4000	4000	-	Mingan	1000	250	50	-
Saint-André	1000	800	800	-	-	Maria	5000	3000	2000	-	Natashquan	1000	250	50	-
Saint-Denis	1000	250	800	-	-	Marsoui	4500	800	800	-	Pessamit	1000	250	50	-
Sainte-Anne-de-la-Pocatière	1000	800	800	5000	-	Mont-Saint-Pierre	5000	800	800	-	Pointe-aux-Outardes	1000	1000	50	-
Sainte-Félicité	1000	1000	800	-	-	New Carlisle	1000	1000	800	5000	Pointe-Lebel	1000	2000	50	-
Sainte-Flavie	1000	800	800	-	-	New Richmond	2000	2000	1000	10000	Port-Cartier	1000	500	250	-
Sainte-Luce	1000	800	800	-	-	Nouvelle	1500	1000	1500	-	Portneuf-sur-Mer	1000	1000	50	-
Saint-Fabien	1000	800	800	-	-	Paspébiac	1000	1000	800	5000	Ragueneau	1000	1000	50	-
Saint-Germain	1000	50	800	-	-	Percé	3500	800	800	2000	Rivière-au-Tonnerre	1000	250	250	-
Saint-Simon	1000	800	800	-	-	Petite-Vallée	1000	800	1000	-	Rivière-Saint-Jean	3500	250	50	-
Saint-Ulric	1000	1000	800	-	-	Pointe-à-la-Croix	1000	250	1500	-	Sept-Îles	1000	250	1000	-
Trois-Pistoles	1000	800	800	-	-	Port-Daniel - Gascons	1500	1000	1000	2000	Tadoussac	5000	5000	1000	-
						Rivière-à-Claude	4500	800	1000	-	TNO Lac-Jérôme	1000	250	50	-
						Sainte-Anne-des-Monts	1000	1000	1000	-	Uashat	1000	250	50	-
						Sainte-Madeleine-de-la-Rivière-Madeleine	4500	800	1000	-					
						Sainte-Thérèse-de-Gaspé	1000	800	800	-					
						Saint-Godefroi	1500	800	250	-					
						Saint-Maxime-du-Mont-Louis	5000	800	800	-					
						Saint-Siméon	2500	1000	800	10000					
						Shigawake	1500	800	250	-					
						TNO Rivière-Saint-Jean	1000	800	800	-					

Note : La catégorie « non identifiée » n'inclut pas uniquement des routes d'accès de gravier. Dans certaines municipalités, il s'agit de routes municipales n'ayant pas été classifiées adéquatement et qui peuvent nécessiter l'aménagement de protection en plus de leur remplacement.

Tableau 7. Exemples de coûts unitaires de travaux d'infrastructures linéaires et d'ouvrages de protection côtière

Région	Types d'ouvrages	Variantes	Coûts unitaires* Coût unitaire retenu	Territoire	Sources et références**
Côte Nord	Empierrement	900 mm; 3 m h	1 K \$ / mètre linéaire	Côte-Nord	MTQ Baie-Comeau, Services projets
	Empierrement	900 – 1000 mm; 4 m h	4 K \$ / mètre linéaire	Tadoussac	Génivar (2012a)
	Empierrement	900 – 1000 mm; 75 \$ m ³ ; 7 m haut.	5,1 K\$ / mètre linéaire	Projet Sept-Îles	Ropars Inc (2007)
	Empierrement	900 – 1000 mm	1,3 K\$ / mètre linéaire	Pointe-aux-Outardes	TDA (2011)
	Mur de béton	3,6 m hauteur	5 K\$ / mètre linéaire	Tadoussac	Génivar (2012a)
	Recharge de plage	d50 25 mm- 7,5 m plage	4 K \$ / mètre linéaire	Tadoussac	Génivar (2012a)
	Digue de protection		2 K \$ / mètre linéaire	Longue-Rive	BPR & Ropars (2008)
	Perré de protection		200 \$ / mètre linéaire	Tadoussac	Génivar (2012a)
	Route secondaire municipale non pavée	valeur moyenne	250 \$ / mètre linéaire	sur terrain plat, route d'accès (fondation minimale)	Estimation de l'équipe de recherche
	Route en gravier sans fondation		50 \$ / mètre linéaire	terrain plat meuble	Estimation de l'équipe de recherche
	Construction route nationale	terrain facile	2 M / km	Côte-Nord	MTQ -Baie-Comeau, Services projets
	Construction route nationale	difficile	3,5 M / km	Côte-Nord	MTQ -Baie-Comeau, Services projets
	Acquisition terres privées	déplacement	1,5 M / km	Côte-Nord	MTQ -Baie-Comeau, Services projets
	Route municipale principale	valeur moyenne	650 K \$ / km	Manicouagan Pointe aux Outardes	Municipalité de Pointe-aux-Outardes (2006) Travaux réalisés sur des routes locales sur surface sablonneuse en 2006.
Basse-Côte-Nord		terrain difficile et rareté des matériaux	3,5 M\$/ km sur gravier	coût majoré X 3 pour l'ensemble de la Basse-Côte-Nord	MTQ -Baie-Comeau, Services projets
Bas-Saint-Laurent	Empierrement	d50 600 mm plan concept; les quantités de pierres varient selon le terrain.	450 \$ / mètre linéaire	Ste-Luce	Municipalité de Sainte-Luce (2011) Description générale d'un enrochement type fournie aux riverains
	Palplanche		3 K \$ / mètre linéaire	Ste-Luce	Génivar (2012b)
	Empierrement	D5- 1000 mm	58\$ par mètre cube	Matane	Ropars (2012b)
	Route nationale	terrain difficile	3 M \$ / km	Coûts unitaires généraux	MTQ, Direction des Projets
	Empierrement Zone exposée	53 m ³ / m	52 \$ / mètre linéaire	Grosse Roche	Ropars (2012a)
	Réparation d'empierrement	38 ajouté empierrement sous-calibré	52 \$ / mètre linéaire	Grosse Roche	Ropars (2012a)
	Route nationale	terrain facile	2 M\$ / km	Coûts unitaires généraux	MTQ, Service des projets

Région	Types d'ouvrages	Variantes	Coûts unitaires* Coût unitaire retenu	Territoire	Sources et références**
Haute-Gaspésie	Rehaussement route	rehaussement	1,05 M\$ / km	Haute-Gaspésie	MTQ Service des projets
	Empierrement	D5- 1000 mm	58\$ par mètre cube	Ste-Anne-des Monts	Ropars (2013a)
Baie des Chaleurs	Mur béton défecteur		5 M \$/ mètre linéaire	Bonaventure	MTQ (coût unitaire du mur)
	Empierrement	d50 900 mm	3 M\$ / km	Gaspésie	MTQ New Carlisle, Services projets
IDM	Empierrement		4 K \$ du mètre linéaire	Pierres importées (N-É)	Roche, Ropars inc et Groupe Lasalle (2011)
	Empierrement gros calibre		8 K \$ / mètre linéaire	Pierres importées (N-É)	Roche, Ropars inc et Groupe Lasalle (2011)
	Riprap	300 K /150 m	2 K \$ du mètre linéaire	IDM - travaux réalisés en 2013	Municipalité IDM
	Riprap		5,2 k du mètre linéaire	IDM coûts estimés	Roche, Ropars inc et Groupe Lasalle (2011)
Toutes les régions	Chemin de fer	50 M \$ / 13 km estimé	3,8 M \$ / km	Estimation préliminaire	Mégantic (estimation préliminaire de projet)
	Chemin de fer		6,3 M \$ / km		Projets internationaux source internet

* L'estimation des coûts unitaires repose essentiellement sur le coût des matériaux (transportés) et leur mise en place. Les coûts d'expropriation ne sont pas pris en compte dans ces valeurs. Ces estimations constituent des ordres de grandeur des coûts généraux pour chaque type de travaux selon les régions.

** Références supplémentaires consultées : BPR, Ropars et DDA, 2014; Ropars, 2010, Ropars, 2012c, Ropars, 2013b, Magazine Constat-Infrastructures, 2010.

2.5.4 Évaluation foncière des terrains bâtis et non bâtis

Dans le cas des terrains bâtis, l'hypothèse retenue est que lorsqu'un bâtiment principal est touché, le terrain associé à ce bâtiment est considéré comme non constructible et perd ainsi toute sa valeur sur le marché. La valeur foncière du terrain est ainsi toujours incluse dans la valeur associée à chaque bâtiment principal perdu. Cette hypothèse est considérée comme acceptable à cette échelle d'analyse même si dans certains cas une valeur résiduelle pourrait être attribuée aux parties de terrains pour des usages autres que l'habitation.

En ce qui concerne les terrains non bâtis, l'hypothèse retenue est qu'il y a perte du terrain lorsque le point centroïde du terrain est atteint. Puisque les points centroïdes apparaissant sur les matrices graphiques fournies par le MAMOT sont situés au centre des terrains non bâtis, la valeur foncière du terrain non bâti est considérée nulle lorsqu'environ 50 % du terrain est érodé. Ici aussi, il y a potentiellement une légère surestimation considérant que les parties non érodées des terrains non bâtis peuvent conserver leur valeur pour d'autres usages que l'habitation. Cette surestimation est cependant compensée par les surfaces de terrains perdues où moins de 50 % du terrain a été atteint et qui ne sont pas incluses dans l'estimation.

Enfin, considérant que les matrices graphiques obtenues du MAMOT ne couvrent pas l'ensemble du territoire à l'étude, le calcul des surfaces de terrain perdues annuellement n'a pu être effectué de façon exhaustive.

3. PORTRAIT DE L'EXPOSITION DES BÂTIMENTS, DES ROUTES ET DES CHEMINS DE FER AU QUÉBEC MARITIME

3.1 Portrait général

La problématique de l'érosion côtière est connue depuis longtemps au Québec maritime, mais aucun bilan global de l'exposition des bâtiments, des terrains et des infrastructures de transport n'avait été effectué jusqu'à maintenant avec un degré de résolution aussi précis. Ces premiers résultats tiennent compte du processus d'érosion et de sa sévérité qui peut varier spatialement en fonction des particularités de chaque unité géomorphologique homogène. Bien que l'érosion côtière ne puisse être attribuée en totalité aux changements climatiques, les chiffres présentés ici tiennent compte des processus exacerbés par le réchauffement du climat. La hausse accélérée du niveau marin relatif, la diminution de la couverture de glace sur le Saint-Laurent et l'augmentation de la fréquence des redoux hivernaux ont pour effet de modifier la dynamique côtière des côtes basses et des falaises et d'amplifier l'érosion côtière dans les secteurs sensibles.

Au total, c'est plus de 1,5 milliard de dollars en bâtiments, terrains et en infrastructures de transport qui seront affectés par l'érosion côtière de 2015 à 2065 (tableau 8), si aucune solution d'adaptation n'est mise en place. Ce montant total actualisé à 4 % représente 827 millions en dollars de 2012 (annexe 1). Dans le détail, cela représente 4 848 bâtiments résidentiels, 184 bâtiments de services, 158 bâtiments commerciaux, 38 bâtiments industriels et 198 bâtiments à usage non déterminé pour une valeur totale de 732 M\$ (tableau 8). Ce sont également près de 320 km de tronçons routiers et ferroviaires qui seront exposés pour la même période. Plus spécifiquement, on compte 154 km de routes municipales, 138 km de routes nationales, 3 km d'autoroute et 26 km de voies ferrées ayant une valeur totale de 776 M\$. De plus, on dénombre 1 346 terrains non bâtis dont la superficie sera érodée au moins de 50% d'ici 2065. Ces terrains ont une valeur de 15,5 M\$ selon l'évaluation foncière ajustée en dollars de 2012 (tableau 8). Les valeurs économiques actualisées à 2 %, 4 % et 6 % sont présentées à l'annexe 1 (voir section 2.5.1 pour explications).

La carte de la figure 3 permet de visualiser la répartition spatiale des valeurs obtenues. On observe que les coûts sont plus importants sur la côte sud du Saint-Laurent que sur la côte nord. La MRC de la Haute-Gaspésie enregistre la plus forte valeur de pertes potentielles (294 M\$) suivie par les MRC de Rimouski-Neigette (131 M\$), d'Avignon (111 M\$), des Îles-de-la-Madeleine (107 M\$), du Rocher-Percé (104 M\$) et de Rivière-du-Loup (96 M\$). Malgré leur vaste territoire côtier, les MRC de la Haute-Côte-Nord et de la Minganie sont celles dont la valeur des infrastructures exposées est moindre.

Les sections 3.2 et 3.3 offrent un portrait plus précis par type de bâtiments et d'infrastructures.

Tableau 8. Portrait global de l'exposition des bâtiments, des terrains non bâtis et des infrastructures de transport au Québec maritime d'ici 2065 avec et sans marge de sécurité

	Nombre ou longueur (km) des éléments exposés		Valeur économique totale (millions \$)*	
	Sans marge	Avec marge	Sans marge	Avec marge
Bâtiments résidentiels	3521	4848	436,3	609,7
Bâtiments industriels	28	38	11,5	13,1
Bâtiments commerciaux	96	158	26,1	61,9
Bâtiments de services	126	184	28,5	47,1
Bâtiments à usage non déterminé	125	198	Non disponible	Non disponible
TOTAL Bâtiments	3896	5426	502,4	731,8
Terrains non bâtis	919	1346	9,7	15,5
Autoroute (km)	2,6	2,9	14,9	16,6
Routes nationales (km)	103,4	137,5	379,1	467,8
Routes municipales et locales (km)	111,2	153,7	126,0	181,2
Chemins de fer (km)	19,1	25,7	79,6	109,9
TOTAL Routes et chemins de fer (km)	236,3	319,7	599,7	775,6
TOTAL GÉNÉRAL (millions \$)			1111,8	1522,9

* Dollars de 2012. Voir les valeurs avec des taux d'actualisation à 2 %, 4 % et 6 % en annexe 1

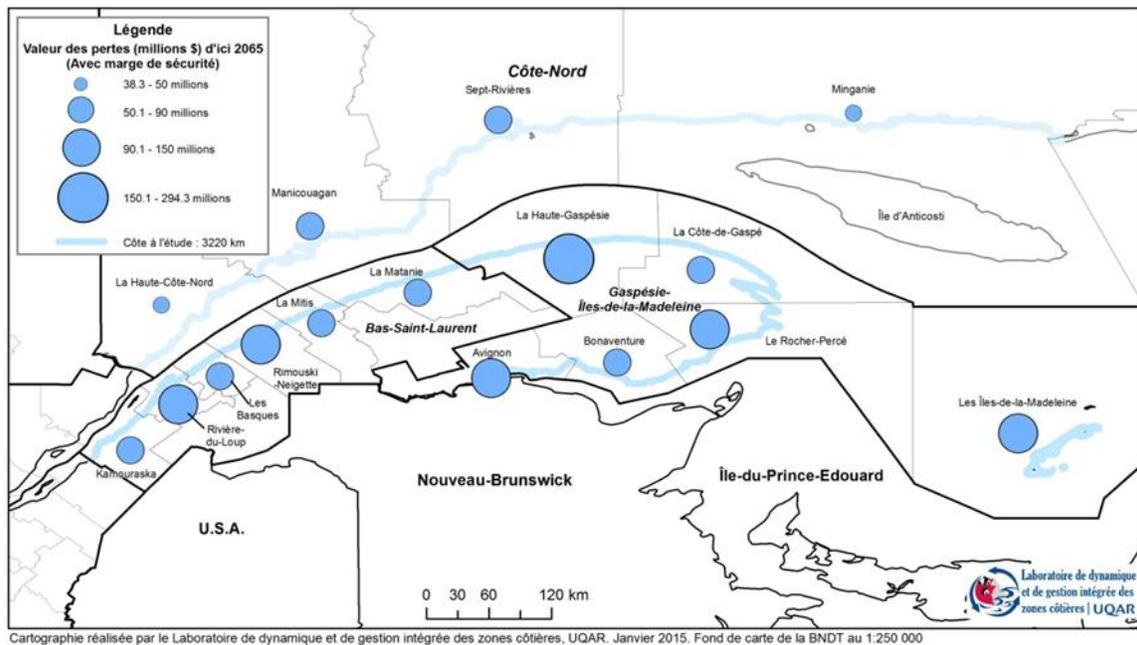


Figure 3. Répartition spatiale des coûts liés à l'exposition des bâtiments, terrains et des infrastructures de transport au Québec maritime d'ici 2065

3.2 Bâtiments

Le portrait global incluant les marges de sécurité indique que 5 426 bâtiments seront exposés d'ici 2065 si aucune solution d'adaptation n'est mise en place, pour un coût total estimé à 732 M\$ (tableau 8). La classe d'utilisation résidentielle domine largement le portrait avec 4 848 bâtiments exposés. De ce nombre, 2 225 sont des chalets ou des résidences secondaires et leur valeur équivaut à 219 M\$. La valeur totale des bâtiments résidentiels (terrains inclus) représente 610 M\$, soit 83 % de la valeur de tous les bâtiments exposés d'ici 2065. Les bâtiments à usage non déterminé (198), de services (184), commerciaux (158) et les industries (38) représentent quant à eux 11 % des bâtiments exposés. Ils se partagent 122 M\$, c'est-à-dire 17 % de la valeur totale (figure 4 et 5). Pour plus de détails sur les types de bâtiments, l'annexe 2 présente une série de tableaux qui permettent de comparer les données avec et sans marge de sécurité, et ce, pour chaque MRC du Québec maritime.

