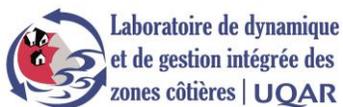


**Exposition des bâtiments et des routes à l'érosion côtière :  
Développement d'un outil de planification de l'aménagement côtier  
Îles-de-la-Madeleine**

Présenté au ministère de la Sécurité publique du Québec

Sous la direction de  
Pascal Bernatchez, Ph.D.

Juillet 2014



---

## 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

**Christian Fraser**, M.Sc., Professionnel de recherche, LDGIZC, UQAR  
Co-direction, recherche, traitement de données, réalisation d'entrevues, analyse de l'exposition, rédaction

**Steeve Dugas**, B.Sc., Professionnel de recherche, LDGIZC, UQAR  
Traitement des données, cartographie

**Susan Drezja**, M.Sc., Professionnelle de recherche, LDGIZC, UQAR  
Traitement des données, réalisation d'entrevues, analyse de l'évolution et de la dynamique côtière, rédaction

**Marie-Noëlle Juneau**, M.Sc., Professionnelle de recherche, LDGIZC, UQAR  
Traitement des données

**Madeleine Meinard**, Professionnelle de recherche, LDGIZC, UQAR  
Traitement des données

**Maude Corriveau**, M.Sc., Professionnelle de recherche, LDGIZC, UQAR  
Traitement des données

**Thomas Jaegler**, MSc., Professionnel de recherche, LDGIZC, UQAR  
Traitement des données

**David Lacombe**, BSc., Professionnel de recherche, LDGIZC, UQAR  
Traitement des données, cartographie

## REMERCIEMENTS

L'équipe de recherche tient à remercier le gouvernement du Québec pour son soutien financier ainsi que pour l'utilisation des données du rôle d'évaluation municipale. Merci à l'agglomération des Îles-de-la-Madeleine pour l'utilisation des données cadastrales.

## RÉFÉRENCE COMPLÈTE

Fraser, C., Bernatchez, P., Drezja, S. et Dugas, S. 2014. 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. et annexe cartographique.

---

## SYNTHÈSE

Cette analyse de l'**exposition** des bâtiments et des routes exposés à l'**érosion côtière** répond à un besoin concret exprimé par la municipalité des Îles-de-la-Madeleine, et constitue une étape importante d'une étude sur la **vulnérabilité** des usages du territoire côtier dans son ensemble face à l'érosion côtière. Le territoire comprend l'ensemble de l'archipel, ce qui représente 236 km de côte, 10 unités hydrosédimentaires, 34 cellules hydrosédimentaires et 251 **unités géomorphologiques homogènes**.

L'exposition des bâtiments et des routes a été calculée selon 7 horizons de temps : 2015, 2020, 2030, 2040, 2050, 2060 et 2100. Le calcul de l'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 le **recul événementiel** maximal possible pour chaque type de côte.

L'évaluation de l'exposition tient ainsi compte des incertitudes relatives aux événements de tempête qui sont imprévisibles et ponctuels. L'évaluation n'est donc pas basée sur des certitudes mais sur des probabilités que des bâtiments et des routes soient affectés par l'érosion côtière.

La démarche permet non seulement d'obtenir un portrait actuel et futur de l'exposition des bâtiments et des routes à l'érosion, mais procure surtout un outil de planification de l'aménagement et des interventions en bordure du littoral. L'outil est directement utilisable dans un système d'information géographique (SIG).

Cette étude comprend : 1) une analyse spatiale du nombre et de la valeur des bâtiments et des routes exposés, 2) des fiches descriptives sur chaque secteur comprenant une forte concentration d'éléments exposés et 3) un recueil cartographique (100 cartes au 1:5000 et au 1:20000) permettant de visualiser les bâtiments et des routes exposés.

L'analyse de l'exposition indique que 113 bâtiments et 9,3 km de routes sont exposés à court terme (d'ici 2020), représentant une valeur foncière de 16,2 millions de dollars. A long terme (d'ici 2100), en supposant qu'aucune solution d'adaptation n'est mise en place, c'est 382 bâtiments et 33,9 km de routes et qui seront exposés pour une valeur totale de 58,8 millions de dollars.

---

## TABLE DES MATIÈRES

ÉQUIPE DE RÉALISATION.....	I
SYNTHÈSE.....	II
TABLE DES MATIÈRES.....	III
LISTE DES FIGURES .....	IV
LISTE DES TABLEAUX .....	IV
LISTE DES ANNEXES.....	IV
<b>1. INTRODUCTION.....</b>	<b>1</b>
1.1 Mise en contexte et objectifs .....	1
1.2 Territoire d'étude .....	2
<b>2. MÉTHODOLOGIE .....</b>	<b>5</b>
2.1 Enquête auprès des autorités municipales locales et régionales responsables de l'aménagement du territoire et de la sécurité civile .....	5
2.2 Traitement des données ponctuelles (bâtiments).....	7
2.3 Traitement des données linéaires (routes).....	7
2.4 Calcul de l'exposition.....	8
2.5 Cas spécifiques .....	9
2.5.1 Ouvrages de protection côtière.....	9
2.5.2 Bâtiments ou routes dans une falaise.....	10
2.5.3 Secteurs de côtes en accumulation .....	10
<b>3. PORTRAIT DE L'EXPOSITION DES BÂTIMENTS ET DES ROUTES À L'ÉROSION CÔTIÈRE AUX ÎLES-DE-LA-MADELEINE .....</b>	<b>11</b>
3.1 Bâtiments .....	12
3.2 Routes .....	17
3.3 Description des principaux secteurs comprenant des bâtiments et des routes exposés.....	20
<b>4. CONCLUSION.....</b>	<b>50</b>
<b>GLOSSAIRE .....</b>	<b>51</b>
<b>RÉFÉRENCES.....</b>	<b>53</b>

---

## LISTE DES FIGURES

Figure 1. Localisation générale (A) et régionale (B) des îles de la Madeleine .....	2
Figure 2. Territoire côtier à l'étude - Îles-de-la-Madeleine .....	3
Figure 3. Localisation des unités hydrosédimentaires des îles de la Madeleine .....	4
Figure 4. Définition schématique de la vulnérabilité .....	6
Figure 5. Équation pour calculer l'exposition des bâtiments et des routes à l'érosion côtière .....	8
Figure 6. Valeur des bâtiments et des routes exposés à l'érosion côtière d'ici 2100 pour chaque unité hydrosédimentaire des îles de la Madeleine .....	12
Figure 7. Nombre et valeur des bâtiments exposés à l'érosion côtière d'ici 2100 - Îles-de-la-Madeleine	13
Figure 8. Nombre et valeur des bâtiments exposés à l'érosion côtière d'ici 2100 pour chacune des unités hydrosédimentaires des îles de la Madeleine .....	16
Figure 9. Longueur et valeur des routes exposées à l'érosion côtière d'ici 2100 - Îles-de-la-Madeleine..	17
Figure 10. Longueur de route exposée à l'érosion côtière d'ici 2100 pour chacune des unités hydrosédimentaires des îles de la Madeleine .....	18

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Caractéristiques du territoire d'étude .....	4
Tableau 2. Paramètres utilisés pour déterminer l'exposition.....	6
Tableau 3. Valeur estimée des routes.....	8
Tableau 4. Classes de temps pour l'exposition des bâtiments et des routes .....	9
Tableau 5. Portrait général des bâtiments et des routes exposés à l'érosion côtière à court, moyen et long terme aux Îles-de-la-Madeleine .....	11
Tableau 6. Nombre, valeur et type de bâtiments exposés à l'érosion d'ici 2100 pour les Îles-de-la-Madeleine.....	14
Tableau 7. Longueur de routes provinciales et municipales exposées pour chacune des unités hydrosédimentaires des îles de la Madeleine .....	19

## LISTE DES ANNEXES

<b>Annexe 1.</b> Recueil cartographique des bâtiments et des routes exposés à l'érosion côtière aux Îles-de-la-Madeleine	
--	--

---

# 1. Introduction

## 1.1 Mise en contexte et objectifs

Les zones côtières sont naturellement en constante modification. Elles subissent notamment l'effet des vagues, des courants marins et des interventions humaines. Lorsque la **ligne de rivage** ou le **trait de côte** recule vers l'intérieur des terres, on parlera d'érosion côtière. L'**érosion côtière** est un **aléa** naturel dont l'évolution s'inscrit dans une dynamique côtière spécifique à chaque système côtier et est souvent inhérent à l'équilibre du milieu. Cependant, l'urbanisation le long du littoral amène inévitablement un conflit entre la présence d'infrastructures et le recul de la ligne de rivage (Meur-Férec et Morel, 2004). La construction d'ouvrages par les propriétaires fonciers pour lutter contre la perte de terrain due à l'érosion côtière se fait trop souvent individuellement, sans concertation ni vision à long terme. Ces interventions influencent la dynamique côtière et induisent souvent une diminution de la **résilience** côtière face aux événements de tempête (Bernatchez *et al.*, 2011; Dawson *et al.*, 2009; Hill *et al.*, 2004). Ironiquement, l'artificialisation permet de poursuivre le développement à proximité du littoral, ce qui amplifie la problématique à long terme.

La problématique de l'érosion côtière n'est pourtant pas nouvelle au Québec. La mise en place d'ouvrages de protection a connu une forte croissance à partir du milieu du siècle dernier et ne cesse de s'amplifier d'année en année (Bernatchez *et al.*, 2008). Jusque dans les années 2000, les communautés côtières et les différents niveaux de gouvernement au Québec ont toujours été en réaction face à cet aléa et moins en mode préventif. 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 (Bernatchez *et al.*, 2008; Drejza, 2011; Friesinger et Bernatchez, 2010; Fraser et Desmeules, 2006).

Depuis le début des années 2000, plusieurs démarches ont été mises en place au Québec maritime afin de palier à ces manques. Plusieurs régions ont été étudiées afin d'évaluer l'évolution historique de la ligne de rivage et de projeter son évolution future. Un zonage, accompagné de normes, a été intégré dans plusieurs schémas d'aménagement et règlements d'urbanisme. L'identification des zones soumises à l'érosion côtière est une information très demandée par les responsables de l'aménagement du territoire (Bernatchez *et al.*, 2012a, 2012b; Fraser *et al.*, 2012; Bernatchez *et al.*, 2008; Dubois *et al.*, 2006). Quelques municipalités ont aussi fait l'objet d'une analyse coûts-avantages permettant de faire un choix éclairé sur les stratégies d'adaptation à préconiser (Tecsult, 2008; Leclerc et Dupuis, 2008). Cependant, ces outils ne permettent pas d'évaluer l'**exposition** de tous les bâtiments et les infrastructures côtières à l'échelle d'une MRC.

Plusieurs études sur la **vulnérabilité** côtière dressent un portrait sur de grands territoires mais les données sont souvent peu utilisables concrètement par les responsables de l'aménagement à l'échelle des communautés et par conséquent les résultats sont peu opérationnels (Boruff *et al.*, 2005, Yoo *et al.*, 2011, Thieler et Hammar-Klose, 2000, Vafeidis *et al.*, 2008; Hinkel, 2011). Une étude sur l'exposition des routes nationales à l'érosion et à la **submersion** côtière dans l'Est du Québec (Drejza *et al.*, 2014) représente la seule autre étude du genre au Québec. Dans le contexte où les communautés côtières et les gouvernements manquent d'outils pour faire face à cette problématique, il est primordial que la recherche sur la vulnérabilité côtière vienne concrètement en support à la gestion du territoire. À la suite de l'analyse de l'évolution côtière et de la sensibilité à l'érosion des côtes aux Îles-de-la-Madeleine (Bernatchez *et al.*, 2012a), cette étude propose donc un nouvel outil cartographique appliqué pour

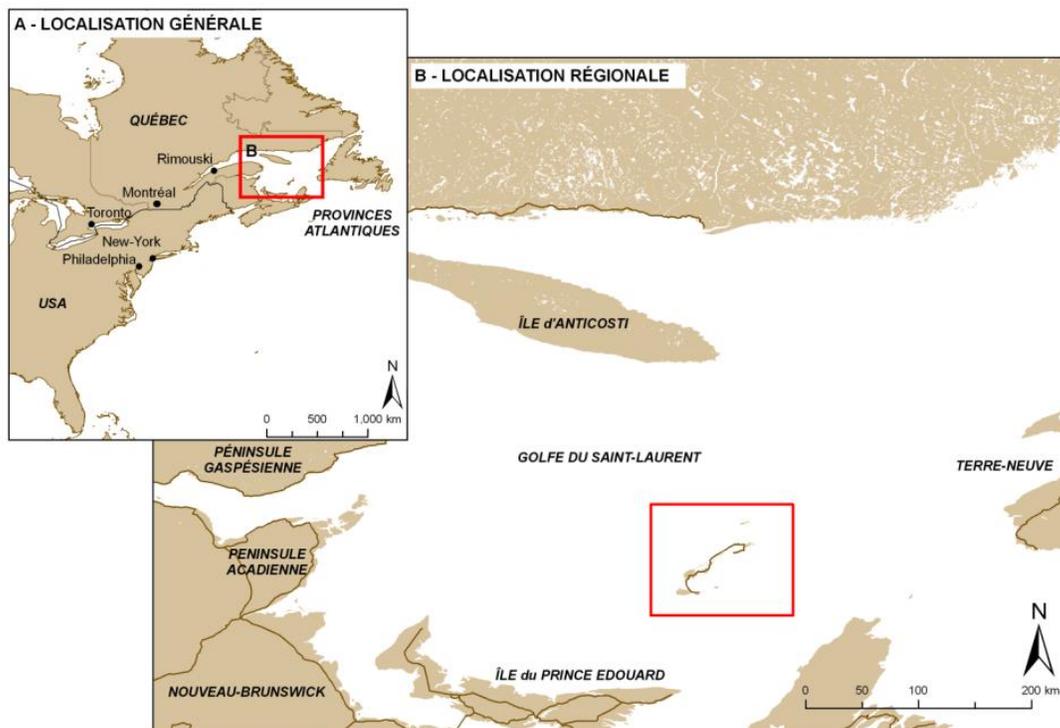
évaluer l'exposition actuelle et future du cadre bâti, ce qui est une donnée fondamentale pour évaluer ensuite la vulnérabilité.

L'objectif principal de cette étude est ainsi d'améliorer la planification de l'aménagement du territoire en fonction de l'aléa érosion côtière et de faciliter le choix des solutions d'adaptation à court, moyen et long terme. L'originalité de l'étude repose d'abord sur une excellente collaboration avec les gouvernements locaux, régionaux et provinciaux. Ensuite, l'étude présente des données de haute résolution spatiale sur l'ensemble des routes et des bâtiments du territoire, permettant de définir l'exposition jusqu'en 2100. Enfin, la base de données est structurée afin d'offrir un outil concret, facilement utilisable par les autorités municipales locales et régionales responsables de l'aménagement.