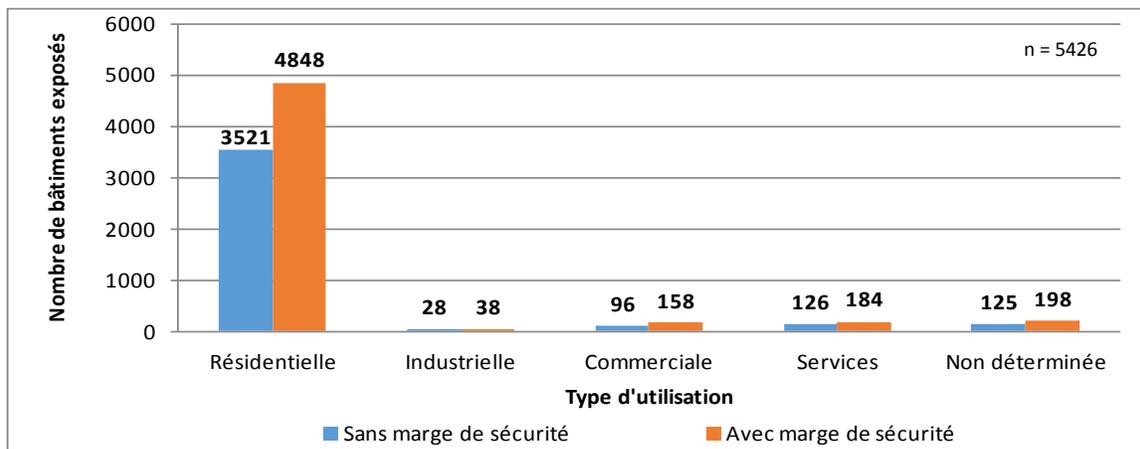


Figure 4. Nombre de bâtiments exposés à l'érosion côtière d'ici 2065 pour le Québec maritime, avec et sans marge de sécurité

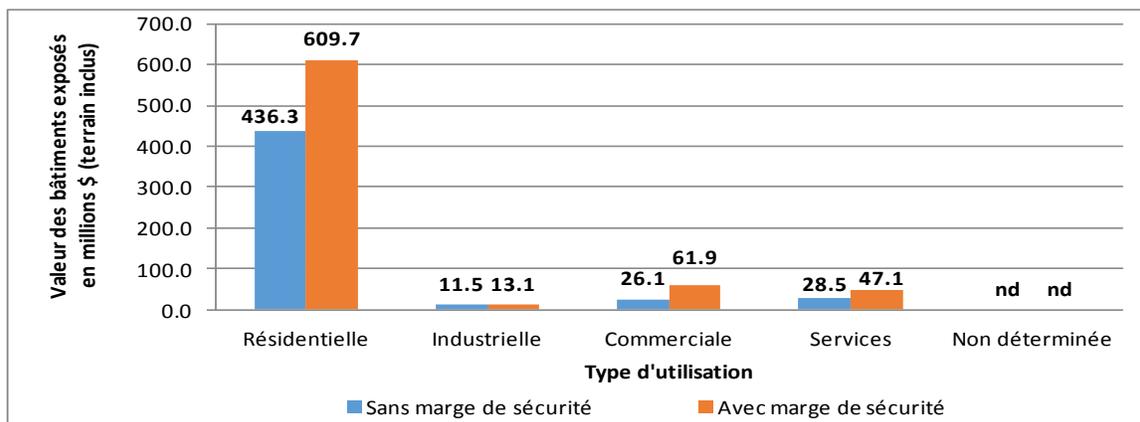


Figure 5. Valeur des bâtiments (terrains inclus) exposés à l'érosion côtière d'ici 2065 pour le Québec maritime, avec et sans marge de sécurité

La répartition temporelle du nombre de bâtiments exposés et des pertes associées à court, moyen et long terme permet de constater que l'érosion côtière est une problématique majeure au Québec maritime. Le plus grand défi sera de gérer le problème à court terme. En effet, d'ici 10 ans, c'est 2 568 bâtiments (figure 6), soit 47 % de tous les bâtiments exposés d'ici 2065 qui pourraient être touchés. Si rien n'est fait, la valeur des pertes pourrait se chiffrer à 355 M\$ d'ici 2025 (figure 7). Si la tendance se maintient, c'est 1521 nouveaux bâtiments d'une valeur totale estimée à 191 M\$ qui seront exposés entre 2025 et 2045 alors que 1337 autres (185 M\$) s'ajouteront entre 2045 et 2065. Si l'augmentation du nombre de bâtiments exposés et leur valeur décroît légèrement à moyen et à long terme, les enjeux demeurent majeurs alors que le nombre de bâtiments touché pourrait facilement doubler entre 2025 et 2065 et ainsi atteindre la somme estimée de 732 M\$ en pertes cumulées (figure 6 et 7).

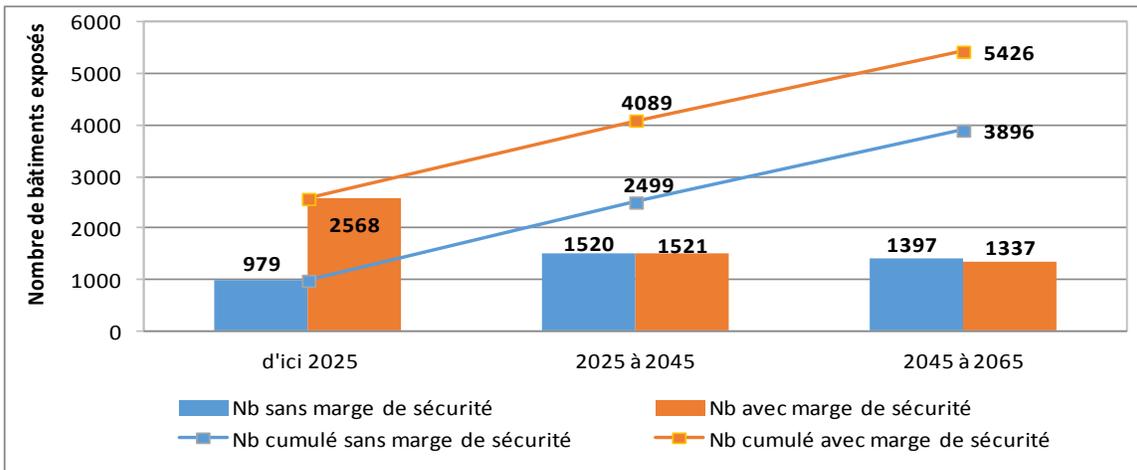


Figure 6. Nombre de bâtiments exposés d'ici 2025, 2045 et 2065 pour le Québec maritime, avec et sans marge de sécurité

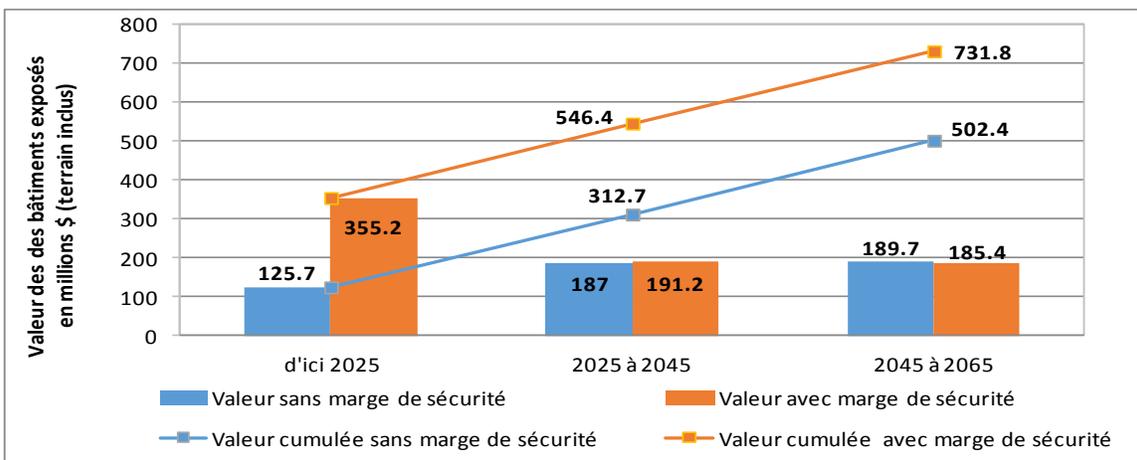


Figure 7. Valeur des bâtiments (terrains inclus) en 2025, 2045 et en 2065 pour le Québec maritime, avec et sans marge de sécurité

Le Bas-Saint-Laurent sera la région la plus touchée avec un total de 2 210 bâtiments exposés d'ici 2065 pour un coût estimé de 384 M\$ (figure 8 et Figure 9). La forte densité de la population en zone côtière et la présence de pôles économiques importants, comme La Pocatière, Rivière-du-Loup, Rimouski et Matane, font que la pression de développement le long des côtes y est plus élevée que dans les deux autres régions à l'étude. Inversement, la population dispersée sur un vaste territoire côtier permet d'expliquer en partie pourquoi il y a un moins grand nombre de bâtiments exposés dans les régions de la Côte-Nord et de la Gaspésie/Îles-de-la-Madeleine. Malgré tout, 1 810 bâtiments pour une valeur de 184 M\$ seront exposés d'ici 2065 sur la Côte-Nord, alors que pour la Gaspésie/Îles-de-la-Madeleine, c'est 1 406 bâtiments, pour un total de 163 M\$ qui seront exposés d'ici 2065 (figure 8 et 9).

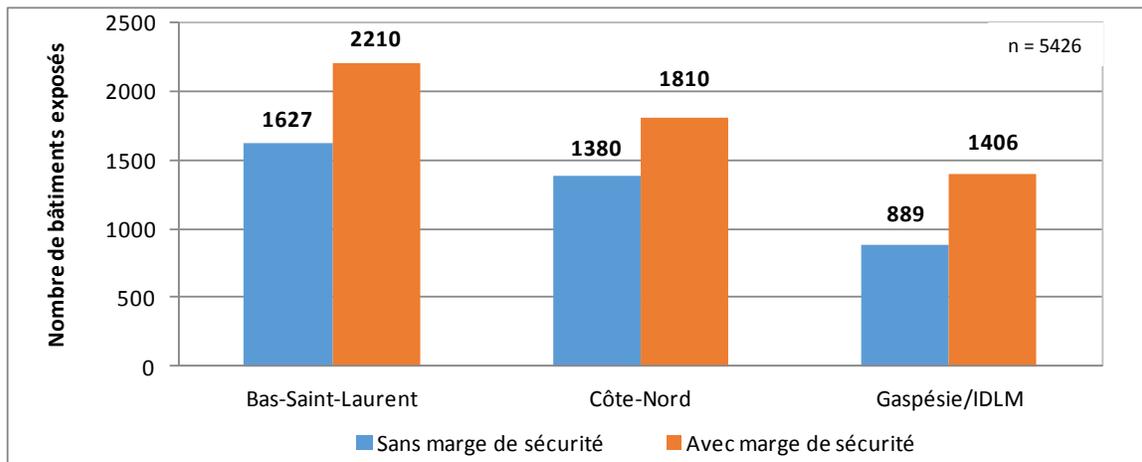


Figure 8. Nombre de bâtiments exposés à l'érosion côtière d'ici 2065 pour chaque région du Québec maritime, avec et sans marge de sécurité

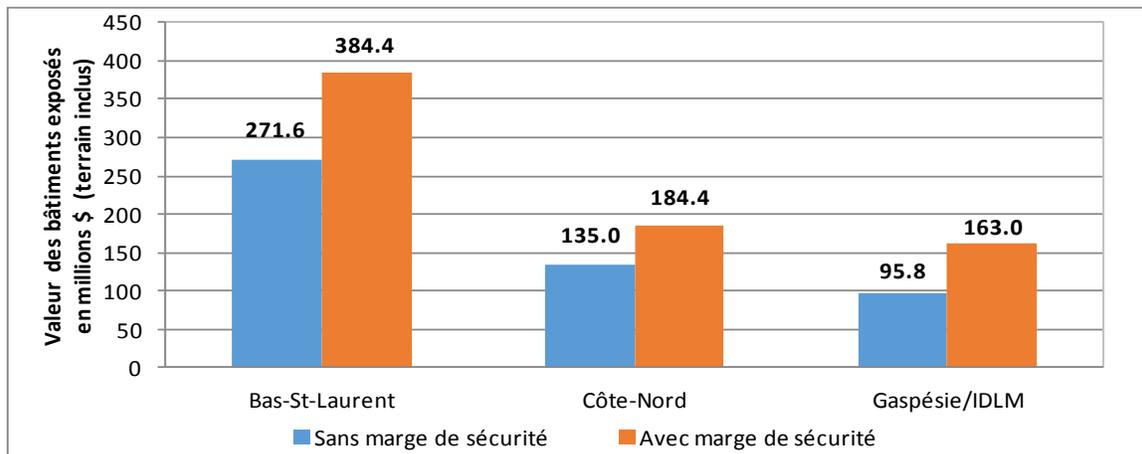


Figure 9. Valeur des bâtiments exposés à l'érosion côtière d'ici 2065 pour chaque région du Québec maritime, avec et sans marge de sécurité

Dans une perspective à court terme, c'est au Bas-Saint-Laurent que la problématique est la plus importante. En effet, 1 268 bâtiments totalisant 222 M\$ seront exposés à l'érosion d'ici 2025 dans cette région (figure 10 et 11). Si la tendance se maintient, c'est 536 nouveaux bâtiments d'une valeur totale estimée à 91 M\$ qui seront exposés entre 2025 et 2045 alors que 406 autres d'une valeur totale de 72 M\$ s'ajouteront entre 2045 et 2065. Ce qui fait qu'en 2065, les chiffres pourraient avoir doublé par rapport à 2025 et atteindre plus de 384 M\$ en pertes cumulées (figure 11). En Gaspésie et aux Îles-de-la-Madeleine, le nombre de bâtiments et leur valeur sont relativement importants d'ici 2025 et tend aussi à diminuer pour les périodes suivantes (figures 10 et 11). De façon cumulée, le nombre et la valeur des bâtiments pourraient doubler d'ici 2065 en passant de 698 à 1406 bâtiments pour une valeur totale de 163 M\$ (Figure 10 et 11). Sur la Côte-Nord, on note plutôt une constance entre les trois horizons de temps (figure 10). Si 602 bâtiments sont identifiés comme potentiellement exposés pour une valeur de 49 M\$ d'ici 2025, le nombre cumulé pourrait tripler d'ici 2065, alors que 1 810 bâtiments pour une valeur de 184 M\$ pourraient être exposés.