Cette étude comprend donc : 1) une analyse spatiale du nombre et de la valeur des bâtiments et des routes exposés, 2) des fiches descriptives pour chaque secteur problématique et 3) un recueil cartographique (100 cartes au 1:5000 et au 1:20000) permettant de visualiser les bâtiments et des routes exposés. Ce rapport constitue la première étape d'une étude sur la vulnérabilité des communautés côtières face à l'érosion côtière et s'inscrit dans un processus de gestion des **risques** initié par le ministère de la Sécurité publique du Québec (Ministère de la Sécurité publique du Québec, 2008b).

## 1.2 Territoire d'étude

Les îles de la Madeleine forment un archipel situé dans le golfe du Saint-Laurent (figure 1). Huit îles sont habitées en permanence mais seules sept de ces îles (l'île de la Grande Entrée, l'île de l'Est, la Grosse Île, l'île au Loup, l'île du Havre aux Maisons, l'île du Cap aux Meules et l'île du Havre Aubert) sont reliées entre elles par d'étroits cordons de sable dunifiés. L'île d'Entrée est la seule île habitée non reliée aux autres (figure 2).



La côte à l'étude est longue de 235,5 km (figure 2). Cela n'inclus pas l'intérieur des lagunes, le Bassin, Bassin aux Huîtres ni les îles non habitées telles que l'île Brion ou le Corps Mort. Par contre, l'île d'Entrée est incluse dans cette étude. La superficie de l'archipel est de 202 km<sup>2</sup> mais l'espace habitable est d'environ 140 km<sup>2</sup> une fois les cordons dunaires exclus car non constructibles (Municipalité des Îles, 2014).

Les îles de la Madeleine font partie de la région administrative de la Gaspésie et des Îles-de-la-Madeleine (région 11). Deux instances municipales existent sur le territoire, soit la Municipalité des Îles-de-la-Madeleine et la Municipalité de Grosse-Île. Depuis le 1<sup>er</sup> janvier 2006, elles sont regroupées au sein de l'agglomération des Îles-de-la-Madeleine qui possède des pouvoirs équivalents à une municipalité régionale de comté (MRC).

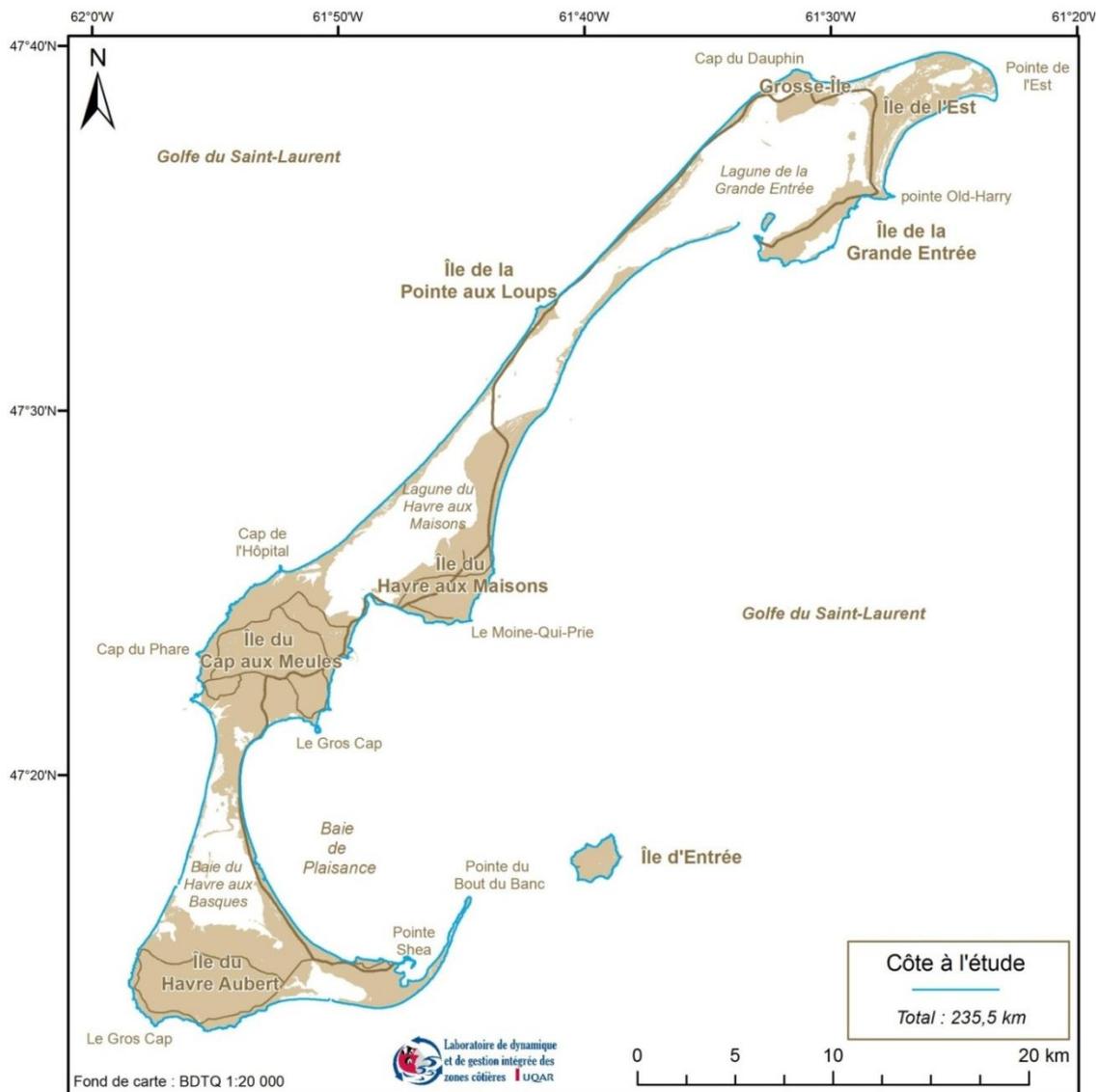
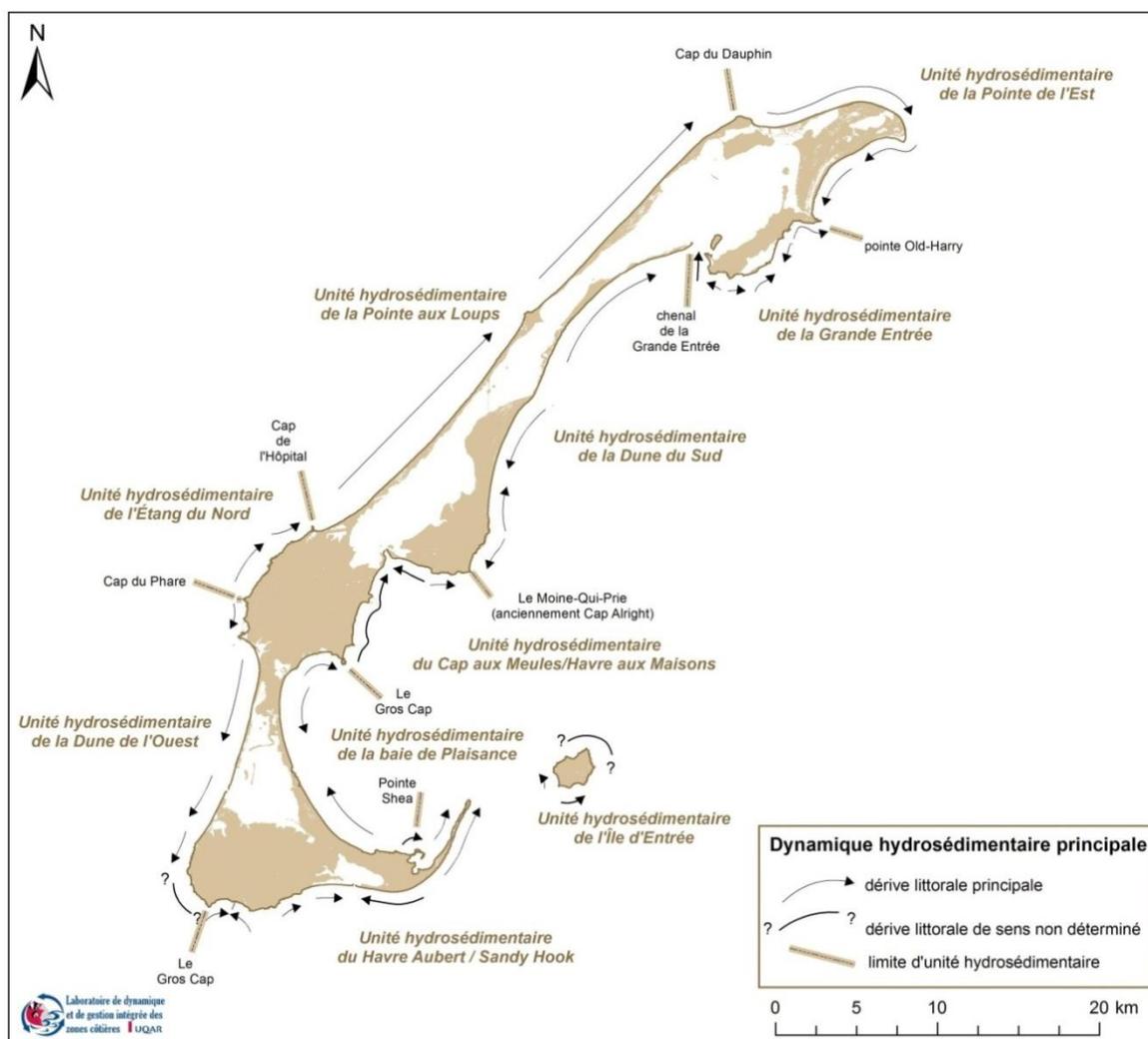


Figure 2. Territoire côtier à l'étude – Îles-de-la-Madeleine

Les îles de la Madeleine sont divisées en 10 **unités hydrosédimentaires** qui sont elles-mêmes composées de plusieurs **cellules hydrosédimentaires** (tableau 1, figure 3). Ces unités et cellules sont déterminées par les courants de dérive qui influencent le transport des sédiments sur le littoral. La longueur des unités hydrosédimentaires varie entre 10 km de côtes (unités de l'Île d'Entrée et de l'Étang du Nord) et 40 km (unité de la Pointe aux Loups) et leur longueur moyenne et médiane est de 24 km.

Tableau 1. Caractéristiques du territoire d'étude

	Longueur de côte (km)	Unités hydrosédimentaires	Cellules hydrosédimentaires	Unités géomorphologiques homogènes
IDM	235,5	10	34	251



Source des données : Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières, octobre 2011, fond de carte : BDTQ 1-20 000

Figure 3. Localisation des unités hydrosédimentaires des îles de la Madeleine et dynamique hydrosédimentaire générale

---

## 2. Méthodologie

L'étude de l'**exposition** des bâtiments et des routes à l'**érosion côtière** repose dans un premier temps sur la dynamique côtière et sur la sensibilité des côtes à l'érosion côtière. La méthodologie concernant ces aspects est déjà présentée en détails dans le rapport sur les marges de sécurité en érosion côtière élaboré élaborés à la demande du ministère de la Sécurité publique du Québec pour le territoire des Îles-de-la-Madeleine (Bernatchez *et al.*, 2012a). Ces étapes préalables à l'étude de l'exposition ont permis d'obtenir un taux probable du déplacement futur de la **ligne de rivage** ou du **trait de côte** pour chaque unité géomorphologique homogène. Tel qu'indiqué sur la figure 2, l'exposition à l'érosion est mesurée seulement sur les côtes extérieures de l'archipel. Cela ne signifie cependant pas que les côtes intérieures ne subissent pas de processus d'érosion qui peuvent menacer des bâtiments et des routes.

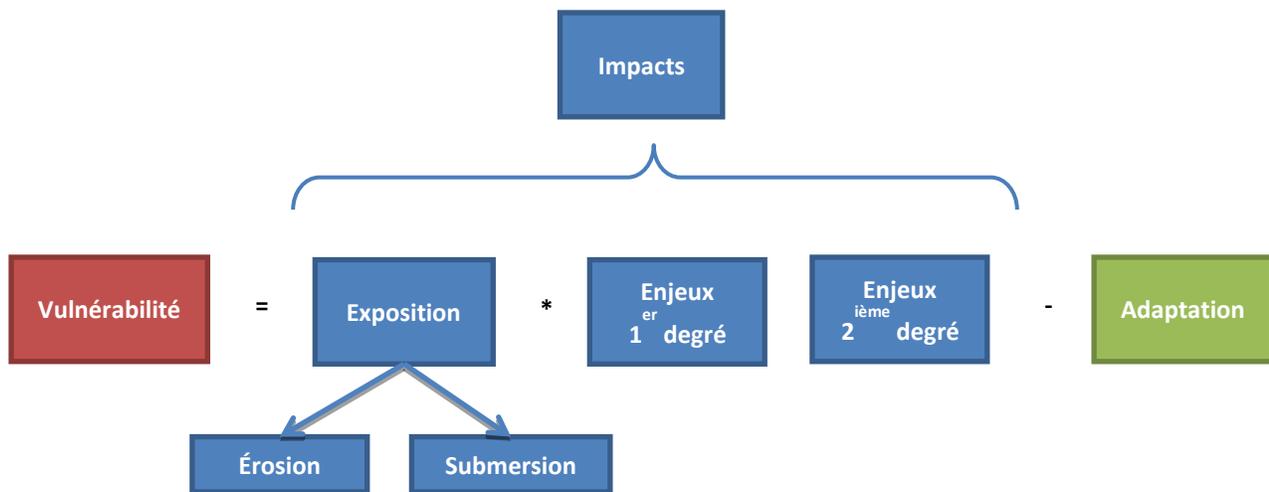
### 2.1 Enquête auprès des autorités municipales locales et régionales responsables de l'aménagement du territoire et de la sécurité civile

Un entretien avec le directeur de l'aménagement du territoire et de l'urbanisme de la municipalité des Îles-de-la-Madeleine a été réalisé en avril 2014 afin 1) de présenter le concept d'**exposition** et de **vulnérabilité**, 2) de récolter des informations sur les phénomènes naturels et leurs impacts ainsi que sur les **enjeux** qui y sont associés, 3) de récolter de l'information sur les mesures d'adaptation et d'urgence et sur la gouvernance et 4) de préciser les besoins au niveau des outils de planification.