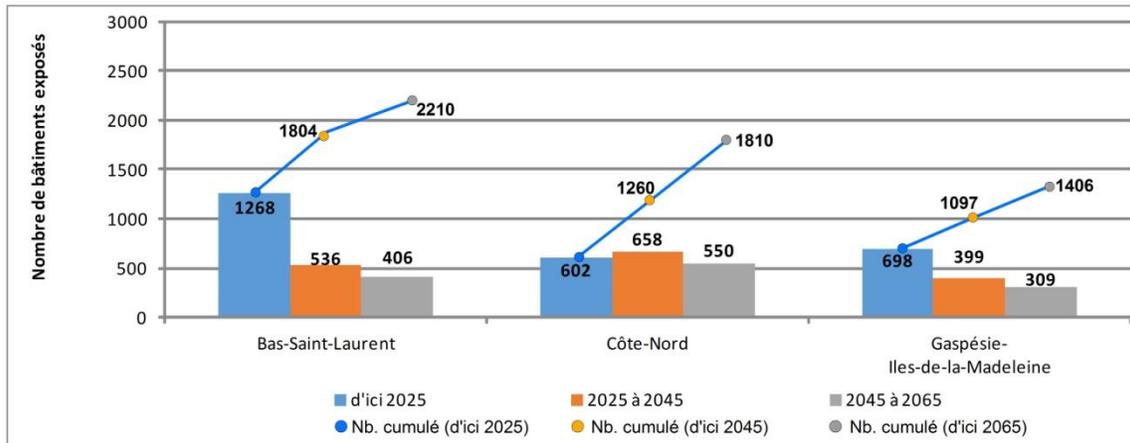


Figure 10. Nombre de bâtiments (terrains inclus) exposés en 2025, 2045 et en 2065 par région administrative en incluant la marge de sécurité

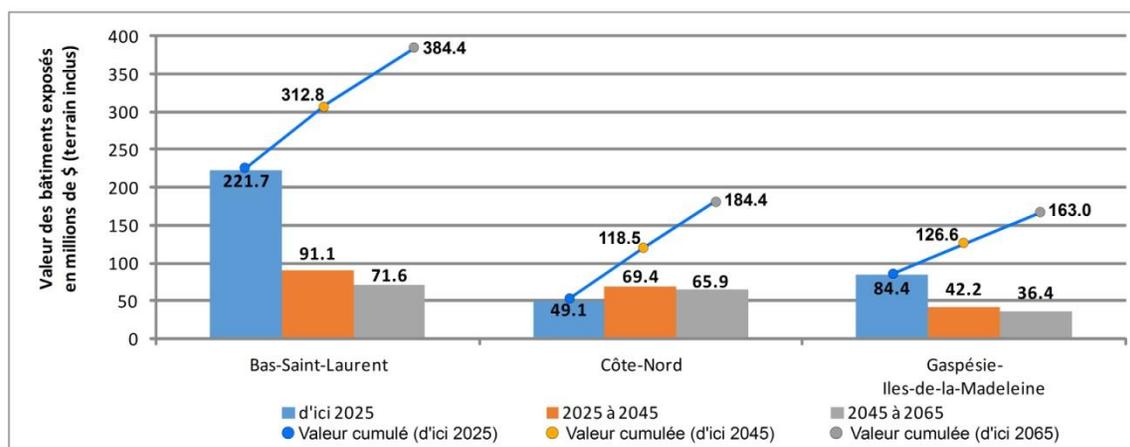


Figure 11. Valeur des bâtiments (terrains inclus) exposés en 2025, 2045 et en 2065 par région administrative en incluant la marge de sécurité

La figure 12 présente le détail des types de bâtiments exposés d'ici 2065 pour chacune des trois régions du Québec maritime. En complément, les figures 13 et 14 permettent une comparaison des 16 MRC en dressant le portrait du nombre et de la valeur des bâtiments exposés pour chacune d'elles et la carte de la figure 15 en présente la répartition spatiale.

Au Bas-Saint-Laurent, 96 % des bâtiments exposés et 87 % des pertes sont associés à des bâtiments résidentiels (figure 12). Les autres classes, comme les bâtiments industriels, commerciaux, de services et à usage non déterminé, ne représentent que 13 % de la valeur estimée pour la même période, c'est-à-dire une valeur totale de 49 M\$. Il y a lieu de noter que les bâtiments résidentiels dans cette région sont constitués en majorité de résidences secondaires, soit 1 134 par rapport à 878 résidences principales. C'est dans la MRC de Rimouski-Neigette que l'on retrouve le plus grand nombre de bâtiments exposés (527) ainsi que la valeur des pertes la plus élevée (96 M\$) (figures 13 et 14). La MRC Les Basques vient au 2^e rang pour le nombre de bâtiments exposés avec 456. Toutefois, leur valeur est estimée à près de 40 M\$, ce qui la classe au dernier rang des MRC du Bas-Saint-Laurent à ce niveau. La MRC de la Matanie se démarque en ce qui concerne les commerces. En effet, 15 bâtiments, représentant une valeur totale de plus de 24 M\$, y sont localisés (annexe 2).

Sur la Côte-Nord, le portrait est proportionnellement semblable à celui du Bas-Saint-Laurent. En effet, 94 % des bâtiments exposés et 93 % des pertes sont associés à des bâtiments résidentiels (figure 12). Les autres classes comme les bâtiments industriels, commerciaux, de services et à usage non déterminé ne représentent que 7 % de la valeur estimée pour la même période, c'est-à-dire une valeur totale de près de 13 M\$. Ici cependant, le nombre de résidences principales (915) est plus élevé que celui des résidences secondaires (626). Les bâtiments exposés sur la Côte-Nord sont principalement concentrés dans les MRC de la Manicouagan et des Sept-Rivières (figure 15). C'est d'ailleurs la MRC de Manicouagan qui vient au 1^{er} rang des MRC du Québec maritime pour le nombre de bâtiments exposés d'ici 2065, avec 740. Elle se classe aussi au 5^e rang pour la valeur totale des pertes avec plus de 61 M\$. De son côté, la MRC des Sept-Rivières vient au 3^e rang au Québec pour le nombre de bâtiments exposés, avec 505, et se classe 2^e pour la valeur des pertes, avec un total de 76 M\$. Les deux mêmes MRC se démarquent aussi au niveau de la classe des bâtiments de services exposés d'ici 2065. En effet, 51 bâtiments de services (5 % des bâtiments) seront potentiellement exposés d'ici 2065 dans ces deux MRC, ce qui représente un total de près de 10 M\$ en pertes (annexe 2). La présence des deux principales villes de la Côte-Nord (Baie-Comeau et Sept-Îles), l'intensité des taux de reculs dans ces deux régions et la présence de grands secteurs de falaises argileuses expliquent en partie ce constat. Les deux autres MRC, c'est-à-dire la Haute-Côte-Nord et la Minganie présentent des résultats diamétralement opposés. En effet, elles se classent respectivement 14^e et 15^e sur 16 MRC en ce qui concerne la valeur des pertes (figures 13 et 14). La faible occupation du territoire résultant de la faible population de ces deux MRC explique ce résultat.

En Gaspésie et aux Îles-de-la-Madeleine, la classe résidentielle domine encore, mais de manière moins nette que dans les deux autres régions (figure 12). Toutefois, 72 % des bâtiments exposés et 63 % des pertes sont associés au secteur résidentiel. Comme sur la Côte-Nord, les résidences principales dominent avec 561 par rapport à 365 résidences secondaires. Les bâtiments industriels, commerciaux, de services et à usage non déterminé représentent 28% du nombre de bâtiments exposés et 37 % de la valeur des pertes estimées pour la même période. La somme de ces quatre catégories représente une valeur totale de 60 M\$, ce qui est l'équivalent des deux autres régions combinées en terme de valeur. Les bâtiments exposés sont répartis de manière

relativement uniforme dans chacune des MRC, à l'exception de la Haute-Gaspésie où seulement 121 bâtiments seront potentiellement exposés d'ici 2065 (figure 14). C'est presque deux fois moins que dans chacune des 4 autres MRC de la région. Ainsi, c'est en Haute-Gaspésie que l'on retrouve les pertes liées à l'érosion côtière les plus faibles des 16 MRC du Québec maritime, soit environ 9 M\$ d'ici 2065 (figure 14). La faible population de cette MRC combinée aux fortes contraintes d'aménagement contrôlées par le relief accidenté et la présence de longs remblais de route côtière entre les petites municipalités de ce secteur expliquent en partie ce constat. Au niveau des bâtiments commerciaux et de services, la MRC de la Côte-de-Gaspé est la plus touchée avec 47 bâtiments exposés d'ici 2065 (annexe 2). Les pertes potentielles sont évaluées à 18 M\$. La MRC du Rocher-Percé compte quant à elle 48 bâtiments commerciaux et de services potentiellement exposés d'ici 2065 pour un total de près de 13 M\$. Aux Îles-de-la-Madeleine, on retrouve 39 bâtiments commerciaux et de services exposés pour la même période, pour des pertes évaluées à 9 M\$. À noter qu'on y retrouve également 8 bâtiments industriels exposés d'ici 2065, pour une valeur de près de 5 M\$. Ainsi, 69 % des bâtiments commerciaux, de services et industriels de la Gaspésie/Îles-de-la-Madeleine qui sont potentiellement exposés d'ici 2065 se trouvent dans ces trois MRC. Enfin, 181 bâtiments à usage non déterminé sont comptabilisés pour cette région. Ils correspondent pour la plupart à des bâtiments secondaires localisés sur le même terrain qu'un bâtiment principal ayant sa propre évaluation foncière, ou encore à des constructions récentes, sans évaluation foncière et sans type d'utilisation. Pour ces raisons, aucune valeur ne leur a été conférée et, par conséquent, leur nombre est indiqué uniquement à titre indicatif.

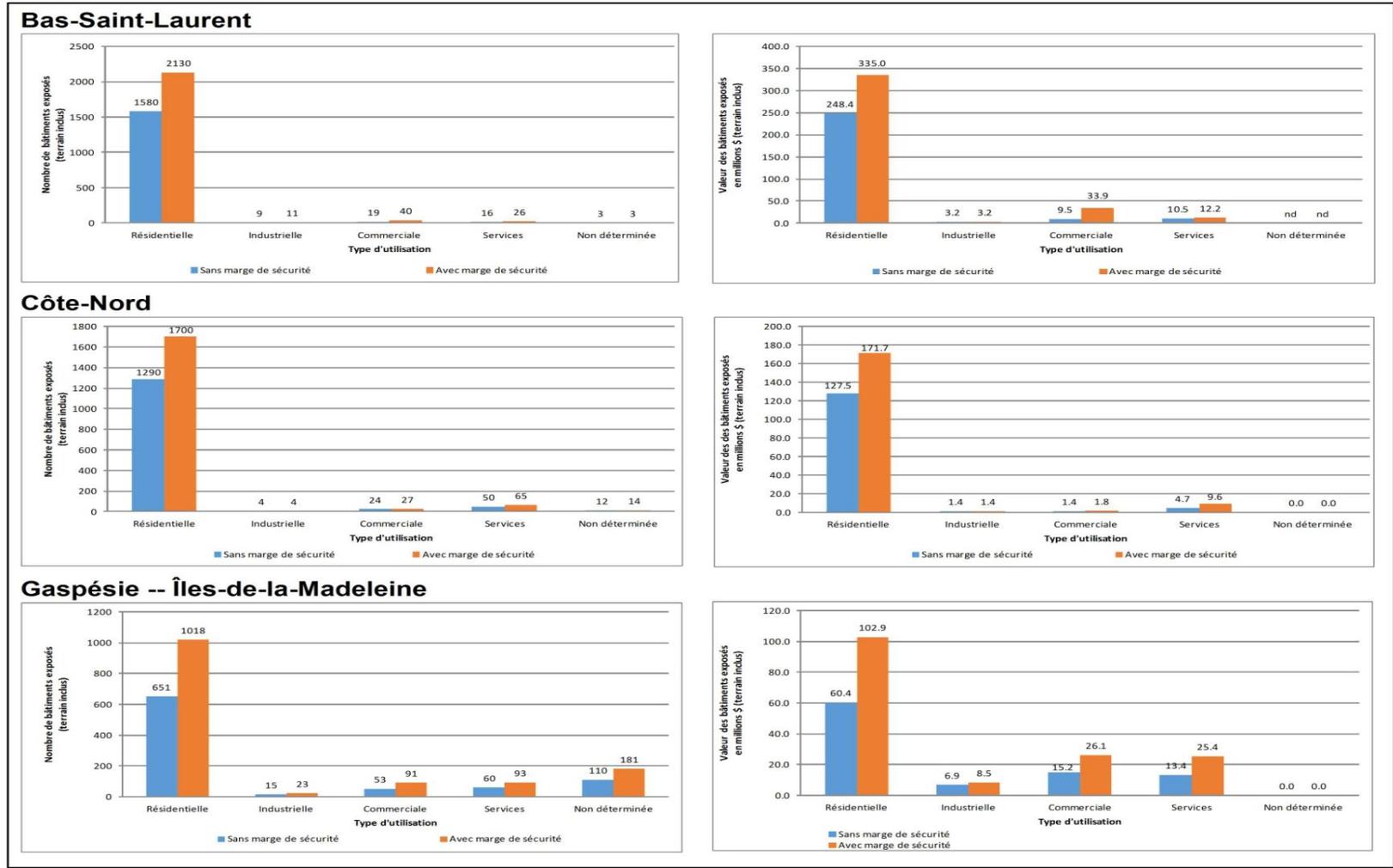


Figure 12. Nombre et valeur des bâtiments (terrains inclus) exposés à l'érosion côtière d'ici 2065 pour chaque région du Québec maritime, avec et sans marge de sécurité