Les MRC d'Avignon et de Bonaventure ont parallèlement fait l'objet d'une étude sur l'exposition des bâtiments et des infrastructures. Vingt-deux intervenants municipaux dont principalement des directeurs généraux, des inspecteurs municipaux et des responsables de l'aménagement du territoire et de l'urbanisme ainsi que des représentants de ministères provinciaux ont été rencontrés afin de préciser les besoins en termes de gestion et d'aménagement du territoire côtier. Bien que la réalité côtière soit différente entre la Baie-des-Chaleurs et les Îles-de-la-Madeleine, les communautés font face à une problématique semblable et ont besoin des mêmes outils pour y faire face. Il est ainsi pertinent de se référer au rapport de recherche qui concerne ces territoires (Fraser *et al.*, 2014) afin d'obtenir une brève analyse des entrevues.

Dans un premier temps, ces rencontres ont surtout permis d'acquérir des informations sur leur territoire, de bien orienter la cueillette et l'analyse des données pour s'assurer que l'étude réponde aux besoins exprimés. Les résultats d'entrevues sur les solutions d'adaptation et la gouvernance seront utilisés plus en détails ultérieurement dans une étude sur la vulnérabilité.

Le premier objectif a permis de s'entendre sur les définitions d'exposition et de vulnérabilité lors de chaque rencontre avec les intervenants. Ces termes sont associés à plusieurs domaines et peuvent être interprétés de différentes façons. Les répondants ont d'abord été invités à donner leur propre définition. Ensuite, basé sur la littérature et sur l'expérience de l'équipe de la Chaire de recherche en géoscience côtière et du Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières, une définition de la vulnérabilité et de l'exposition a été présentée et discutée (figure 4 et tableau 2). La figure 4 illustre que la vulnérabilité d'un système est fonction du degré d'exposition et de sensibilité du système aux **aléas** (ou perturbations), mais aussi des **enjeux** présents et de la **capacité d'adaptation** du système. La notion d'enjeu a été bien saisie par les intervenants qui en ont soulevé plusieurs pour définir la vulnérabilité, telles la modification ou la perte d'usage, la sécurité des personnes et les dommages aux infrastructures. Les notions de **risque** et de danger ont aussi beaucoup été utilisées par les répondants.



Enjeux de 1<sup>er</sup> degré: enjeux tangibles et cartographiables liés à l'exposition directe aux aléas

Enjeux de 2<sup>ème</sup> degré: enjeux reliés aux usages et vocations, aux activités, aux conditions socio-économiques et culturelles ainsi qu'aux modes de gouvernance

\* Tous les termes utilisés dans le schéma sont définis dans le glossaire (page 52)

Figure 4. Définition schématique de la vulnérabilité

Tableau 2. Paramètres utilisés pour déterminer l'exposition

EXPOSITION	
Érosion	Submersion
Distance de l'élément à la côte	Altitude de la ligne de rivage
Taux d'évolution de la côte	Cote de submersion
Recul événementiel	Niveau des pleines mers supérieures
Volume sédimentaire de la plage	Niveau d'eau extrême
Volume de sédiments meubles entre l'élément et la côte	Surcote
	« Connectivité » à l'eau
	Volume sédimentaire de la plage

Les répondants ont sans exception compris et accepté la définition de **vulnérabilité** et d'**exposition**. Le schéma a été bien utile pour illustrer les concepts. Il a été convenu que les **enjeux** de 1er degré, c'est-à-dire les éléments exposés tangibles et cartographiables, seront considérés dans ce rapport pour l'étude de l'exposition. Ces derniers sont plus facilement utilisables de manière opérationnelle pour la gestion de **risque** et la planification de l'aménagement du territoire. Les paramètres utilisés pour déterminer l'exposition à l'**érosion côtière** ont unanimement été jugés complets et pertinents. Bien que non traités dans le cadre du projet actuel, les paramètres de l'exposition à la **submersion** ont été présentés car ce thème sera abordé dans un projet à venir.

---

## 2.2 Traitement des données ponctuelles (bâtiments)

La base de données du rôle d'évaluation foncière du Québec pour 2010 a été utilisée pour répertorier les bâtiments et ainsi obtenir le type d'utilisation et la valeur inscrite au rôle. Cette valeur est souvent en deçà de la valeur marchande et de la valeur de reconstruction, mais la valeur foncière permet tout de même de dégager un portrait régional et un estimé de la valeur des bâtiments exposés si aucune mesure d'adaptation n'est mise en place. Les données de chaque MRC ont été extraites (clip) dans un fichier de forme pour le traitement avec le système d'information géographique ArcGIS. À l'aide des images infrarouges de 2008, chaque point centroïde situé dans la zone d'**exposition** a été déplacé sur la façade côté mer des bâtiments et ce, à l'échelle du 1 :500. Les images obliques (prises à vol d'hélicoptère le 12 septembre 2010) ont aussi été utilisées afin d'obtenir plus de précision et de se situer spatialement avec la base de données. L'identification et l'utilisation des bâtiments ont été validées à l'aide des bases de données cadastrales fournies par l'agglomération des Îles-de-la-Madeleine.

Puisque les bâtiments secondaires n'ont pas d'entrée individuelle dans la base de données du rôle d'évaluation, ils ont été géoréférencés à l'aide de l'imagerie. Aucune valeur n'est associée à ces points; elle est cependant incluse dans la valeur du bâtiment principal correspondant. Plusieurs bâtiments non inventoriés dans les données du rôle 2010 ont été observés sur l'imagerie oblique 2010. Ces bâtiments font aussi partie de la base de données mais n'ont pas de valeur foncière associée. Enfin, une validation sur le terrain a été nécessaire pour bien associer le centroïde de la matrice foncière avec le bon bâtiment.

Il est à noter que la classification du rôle d'évaluation peut occasionner certaines erreurs d'interprétation. Par exemple, les résidences principales, les chalets, les maisons mobiles et les roulotte sont classés séparément. Or, un chalet peut être occupé à l'année comme une résidence principale tout comme une maison mobile peut être utilisée comme un chalet. Cependant, la classification originale du rôle a été maintenue, car le type de bâtiments est généralement très différent, ce qui implique des stratégies d'adaptation différentes pour faire face à l'érosion côtière. Par exemple, les maisons mobiles et les roulotte se déplacent facilement et, en cas d'obligation de déplacement, occasionnent un défi moins important qu'un chalet qui est souvent ancré au sol. De même, une résidence principale est généralement un bâtiment plus important avec une fondation et il est souvent occupé à l'année. Nous croyons donc que la classification du rôle se prête bien pour l'analyse de l'exposition car elle permet de distinguer de façon générale les types de bâtiments.

Il est aussi possible qu'un bâtiment secondaire ou un bâtiment non inventorié dans le rôle corresponde à un chalet ou à une maison mobile, ce qui peut occasionner une erreur d'interprétation des statistiques globales. Ils sont maintenus séparés dans l'analyse car ils n'ont pas de valeur foncière déterminée. La base de données du système d'information géographique permet cependant de visualiser facilement l'information reliée à chaque bâtiment cartographié.

## 2.3 Traitement des données linéaires (routes)

Les infrastructures linéaires considérées dans cette étude comprennent toutes les routes sur le territoire. Elles ont été numérisées à l'aide des images infrarouges de 2008. Les tracés longent le côté mer de l'infrastructure sur la ligne blanche de l'accotement lorsque présente, sinon, à la limite de la chaussée. Suite à la validation de tous les tracés, une segmentation a été effectuée afin d'obtenir des tronçons de 10 m. Cette segmentation a été effectuée automatiquement à l'aide d'une fonction du logiciel ArcGis.

La valeur de construction ou 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. De plus, dans le cas des routes, il existe plusieurs catégories allant du chemin secondaire non pavé à la route provinciale. Il a été convenu pour les fins de l'étude de créer deux classes : routes provinciales (route 199) et routes municipales. L'objectif ici est de donner un ordre de grandeur pour apprécier l'importance économique de chaque type d'infrastructure. Afin d'obtenir une valeur plausible, des personnes ressources compétentes ont été interpellées. Le tableau 3 présente la valeur retenue pour chaque type d'infrastructure et la source de l'information.

Tableau 3. Valeur estimée des routes

Type d'infrastructure	Valeur en \$ pour le mètre linéaire	Précisions	Source
Route municipales	1000	Moyenne des différents types de routes locales	Donald Labbé, ingénieur MTQ, (comm. pers., 2007), Progest experts conseils (comm. pers., 2007) et Raynald Méthot, conseiller aux affaires municipales. Information obtenue auprès de la Direction des infrastructures du MAMOT (comm. pers., 2013)
Route provinciale	1200	Route 199	Donald Labbé, ingénieur MTQ, (comm. pers., 2007) et Raynald Méthot, conseiller aux affaires municipales. Information obtenue auprès de la Direction des infrastructures du MAMOT (comm. pers., 2013)

## 2.4 Calcul de l'exposition

Pour chaque point représentant un bâtiment 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 (« Near »). Une validation manuelle a 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 appréhendé pour chaque **unité géomorphologique homogène** et 2) sur le **recul événementiel** maximal possible pour chaque type de côte. Ces paramètres sont basés sur les données d'évolution historiques (voir détails méthodologiques dans Bernatchez *et al.*, 2012a). Toutes les données du rapport ainsi que les cartes d'exposition incluent 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. Le recul événementiel est basé sur des mesures concrètes obtenues par le laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtière (LDGIZC) de l'UQAR suite à des événements de tempête. Il y a donc la possibilité à tout moment qu'un recul de cette envergure se produise. L'équation pour calculer l'exposition est présentée à la figure 5.

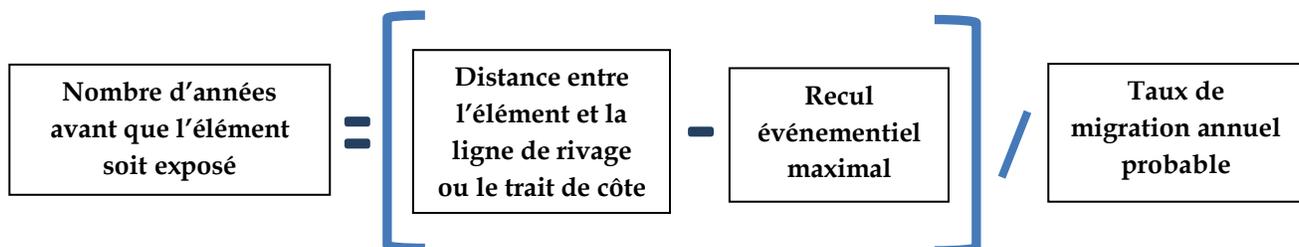


Figure 5. Équation pour calculer l'exposition des bâtiments et des routes à l'érosion côtière

L'**exposition** est ensuite classée selon 7 périodes de temps (tableau 4). Les classes 2007-2015 et 2015-2020 représentent l'exposition à court terme. Les 3 classes suivantes permettent d'évaluer l'exposition à moyen terme jusqu'en 2050. Enfin, les classes 2050-2060 et 2060-2100 représentent un horizon à long terme. Les couleurs présentées dans le tableau 4 sont celles utilisées pour la cartographie. Cette approche permet donc de faire un portrait d'ensemble des bâtiments et des routes exposés à l'**aléa** érosion selon différents horizons de temps. Chaque horizon de temps peut aussi être associé à un degré d'exposition (tableau 4). Cependant, dans une optique de planification de l'aménagement et des activités côtières, l'horizon de temps est très concret pour les gestionnaires et permet d'identifier ce qui est exposé actuellement (2007-2015) ou très prochainement (2015-2020) versus ce qui sera seulement exposé en 2040 ou en 2100. Il devient ainsi intéressant de faire le lien avec des plans de développement sur plusieurs années. Sur les cartes (annexe), l'exposition est ainsi présentée selon les horizons de temps. Le nombre et la valeur foncière des bâtiments ainsi que la longueur des routes et la valeur de reconstruction sont déterminés pour chaque horizon.

Tableau 4. Classes de temps pour l'exposition des bâtiments et des routes

		Horizon de temps	Degré d'exposition
Court terme	}	2007-2015	Très élevé
		2015-2020	Élevé
Moyen terme	}	2020-2030	Modéré à élevé
		2030-2040	Modéré
		2040-2050	Faible
Long terme	}	2050-2060	Très faible
		2060-2100	Très faible à nul

## 2.5 Cas spécifiques

### 2.5.1 Ouvrages de protection côtière

À la différence de l'analyse de la **vulnérabilité** qui tient compte des solutions d'adaptation, les projections pour l'analyse de l'**exposition** ne tiennent pas compte des ouvrages de protection contre l'érosion qui sont actuellement présents sur les côtes. Le taux probable est basé sur l'évolution historique de chaque **unité géomorphologique homogène** comprenant ou non des ouvrages de protection. Il est ainsi possible que des bâtiments ou des routes situés dans une zone protégée soient considérées comme exposés à court, moyen ou long terme. La date réelle d'exposition dépendra de la qualité et de l'entretien de l'ouvrage.

Ce choix méthodologique a été fait pour trois raisons :

- 1) Il n'est pas possible de connaître hors de tout doute le degré d'entretien des ouvrages existants tout comme la construction de nouveaux ouvrages dans le futur;
- 2) Même si des bâtiments ou des routes indiqués comme exposés ne sont pas affectés dans l'horizon indiqué, cette information est cependant pertinente pour mettre en lumière l'importance de l'ouvrage de protection et son entretien; ce qui est très pertinent pour planifier l'aménagement du territoire;

- 
- 3) Les ouvrages de protection, même récents et solides, sont sujets à un recul événementiel. Tel qu'observé lors de l'événement du 6 décembre 2010 (Quintin *et al.*, 2013), il est fréquent qu'un mur ou un enrochement soit ponctuellement détruit lors d'une tempête.

#### 2.5.2 Bâtiments ou routes dans une falaise

Le **trait de côte** situé en haut de la falaise présente souvent un taux de recul et presque toujours une mesure de **recul événementiel** applicable aux éléments situés en haut de la falaise. Cependant, aucun calcul ne permet de mesurer l'exposition des éléments situés dans la pente ou au pied d'une falaise. Considérant la combinaison des processus marins et des processus de pente, ces éléments ont été classés dans l'horizon 2007-2015.

#### 2.5.3 Secteurs de côtes en accumulation

Bien que la prévision de l'évolution à long terme soit une accumulation de terrain pour certains secteurs, il est possible qu'un événement de tempête produise un recul ponctuel de la ligne de rivage. Dans ces secteurs, les bâtiments et les routes qui sont à une distance inférieure au recul événementiel sont ainsi classés dans l'horizon 2007-2015.