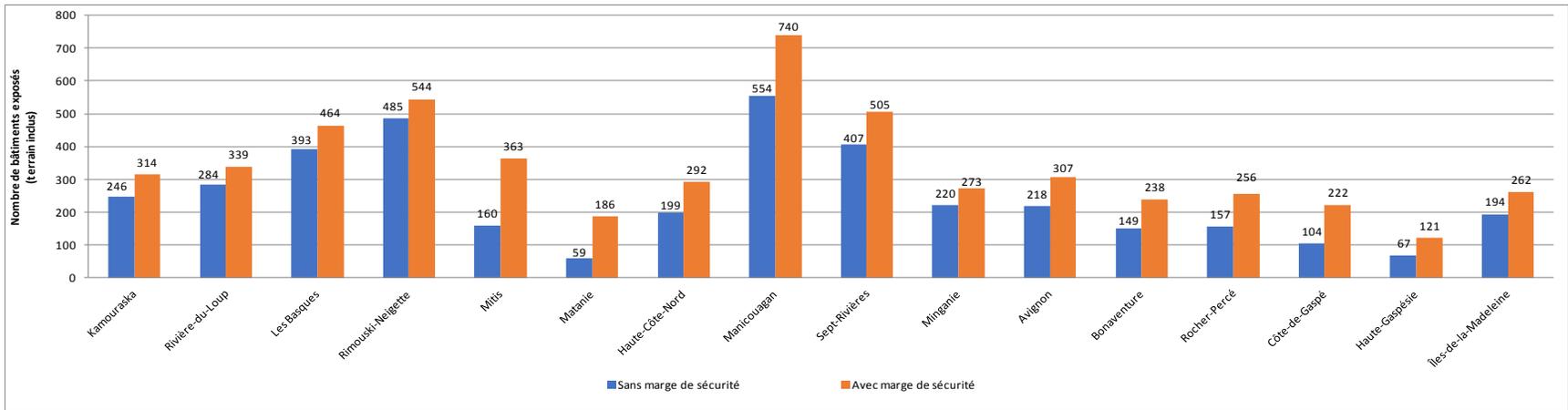


Figure 13. Nombre de bâtiments exposés à l'érosion côtière d'ici 2065 pour chaque MRC du Québec maritime, avec et sans marge de sécurité

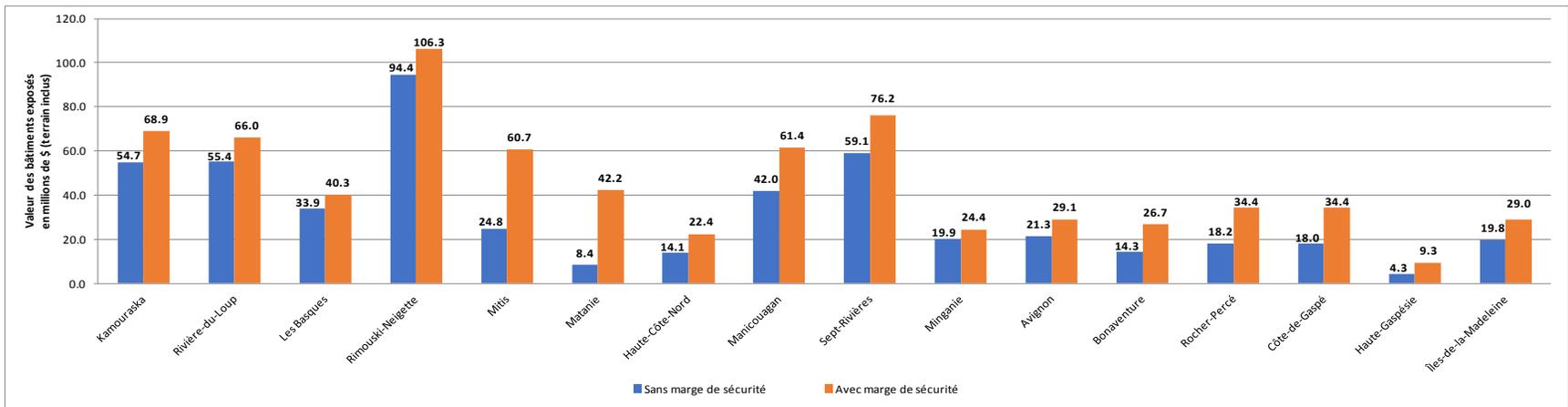
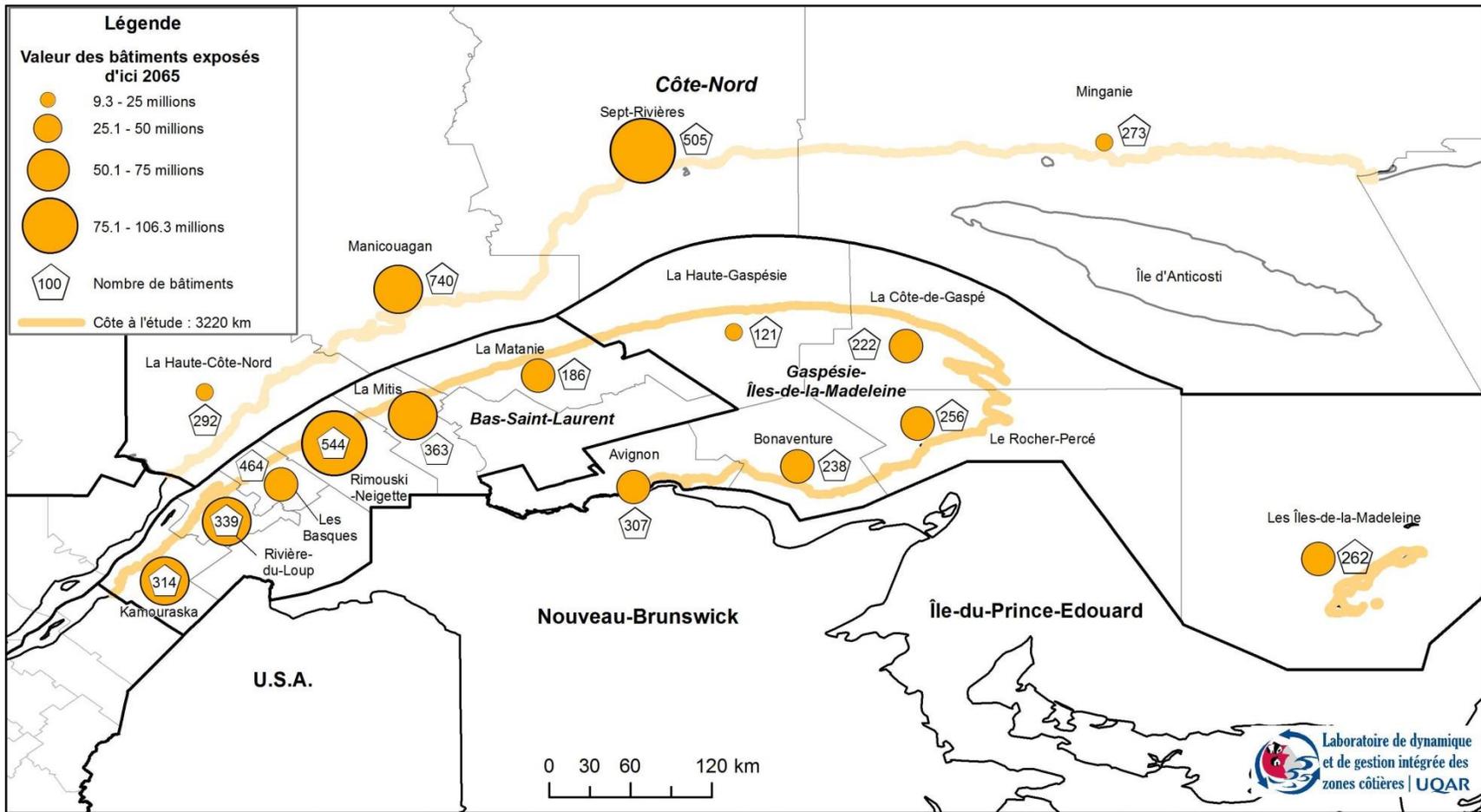


Figure 14. Valeur des bâtiments (terrains inclus) exposés à l'érosion côtière d'ici 2065 pour chaque MRC du Québec maritime, avec et sans marge de sécurité



Cartographie réalisée par le Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières, UQAR. Janvier 2015. Fond de carte de la BNDT au 1:250 000

Figure 15. Valeur des bâtiments (terrains inclus) exposés à l'érosion côtière en incluant la marge de sécurité d'ici 2065 pour le Québec maritime

3.3 Routes et chemins de fer

Le portrait global incluant les marges de sécurité indique que 320 km d'infrastructures (294 km de routes et 26 km de chemins de fer) seront exposés d'ici 2065, représentant un coût total de 775,6 M\$. Les routes municipales et locales exposées dominent avec 154 km, suivies de près par les routes nationales avec 138 km (figure 16). Cependant, le coût estimé des routes nationales exposées est nettement supérieur avec 468 M\$ par rapport à 181 M\$ pour les routes municipales et locales (figure 17). Dans une moindre mesure, 3 km de l'autoroute 20 seront exposés d'ici 2065, pour un coût de près de 17 M\$. Les chemins de fer comptent pour leur part 26 km de tronçons exposés, ce qui constitue un coût éventuel de 110 M\$. Pour plus de détails sur les types d'infrastructures, l'annexe 3 présente une série de tableaux qui permettent de comparer les données avec et sans marge de sécurité, et ce, pour chaque MRC du Québec maritime.

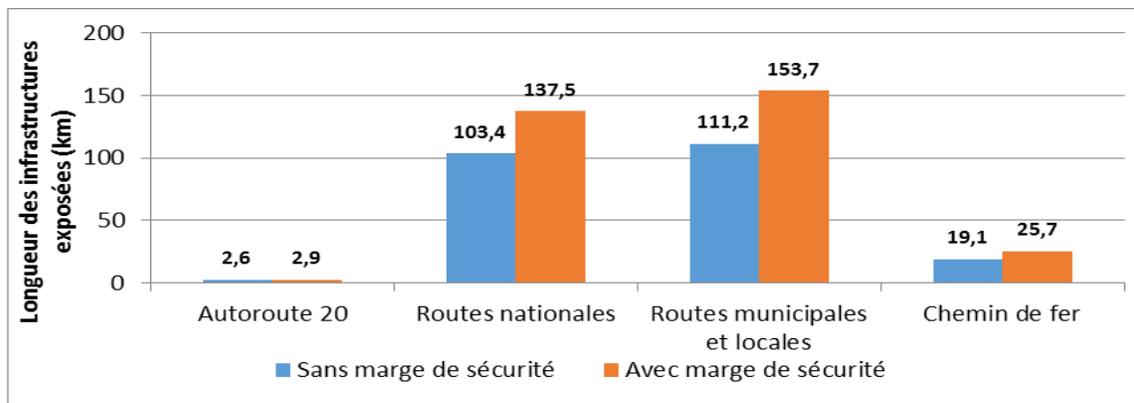


Figure 16. Longueur des routes et de chemins de fer exposés à l'érosion côtière d'ici 2065 pour le Québec maritime, avec et sans marge de sécurité

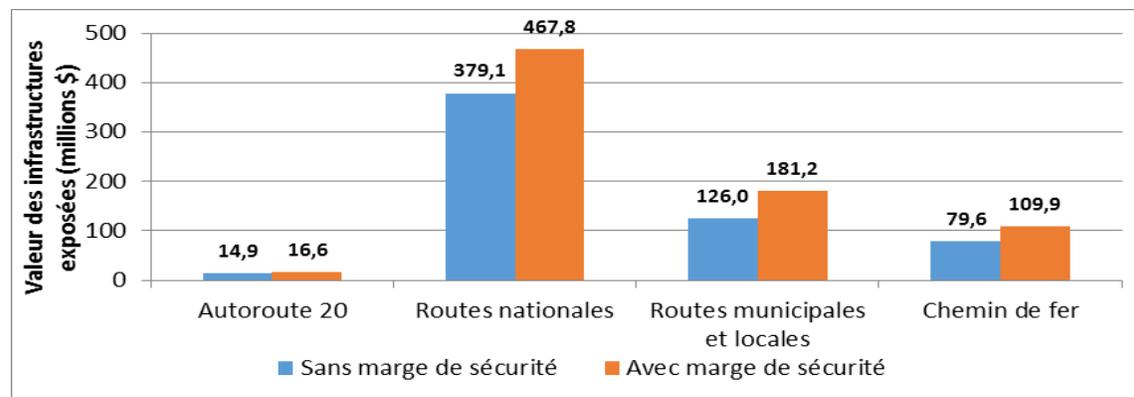


Figure 17. Coût estimé des routes et des chemins de fer exposés à l'érosion côtière d'ici 2065 pour le Québec maritime, avec et sans marge de sécurité

La Gaspésie/Îles-de-la-Madeleine est la région la plus touchée avec un total de 172 km de routes et de chemin de fer exposés (figure 18), pour un coût de 609 M\$ (Figure 19). La route nationale qui longe le nord de la Gaspésie et le chemin de fer dans la baie des Chaleurs sont principalement responsables de ces chiffres élevés. La région du Bas-Saint-Laurent vient ensuite

avec une longueur totale de 88 km d'infrastructures et un coût de 109 M\$. La Côte-Nord vient en troisième, mais compte tout de même 60 km d'infrastructures exposées pour un coût estimé de 58 M\$.

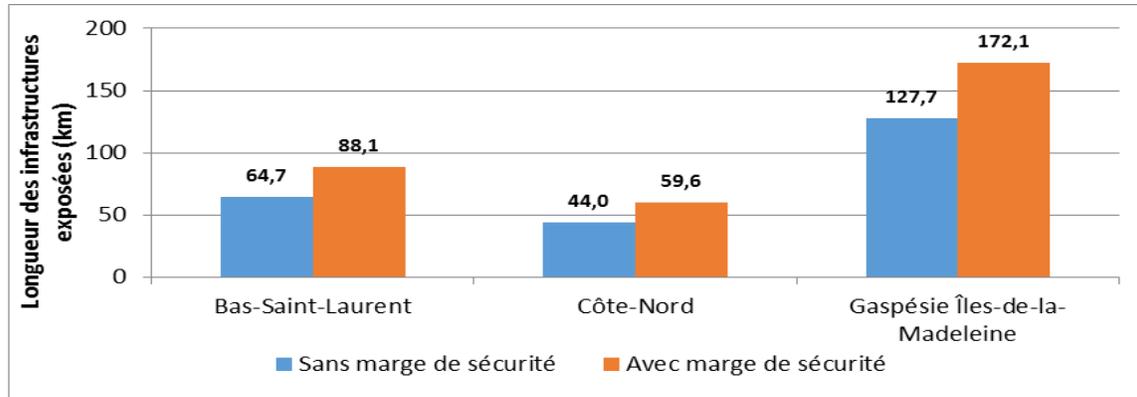


Figure 18. Longueur des routes et des chemins de fer exposés à l'érosion côtière d'ici 2065 pour chaque région du Québec maritime, avec et sans marge de sécurité

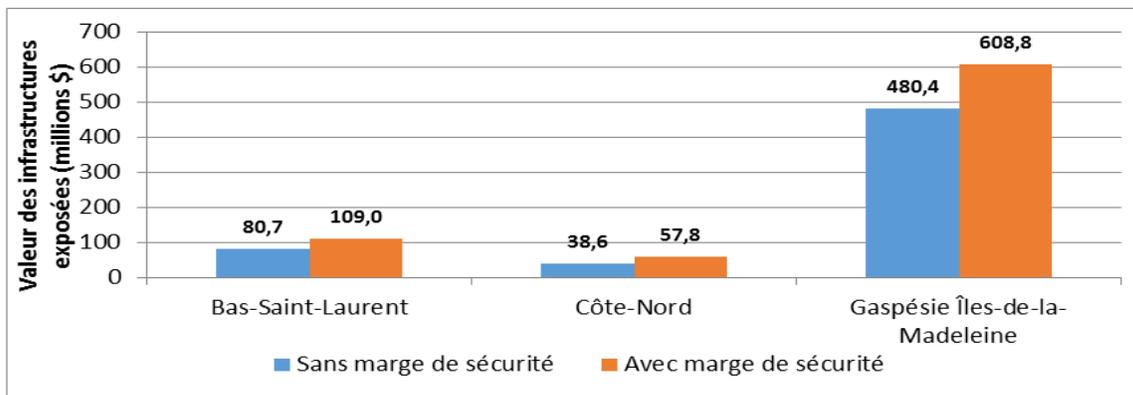


Figure 19. Coût estimé des routes et des chemins de fer exposés à l'érosion côtière d'ici 2065 pour chaque région du Québec maritime, avec et sans marge de sécurité

La figure 20 présente les types d'infrastructures exposées d'ici 2065 pour chacune des trois régions du Québec maritime. En complément, les figures 21 et 22 permettent une comparaison des 16 MRC en dressant le portrait de la longueur et de la valeur des infrastructures exposées pour chacune d'elles et la carte de la figure 23 en présente la répartition spatiale.