### 3. Portrait de l'exposition des bâtiments et des routes à l'érosion côtière aux Îles-de-la-Madeleine

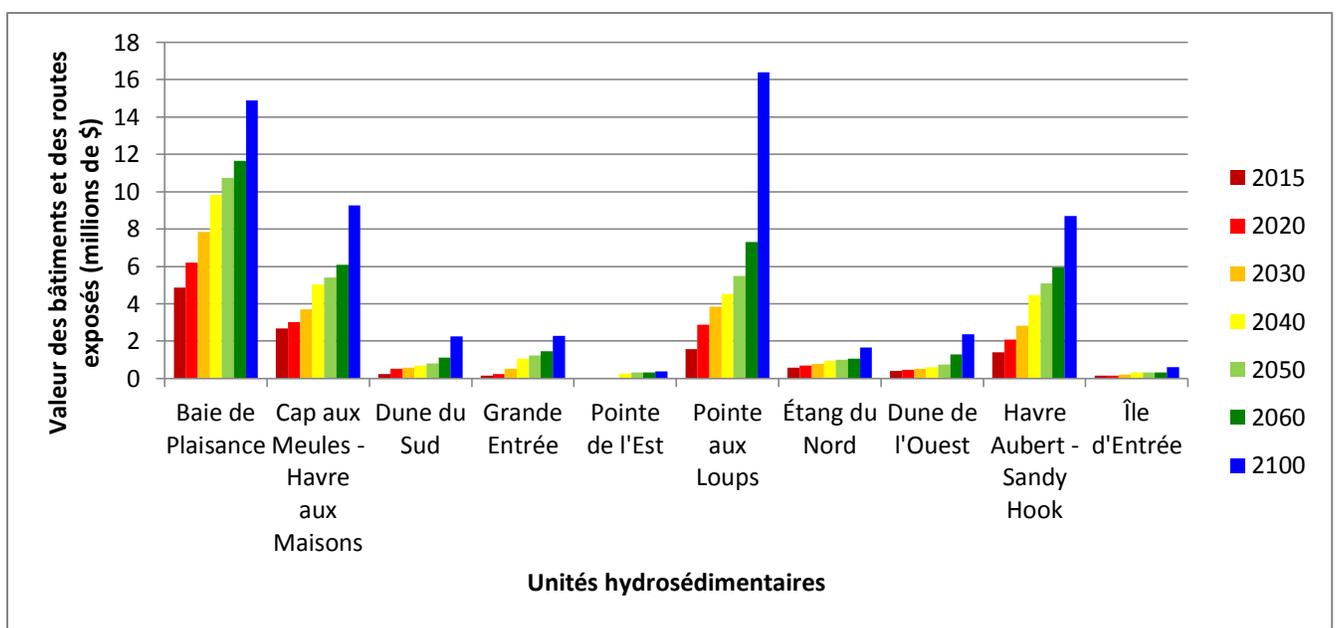
Tel que présenté dans le rapport sur les marges de sécurité en **érosion côtière** (Bernatchez *et al.*, 2012a), la problématique de l'érosion côtière est importante aux îles de la Madeleine. D'ici 2060, il ressort que 81% des côtes seront en érosion. L'analyse de l'**exposition** indique que 113 bâtiments et 9,3 km de routes sont exposés à court terme (d'ici 2020), représentant une valeur de 16,2 millions de dollars (tableau 5). À long terme (d'ici 2100), en supposant qu'aucune solution d'adaptation n'est mise en place, c'est un total de 382 bâtiments et de 33,9 km de routes qui seront exposés pour une valeur de 58,8 millions de dollars. Ce sont les routes qui représentent le plus gros **enjeu** financier avec 63% de la valeur totale à court terme et 64% à long terme.

Tableau 5. Portrait général des bâtiments et des routes exposés à l'érosion côtière à court, moyen et long terme aux Îles-de-la-Madeleine

Type d'infrastructure	2020 – Court terme			2050 – Moyen terme			2100 – Long terme		
	Longueur (km)	Nombre	Valeur (millions \$)	Longueur (km)	Nombre	Valeur (millions \$)	Longueur (km)	Nombre	Valeur (millions \$)
Bâtiments	na	113	6,0	na	210	11,9	na	382	21,1
Routes	9,3	na	10,2	17,6	na	19,2	33,9	na	37,7
<b>TOTAL</b>	<b>9,3</b>	<b>113</b>	<b>16,2</b>	<b>17,6</b>	<b>210</b>	<b>31,1</b>	<b>33,9</b>	<b>382</b>	<b>58,8</b>

\* Les chiffres sont cumulatifs dans le temps

L'**unité hydrosédimentaire** la plus touchée à court terme est celle de la Baie de Plaisance avec une valeur totale des bâtiments et des routes exposés de 4,9 millions de dollars en 2015 (figure 6). Cette valeur grimpe à 14,9 millions en 2100 de façon constante. En deuxième lieu, les unités de Cap aux Meules – Havre aux Maisons, de Pointe aux Loups et de Havre Aubert présentent des données similaires. Cap aux Meules – Havre aux Maisons se distingue cependant avec la valeur des bâtiments et des routes exposés qui est plus forte à court terme (2,7 millions de \$ en 2015) et Pointe aux Loups se distingue par une forte valeur à long terme (16,4 millions de \$ en 2100). Cette forte valeur est liée à la route 199 qui longe le bord de mer dans une zone très sensible. Les autres unités hydrosédimentaires sont moins touchées et particulièrement les unités de la Pointe de l'Est et de l'Île d'entrée qui ne dépassent pas la valeur de 600 000\$ en 2100.



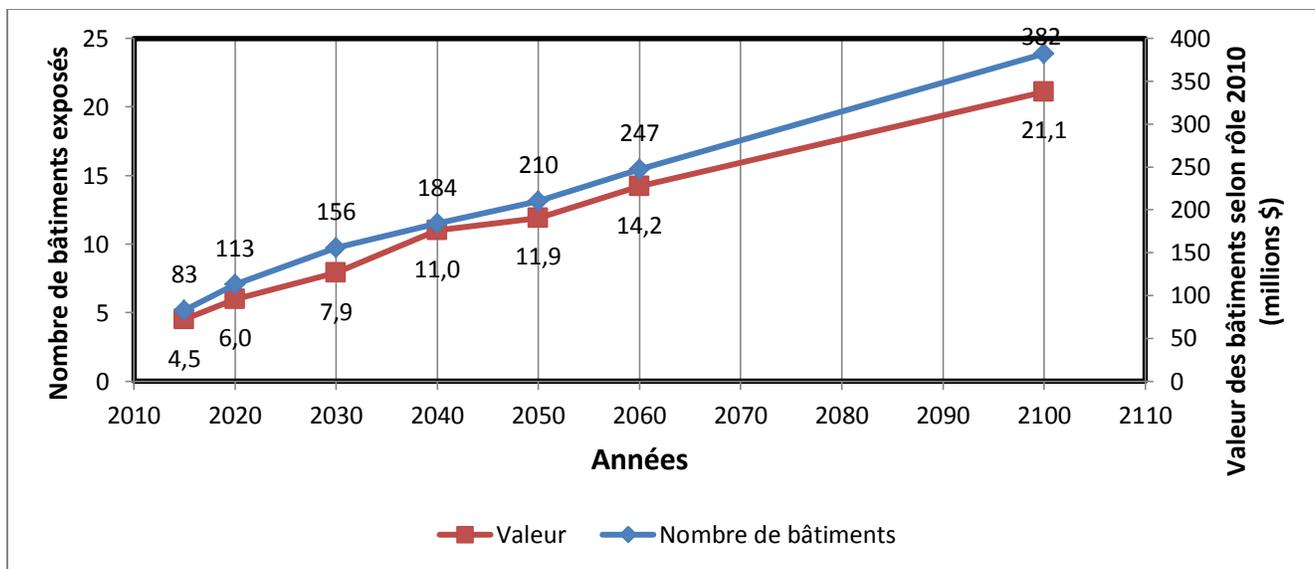
\* Les chiffres sont cumulatifs dans le temps

**Figure 6. Valeur des bâtiments et des routes exposés à l'érosion côtière d'ici 2100 pour chaque unité hydrosédimentaire des îles de la Madeleine**

Un portrait des bâtiments et des routes exposés est présenté dans les sections 3.1 et 3.2. La section 3.3 offre une description des secteurs comprenant une concentration plus importante de bâtiments et/ou de routes exposés.

### 3.1 Bâtiments

Les mesures de l'**exposition** des bâtiments à l'érosion indiquent que 83 bâtiments d'une valeur de 4,5 millions sont exposés en 2015 et augmentent de façon linéaire à 382 en 2100 pour une valeur de 21,1 millions (figure 7). Cette augmentation constante indique une répartition des bâtiments bien étalée dans l'espace sans concentration particulière en fonction d'un horizon de temps.



\* Les chiffres sont cumulatifs dans le temps

Figure 7. Nombre et valeur des bâtiments exposés à l'érosion côtière d'ici 2100 – Îles-de-la-Madeleine

Le tableau 6 présente les types de bâtiments selon la classification du rôle d'évaluation foncière du Québec. Près de la moitié des bâtiments exposés sont des chalets (36 sur 83 en 2015), ce qui montre l'importance de la villégiature aux Îles-de-la-Madeleine. Les bâtiments secondaires sont au second rang pour le nombre (17 en 2015), mais aucune valeur individuelle ne leur est associée; leur valeur est incluse dans celle du bâtiment principal du même lot. Il s'agit souvent de garages, de hangars et de cabanons. Les résidences principales viennent ensuite avec 8 bâtiments en 2015.

Entre 2015 et 2100, le nombre de résidences principales exposées est multiplié par 12 tandis que le nombre de chalets est multiplié par 3. On observe ainsi que la valeur des résidences principales est la moitié de celle des chalets en 2015 mais devient presque le double en 2100. Dans les bâtiments industriels, commerciaux ou de services, on note trois usines de transformation des produits de la mer dont deux exposées en 2015, une usine de traitement des eaux usées exposée en 2030, sept restaurants dont deux exposés en 2015, un cinéma (bâtiment incluant aussi d'autres commerces) exposé en 2030 et trois bâtiments de terrains de camping dont deux exposés en 2015.

Tableau 6. Nombre, valeur et type de bâtiments exposés à l'érosion d'ici 2100 pour les Îles-de-la-Madeleine

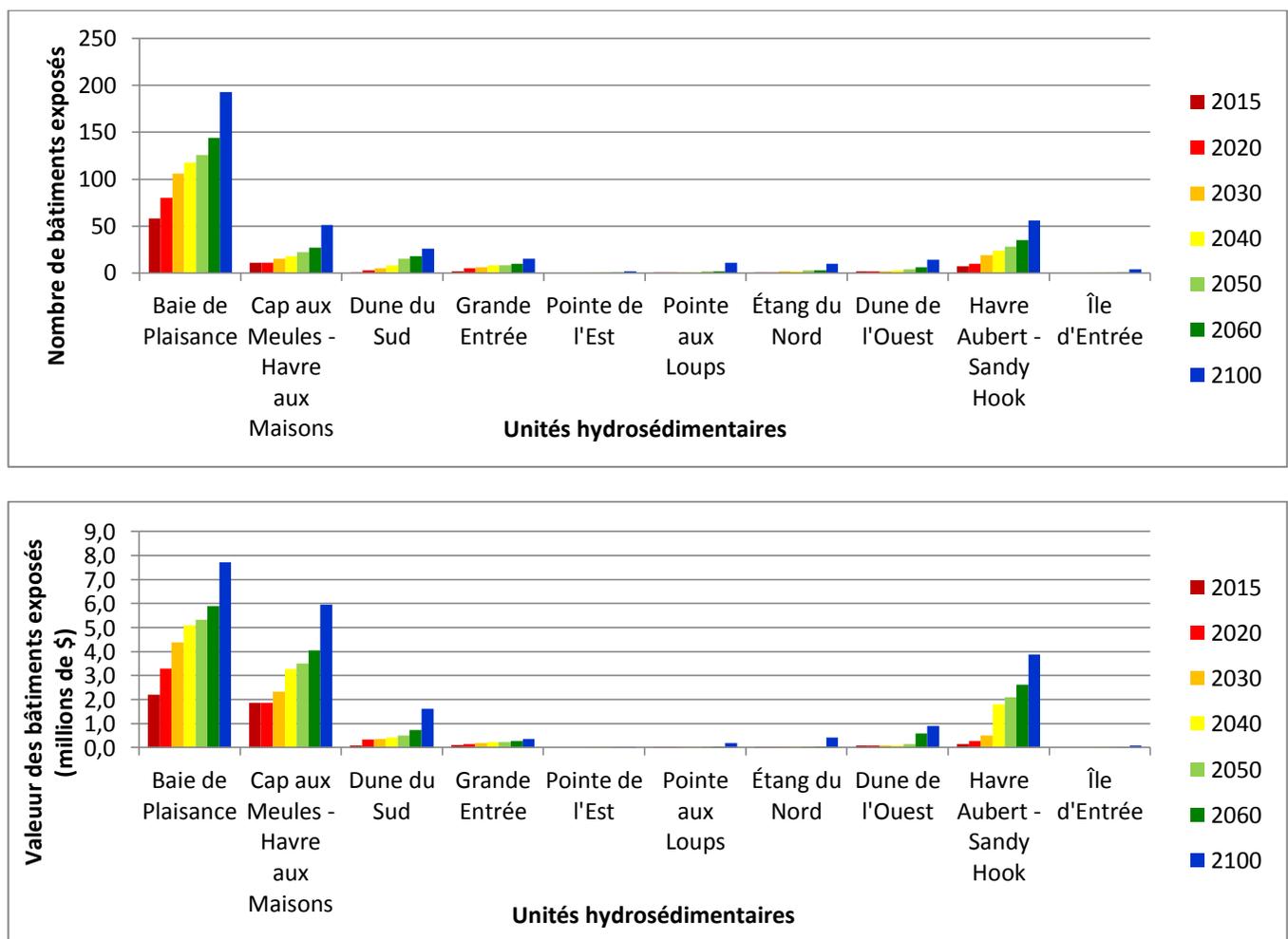
Code du rôle d'évaluation et type de bâtiment	2015		2020		2030		2040		2050		2060		2100	
	Nb	Valeur (\$)												
<b>1000 – Logement (résidence principale)**</b>	8	586500	18	1279700	27	1901900	35	2635000	41	3138700	52	3953600	95	7580600
<b>1100 - Chalet ou maison de villégiature</b>	36	1208000	51	1764500	72	2528400	77	2719400	81	2928000	95	3483600	122	4840400
1211 - Maison mobile	2	63000	3	127000	4	180400	6	229900	6	229900	6	229900	11	363800
1212 - Roulotte résidentielle	0	0	1	66900	2	72600	2	72600	3	78600	3	78600	4	82700
1990 - Autres immeubles résidentiels	3	18300	4	19700	4	19700	4	19700	4	19700	5	21600	10	35000
<b>2020 – Ind. prép. et cond. de poissons et de fruits mer</b>	1	1025800	1	1025800	1	1025800	2	2044200	2	2044200	2	2044200	2	2044200
3480 – Ind. de construction et réparation d'embarcations	0	0	0	0	0	0	0	0	1	83000	1	83000	1	83000
4299 - Autres transports par véhicule automobile	0	0	0	0	1	4200	1	4200	1	4200	1	4200	1	4200
4414 - Terminus maritime (pêche commerciale)	0	0	0	0	0	0	1	200	1	200	1	200	1	200
4419 - Autres installations portuaire	0	0	0	0	0	0	1	21600	1	21600	1	21600	1	21600
4490 - Autres installations portuaire	0	0	0	0	1	14900	2	34700	2	34700	2	34700	3	40100
4834 - Station de contrôle de la pression de l'eau	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	169000
<b>4841 - Usine de traitement des eaux usées</b>	0	0	0	0	1	350100	1	350100	1	350100	1	350100	1	350100
5391 - Vente au détail de marchandises en général (sauf l	1	91500	1	91500	1	91500	1	91500	1	91500	1	91500	1	91500
5399 - Autres ventes au détail de marchandises en général	1	80400	1	80400	1	80400	1	80400	1	80400	1	80400	1	80400
5422 - Vente au détail de poissons et de fruits de mer	1	85100	1	85100	1	85100	1	85100	1	85100	1	85100	1	85100
5531 - Station-service avec réparation de véhicules autom.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	123700
5651 - Vente au détail de vêtements pour toute la famille	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	116500
<b>5811 - Restaurant avec service complet (sans terrasse)</b>	2	182200	2	182200	2	182200	2	182200	2	182200	4	421100	5	507700
<b>5812 - Restaurant avec service complet (avec terrasse)</b>	0	0	1	98600	2	139100	2	139100	2	139100	2	139100	2	139100
5821 - Établissement avec service de boissons alcoolisées	0	0	0	0	0	0	1	55300	1	55300	1	55300	2	124500
5831 - Hôtel (incluant les hôtels-motels)	1	144100	1	144100	1	144100	1	144100	1	144100	1	144100	1	144100
5899 - Autres activités de la restauration / chalets	0	0	0	0	0	0	1	221300	2	333900	2	333900	2	333900
5933 - Vente au détail de produits artisanaux, locaux ou	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	240400
5953 - Vente au détail de jouets et d'articles de jeux	1	38700	1	38700	1	38700	1	38700	1	38700	1	38700	1	38700