Au Bas-Saint-Laurent, ce sont les routes municipales et locales qui dominent avec près de 65 km de routes exposées pour un coût de près de 62 M\$ (figure 20). Ces routes sont bien réparties sur l'ensemble du territoire. La route 132 vient au second rang avec 17 km pour un coût de 23 M\$; les tronçons exposés se situent principalement dans les MRC de La Mitis et de La Matanie (annexe 3). Le Bas-Saint-Laurent est la seule région où une autoroute est exposée. Les 3 kilomètres d'autoroute exposés sont situés à Rivière-du-Loup et à La Pocatière, et présentent un coût estimé de près de 17 M\$ (annexe 3). Le chemin de fer exposé implique un coût de 8 M\$ et

se situe principalement dans Rimouski-Neigette (3 km) et compte deux autres petits tronçons à Notre-Dame-des-Neiges et à Rimouski.

Sur la Côte-Nord, l'exposition de la route 138 implique le coût le plus élevé à l'horizon 2065, avec plus de 29 M\$ pour près de 20 km de route (figure 20). Les routes municipales et locales suivent de près avec un coût évalué à 26 M\$, mais représentent le double de distance avec 40 km de route. Les routes exposées sur la Côte-Nord se situent principalement dans les MRC de la Haute-Côte-Nord et de la Manicouagan (figures 21 et 22). Enfin, le chemin de fer exposé compte un petit tronçon de 500 m à Baie-Comeau et représente un coût estimé à un peu plus de 2 M\$ (annexe 3).

En Gaspésie et aux Îles-de-la-Madeleine, les routes nationales dominent largement avec plus de 100 km de tronçons exposés pour un coût estimé de 416 M\$ (figure 20). La MRC de la Haute-Gaspésie comprend la majorité des tronçons de route nationale exposés, atteignant 61 km pour un coût estimé de près de 274 M\$ (annexe 3). Le lien routier entre Sainte-Anne-des-Monts et Sainte-Madeleine-de-la-Rivière-Madeleine représente ainsi l'enjeu économique le plus exposé au Québec maritime. La route 132 est aussi exposée à plusieurs endroits bien répartis ailleurs en Gaspésie. Aux Îles-de-la-Madeleine, c'est la route nationale 199 qui est exposée sur 10 km, représentant un coût de 42 M\$ (annexe 3).

Les routes municipales et locales représentent aussi un enjeu important en Gaspésie et aux Îles-de-la-Madeleine avec 50 km de tronçons exposés pour un coût estimé à 93 M\$ (figure 20). Aux Îles-de-la-Madeleine seulement, on compte près de 8 km de routes municipales et locales pour un coût de près de 36 M\$ (annexe 3). En Gaspésie, c'est dans la MRC d'Avignon qu'on retrouve la plus grande longueur de routes municipales et locales exposées, avec près de 12 km pour un coût estimé de 21 M\$ (annexe 3). Plusieurs autres petits tronçons sont bien répartis ailleurs sur le territoire. Le chemin de fer compte près de 22 km de tronçons exposés qui représentent un coût estimé de 99 M\$, constituant ainsi un autre enjeu d'importance en Gaspésie (figure 20). La MRC du Rocher-Percé en compte 12 km à elle seule et les autres kilomètres sont répartis de façon éparse dans la baie des Chaleurs et dans la baie de Gaspé (annexe 3).

La MRC de la Haute-Gaspésie se démarque fortement avec 71 km d'infrastructures de transport exposées pour un coût estimé de près de 285 M\$ (figure 22). Ce chiffre élevé est attribuable à la présence de la route nationale 132 qui longe le littoral. La baie des Chaleurs attire également l'attention, car les pertes potentielles dans les MRC d'Avignon, de Bonaventure et du Rocher-Percé sont estimées à 206 M\$ (figure 22). La MRC d'Avignon arrive en tête avec un coût estimé total de 81 M\$. Les Îles-de-la-Madeleine sont aussi parmi les MRC les plus touchées avec un coût évalué à près de 78 M\$ d'ici 2065 (figure 22).

Dans l'ensemble, sur la figure 21, on remarque que les MRC de la Haute-Gaspésie, de la Manicouagan et du Rocher-Percé se démarquent par la longueur des infrastructures exposées, soit 71 km dans le premier cas et 27 km pour les deux autres. Cependant, en termes de valeur de remplacement, ce sont les MRC de la Haute-Gaspésie, d'Avignon et des Îles-de-la-Madeleine qui se classent en tête avec des coûts estimés de 285 M\$, 81 M\$ et 78 M\$ respectivement (figure 22). Enfin, les MRC de Sept-Rivières et de La Mitis sont les moins touchées en termes de pertes estimées avec des coûts respectifs de 4 et de 11 M\$.

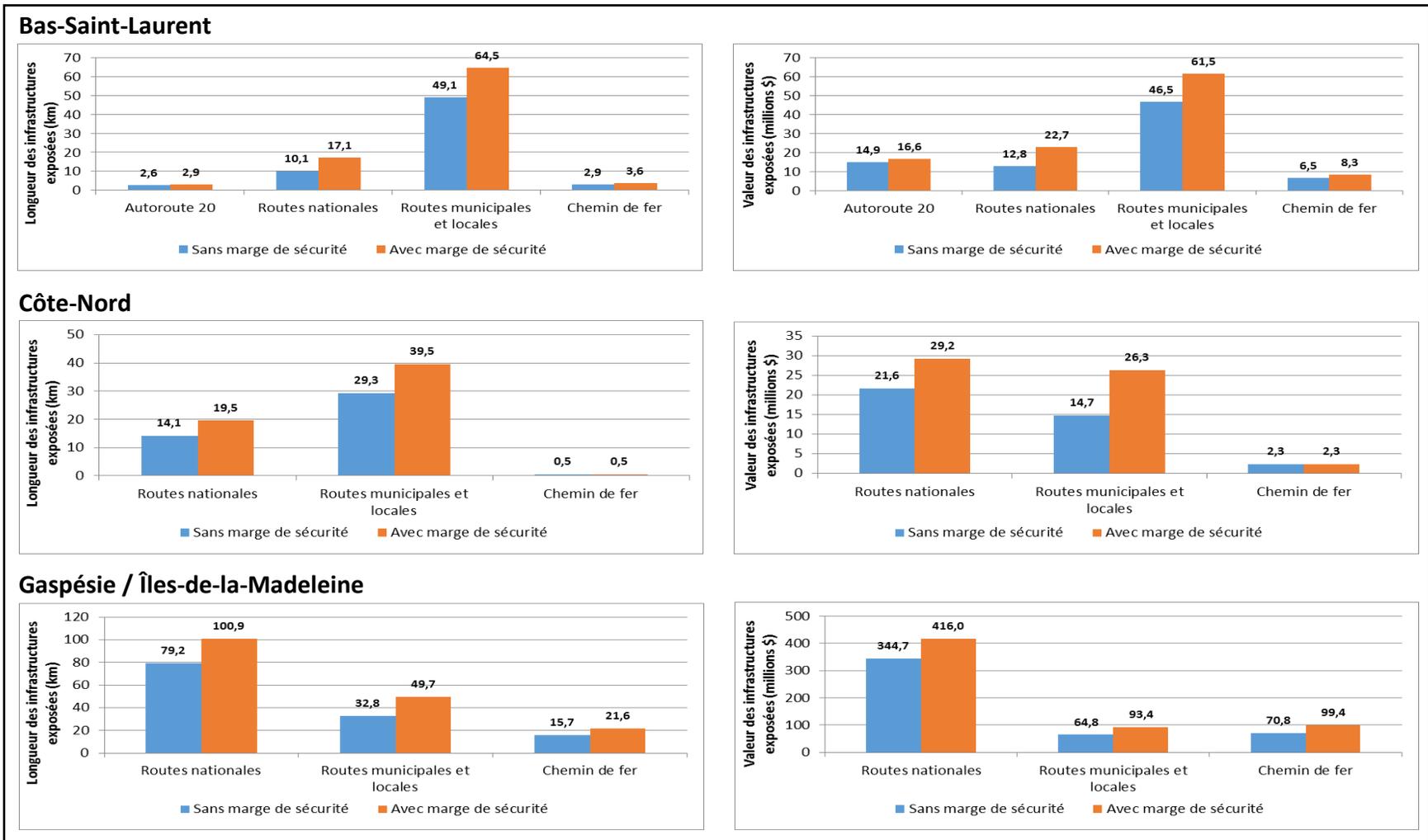


Figure 20. Longueur et coût estimé des routes et des chemins de fer exposés à l'érosion côtière d'ici 2065 pour chaque région du Québec maritime, avec et sans marge de sécurité

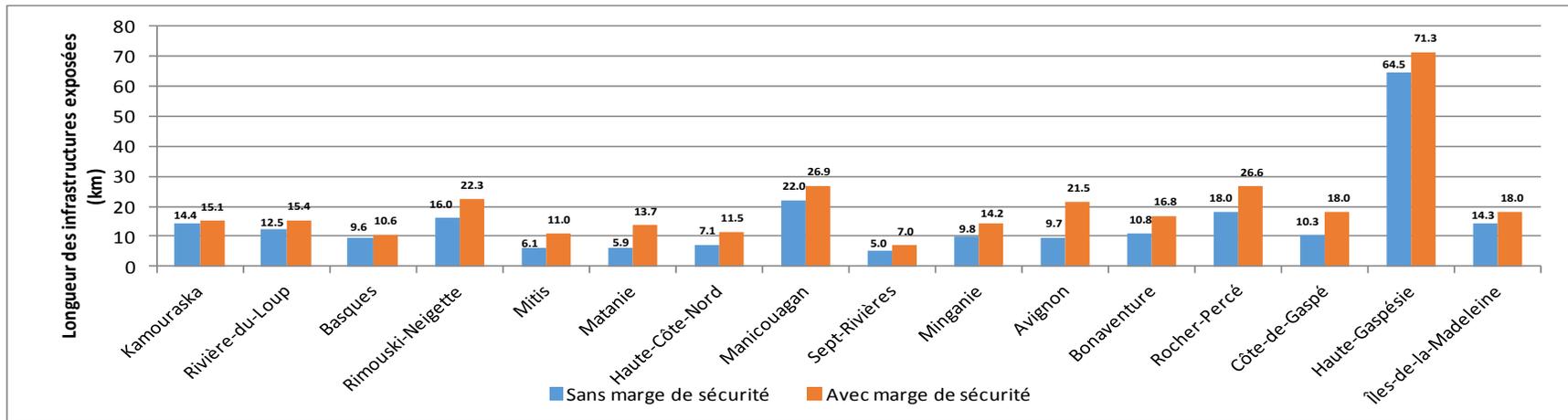


Figure 21. Longueur des routes et des chemins de fer exposés à l'érosion côtière d'ici 2065 pour chaque MRC du Québec maritime, avec et sans marge de sécurité

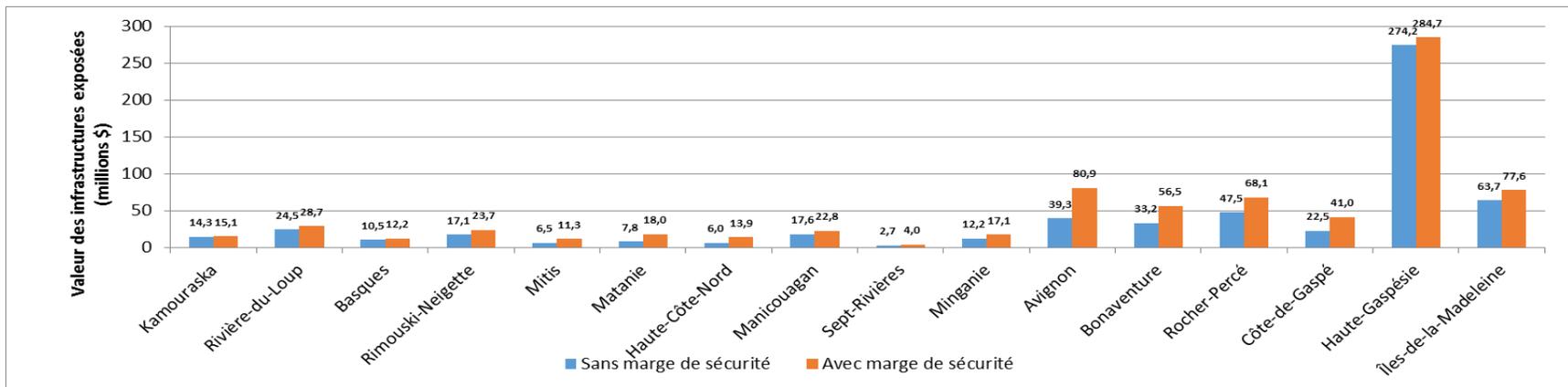
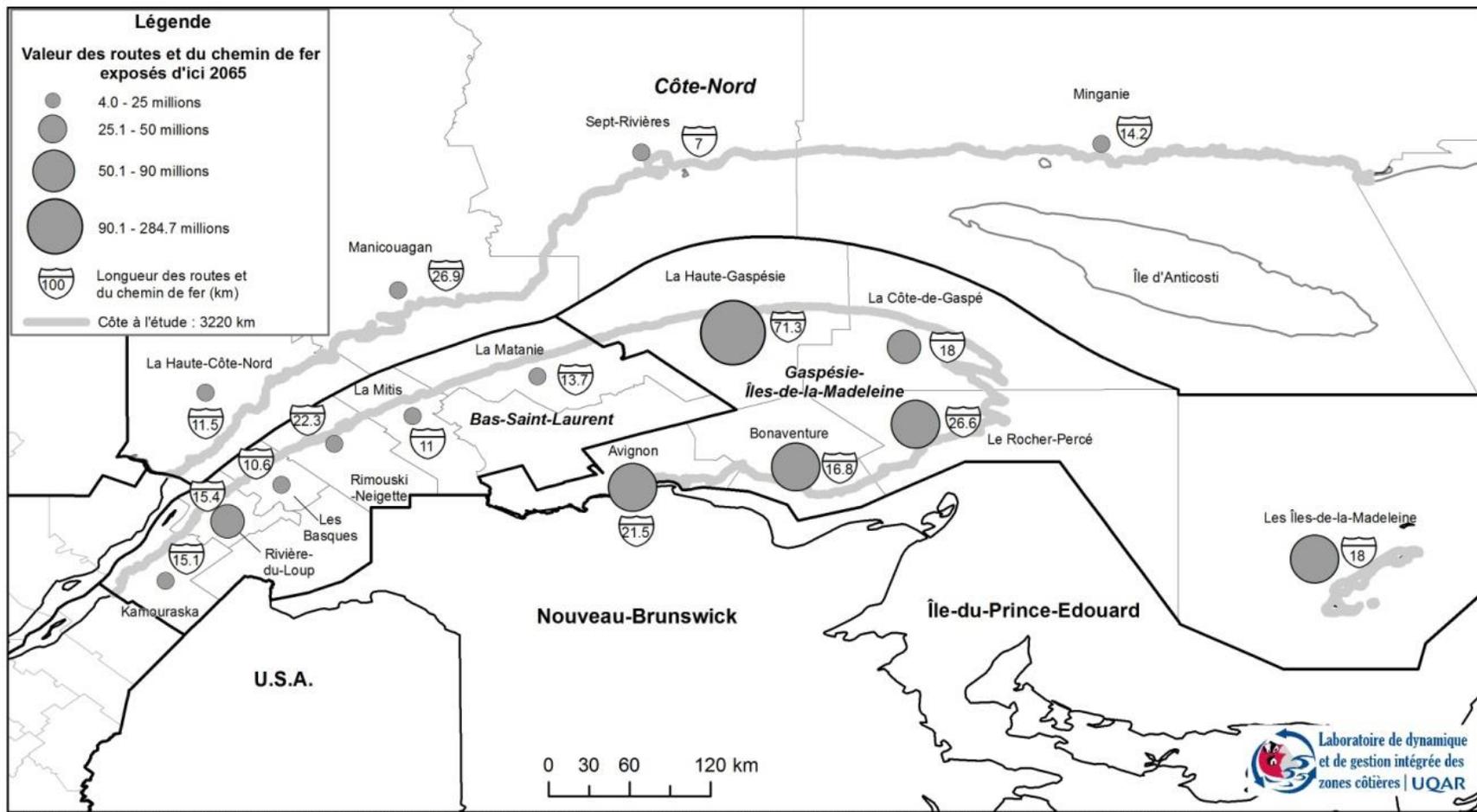