5971 - Vente au détail de bijoux	1	22000	1	22000	1	22000	1	22000	1	22000	1	22000	1	22000
5995 - Vente au détail de cadeaux, de souvenirs et de men	1	81700	1	81700	1	81700	1	81700	1	81700	1	81700	1	81700
6242 - Cimetière	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2800
6373 - Entreposage frigorifique (sauf les armoires frigor.)	0	0	1	47400	1	47400	1	47400	1	47400	1	47400	1	47400
6376 - Entreposage et service d'entreposage	1	37700	1	37700	1	37700	1	37700	1	37700	1	37700	2	92400
6541 - Service de garderie (prématornelle, moins de 50 %	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	278600	1	278600
7191 - Monument et site historique	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	67400
<b>7212 - Cinéma</b>	0	0	0	0	0	0	1	774900	1	774900	1	774900	1	774900
7233 - Salle de réunions, centre de conférences et congre	0	0	0	0	0	0	0	0	1	19800	1	19800	1	19800
<b>7491 - Camping (excluant le caravaning)</b>	2	248800	2	248800	2	248800	2	248800	2	248800	2	248800	3	300400
7499 - Autres activités récréatives	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	746100
7519 - Autres centres d'activite3s touristiques	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	433500	1	433500
8094 - Remise à machinerie	0	0	0	0	1	13400	1	13400	1	13400	1	13400	1	13400
8199 - Autres activités agricoles	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
<b>8413 - Crustacé (homard)</b>	1	475400	1	475400	1	475400	1	475400	1	475400	1	475400	1	475400
8429 - Autres services d'élevage du poisson	1	98900	1	98900	1	98900	1	98900	1	98900	1	98900	1	98900
9100 - Espace de terrain non aménagé et non exploité / avec infra	0	0	0	0	2	0	2	0	3	0	3	0	6	0
9510 - Immeuble résidentiel en construction	0	0	0	0	0	0	1	0	3	6900	3	6900	4	6900
<b>(vide) - bâtiment non inventorié &amp; bâtiment secondaire (total)</b>	17	0	17	0	20	0	24	0	33	0	40	0	70	0
<b>Total général</b>	<b>83</b>	<b>4488100</b>	<b>113</b>	<b>6016100</b>	<b>156</b>	<b>7884400</b>	<b>184</b>	<b>10969500</b>	<b>210</b>	<b>11910100</b>	<b>247</b>	<b>14233500</b>	<b>382</b>	<b>21102100</b>

\* Les chiffres sont cumulatifs dans le temps

\*\* Les types de bâtiments qui se démarquent par leur nombre important ou leur valeur foncière élevée sont surlignés en couleur associée à l'horizon de temps correspondant.

La répartition géographique des bâtiments montre que c'est dans l'unité de la Baie de Plaisance que l'on retrouve le plus grand nombre de bâtiments exposés (figure 8). Les bâtiments sont concentrés dans trois secteurs : le chemin des Chalets, le chemin de la Baie de Plaisance et la Grave. L'enjeu est important à court terme avec 58 bâtiments en 2015 et l'augmentation est forte jusqu'en 2030 où le nombre atteint 106 bâtiments. La hausse de bâtiments est par la suite constante pour atteindre 193 en 2100. Le profil de la valeur des bâtiments suit la même courbe que celle du nombre, ce qui indique que les bâtiments exposés sont de valeur semblable dans le temps. Dans l'unité de Cap aux Meules - Havre aux Maisons, les bâtiments ne sont pas aussi nombreux (51 en 2100), mais la valeur individuelle est plus forte (14 bâtiments valent plus de 100 000\$ chacun). Les 11 bâtiments exposés en 2015 ont en effet une valeur totale similaire aux 51 bâtiments exposés dans l'unité de la Baie de Plaisance. La troisième unité en importance est celle de Havre-Aubert - Sandy Hook qui comprend 7 bâtiments exposés en 2015 et un total de 56 en 2100 qui sont principalement situés à Bassin et à l'Anse à la Cabane. La hausse marquée de la valeur en 2040 est liée à l'usine de transformation à l'étang du Sable. Peu de bâtiments sont affectés dans les sept autres unités (7 en 2015 et 82 en 2100), ce qui couvre le restant du territoire des Îles.

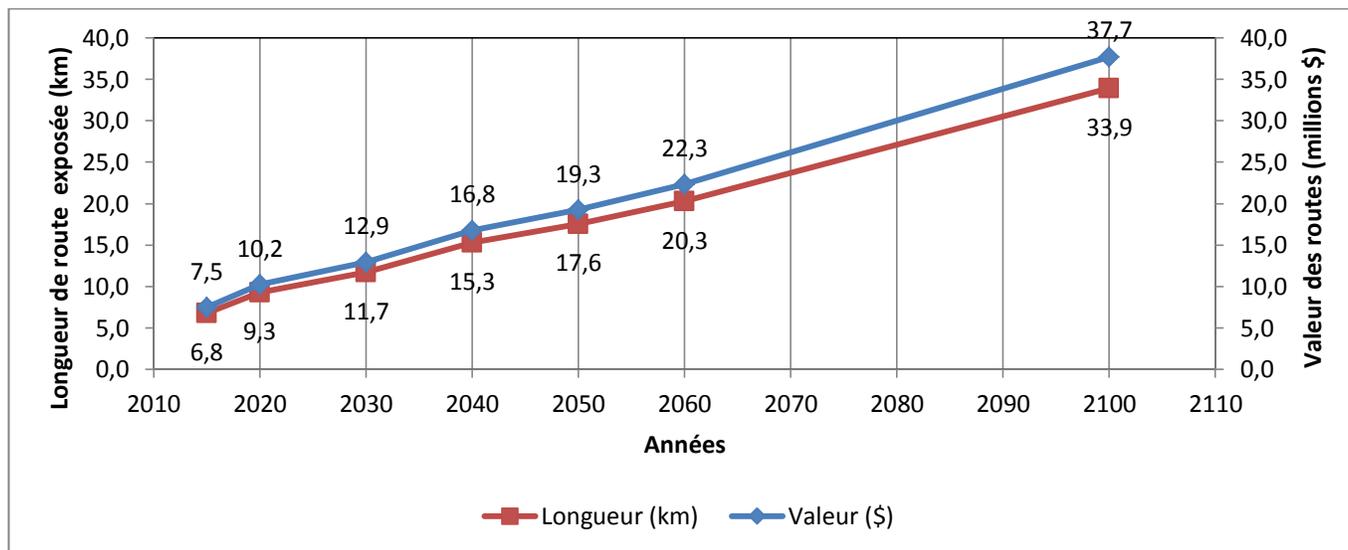


\* Les chiffres sont cumulatifs dans le temps

Figure 8. Nombre et valeur des bâtiments exposés à l'érosion côtière d'ici 2100 pour chacune des unités hydrosédimentaires des îles de la Madeleine

### 3.2 Routes

L'exposition des routes représente l'enjeu financier le plus important aux îles de la Madeleine avec une valeur de 7,5 millions de dollars en 2015 et de près de 38 millions de dollars en 2100 (figure 9). La longueur de routes exposées, qui est de 6,8 km en 2015, augmente de façon linéaire dans le temps pour atteindre près de 34 km en 2100.



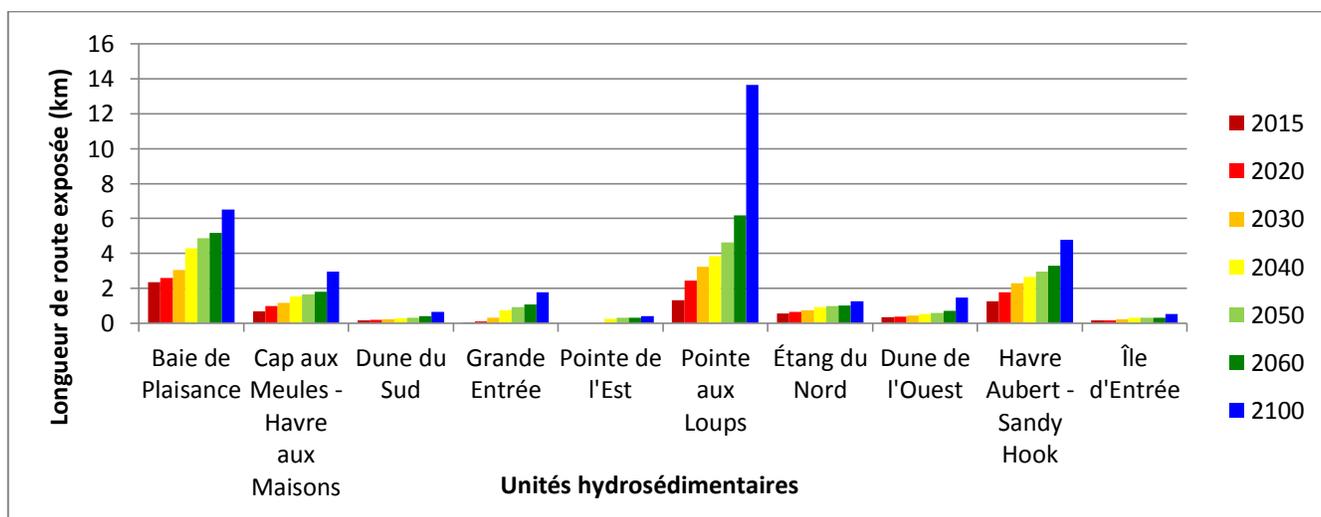
\* Les chiffres sont cumulatifs dans le temps

Figure 9. Longueur et valeur des routes exposées à l'érosion côtière d'ici 2100 - Îles-de-la-Madeleine

Les routes exposées se situent principalement dans les unités de Baie de Plaisance, de Pointe aux Loups et de Havre Aubert - Sandy Hook (figure 10). À court terme, la plus forte concentration est dans l'unité de la Baie de Plaisance, plus précisément dans le secteur de la Martinique avec plus de 2 km de route 199 exposée en 2015. L'unité de Pointe aux Loups a un profil semblable à celle de la Baie de Plaisance, mais se distingue avec une forte augmentation entre 2060 et 2100. C'est principalement la route 199 entre Pointe-aux-Loups et Grosse-Île qui est exposée (tableau 7). Dans l'unité de Havre Aubert - Sandy Hook, c'est plutôt la route municipale dans le secteur de l'Anse-à-Cabane qui est exposée (incluant une portion de sentier, anciennement une route). On retrouve aussi quelques segments à Havre-Aubert (chemin du Sable et chemin des Fumoirs). Quelques courts segments de route sont exposés dans chacune des autres unités. L'unité de la Pointe de l'est est la seule ne présentant aucune route exposée à court terme; les premiers tronçons seront exposés entre 2030 et 2040.

Sur l'ensemble du territoire des Îles, les routes municipales et provinciales exposées ont une longueur équivalente à court terme (tableau 6). Les routes provinciales dominent à partir de 2060, spécifiquement en lien avec l'exposition de la route 199 à Pointe-aux-Loups. Les plus longs tronçons de la route 199 exposés à court terme se situent dans l'unité de la Baie de Plaisance (secteurs de la Martinique et de La Grave), dans l'unité de Pointe aux Loups (au nord-est de Pointe-aux-Loups) et dans l'unité de Cap aux Meules - Havre aux Maisons (secteur de la Digue). Pour les routes municipales, les segments exposés à court terme se retrouvent principalement dans l'unité de Havre Aubert - Sandy Hook (chemin du Sable,

chemin des Fumoirs et chemin du Phare), dans l'unité de la Baie de Plaisance (chemin d'en Haut, chemin des Chalets) et dans l'unité de l'Étang du Nord (chemin Edgar Thorne à Fatima).



\* Les chiffres sont cumulatifs dans le temps

**Figure 10. Longueur de route exposée à l'érosion côtière d'ici 2100 pour chacune des unités hydrosédimentaires des îles de la Madeleine**

**Tableau 7. Longueur de routes provinciales et municipales exposées pour chacune des unités hydrosédimentaires des îles de la Madeleine**

Unités hydrosédimentaires	2015 Longueur (m)	2020 Longueur (m)	2030 Longueur (m)	2040 Longueur (m)	2050 Longueur (m)	2060 Longueur (m)	2100 Longueur (m)
<b>Baie de Plaisance</b>	2340	2590	3059	4290	4881	5183	6508
Provinciale	1560	1680	1980	2290	2610	2852	3342
Municipale	780	910	1079	1999	2271	2331	3166
<b>Cap aux Meules - Havre aux maisons</b>	689	979	1165	1535	1646	1790	2951
Provinciale	653	873	973	1173	1213	1253	1773
Municipale	36	106	193	363	433	537	1179
<b>Dune de l'Ouest</b>	327	377	447	526	596	706	1474
Municipale	327	377	447	526	596	706	1474
<b>Dune du Sud</b>	170	190	230	270	320	398	637
Municipale	170	190	230	270	320	398	637
<b>Étang du Nord</b>	548	660	750	925	981	1021	1249
Municipale	548	660	750	925	981	1021	1249
<b>Grande Entrée</b>	36	86	306	739	905	1076	1767
Provinciale	30	80	210	378	468	548	773
Municipale	6	6	96	361	437	528	994
<b>Havre Aubert - Sandy Hook</b>	1251	1781	2293	2641	2957	3286	4769
Provinciale	30	70	90	110	116	116	186
Municipale	1221	1711	2203	2531	2841	3170	4583
<b>Île d'Entrée</b>	144	157	217	297	317	317	530
Municipale	144	157	217	297	317	317	530
<b>Pointe de l'Est</b>	0	0	0	260	322	322	392
Municipale	0	0	0	260	322	322	392
<b>Pointe aux Loups</b>	1314	2434	3234	3829	4629	6173	13668
Provinciale	1200	2210	2930	3430	4090	5530	12770
Municipale	113	223	303	399	539	643	898
<b>Provinciale totale</b>	<b>3473</b>	<b>4913</b>	<b>6183</b>	<b>7381</b>	<b>8496</b>	<b>10298</b>	<b>18843</b>
<b>Municipale totale</b>	<b>3346</b>	<b>4341</b>	<b>5518</b>	<b>7930</b>	<b>9056</b>	<b>9973</b>	<b>15102</b>
<b>Total général</b>	<b>6819</b>	<b>9253</b>	<b>11700</b>	<b>15311</b>	<b>17552</b>	<b>20271</b>	<b>33945</b>

\* Les chiffres sont cumulatifs dans le temps

### 3.3 Description des principaux secteurs comprenant des bâtiments et des routes exposés

Les bâtiments et les routes exposés sont concentrés en 30 principaux secteurs. Voici un portrait de la dynamique côtière des secteurs sous forme de fiche descriptive. Chaque fiche comprend le numéro du secteur, le nom du lieu, la municipalité, les **unités géomorphologiques homogènes** concernées et le numéro de la carte qui lui correspond en annexe. Les photos aériennes obliques, qui illustrent un exemple du segment, ont été prises le 12 septembre 2010 par l'équipe du Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières de l'UQAR pour le ministère de la Sécurité publique du Québec. La présentation de ces segments a pour but d'attirer l'attention sur les zones les plus problématiques et de fournir une information spécifique à chacune. La description met l'emphase sur la dynamique côtière des segments, information essentielle à toute intervention.

Secteur 1	Chemin Light House	Île d'Entrée	Unité homogène IE-015	Carte 02
Éléments exposés : route municipale non asphaltée				



Les infrastructures sont peu menacées à l'Île d'Entrée, mise à part cette portion de route qui longe une basse falaise rocheuse. Le taux probable n'est pas très élevé (-0,16 m /an), mais la proximité au **trait de côte** rend la route exposée sur 130 m en 2015 pour atteindre 260 m en 2100. La **plage** est étroite et ne permet pas de dissiper la force des vagues. La **dérive littorale** étant vers le nord, la seule source sédimentaire est l'érosion de la falaise rocheuse de la Pointe du Sud-Ouest. Les sédiments transportés s'accumulent sur la terrasse de plage directement au sud du quai qui forme une barrière à la dérive littorale. D'autres petits segments de route et quatre bâtiments sont exposés à moyen et long terme sur l'île.

Secteur 2	Pointe à Fox et Pointe à Jonathan	Havre Aubert	Unités homogènes HA-027, 028, 029, 030 et 031	Cartes 06 et 07
Éléments exposés : route municipale asphaltée et route secondaire non asphaltée				



Malgré le caractère abrité des côtes derrière la zone portuaire de Havre Aubert, certaines portions du littoral ont subi des reculs considérables depuis 1963. Dans le secteur du Chemin du sable, le taux probable de  $-0,71$  m/an (HA-027) a été choisi en fonction des reculs mesurés entre 1963 et 1983. La route secondaire est ainsi exposée à court terme sur 3 tronçons et aussi à moyen et long terme jusqu'en 2100.

Sur la pointe à Jonathan, on retrouve une usine de transformation de poissons et de fruits de mer exposée entre 2030 et 2040. La portion de côte où longe le chemin des Fumoirs (HA-031) présente un taux probable nul et les vagues de tempête ne peuvent avoir un effet significatif à cet endroit. La route est tout de même exposée à court terme étant donné la proximité avec le bord de mer et l'état très endommagé de la protection.

Une éventuelle brèche dans le secteur de la Grave pourrait aussi rehausser le niveau des vagues dans le bassin et ainsi affecter la route.



Secteur 3	La Grave	Havre Aubert	Unités homogènes BP-003 et 004	Carte 07
Éléments exposés : commerces, restaurants, bar, résidences principales et route municipale asphaltée				

Ce tombolo est relativement stable et le taux probable est de -0,23 m/an. Cependant, les vagues de tempête peuvent atteindre les bâtiments en place et causer des dommages. En plus d'être reconnu comme site historique, le secteur de la Grave constitue un pôle important du secteur touristique aux Îles-de-la-Madeleine. La forte concentration de bâtiments sur cet étroit cordon littoral rend le site très vulnérable aux événements de tempête. Tous les bâtiments situés au nord de la route sont effectivement exposés à court terme. Sur le cordon littoral, la **ligne de rivage** est généralement naturelle, mise à part quelques segments de blocs alignés et un enrochement. Dans la partie ouest, un muret de bois en bon état a été construit sur 190 m pour protéger la route 199 (photo ci-contre en bas), suivi d'un enrochement de 40 m partiellement endommagé pour protéger un commerce.



Les structures verticales ont un effet réfléchissant et ne favorisent pas la rétention du sable, particulièrement dans les secteurs à faible apport sédimentaire. Les enrochements ont de plus réduit la largeur de la **plage** par empiètement, ce qui peut augmenter les risques de **submersion** lors du déferlement des vagues de tempête. Il est préférable de limiter les interventions qui peuvent réduire la largeur de la plage et ainsi augmenter la force des vagues lors du déferlement. L'érosion des falaises à l'ouest (buttes des demoiselles) constitue le principal apport sédimentaire.

Secteur 4	Chemin d'en Haut (portion est et ouest)	Havre Aubert	Unités homogènes BP-006 et BP-015	Cartes 08 et 09
Éléments exposés : route municipale asphaltée et résidences principales				

Un court tronçon du chemin d'en Haut est exposé immédiatement à l'ouest de la Grave (photo ci-contre). Ce segment de falaise meuble a un taux probable de  $-0,28$  m/an. Le **recul événementiel** mesuré dans les falaises meubles étant de  $-14,1$  m, la route est ainsi exposée à court terme sur 50 m de longueur. Une résidence principale est aussi exposée entre 2015 et 2020 et une autre entre 2060 et 2100. La **dérive littorale** est vers l'est, ce qui indique que l'apport sédimentaire principal vient de l'érosion de la falaise rocheuse à l'ouest.



A l'extrémité ouest du chemin d'en Haut, un tronçon routier est indiqué comme exposé à court et moyen terme. Ce tronçon a déjà été abandonné suite au recul de la falaise (photo en bas). Cette zone comprend aussi 4 résidences principales exposées à long terme. La falaise rocheuse à sommet meuble a un taux probable de  $-0,33$  m/an. L'apport sédimentaire à la **plage** est très faible car le site se situe au début de la **cellule hydrosédimentaire** de la Baie de Plaisance et la dérive est vers le nord-ouest. Les glissements et décrochements y sont fréquents et la plage quasi absente permet aux vagues d'atteindre régulièrement la falaise. Des fragments d'asphalte ont d'ailleurs déjà été arrachés à l'ancienne route et deux maisons ont déjà été déplacées.



Secteur 5	Chemin de la Baie de Plaisance	Havre Aubert	Unité homogène BP-016	Carte 10
Éléments exposés : route municipale asphaltée, chalets et résidences principales				

Historiquement, ce secteur est en accumulation avec des gains de 10 à 20 m de dunes entre 1963 et 2008. Cependant, d'importants reculs ont été enregistrés sur de courtes périodes, ce qui explique l'**exposition** des bâtiments à court terme (photo ci-contre). Le taux probable de -1,3 m/an, qui reflète la période 1977-1983, a été projeté jusqu'à 2100, mais il est plausible que les bâtiments et la route indiqués comme exposés à partir de 2030 ne soient pas encore affectés à cette période.



La dynamique globale de la baie de Plaisance présente de forts taux d'accumulation au milieu de la baie et des taux plus faibles, voire négatifs aux extrémités nord (secteur de la Martinique) et sud (chemin de la baie de Plaisance). Il y a une migration des sédiments des extrémités vers le centre, impliquant une **dérive littorale** vers le nord pour le présent secteur. On peut donc s'attendre à la continuité de cette dynamique dans le futur.



Il est important d'éviter la mise en place de structures rigides dans ce milieu meuble. Les données historiques démontrent que la **plage** se remet en place suite aux événements de tempête et que l'accumulation permet même une avancée subséquente de la ligne de rivage. Une structure rigide viendrait rompre ce cycle naturel.

Secteur 6	Chemin de la Martinique - route 199 -	La Martinique	Unité homogène BP-021	Cartes 18 et 19
Éléments exposés : route 199 et chalets				



La route 199 dans le secteur de la Martinique est exposée sur près de 2 km. C'est un des secteurs critiques aux Îles-de-la-Madeleine car il s'agit du seul lien entre l'île du Havre Aubert et l'île centrale du Cap-aux-Meules. Les trois photos montrent la route du sud vers le nord. La première photo montre la côte active avec une micro-falaise d'érosion sans protection. Le taux de déplacement est de -0,26 m/an entre 1963 et 2008, mais triple entre 2001 et 2008. Le taux probable est donc de -0,71 m/an. La route est exposée à court et moyen terme.



La deuxième photo montre la portion de route enrochée. On note que la **plage** est absente devant l'enrochement. La troisième photo montre la zone des chalets « La Martinique ». A cet endroit, la côte a été remblayée sur une vingtaine de mètres en moyenne dans les années 70 pour la construction de la route 199, ce qui a fait complètement disparaître la plage. Un enrochement est depuis nécessaire pour protéger la route.



La dynamique globale de la baie de Plaisance présente de forts taux d'accumulation au milieu de la baie et des taux plus faibles, voire négatifs aux extrémités sud (chemin de la Baie de Plaisance) et nord (secteur de la Martinique). Il y a une migration des sédiments des extrémités vers le centre, impliquant une **dérive littorale** vers le sud pour le présent secteur. La source sédimentaire est cependant très faible car le secteur se trouve à l'extrémité nord de la cellule de la baie de Plaisance et la dérive de la cellule de l'Anse aux Étangs est de direction opposée (divergente).

et la dérive de la cellule de l'Anse aux Étangs est de direction opposée (divergente).

Une recharge de plage est effectuée sporadiquement à la limite de l'enrochement par le ministère des Transports afin de limiter l'effet de bout. Cette technique s'est jusqu'ici avérée efficace pour limiter l'érosion et éviter de poursuivre l'enrochement.

Secteur 7	Chemin de la Martinique - secteur falaise -	La Martinique	Unités homogènes BP-022 et 023	Cartes 19 et 20
Éléments exposés : résidences principales, chalets et route 199				

On retrouve une forte concentration de résidences et de chalets le long de la falaise rocheuse à La Martinique (photo ci-contre). Cette falaise a un taux probable de  $-0,67$  m/an dans l'unité BP-022 et  $-1,05$  m/an dans l'unité BP-023, qui comporte un sommet meuble. L'estran est rocheux et un mince dépôt de **plage** est seulement présent dans les anses et dans l'unité BP-023. L'apport sédimentaire est quasi nul dans cette portion de côte car elle se situe dans une zone de divergence de la dérive littorale. L'érosion de la falaise constitue le seul apport sédimentaire et ne suffit pas pour construire une large plage.



Plusieurs crevasses sont protégées par des enrochements ou des blocs déversés (photo ci-contre et ci-bas). Ces protections sont efficaces pour ralentir l'érosion et sont sans impact sur la dynamique sédimentaire si la plage est absente. Cependant, on constate un empiétement des enrochements sur la plage dans l'unité BP-023 (photo ci-contre). On constate également la présence de grottes et de trous au sommet de la falaise rendant son recul non linéaire en plus de présenter un **risque** pour la sécurité des personnes.



Secteur 8	Chemin des Chalets	La Martinique	Unité homogène BP-024	Carte 20
Éléments exposés : chalets et route secondaire				

Une cinquantaine de chalets se situent sur un étroit cordon littoral de basse altitude qui sépare deux lagunes et un marais de la mer. Le taux probable est élevé (-1,37 m/an) et le **recul événementiel** peut atteindre 17 m. La **cellule hydrosédimentaire** de l'Anse aux Étangs est petite et permet peu d'échanges sédimentaires. Le cordon est voué à migrer vers l'intérieur des terres. Un petit chenal intermittent permet l'échange entre la lagune nord et la mer. Ce chenal était plus large et plus au sud-ouest dans les années 1960. La route est aujourd'hui coupée dans le secteur du chenal et les lobes de tempête envahissent la lagune. Malgré les enrochements en bon état mis en place récemment, il est peu probable que la ligne se maintienne à moyen et long terme. La route secondaire est désormais coupée au niveau de la petite lagune. La relocalisation des bâtiments est ici la seule option qui permettra d'enrayer les problèmes liés à l'érosion et à la **submersion** à moyen et long terme.



Secteur 9	Gros Cap	Cap aux Meules	Unité homogène BP-029	Carte 22
Éléments exposés : chalets, bâtiments du camping et route secondaire				

La falaise rocheuse de Gros Cap est en érosion sur l'ensemble de son pourtour. Le taux probable est de -0,37 m/an du côté est et -0,46 m/an du côté ouest. L'érosion atteint -0,50 m/an au fond des crevasses. La surface de la péninsule est ainsi en diminution nette d'année en année. Les **plages** sont absentes et l'énergie des vagues est ainsi maximale lors du déferlement des vagues sur les falaises. Le cap présente de nombreuses encoches et grottes, cela engendre donc un recul de la côte qui n'est pas linéaire. Ceci présente un **risque** pour la sécurité des personnes. Seulement deux bâtiments reliés aux services du camping sont exposés à court terme (photo ci-bas). Un enrochement en bon état protège un des bâtiments ainsi que la route d'accès. Les autres bâtiments sont exposés à moyen et long terme.