Figure 22. Coût estimé des routes et des chemins de fer exposés à l'érosion côtière d'ici 2065 pour chaque MRC du Québec maritime, avec et sans marge de sécurité



Cartographie réalisée par le Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières, UQAR. Janvier 2015. Fond de carte de la BNDT au 1:250 000

Figure 23. Portrait de l'exposition des routes et des chemins de fer en incluant la marge de sécurité d'ici 2065 pour chaque MRC du Québec maritime

3.4 Discussion sur l'exposition des routes

Tel que mentionné en introduction, l'exposition des routes nationales à l'érosion et à la submersion côtière dans l'Est du Québec a été évaluée par Drejza *et al.* (2014b). Cette étude, réalisée en collaboration avec le ministère des Transports du Québec, indique que 109 km de route nationale seront exposés à l'érosion côtière d'ici 2060. Pour le même territoire, la présente étude indique plutôt que 140 km de route nationale (incluant l'autoroute 20) seront exposés d'ici 2065 (tableau 8). Bien que l'horizon diffère de 5 ans, la différence de plus de 30 km soulève des questions. De plus, les résultats sont différents au niveau des régions en étant plus élevés au Bas-Saint-Laurent et sur la Côte-Nord et nettement inférieurs en Gaspésie/Îles-de-la-Madeleine (tableau 9).

Tableau 9. Comparaison des résultats de la présente étude sur l'exposition des routes nationales avec l'étude de Drejza *et al.* (2014)

	Présente étude	Drejza <i>et al.</i> (2014)
	Routes nationales exposées d'ici 2065	Routes nationales exposées d'ici 2060
	Longueur (km)	Longueur (km)
Bas-Saint-Laurent	19,9	31,2
Kamouraska	0,3	2,1
La Matanie	7,4	14,3
La Mitis	5,0	8,1
Les Basques	0,0	0,0
Rimouski-Neigette	2,9	1,8
Rivière-du-Loup	4,3	4,9
Côte-Nord	19,5	30,5
La Haute-Côte-Nord	4,8	8,8
Manicouagan	6,9	9,9
Minganie	6,7	9,7
Sept-Rivières	1,1	2,1
Gaspésie/Îles-de-la-Madeleine	100,9	47,3
Avignon	8,2	8,0
Bonaventure	8,5	8,1
La Côte-de-Gaspé	7,0	1,8
La Haute-Gaspésie	61,0	14,4
Le Rocher-Percé	6,0	4,9
Les Îles-de-la-Madeleine	10,2	10,1
Total Est du Québec	140,3	109,0

Plusieurs facteurs méthodologiques peuvent expliquer ces différences. D'abord, la forte différence observée pour la MRC de la Haute-Gaspésie et, dans une moindre mesure, pour la MRC de la Côte-de-Gaspé dépend de deux facteurs. Le premier est que l'ensemble de la route 132 qui longe le pied des falaises dans le nord de la Gaspésie a été considéré comme exposé dans la présente étude, puisque la route ne peut être déplacée et qu'il faudra entretenir les ouvrages de protection existants. Deuxièmement, puisque ce secteur présente des ouvrages de protection depuis longtemps, aucun taux probable n'a été calculé dans l'étude de Drejza *et al.* (2014b) et donc seulement un recul événementiel a été considéré dans le calcul de l'exposition. Ainsi, 491,7 km de routes situées dans une bande de 500 m du littoral ont une exposition non déterminée dans l'étude de Drejza *et al.* (2014b) en raison de l'absence de données sur l'érosion des côtes. Par exemple, pour les MRC de la Haute-Gaspésie et de la Côte-de-Gaspé, plus de 75% des routes situées dans la bande de 500 m n'ont aucune donnée. Rappelons que dans la

présente étude, en l'absence de données pour un tronçon donné, un taux probable a tout de même été calculé à partir des stations de suivi du LDGIZC entre 2000 et 2012 sur la base d'une moyenne par type de côte pour une région homogène. Ces segments représentent 24% des côtes (voir section 2.1.3). Il est ainsi plausible que la longueur de route exposée soit plus grande par rapport à l'étude de Drejza *et al.* (2014b).

Pour les régions du Bas-Saint-Laurent et de la Côte-Nord, on observe la situation inverse : les résultats de la présente étude sont inférieurs à ceux de Drejza *et al.* (2014b) (tableau 9). La principale raison est la différence entre les marges de sécurité utilisées dans les deux études, surtout en ce qui concerne les terrasses de plage. Drejza *et al.* (2014b), ont utilisé un recul événementiel maximal pour chaque type de côte, et ce de façon spécifique à chaque région. Ces données ont été mesurées suite à des événements de tempête dans le cadre du système de suivi de l'érosion côtière du Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières de l'UQAR. Au Bas-Saint-Laurent, ces valeurs de recul varient entre -8,4 m et -12,8 m pour les terrasses de plage qui comptent pour 42 % (206 km) des côtes de la région. Sur la Côte-Nord, le recul événementiel maximal mesuré est de 12,05 m pour les terrasses de plage qui comptent pour 18% (306 km) des côtes. Tous les tronçons de route situés à l'intérieur de cette marge sont ainsi considérés comme exposés. Dans la présente étude, puisque le territoire couvert ne se limitait pas qu'aux infrastructures routières, une marge fixe de 5 m a été établie pour toutes les côtes basses (voir section 2.5.1), ce qui réduit fortement la longueur de route exposée. Dans les MRC de La Mitis et de La Matanie, la forte différence de route exposée entre les deux études est liée à la présence de la route 132 qui longe la mer sur les terrasses de plage. Les taux probables sont faibles dans ce secteur et la différence de largeur de marge de sécurité entre les deux études a un fort impact sur la longueur de route exposée.

Un dernier facteur qui peut expliquer la différence de longueur des routes exposées entre les deux études est la longueur des segments utilisée pour calculer l'exposition qui est de 10 m pour la présente étude et de 100 m pour l'étude de Drejza *et al.* (2014b). Ainsi, lorsqu'une partie d'un segment de 100 m est touché, c'est tout le tronçon qui est considéré comme exposé. Considérant qu'il y a 1 250 km de route nationale à moins de 500 du littoral dans l'Est du Québec, la différence dans la longueur de segments routiers exposés à l'érosion entre les deux études est somme toute faible.

5. CONCLUSION

Cette étude constitue la première évaluation économique de l'impact potentiel de l'érosion côtière à l'échelle du Québec maritime dans un contexte de changements climatiques. Le bilan global d'ici 2065 indique un coût de 1,5 milliard en dollars de 2012, en considérant les bâtiments (732 M\$), les terrains (15,5 M\$) et les infrastructures de transport (776 M\$) actuels. Le rythme accéléré de l'érosion des côtes dans certains secteurs, notamment sur la Côte-Nord et surtout le cadre bâti densément construit très près de la ligne de rivage ou du trait de côte au Bas-Saint-Laurent et en Gaspésie expliquent en grande partie l'ampleur de la problématique. L'analyse fait ressortir l'importance de l'exposition à court terme des bâtiments qui, dans plusieurs régions, représentent près de 50 % du total des bâtiments exposés à l'horizon de 2025, soit dans moins de dix ans. Les bâtiments résidentiels représentent de loin les valeurs à risque les plus importantes, et ce, pour toutes les régions représentant 83% de l'ensemble des bâtiments exposés d'ici 2065. Cependant, en Gaspésie-Îles-de-la-Madeleine de nombreux bâtiments commerciaux et de services sont aussi exposés.

Les résultats sur l'exposition des bâtiments, des terrains et des infrastructures de transport reposent sur une analyse de haute résolution, mais, étant donné la grandeur du territoire (3 220 km de côte), ainsi que la grande quantité de données traitées (plus de 5 400 bâtiments exposés et plus de 31 000 tronçons d'infrastructures de transport), une incertitude demeure. De plus, la méthode utilisée pour analyser l'évolution historique et déterminer le taux probable varie selon les régions étudiées et les données sur l'évolution côtière ne sont pas disponibles partout. Certaines extrapolations basées sur des moyennes régionales ont dû être réalisées par endroits afin de couvrir l'ensemble du territoire. Néanmoins, une validation rigoureuse des données a été effectuée pour minimiser ces erreurs potentielles.

L'analyse économique a suivi une méthode rigoureuse. La valeur des bâtiments et terrains a été établie à partir de la valeur foncière ajustée au marché pour l'année 2012. Quant à l'estimation des coûts de remplacement des routes et des chemins de fer, elle a été adaptée à chaque contexte local, reflétant davantage les coûts potentiels qu'une moyenne générale extrapolée. De plus, à ces coûts de remplacement, des frais d'ingénierie et de surveillance de chantier de 15 % ont été ajoutés pour les infrastructures de transport afin de refléter au mieux la réalité. Bien que l'étude ne tienne pas compte des constructions futures qui pourraient s'ajouter aux éléments exposés, elle ne considère pas non plus la mise en place éventuelle de protections côtières, qui peuvent limiter le recul de la côte et ainsi réduire l'exposition des bâtiments et infrastructures. Les chiffres présentés dans cette étude reflètent ainsi une bonne estimation des dommages futurs. Dans une étude plus globale sur la vulnérabilité des communautés côtières liée aux aléas côtiers dans un contexte de changements climatiques, il faudra cependant tenir compte des impacts liés aux autres aléas (submersion et glissement de terrain) et aussi évaluer l'ensemble des coûts indirects et non matériels des impacts sociaux, environnementaux et économiques.

Enfin, cette étude apporte un argument de taille en faveur d'une gestion préventive des risques littoraux qui permettrait de limiter considérablement les coûts associés à l'érosion côtière. L'hypothèse implicite de cette analyse est qu'il ne sera pas possible de construire de nouvelles infrastructures à l'intérieur des zones exposées à l'érosion côtière d'ici 2065. En l'absence d'une

telle politique, la valeur totale de l'exposition sera potentiellement beaucoup plus élevée. La question des risques côtiers doit être gérée dans une approche intégrée de la zone côtière qui prend en considération l'aménagement du territoire, la gestion et l'atténuation des risques, le cadre réglementaire, le développement socio-économique, ainsi que le suivi environnemental de l'ensemble des côtes du Québec maritime.

RÉFÉRENCES

Allison, I. dir. (2009). The Copenhagen Diagnosis 2009. Updating the world on the Latest Climate Science. New South Wales University. Climate Change Research Centre, Sydney, Australie, 60 p.

Bernatchez, P. (2003). Évolution littorale holocène et actuelle des complexes deltaïques de Betsiamites et de Manicouagan-Outardes : synthèse, processus, causes et perspectives, thèse de doctorat, Université Laval, 460 p.

Bernatchez, P., Boucher-Brossard, G., Corriveau, M. et Jolivet, Y. (2014). Impacts des changements climatiques sur l'érosion des falaises de l'estuaire maritime et du golfe du Saint-Laurent. Chaire de recherche en géoscience côtière, Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières, Université du Québec à Rimouski. Rapport de recherche remis au ministère de la Sécurité publique du Québec et au consortium Ouranos, 166 p.

Bernatchez, P. Boucher-Brossard, G., et Sigouin-Cantin, M. (2012a). Contribution des archives à l'étude des événements météorologiques et géomorphologiques causant des dommages aux côtes du Québec maritime et analyse des tendances, des fréquences et des temps de retour des conditions météo-marines extrêmes. Chaire de recherche en géoscience côtière, Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières, Université du Québec à Rimouski. Rapport remis au ministère de la Sécurité publique du Québec, 140 p.

Bernatchez, P. et Dubois, J.M.M. (2008). Seasonal Quantification of coastal Processes and cliff Erosion on fine sediments shoreline in a Cold Temperate Climate, Ragueneau Region, Quebec. *Journal of Coastal Research*, Vol. 24, p. 169-180

Bernatchez, P. et Dubois, J.-M.M. (2004). Bilan des connaissances de la dynamique de l'érosion des côtes du Québec maritime laurentien. *Géographie physique et Quaternaire*, 58(1), 45-71.

Bernatchez, P. et Fraser, C. (2012). Evolution of Coastal Defence Structures and Consequences for Beach Width Trends, Québec, Canada. *Journal of Coastal Research*, volume 28(6), 1550 -1566.

Bernatchez, P., Fraser, C., Friesinger, S., Jolivet, Y., Dugas, S., Drejza, S. et Morissette, A. (2008). Sensibilité des côtes et vulnérabilité des communautés du golfe du Saint-Laurent aux impacts des changements climatiques. Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières, Université du Québec à Rimouski. Rapport de recherche remis au Consortium OURLANOS et au FACC, 256 p.

Bernatchez, P., Friesinger, S., Denis, C. et Jolivet, Y. (2012b). Géorisques côtiers, vulnérabilité et adaptation de la communauté de Nutashkuan dans un contexte de changements climatiques. Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières, Université du Québec à Rimouski. Rapport de recherche remis au Conseil tribal Mamuitun et au ministère des Affaires autochtones et Développement du Nord Canada, 221 p.

Bernatchez, P., Friesinger, S., Denis, C. et Jolivet, Y. (2012c). Géorisques côtiers, vulnérabilité et adaptation de la communauté de Uashat mak Mani-Utenam dans un contexte de changements climatiques. Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières, Université du Québec à Rimouski. Rapport de recherche remis au Conseil tribal Mamuitun et au ministère des Affaires autochtones et Développement du Nord Canada, 240 p.

Bernatchez, P., Friesinger, S., Denis, C. et Jolivet, Y. (2012d). Géorisques côtiers, vulnérabilité et adaptation de la communauté de Pessamit dans un contexte de changements climatiques. Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières, Université du Québec à Rimouski. Rapport de recherche remis au Conseil tribal Mamuitun et au ministère des Affaires autochtones et Développement du Nord Canada, 240 p.

Bernatchez, P., Friesinger, S., Denis, C. et Jolivet, Y. (2012e). Géorisques côtiers, vulnérabilité et adaptation de la communauté d'Ekuanitshit dans un contexte de changements climatiques. Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières, Université du Québec à Rimouski. Rapport de recherche remis au Conseil tribal Mamuitun et au ministère des Affaires autochtones et Développement du Nord Canada, 219 p.

Bernatchez, P., Jolivet, Y., Corriveau, M. (2011). Development of an automated method for continuous detection and quantification of cliff erosion events. *Earth Surface Processes and Landforms*, 36, 347-362.

Bernatchez, P., Toubal, T., Van-Wierts, S., Drejza, S. et Friesinger, S. (2010). Caractérisation géomorphologique et sédimentologique des unités hydrosédimentaires de la baie de Plaisance et de Pointe-aux-Loups, route 199, Îles-de-la-Madeleine. Université du Québec à Rimouski. Rapport final remis au ministère des Transports du Québec, 177 p.

Bernatchez, P., Quintin, C., Fraser, C., Neumeier, U., Jolivet, Y., Houde-Poirier, M., Héту, B., Gibeault, C., Boucher-Brossard, G. et Marie, G. (2013). Dynamique de l'écosystème côtier de la péninsule de Penouille dans un contexte de changements climatiques, Parc national du Canada Forillon : Rapport final. Rapport remis au Parc national du Canada Forillon. Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières, Université du Québec à Rimouski, mai 2013, 410 p.

Boon, J.D. (2012). Evidence of sea level acceleration at U.S. and Canadian tide stations, Atlantic Coast, North America. *Journal of Coastal Research*, 28(6), 1437-1445.

Boucher-Brossard, G. et Bernatchez, P. (2013). Analyse historique et récente de l'érosion du talus côtier, secteur des Cayes, municipalité de Rivière-Saint-Jean, Côte-Nord. Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières, Université du Québec à Rimouski. Rapport de recherche remis au ministère des Transports du Québec, Direction de la Côte-Nord, 36 p.

BPR, Ropars Inc. et DDA (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 technique.

Church, J.A. and White, N.J. (2011). Sea-level rise from the late 19th to the early 21st Century. *Surveys in Geophysics*, 32: 585-602.

Corriveau, M. (2010). Microclimatologie et quantification des processus d'érosion de falaises deltaïques en milieu tempéré froid, péninsule de Manicouagan, Québec. Mémoire de maîtrise, Université du Québec à Rimouski, 146 p. + annexes.

Dalrymple R.A. dir. (2012). Sea-Level Rise for the Coasts of California, Oregon, and Washington: Past, Present, and Future. Committee on Sea Level Rise in California, Oregon, and Washington; Board on Earth Sciences and Resources; Ocean Studies Board; Division on Earth and Life Studies; National Research Council. National Academy of Sciences. 260 p.

Drejza, S., Bernatchez, P., Clermont, D. (2011). Effectiveness of land management measures to reduce coastal georisks, eastern Québec, Canada. *Ocean and Coastal Management*, 54, 290-301.

Drejza, S., Friesinger, S., Bernatchez, P. (2014a). Exposition des infrastructures routières de l'Est du Québec (Canada) à l'érosion et à la submersion. In Actes Colloque international Connaissance et compréhension des risques côtiers : Aléas, enjeux, représentations, gestion. 3 au 4 juillet, Brest, France, p.252-260.

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

Dubois, J.-M. M., Bernatchez, P., Bouchard, J.-D., Daignault, B., Cayer, D. et Dugas, S. (2006). Évaluation du risque d'érosion du littoral de la Côte-Nord du Saint-Laurent pour la période de 1996-2003. Conférence régionale des élus de la Côte-Nord, 291 p. + annexes.

Dupras, J., Revéret, J.P., He J. (2013). L'évaluation économique des biens et services écosystémiques dans un contexte de changement climatique, Rapport final présenté à Ouranos, février 2013, 218 p.

Fraser, C., Bernatchez, P., Drejza, S. et Dugas, S. (2014a). Exposition des bâtiments et des routes à l'érosion côtière : Développement d'un outil de planification de l'aménagement côtier - Îles-de-la-Madeleine. Chaire de recherche en géoscience côtière, Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières, Université du Québec à Rimouski. Rapport remis au ministère de la Sécurité publique du Québec, 55 p. + annexe cartographique.

Fraser, C., Bernatchez, P., Dugas, S. (2014b). Exposition des infrastructures à l'érosion côtière : développement d'un outil de planification de l'aménagement côtier, Québec, Canada. In Actes Colloque international Connaissance et compréhension des risques côtiers : Aléas, enjeux, représentations, gestion. 3 au 4 juillet, Brest, France, p.279-288.

Fraser, C., Bernatchez, P. et Dugas, S. (2014c). Exposition des bâtiments et des infrastructures à l'érosion côtière : Développement d'un outil de planification de l'aménagement côtier - Municipalités régionales de comté d'Avignon et de Bonaventure. Chaire de recherche en géoscience côtière, Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières, Université du Québec à Rimouski. Rapport remis au ministère de la Sécurité publique du Québec, 108 p. + annexes cartographiques.

Friesinger, S. et Bernatchez, P. (2010). Perceptions of Gulf of St-Lawrence coastal communities confronting environmental change: hazards and adaptation, Québec, Canada. *Ocean and Coastal Management*, 53, 669-678.

Gagné, M. (2013). Cadre de prévention des principaux risques naturels (2006-2013): un bilan des travaux mis en oeuvre. *Interaction*, 4(2), 8-9.

GÉNIVAR (2012a). Analyse de solutions en érosion côtière de la Baie de Tadoussac, Q1252185218, 118 p. + 7 annexes

GÉNIVAR (2012b). Analyse de solutions en érosion côtière à l'Anse aux coques, Sainte-Luce. Q124854, 132 p. + 5 annexes

GIEC (2013). *Climate change 2013: The physical science basis*. Cambridge University Press, Cambridge.

Harvey, N. et Nicholls, R. (2008). Global sea-level rise and coastal vulnerability. *Sustainability Science*, 3, 5-7.

Lee, E.M. et Clark, A.R. (2002). Investigation and management of soft rock cliffs. DEFRA, Thomas Telford, London.

Lozano, I., Devoy, R.J.N., May, W. et Anderson, U. (2004). Storminess and vulnerability along the Atlantic coastlines of Europe : Analysis of storm records and of a greenhouse gases induced climate scenario. *Marine geology*, 210, 205-225.

Magazine Constas-Infrastructures (2010). Coûts des routes - Trois études concluent à la compétitivité du Québec. <http://www.magazineconstas.com/Infrastructures/2010-11-01/article-2951261/Couts-des-routes---Trois-etudes-concluent-a-la-competitivite-du-Quebec/1>

Marchand, M. (Ed.) (2010). Concepts and Science for Coastal Erosion Management. Concise report for policy makers. Deltares, Delft, Pays-Bas.

MAMOT - Ministère des Affaires municipales et de l'Occupation du territoire (2014). Données sur le rôle d'évaluation foncière, pour chacune des municipalités (dans section Statistiques). <http://www.mamrot.gouv.qc.ca/evaluation-fonciere/donnees-statistiques/>

Moser, S.C., Williams, S.J., Boesch, D.F. (2012). Wicked challenges at land's end : managing coastal vulnerability under climate change. *Annual Review of Environment and Ressources*, 37, 51-78.

MTQ (Ministère des Transports du Québec) (2011) Comparaison des coûts de construction routière entre le Québec, le Nouveau-Brunswick et l'Ontario. Ministère des Transports du Québec, 39 p.

Quintin, C., Bernatchez, P., Jolivet, Y. (2013). Impacts de la tempête du 6 décembre 2010 sur les côtes du Bas-Saint-Laurent et de la baie des Chaleurs. Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières et Chaire de recherche en géoscience côtière, Université du Québec à Rimouski. Rapport remis au ministère de la Sécurité publique du Québec, Février 2013, Volume I : 48p. + Volume II : 170 p.

Rahmstorf, S., Foster, G. et Cazenave, A. (2012). Comparing climate projections to observations up to 2011. *Environmental Research Letters* 7. doi:10.1088/1748-9326/7/4/044035.

Roche, Ropars Inc et Groupe LaSalle (2011). Analyse des solutions en érosion côtière dans la Baie de Plaisance, Îles-de-la-Madeleine ; 3 tomes

Ropars, Y. (2007). Érosion des berges à Sept-Îles, Étude technique et d'opportunité Référence: 2432-01-24, 54 p.

Ropars, Y. (2010). Protection de la berge – Tempête de décembre 2010. Matane, Québec. Dossier Mtn-MSP12 Rapport technique, 31 p.

Ropars, Y. (2012a). Protection de la berge, Grosses-Roches, Québec, Dossier GR-MSP12 Rapport technique, 27 p.

Ropars, Y. (2012b). Protection de la berge – Tempête de décembre 2010. Matane, Québec. Dossier Mtn-MSP12 Rapport technique, préliminaire, 31 p.

Ropars, Y. (2012c). Réhabilitation de la digue des aboiteaux, Saint-André-de-Kamouraska, Québec, Dossier SAK-MSP12 Rapport technique, 26 p.

Ropars, Y. (2013a). Protection de la berge – Tempête de décembre 2010, Sainte-Anne-des-Monts, Québec. Dossier SAM-MSP12 Rapport technique final, 53 p.

Ropars, Y. (2013b). Protection de la berge Sainte-Luce, Québec Dossier SLC-MSP12, Rapport technique final, 46 p.

Senneville, S., St-Onge-Drouin, S., Dumont, D., Bihan-Poudec, A.-C., Belemaalem, Z., Corriveau, M., Bernatchez, P., Bélanger, S., Tolszczuk-Leclerc, S., Villeneuve, R. (2014). Modélisation des glaces dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent dans la perspective des changements climatiques, ISMER-UQAR, Rapport final présenté au ministère des Transports du Québec, 2014. 384 p.

Service canadien des glaces (2014). <http://www.ec.gc.ca/glaces-ice/?lang=Fr>

Slangen, A.B.A., Wal Van De, R.S.W., Wada, Y. et Vermeersen, L.L.A. (2014). Comparing tide gauge observations to regional patterns of sea-level change (1961-2003). *Earth System Dynamics Discussions*. 5, 169-201.

TDA (2011). Enrochement de la rue Labrie ouest du quai, rapport pour la Municipalité de Pointe-aux-Outardes. 12 p. + 3 annexes.

USGS (United States Geological Survey) (2012). National Assessment of Shoreline Change Project. En ligne: <http://coastal.er.usgs.gov/shoreline-change/>

Vermeer, M. et Rahmstorf, F. (2009). Global sea level linked to global temperature. *PNAS*, 106, 21527-21532.

Annexe 1. Tableau de la valeur des pertes totales actualisées de 2015 à 2065

	Données non actualisées	Taux d'actualisation 2 %	Taux d'actualisation 4 %		Taux d'actualisation 6 %
	Avec marge	Avec marge	Avec marge	Sans marge	Avec marge
Bâtiments (incluant terrains)	731 782 948 \$	562 704 997 \$	470 261 556 \$	244 432 522 \$	415 957 687 \$
Terrains non bâtis	15 513 931 \$	11 687 933 \$	9 699 374 \$	4 705 647 \$	8 586 710 \$
Routes	665 615 252 \$	426 687 040 \$	297 416 490 \$	232 354 408 \$	222 416 299 \$
Chemins de fer	109 948 326 \$	70 481 446 \$	49 128 149 \$	35 588 217 \$	36 739 392 \$
TOTAL	1 522 860 457 \$	1 071 561 415 \$	826 505 569 \$	517 080 793 \$	683 700 087 \$

Annexe 2. Portrait temporel des types de bâtiments (terrain inclus) exposés à l'érosion côtière d'ici 2065 par MRC, avec et sans marge de sécurité

Tableau 1. Portrait temporel des types de bâtiments exposés d'ici 2065 par MRC de la région du Bas-Saint-Laurent (avec marge de sécurité)

	Résidentielle		Industrielle		Commerciale		Services		Usage non déterminé		TOTAUX	
	Nb de batim.	Valeur (M\$)	Nb de batim.	Valeur (M\$)	Nb de batim.	Valeur (M\$)	Nb de batim.	Valeur (M\$)	Nb de batim.	Valeur (M\$)	Nb de batim.	Valeur (M\$)
Bas-Saint-Laurent	2130	335,0	11	3,2	40	33,9	26	12,2	3	0	2210	384,4
Kamouraska	302	63,5	4	2,2	3	1,4	5	1,8			314	68,9
2015 à 2025	97	22,4	1	0,5	1	0,4	1	0,2			100	23,4
2025 à 2045	91	18,0		0,0	1	0,2	1	0,7			93	18,8
2045 à 2065	114	23,1	3	1,8	1	0,8	3	1,0			121	26,7
La Matanie	162	16,8	1	0,0	15	24,4	8	1,0			186	42,2
2015 à 2025	97	10,5	1	0,0	14	21,6	5	0,7			117	32,7
2025 à 2045	36	3,4		0,0	1	2,8	1	0,0			38	6,2
2045 à 2065	29	2,9		0,0		0,0	2	0,3			31	3,2
La Mitis	351	56,3	1	0,2	10	4,1	1	0,1			363	60,7
2015 à 2025	217	33,6	1	0,2	9	4,0	1	0,1			228	37,9
2025 à 2045	74	11,8		0,0	1	0,1		0,0			75	11,9
2045 à 2065	60	10,8		0,0		0,0		0,0			60	10,8
Les Basques	456	40,0	3	0,2		0,0	2	0,1	3	0	464	40,3
2015 à 2025	307	28,2	2	0,2		0,0	1	0,0	1	0	311	28,4
2025 à 2045	91	6,8		0,0		0,0	1	0,1			92	6,9
2045 à 2065	58	5,0	1	0,0		0,0		0,0	2	0	61	5,0
Rimouski-Neigette	527	95,6	1	0,2	11	3,9	5	6,6			544	106,3
2015 à 2025	339	58,6	1	0,2	5	2,2	2	0,4			347	61,4
2025 à 2045	102	18,9		0,0	3	0,8	3	6,1			108	25,9
2045 à 2065	86	18,1		0,0	3	0,9		0,0			89	19,0
Rivière-du-Loup	332	62,9	1	0,3	1	0,2	5	2,7			339	66,0
2015 à 2025	162	35,2	1	0,3		0,0	2	2,3			165	37,8
2025 à 2045	100	15,8		0,0		0,0		0,0			100	15,8
2045 à 2065	70	11,9		0,0	1	0,2	3	0,3			74	12,4

Tableau 2. Portrait temporel des types d'usages des bâtiments exposés d'ici 2065 par MRC de la région du Bas-Saint-Laurent (sans marge de sécurité)

	Résidentielle		Industrielle		Commerciale		Services		Usage non déterminé		TOTAUX	
	Nb de batim.	Valeur (M\$)	Nb de batim.	Valeur (M\$)	Nb de batim.	Valeur (M\$)	Nb de batim.	Valeur (M\$)	Nb de batim.	Valeur (M\$)	Nb de batim.	Valeur (M\$)
Bas-Saint-Laurent	1580	248,4	9	3,2	19	9,5	16	10,5	3	0	1627	271,6
Kamouraska	235	49,6	4	2,2	3	1,4	4	1,5		0	246	54,7
2015 à 2025	81	19,0	1	0,5	1	0,4	1	0,2		0	84	20,0
2025 à 2045	98	19,5		0,0	1	0,2	1	0,7		0	100	20,3
2045 à 2065	56	11,1	3	1,8	1	0,8	2	0,6		0	62	14,3
La Matanie	53	4,5		0,0	4	3,7	2	0,3		0	59	8,4
2015 à 2025	29	2,3		0,0	3	0,9	2	0,3		0	34	3,4
2025 à 2045	22	2,0		0,0	1	2,8		0,0		0	23	4,8
2045 à 2065	2	0,2		0,0		0,0		0,0		0	2	0,2
La Mitis	156	23,6	1	0,2	3	1,0		0,0		0	160	24,8
2015 à 2025	119	17,2	1	0,2	3	1,0		0,0		0	123	18,5
2025 à 2045	31	5,1		0,0		0,0		0,0		0	31	5,1
2045 à 2065	6	1,2		0,0		0,0		0,0		0	6	1,2
Les Basques	386	33,6	2	0,2		0,0	2	0,1	3	0	393	33,9
2015 à 2025	260	23,7	2	0,2		0,0	1	0,0	1	0	264	23,8
2025 à 2045	91	6,5		0,0		0,0	1	0,1		0	92	6,6
2045 à 2065	35	3,4		0,0		0,0		0,0	2	0	37	3,4
Rimouski-Neigette	471	84,7	1	0,2	9	3,5	4	6,0		0	485	94,4
2015 à 2025	329	56,9	1	0,2	5	2,2	2	0,4		0	337	59,8
2025 à 2045	104	19,8		0,0	3	0,8	2	5,6		0	109	26,2
2045 à 2065	38	8,0		0,0	1	0,4		0,0		0	39	8,4
Rivière-du-Loup	279	52,5	1	0,3		0,0	4	2,6		0	284	55,4
2015 à 2025	140	29,9	1	0,3		0,0	2	2,3		0	143	32,6
2025 à 2045	102	16,5		0,0		0,0	1	0,2		0	103	16,7
2045 à 2065	37	6,0		0,0		0,0	1	0,1		0	38	6,1