Secteur 10	Secteur Petite Échouerie	Cap aux Meules	Unités homogènes CM -02 à CM-06	Carte 22
Éléments exposés : résidences principales, motel, usine de transformation des produits de la mer, route municipale asphaltée, route secondaire				



L'anse de la Petite Échouerie est composée d'une alternance de basses falaises rocheuses et de terrasses de plage (photo en haut à gauche). Les unités CM-02 et CM-03 au sud présentent de forts taux probables respectivement de  $-0,82$  m/an et de  $-1$  m/an. Les résidences présentes sont exposées à moyen et long terme. Les unités CM-04, 05 et 06 ont un taux probable plus faible ( $-0,45$  m/an), mais comprennent d'importants éléments exposés à court terme : un motel (photo en haut à droite) et une usine de transformation des produits de la mer (photo en bas à gauche). La route secondaire qui mène au bout de la pointe est déjà sectionnée, isolant un îlot seulement accessible à pieds (photo en bas à droite). Deux quais étaient présents sur la pointe de l'Échouerie dans les années 60. Leur présence et leur enlèvement n'ont pas affecté la dynamique sédimentaire. Les pointes rocheuses du Gros Cap et de l'Échouerie limitent les échanges sédimentaires et une **plage** est seulement présente au fond de l'anse. Les interventions dans cette anse ne doivent ainsi pas faire en sorte d'affaiblir le bilan sédimentaire déjà limité.



Secteur 11	Secteur Grande Échouerie	Cap aux Meules	Unités homogènes CM-07 à CM-12	Cartes 23, 24 et 25
Éléments exposés : résidences principales, chalets, usine de traitement des eaux (étangs aérés), cinéma, garderie, bar				



La cellule de la Grande Échouerie est composée d'une alternance de basses falaises rocheuses et de terrasses de plage. Les taux probables se situent entre  $-0,31$  m/an et  $-0,64$  m/an. La **dérive littorale** principale est vers le nord, mais une dérive secondaire vers le sud compense presque le déplacement des sédiments. Les **plages** sont majoritairement très étroites, sauf pour deux courtes zones au milieu du secteur (photos du haut). L'énergie des vagues est ainsi peu atténuée et les falaises de grès sont plus sensibles (photo en bas à gauche). Malgré la proximité du centre de Cap aux Meules, cette portion de côte ne présente pas d'élément exposé à court terme et seulement quelques éléments exposés à moyen et long terme. A noter que le sentier asphalté qui longe le littoral est exposé à court et moyen terme sur plusieurs tronçons, mais le calcul de l'**exposition** n'as pas été effectué (photo en bas à droite). Une couche de roches (riprap) a été mise en place sur le haut estran en 2013. Il devrait être suivi en 2014 d'une recharge de plage en galets.



Secteur 12	Secteur de la Digue	Cap aux Meules et Havre-aux-Maisons	Unités homogènes CM-21, 22 et 23	Cartes 27 et 28
Éléments exposés : chalets, bâtiments pour le traitement des fruits de mer, route 199				



Ce système côtier est composé de deux flèches littorales coupées au centre par un goulet. Comme cette étude est basée sur le rôle d'évaluation de 2010 et sur les images de 2008, les changements de tracé de la route et du pont ne sont pas considérés ici. Un pont relie les deux flèches littorales pour le passage de la route 199. La **dérive littorale** est convergente vers le goulet. Un delta s'est formé à l'intérieur de la lagune, ce qui confirme qu'un important transport sédimentaire s'effectue de l'extérieur vers l'intérieur de la lagune au gré des courants de marée. Un nouveau pont a été construit plus au sud entre 2011 et 2013. Les assises du pont du côté de Havre-aux-Maisons forment un obstacle à la dérive et facilitent l'accumulation au sud de la structure. Une accumulation naturelle avait déjà lieu avant la construction du pont. Bien que le milieu soit généralement en accumulation, les bâtiments installés trop près de la **ligne de rivage** peuvent subir des dommages lors des tempêtes.



Secteur 13	Route 199 Secteur de La Pointe	Havre-aux-Maisons	Unités homogènes CM-24, 25 et 26	Cartes 28 et 29
Éléments exposés : route 199, résidences principales, restaurant, auberge, chalet				

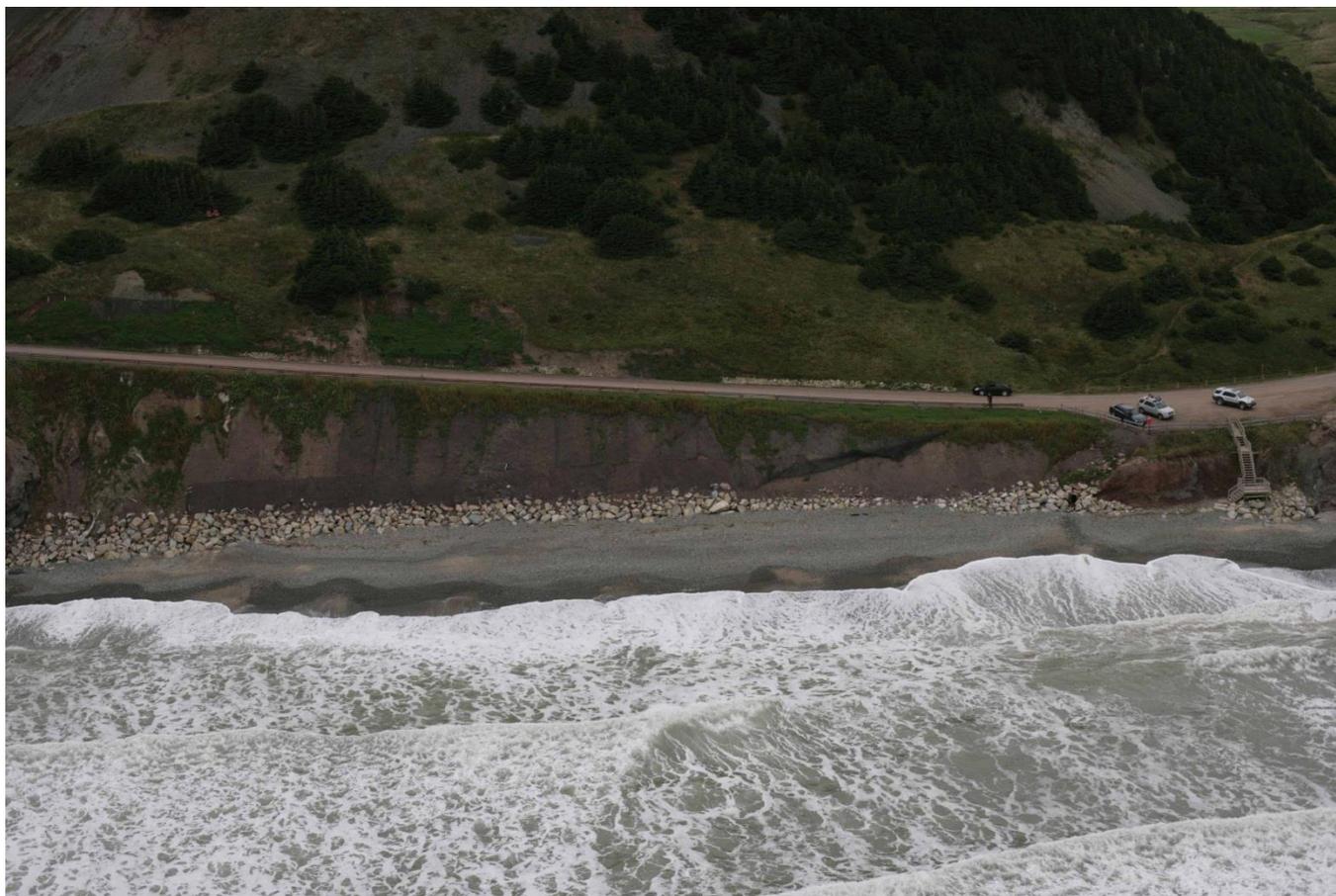


Ce secteur comprend, de l'est vers l'ouest, une portion de flèche littorale (photo ci-haut et photo en bas à gauche), une portion de terrasse de plage et une falaise rocheuse à sommet meuble (photo en bas à droite). Les taux probables varient entre -0,25 et -0,66 m/an. La **dérive littorale** est vers l'est. Les sédiments proviennent donc des falaises rocheuses à l'ouest et se dirigent vers le goulet à l'est. Un enrochement est en place pour protéger la route (photo en bas à gauche), mais seulement une section de 180 m est en bon état. Les enrochements limitent le recul de la côte, mais ont pour effet de diminuer la largeur de la **plage**, ce qui augmente la force des vagues déferlantes et augmente le risque de **submersion** par franchissement des vagues. Les plages jouent un rôle important et il est primordial de favoriser leur maintien. Les interventions futures dans ce secteur devraient avoir pour objectifs d'élever le niveau de la plage.



Secteur 14	Chemin des Échoueries	Havre-aux-Maisons	Unité homogène DS-002	Carte 31
Éléments exposés : route municipale non asphaltée				

Ce secteur de falaise rocheuse a un taux probable de  $-0,58$  m/an, ce qui représente un défi pour le maintien de la route. La **dérive littorale** vers le sud permet le maintien d'une **plage** de galets à la base de la falaise. Un enrochement et un revêtement de géotextile pour faciliter la végétalisation de la falaise sont en place afin de limiter le recul de la falaise.



Secteur 15	Dune du Sud	Havre-aux-Maisons	Unités homogènes DS-010, 11 et 12	Cartes 33 et 34
Éléments exposés : chalets, résidences principales, chemin secondaire (halte routière)				



Ce segment comprend trois types de côte : une falaise rocheuse (photo du haut) avec un taux probable de  $-0,30$  m/an, une terrasse de plage (photo du centre) de part et d'autre de l'ancien quai avec un taux probable de  $-0,26$  m/an au sud de l'épi et de  $-0,69$  m/an au nord de l'épi et l'assise du tombolo (photo du bas) avec un taux probable de  $-0,16$  m/an. Le segment se situe au début de la **cellule hydrosédimentaire** des Sillons qui est majoritairement en accumulation avec un taux probable de  $+0,69$  m/an dans sa portion centrale. La **dérive littorale** va du sud vers le nord et l'ancien quai enroché joue un rôle important en maintenant une **plage** au sud et en créant un déficit au nord (photo du centre). Sans la présence de cet épi (quai enroché), le recul de la falaise et de la terrasse de plage au sud serait plus rapide et la portion nord profiterait d'un apport de sable, ce qui stabiliserait la **ligne de rivage** pour une période indéterminée.

Secteur 16	Zone adjacente au port de Grande-Entrée	Grande-Entrée	Unité homogène GE-004	Carte 44
Éléments exposés : résidences principales, restaurants, commerces, chalet, route 199				



Cette terrasse de plage a un taux probable de  $-1,65$  m/an. Ce taux de recul élevé reflète l'évolution récente mesurée sur le terrain entre 2005 et 2010. La **ligne de rivage** est active et une microfalaise est présente sur l'ensemble du segment; dans certains cas c'est même une basse falaise dans les dunes en érosion. Bien que la **dérive littorale** principale semble favorable à ce segment, les sédiments s'accumulent plutôt au sud (unité GE-005) sur une avancée au taux moyen de  $+2$  m par an. La source de

sédiments est en partie sous-marine au large du chenal du goulet. L'enrochement au bout de la pointe au nord ne permet pas le maintien d'une **plage** à sa base et un effet de bout est perceptible sur la plage adjacente (photo du haut). À ce rythme de recul, la route 199 sera exposée d'ici 2030 et plusieurs bâtiments sont exposés à court terme. La dynamique hydrosédimentaire est probablement modifiée par les dragages récurrents du chenal du port et des mines Seleines situées en aval de cette cellule. Une analyse plus approfondie du transport sédimentaire devra être réalisée afin de proposer des options d'adaptation qui profite de la forte quantité de sédiments dans le système.



---

Secteur 17	Chemin Bassin Est	Grande-Entrée	Unité homogène GE-028	Carte 48
Éléments exposés : route secondaire				

Ce segment comprend seulement une route secondaire, mais ce chemin donne accès à la mer et à la lagune (Bassin aux Huîtres) et est très utilisé par la population locale. Le taux probable est -1,36 m/an dans ce secteur de flèche littorale. La **ligne de rivage** a reculé d'environ 60 mètres entre 1963 et 2008 et une micro-falaise d'érosion est toujours présente en 2010 (photo). La route sera exposée à partir de 2030 et d'autres tronçons le seront jusqu'en 2100.



Secteur 18	Route 199 – Old Harry	Old Harry	Unités homogènes GE-038 et 039	Carte 49
Éléments exposés : route 199, résidence principale				



La portion ouest du segment est une falaise meuble avec un taux probable de  $-0,78$  m/an (photo en haut à gauche). La falaise a reculé de 14 mètres entre 1963 et 2008 vis-à-vis la résidence. La résidence et la route sont ainsi exposées entre 2015 et 2020. Mentionnons toutefois qu'à la suite de la tempête de décembre 2010, cette maison a été relocalisée un peu plus loin du trait de côte. La falaise rocheuse qui apparaît à l'est (photo en haut à droite) a un taux probable de  $-0,16$  m/an. La route est exposée à court terme un peu plus à l'est où un enrochement a été mis en place pour la protéger (photo du bas). La largeur de cette anse rocheuse a plus que doublé passant d'environ 30 mètres en 1963 à environ 70 mètres en 2008. C'est donc un tronçon à surveiller de près d'autant plus qu'il représente le seul accès routier pour Grande-Entrée.



Secteur 19	Chemin Head	Old Harry	Unités homogènes GE-041 et PE-014	Carte 50
Éléments exposés : route secondaire asphaltée et non asphaltée, bâtiment de pêche				



Cette pointe est constituée d'une falaise rocheuse à sommet meuble qui présente un taux probable de  $-0,29$  m/an du côté sud et de  $-0,26$  m/an du côté nord. L'érosion forte et constante fait en sorte de diminuer la largeur de la pointe, ce qui compromet l'accès au havre de pêche. Le chemin Head qui mène à l'accès à la mer est exposé à court terme près de l'accès à la mer et d'autres portions sont exposées entre 2060 et 2100.