Tableau 3. Portrait temporel des types d'usages des bâtiments exposés d'ici 2065 par MRC de la région de la Côte-Nord (avec marge de sécurité)

	Résidentielle		Industrielle		Commerciale		Services		Usage non déterminé		TOTAUX	
	Nb de batim.	Valeur (M\$)	Nb de batim.	Valeur (M\$)	Nb de batim.	Valeur (M\$)	Nb de batim.	Valeur (M\$)	Nb de batim.	Valeur (M\$)	Nb de batim.	Valeur (M\$)
Côte-Nord	1700	171,7	4	1,4	27	1,8	65	9,6	14	0	1810	184,4
La Haute-Côte-Nord	281	21,3		0,0	3	0,7	8	0,3			292	22,4
2015 à 2025	162	12,1		0,0	2	0,4	5	0,2			169	12,7
2025 à 2045	68	5,2		0,0	1	0,3		0,0			69	5,5
2045 à 2065	51	4,1		0,0		0,0	3	0,1			54	4,2
Manicouagan	692	55,1	2	0,4	19	0,5	17	5,4	10	0	740	61,4
2015 à 2025	222	14,1	1	0,2	2	0,0	4	1,2	2	0	231	15,5
2025 à 2045	257	21,9		0,0	13	0,4	5	1,0	5	0	280	23,3
2045 à 2065	213	19,1	1	0,2	4	0,1	8	3,2	3	0	229	22,6
Minganie	262	22,9	2	1,0	3	0,4	6	0,2			273	24,4
2015 à 2025	76	6,5	2	1,0	3	0,4	2	0,0			83	7,9
2025 à 2045	89	7,3		0,0		0,0	1	0,0			90	7,4
2045 à 2065	97	9,0		0,0		0,0	3	0,2			100	9,2
Sept-Rivières	465	72,4		0,0	2	0,2	34	3,6	4	0	505	76,2
2015 à 2025	99	11,5		0,0		0,0	17	1,4	3	0	119	12,9
2025 à 2045	184	28,3		0,0	1	0,2	8	0,9	1	0	194	29,4
2045 à 2065	182	32,6		0,0	1	0,0	9	1,3			192	33,9

Tableau 4. Portrait temporel des types d'usages des bâtiments exposés d'ici 2065 par MRC de la région de la Côte-Nord (sans marge de sécurité)

	Résidentielle		Industrielle		Commerciale		Services		Usage non déterminé		TOTAUX	
	Nb de batim.	Valeur (M\$)	Nb de batim.	Valeur (M\$)	Nb de batim.	Valeur (M\$)	Nb de batim.	Valeur (M\$)	Nb de batim.	Valeur (M\$)	Nb de batim.	Valeur (M\$)
Côte-Nord	1290	127,5	4	1,4	24	1,4	50	4,7	12	0	1380	135,0
La Haute-Côte-Nord	190	13,1		0,0	3	0,7	6	0,3		0	199	14,1
2015 à 2025	126	8,8		0,0	2	0,4	5	0,2		0	133	9,4
2025 à 2045	54	3,7		0,0	1	0,3		0,0		0	55	4,0
2045 à 2065	10	0,6		0,0		0,0	1	0,0		0	11	0,6
Manicouagan	515	38,8	2	0,4	17	0,5	12	2,3	8	0	554	42,0
2015 à 2025	206	12,8	1	0,2	2	0,0	3	0,6	2	0	214	13,6
2025 à 2045	223	19,0	1	0,2	13	0,4	6	1,1	5	0	248	20,7
2045 à 2065	86	7,0		0,0	2	0,0	3	0,6	1	0	92	7,6
Minganie	212	18,8	2	1,0	2	0,1	4	0,1		0	220	19,9
2015 à 2025	75	6,5	2	1,0	2	0,1	2	0,0		0	81	7,6
2025 à 2045	89	8,1		0,0		0,0		0,0		0	89	8,1
2045 à 2065	48	4,2		0,0		0,0	2	0,1		0	50	4,3
Sept-Rivières	373	56,9		0,0	2	0,2	28	2,0	4	0	407	59,1
2015 à 2025	88	9,5		0,0		0,0	16	1,4	3	0	107	11,0
2025 à 2045	181	28,4		0,0	1	0,2	7	0,5	1	0	190	29,1
2045 à 2065	104	19,0		0,0	1	0,0	5	0,0		0	110	19,0

**Tableau 5. Portrait temporel des types d'usages des bâtiments exposés d'ici 2065
par MRC de la région de la Gaspésie/Îles-de-la-Madeleine (avec marge de sécurité)**

	Résidentielle		Industrielle		Commerciale		Services		Usage non déterminé		TOTAUX	
	Nb de batim.	Valeur (M\$)	Nb de batim.	Valeur (M\$)	Nb de batim.	Valeur (M\$)	Nb de batim.	Valeur (M\$)	Nb de batim.	Valeur (M\$)	Nb de batim.	Valeur (M\$)
Gaspésie/ Îles-de-la-Madeleine	1018	102,9	23	8,5	91	26,1	93	25,4	181	0	1406	163,0
Avignon	244	25,5	1	0,1	4	3,1	4	0,4	54	0	307	29,1
2015 à 2025	136	13,4		0,0	1	0,4	3	0,4	29	0	169	14,2
2025 à 2045	65	7,4		0,0	2	2,4	1	0,1	11	0	79	9,9
2045 à 2065	43	4,6	1	0,1	1	0,3		0,0	14	0	59	5,0
Bonaventure	139	20,5	2	0,5	11	3,3	13	2,3	73	0	238	26,7
2015 à 2025	54	8,3	1	0,0	6	2,6	7	1,0	39	0	107	11,9
2025 à 2045	41	4,2	1	0,5	4	0,7	4	1,0	26	0	76	6,4
2045 à 2065	44	8,1		0,0	1	0,1	2	0,3	8	0	55	8,4
La Côte-de-Gaspé	169	15,1	4	1,4	24	8,7	23	9,2	2	0	222	34,4
2015 à 2025	86	7,1	2	0,9	17	6,4	16	8,0	1	0	122	22,4
2025 à 2045	45	4,9	2	0,5	4	0,9	1	0,0			52	6,4
2045 à 2065	38	3,1		0,0	3	1,4	6	1,2	1	0	48	5,6
La Haute-Gaspésie	100	6,0	3	0,7	13	2,0	5	0,7			121	9,3
2015 à 2025	30	1,6	1	0,5	5	0,6	1	0,0			37	2,7
2025 à 2045	27	1,3	1	0,1	4	0,7	2	0,5			34	2,5
2045 à 2065	43	3,2	1	0,1	4	0,7	2	0,2			50	4,2
Le Rocher-Percé	196	20,6	5	1,2	20	6,5	28	6,2	7	0	256	34,4
2015 à 2025	82	8,2	4	1,1	14	4,8	21	3,5	4	0	125	17,6
2025 à 2045	57	6,0	1	0,0	4	1,4	3	0,4	3	0	68	7,9
2045 à 2065	57	6,3		0,0	2	0,2	4	2,4			63	8,9
Les Îles-de-la-Madeleine	170	15,3	8	4,6	19	2,6	20	6,6	45	0	262	29,0
2015 à 2025	82	6,2	3	2,4	13	1,6	14	5,4	26	0	138	15,6
2025 à 2045	59	5,3	1	1,5	1	0,1	2	0,1	10	0	73	7,1
2045 à 2065	29	3,7	4	0,7	5	0,8	4	1,0	9	0	51	6,3

**Tableau 6. Portrait temporel des types de bâtiments exposés d'ici 2065
par MRC de la région de la Gaspésie/Îles-de-la-Madeleine (sans marge de sécurité)**

	Résidentielle		Industrielle		Commerciale		Services		Usage non déterminé		TOTAUX	
	Nb de batim.	Valeur (M\$)	Nb de batim.	Valeur (M\$)	Nb de batim.	Valeur (M\$)	Nb de batim.	Valeur (M\$)	Nb de batim.	Valeur (M\$)	Nb de batim.	Valeur (M\$)
Gaspésie- Îles-de-la-Madeleine	651	60,4	15	6,9	53	15,2	60	13,4	110	0	889	95,8
Avignon	174	18,0	1	0,1	3	2,8	3	0,4	37	0	218	21,3
2015 à 2025	113	10,7		0,0	1	0,4	3	0,4	23	0	140	11,5
2025 à 2045	52	6,3	1	0,1	2	2,4		0,0	10	0	65	8,8
2045 à 2065	9	1,0		0,0		0,0		0,0	4	0	13	1,0
Bonaventure	86	10,6	1	0,0	7	1,5	12	2,1	43	0	149	14,3
2015 à 2025	37	5,0	1	0,0	3	1,0	7	1,0	22	0	70	7,0
2025 à 2045	31	3,1		0,0	3	0,4	4	1,0	19	0	57	4,6
2045 à 2065	18	2,4		0,0	1	0,1	1	0,1	2	0	22	2,6
La Côte-de-Gaspé	75	5,9	2	1,3	17	6,4	10	4,4	0	0	104	18,0
2015 à 2025	45	3,6	1	0,8	12	4,5	9	4,4		0	67	13,2
2025 à 2045	23	1,9	1	0,5	3	0,7		0,0		0	27	3,0
2045 à 2065	7	0,4		0,0	2	1,3	1	0,0		0	10	1,8
La Haute-Gaspésie	56	2,9	2	0,5	7	0,7	2	0,2	0	0	67	4,3
2015 à 2025	19	1,0	1	0,5	4	0,4	1	0,0		0	25	1,9
2025 à 2045	26	1,2	1	0,1	3	0,2		0,0		0	30	1,5
2045 à 2065	11	0,7		0,0		0,0	1	0,2		0	12	0,9
Le Rocher-Percé	118	11,2	4	0,9	12	2,7	22	3,4	1	0	157	18,2
2015 à 2025	64	5,5	3	0,9	7	1,2	18	3,1		0	92	10,6
2025 à 2045	45	4,8	1	0,0	5	1,5	3	0,4	1	0	55	6,8
2045 à 2065	9	0,8		0,0		0,0	1	0,0		0	10	0,9
Les Îles-de-la-Madeleine	142	11,9	5	4,0	7	1,0	11	2,8	29	0	194	19,8
2015 à 2025	73	5,4	3	2,4	6	0,8	7	1,9	19	0	108	10,6
2025 à 2045	57	5,1	1	1,5	1	0,1	2	0,1	8	0	69	6,9
2045 à 2065	12	1,3	1	0,1		0,0	2	0,8	2	0	17	2,3

Annexe 3. Portrait des infrastructures de transport exposées à l'érosion côtière d'ici 2065 par MRC, avec et sans marge de sécurité

	Avec marge de sécurité		Sans marge de sécurité	
	Longueur (km)	Coût total (M\$)	Longueur (km)	Coût total (M\$)
Bas-Saint-Laurent	88,1	109,0	64,7	80,7
Kamouraska	15,1	15,1	14,4	14,3
Autoroute 20	0,3	1,7	0,3	1,4
Municipale	14,8	13,4	14,1	12,9
Nationale	0,0	0,0	0,0	0,0
La Matanie	13,7	18,0	5,9	7,8
Municipale	6,3	6,5	2,1	2,1
Nationale	7,4	11,5	3,9	5,7
La Mitis	11,0	11,3	6,1	6,5
Municipale	5,9	5,5	2,6	2,4
Nationale	5,0	5,8	3,5	4,1
Les Basques	10,6	12,2	9,6	10,5
Chemin de fer	0,5	2,9	0,4	2,0
Municipale	10,1	9,3	9,2	8,5
Rimouski-Neigette	22,3	23,7	16,0	17,1
Chemin de fer	3,1	5,3	2,6	4,5
Municipale	16,2	14,9	12,4	11,4
Nationale	2,9	3,4	1,0	1,2
Rivière-du-Loup	15,4	28,7	12,5	24,5
Autoroute 20	2,6	14,9	2,3	13,4
Municipale	11,1	11,9	8,6	9,2
Nationale	1,7	2,0	1,6	1,9

	Avec marge de sécurité		Sans marge de sécurité	
	Longueur (km)	Coût total (M\$)	Longueur (km)	Coût total (M\$)
Côte-Nord	59,6	57,8	43,9	38,6
La Haute-Côte-Nord	11,5	13,9	7,1	6,0
Municipale	6,7	6,9	4,3	1,6
Nationale	4,8	7,0	2,8	4,4
Manicouagan	26,9	22,8	22,0	17,6
Chemin de fer	0,5	2,3	0,5	2,3
Municipale	19,5	12,5	16,0	9,0
Nationale	6,9	7,9	5,5	6,3
Minganie	14,2	17,1	9,8	12,2
Municipale	7,5	4,2	4,8	2,3
Nationale	6,7	12,9	5,0	9,9
Sept-Rivières	7,0	4,0	5,0	2,7
Municipale	5,8	2,7	4,3	1,8
Nationale	1,1	1,3	0,8	0,9

	Avec marge de sécurité		Sans marge de sécurité	
	Longueur (km)	Coût total (M\$)	Longueur (km)	Coût total (M\$)
Gaspésie/Îles-de-la-Madeleine	172,1	608,8	127,7	480,4
Avignon	21,5	80,9	9,7	39,3
Chemin de fer	1,7	19,4	1,5	16,8
Municipale	11,6	21,2	5,6	9,9
Nationale	8,2	40,3	2,6	12,6
Bonaventure	16,8	56,5	10,8	33,2
Chemin de fer	3,3	27,6	2,0	15,0
Municipale	5,0	5,7	3,5	3,5
Nationale	8,5	23,1	5,4	14,6
La Côte-de-Gaspé	18,0	41,0	10,3	22,5
Chemin de fer	4,6	10,7	3,3	7,6
Municipale	6,3	10,2	4,7	7,7
Nationale	7,0	20,1	2,3	7,3
La Haute-Gaspésie	71,3	284,7	64,5	274,2
Municipale	10,3	10,9	6,5	6,7
Nationale	61,0	273,8	58,0	267,5
Le Rocher-Percé	26,6	68,1	18,0	47,5
Chemin de fer	11,9	41,7	8,9	31,5
Municipale	8,6	9,6	5,9	6,4
Nationale	6,0	16,8	3,2	9,6
Les Îles-de-la-Madeleine	18,0	77,6	14,3	63,7
Municipale	7,8	35,8	6,7	30,6
Nationale	10,2	41,8	7,6	33,1