Secteur 20	Route 199 - Nord-est de Pointe-aux-Loups	Pointe-aux-Loups	Unités homogènes PL-018A et PL-017	Cartes 60 à 68
Éléments exposés : route 199				



Dans ce secteur, la route 199 est exposée sur plus de 10 km, dont 2,2 km exposés à court terme (d'ici 2020). La situation est d'autant critique que cette route représente le seul lien routier entre le nord des Îles (Grosse-Île et Grande-Entrée) et le reste des îles de la Madeleine. De plus, certains tronçons de routes exposées à court terme sont situés sur un étroit tombolo; ce qui ne permet pas la relocalisation de la route en arrière côte, dans une zone non exposée. Les solutions de protection sont ainsi inévitables. Des portions de route actuelles ont déjà été déplacées vers l'intérieur et sont aujourd'hui à nouveau exposées à l'érosion. La **dérive littorale** est vers le nord-est entre Pointe-aux-Loups et Grosse-Île. Le taux probable est de  $-0,92$  m/an pour l'unité PL-018A (photos d'en haut) et  $-1,44$  m/an pour l'unité PL-017 (photos d'en bas), ce qui représente des taux importants. En effet, ce secteur est exposé aux vents dominants d'ouest et aux tempêtes. La dynamique naturelle du cordon littoral est de migrer vers l'intérieur de la lagune. Un enrochement endommagé est présent sur 1,2 km à la sortie de Pointe-aux-Loups (photos d'en bas). Au sud-ouest de Pointe-aux-Loups, on retrouve également 2,4 km de route exposée, mais pas avant la période 2060-2100.

Une recharge de **plage** est effectuée régulièrement à la limite de l'enrochement par le ministère des Transports afin de limiter l'effet de bout. Cette technique s'est jusqu'ici avérée efficace pour limiter l'érosion et éviter de poursuivre l'enrochement.



Secteur 21	Plage de Fatima	Fatima	Unité homogène PL-003	Carte 75
Éléments exposés : route secondaire et bâtiments liés à la halte routière				

La **plage** de Fatima se situe au début de la **cellule hydrosédimentaire** de Fatima sur l'assise du tombolo qui relie Fatima à Pointe-aux-Loups. La **dérive littorale** est vers le nord-ouest, comme en témoigne l'accumulation au sud-ouest de l'épi rocheux près de la pointe rocheuse (photo du haut). On se situe en amont de la cellule hydrosédimentaire, dans un secteur où le cordon littoral s'attache à l'île. La dynamique naturelle est un recul du cordon vers l'intérieur de la lagune. On remarque cependant qu'une partie du transit s'effectue tout de même sur le haut de la plage, derrière l'épi car la **ligne de rivage** a reculé depuis sa mise en place. Entre 1963 et 2008, le recul a atteint 80 mètres devant la halte routière (photo du bas). Le taux probable est de -1,97 m/an, ce qui rend l'ensemble des éléments de la halte routière exposés à court et moyen terme.



Secteur 22	Chemin Edgar Thorne	Fatima	Unité homogène EN-006	Cartes 75 et 76
Éléments exposés : route secondaire, chalets				

Ce secteur de falaise rocheuse est situé immédiatement au sud-ouest du Cap de l'Hôpital, à la limite nord-ouest de l'unité **hydrosédimentaire** de l'Étang-du-Nord. Bien que la **dérive littorale** soit vers le nord-ouest et que l'érosion des falaises soit importante sur l'ensemble de l'unité, les sédiments ne sont pas captés et les **plages** sont absentes ou très étroites (photo du bas). L'énergie des vagues est ainsi déployée directement sur la falaise, ce qui accélère son recul. Le seul capteur de sable est le chenal artificiel qui a été creusé en 1984 pour établir une connexion avec l'étang de l'Hôpital; il est aujourd'hui partiellement comblé par les sédiments (photo du haut). Le taux probable est de -0,75 m/an et la falaise a reculé d'environ 30 m entre 1963 et 2008 le long du chemin Edgar Thorne. Quelques tronçons du chemin sont déjà complètement érodés (photo du centre), isolant quelques chalets et terrains. Un accès est depuis possible par un pont qui enjambe le chenal artificiel (photo du haut). D'autres portions de route sont indiquées comme exposées à court terme (photo du bas), mais ont récemment été fermées à la circulation.



Secteur 23	Chemin de la Belle Anse	Fatima	Unité homogène EN-002	Carte 78
Éléments exposés : route secondaire asphaltée, halte routière, une résidence principale				

Ce secteur de falaise rocheuse présente un fort taux probable de  $-0,89$  m/an. Vis-à-vis la portion exposée du chemin de la Belle Anse, la falaise a reculé de 25 m sur les pointes et de 55 m au fond des anses entre 1963 et 2008. La **plage** est absente et l'énergie des vagues est ainsi déployée directement sur la falaise, ce qui accélère son recul. Le chemin est exposé entre 2030 et 2040 et la halte routière est exposée à court terme (non identifié sur la carte 78).



Secteur 24	Chemin de la Belle Anse	Fatima	Unités homogènes EN-001 et DO-022	Carte 79
Éléments exposés : phare, route secondaire				



Le cap du phare est une pointe rocheuse avec un taux probable de  $-0,37$  m/an du côté nord et de  $-0,29$  m/an du côté sud. Des reculs entre 10 et 25 mètres ont été mesurés entre 1963 et 2008 autour de la pointe. Le phare est exposé entre 2020 et 2030. Cependant, l'aménagement paysager autour du phare est déjà en érosion. Le chemin d'accès est quant à lui exposé à long terme car la pointe est vouée à devenir de plus en plus étroite.



Secteur 25	Zone portuaire de l'Étang-du-Nord	Étang-du-Nord	Unités homogènes DO-012 à 019	Cartes 81 et 82
Éléments exposés : route secondaire, résidence principale, chalets et monument				



Les éléments exposés à l'intérieur de la zone portuaire sont fonction des taux de recul mesurés dans le passé. La turbulence est fortement réduite par les quais et brise-lames qui ferment l'entrée du port, mais des taux probable de  $-0,2$  m/an sont présents sur la côte naturelle du port. On retrouve ainsi quelques tronçons de route et quelques bâtiments exposés (photos du haut et du centre). Plusieurs segments ont d'ailleurs été enrochés pour stabiliser la ligne de rivage. Au sud de la zone portuaire, on observe un tombolo et une falaise rocheuse avec des taux probables respectivement de  $-1,31$  m/an et de  $-1,08$  m/an. Une route secondaire asphaltée est exposée à court terme et une résidence principale est exposée à long terme (photo du bas).



Secteur 26	Étang des Caps	Île-du-Havre-Aubert	Unités homogènes DO-005 et 006	Carte 87
Éléments exposés : route secondaire, résidences principales et un chalet				



Ce segment est situé à l'extrémité sud du tombolo qui relie L'Étang-du-Nord à L'Étang-des-Caps. Le taux probable est de  $-1,29$  m/an, ce qui expose la route d'accès à la mer ainsi qu'une aire de stationnement (photo ci-contre). La **dérive littorale** principale vers le nord est presque annulée par une dérive secondaire en sens inverse. Les sédiments franchissent aussi le haut de **plage** vers la lagune, ce qui fait migrer le cordon littoral vers les terres. Un quai formant un havre était présent dans les années 60 sur la pointe. Le havre était adjacent à une

pointe rocheuse au sud qui est presque complètement érodée aujourd'hui. L'enrochement visible sur la photo du bas est situé à l'emplacement de l'assise de l'ancien quai. L'enrochement n'a pas permis de limiter le recul de la côte et le chalet rose a été relocalisé en 2011. L'effet de bout était d'ailleurs déjà important en 2010 (photo du bas). La maison neuve construite sur le haut du talus est exposée entre 2030 et 2040. La falaise rocheuse au sud présente un taux probable de  $-0,56$  m/an et expose la route de l'Étang-des-Caps entre 2060 et 2100 sur près de 150 m ainsi qu'une maison entre 2040 et 2050.



Secteur 27	L'Anse-à-la-Cabane	Île-du-Havre-Aubert	Unités homogènes HA-002, 003A-HT, 003C-HT, 003C-HT2 et 004	Cartes 92 et 93
Éléments exposés : résidences principales, route secondaire asphaltée, résidences principales et un chalet				



La zone portuaire de l'Anse-à-la-Cabane ne pose pas une grande problématique d'érosion côtière. Les terrasses de plage situées de part et d'autres de la zone portuaire sont en accrétion avec des taux probables de plus de 1 m/an, résultat d'une **dérive littorale** convergente vers le port (photo du haut). Cependant, les reculs événementiels peuvent se produire sur ces basses terrasses. En s'éloignant du port, l'érosion devient rapidement importante. Les falaises rocheuses à sommet meuble situées à l'ouest et à l'est ont des taux probable respectifs de -0,68 et -0,74 m/an

(photos du bas). Plusieurs bâtiments sont ainsi exposés à moyen terme et le Chemin du Bassin est exposé à long terme à l'est du port. Les deux petits cours d'eau qui se jettent à la mer à l'est du port (dont un visible sur la photo du haut) remanient constamment les sédiments vers le bas de l'estran, mais la présence du brise-lames permet de maintenir les sédiments dans la cellule et les vagues les redistribuent sur l'estran.



Secteur 28	Chemin du Phare A l'est de l'Anse-à-la-Cabane	Île-du-Havre-Aubert	Unités homogènes HA-004 à HA-008	Cartes 93 et 94
Éléments exposés : route secondaire asphaltée et non asphaltée, sentier, résidence principale, phare, entrepôt frigorifique				



Ce secteur est principalement constitué d'une falaise rocheuse avec un taux probable variant de -0,35 à -0,74 m/an. Un petit tronçon de terrasse de plage est présent à l'est du segment et offre un taux probable de -1,1 m/an. La **plage** est absente sauf au fond d'une anse (photo du bas). Les vagues ont ainsi un fort pouvoir érosif. La structure géologique avec un pendage des couches rocheuses vers la mer permet la formation d'encoches et de grottes profondes ainsi que des glissements en plan (photos du haut et du centre).



Une partie du chemin du phare est une route secondaire et l'autre un sentier. Le sentier a été inclus car il a déjà été utilisé comme une route. Sur les 990 m de route exposée d'ici 2100 (incluant les extrémités est et ouest du chemin), 180 m sont exposés à court terme (d'ici 2020). Sur les 1400 m de sentier exposé d'ici 2100, on compte 600 m de tronçons exposés à court terme. Des interventions seront donc rapidement nécessaires pour assurer la sécurité le long du tracé. Heureusement, l'espace est disponible pour permettre le déplacement

de la route ou du sentier au besoin.



Secteur 29	Chemin du Premier Étang - Bassin	Île-du-Havre-Aubert	Unités homogènes HA-010 et 011	Carte 95
Éléments exposés : chalets et route secondaire non asphaltée				

Ce secteur comprend une basse falaise rocheuse avec un taux probable de  $-0,89$  m/an (accès à la mer, photo du haut) et une falaise rocheuse avec un taux probable de  $-0,28$  m/an (photos du haut et du bas). Une **plage** étroite est présente au fond de l'anse tandis que les côtes rocheuses environnantes n'ont pas de plage. Le faible bilan sédimentaire ne permet pas le développement d'une haute plage végétalisée, ce qui facilite la formation d'une micro-falaise d'érosion sur l'arrière-plage. Un quai était présent en 1963 dans l'ouest de l'anse et a été abandonné. L'érosion constante de la falaise devant les chalets nécessitera sous peu une intervention. La falaise a reculé de 12 m entre 1963 et 2008.



Secteur 30	Chemin de la Côte Bassin	Île-du-Havre-Aubert	Unités homogènes HA-013 et 014	Carte 95
Éléments exposés : chalets, résidences principales, route secondaire asphaltée et non asphaltée				

Ce secteur se trouve à la jonction d'une basse falaise rocheuse et de la flèche littorale qui ferme en partie l'étang du Bassin. La basse falaise rocheuse a un taux probable de  $-0,78$  m/an et la flèche littorale a un taux probable de  $-1,78$  m/an. Entre 1963 et 2008, la côte a reculé d'une vingtaine de mètres à l'ouest du chemin de la côte (photo du haut) et d'une quarantaine de mètres à l'est (photo du bas). Les enrochements et les remblais mis en place pour protéger les chalets ont permis de limiter le recul et les terrains protégés forment ainsi une avancée vers la mer.



---

## 4. Conclusion

On reproche souvent à la recherche scientifique de ne pas s'appliquer aux problèmes concrets et de ne pas répondre aux besoins exprimés par les gestionnaires locaux et la population. Cette étude est un exemple de recherche appliquée à la gestion des **risques** liés à l'**érosion côtière** et qui se traduit non seulement par des résultats scientifiques, mais aussi par le développement en amont d'un outil cartographique qui peut être directement utilisé par les gestionnaires afin de prendre des décisions plus éclairées, tant en développement du territoire, qu'en prévention des risques de **sinistre**.

L'outil développé permet de cibler tous les bâtiments et les routes exposés à l'érosion côtière d'ici 2100. Les secteurs prioritaires à court terme sont ainsi facilement identifiés et les zones affectées à moyen et long terme sont mises en lumière afin de pouvoir agir en prévention. Il devient donc plus facile d'élaborer des plans d'aménagements et de cibler des solutions d'adaptation avant que les bâtiments et les infrastructures ne soient trop fortement exposés.

À la suite de la réalisation de cet outil cartographique ainsi que des rencontres avec les acteurs locaux et régionaux, il apparaît incontournable de créer un outil cartographique semblable pour l'**exposition** à la **submersion**. La chaire de recherche en géoscience côtière travaille actuellement sur le développement d'une méthode de cartographie de l'**aléa** de submersion. L'exposition du cadre bâti à la submersion pourra ensuite être superposée à l'exposition à l'érosion côtière pour offrir un outil plus complet qui couvrira l'ensemble du territoire. La méthode permettra d'identifier et de cartographier les zones où l'intensité de l'aléa représente un danger ou une contrainte, ce qui favorisera un contrôle optimum du développement et de l'aménagement du territoire.

Cette étude, qui constitue un outil de développement, de planification et d'aménagement du territoire à moyen et long terme, s'imbrique également dans la démarche gouvernementale de gestion des risques établie par le ministère de la Sécurité publique du Québec. L'analyse de l'exposition fait partie de l'étape « identification des **risques** », plus précisément dans « l'établissement de la **vulnérabilité** ».

L'analyse des **enjeux** de premier degré est préalable aux enjeux de deuxième degré. L'analyse de l'exposition effectuée et les résultats obtenus mettent donc la table pour aller plus loin et évaluer, toujours avec la collaboration des responsables de l'aménagement du territoire et de la gestion des risques, la vulnérabilité sur les enjeux de deuxième degré. Cette étape permettra ainsi de déterminer les « facteurs de vulnérabilité ». L'analyse de l'ensemble des usages, de la vocation des bâtiments, des infrastructures et du territoire, de la perception du risque, des conditions socio-économiques et des types de gouvernance permettront d'établir des priorités d'action en fonction de l'importance des enjeux accordée par les intervenants locaux et régionaux. La collaboration établie avec le milieu permettra de développer ensemble une démarche originale et appliquée pour évaluer la vulnérabilité des communautés aux **aléas** côtiers.

---

## Glossaire

**Aléa** : Phénomène, manifestation physique ou activité humaine susceptible d'occasionner des pertes en vies humaines ou des blessures, des dommages aux biens, des perturbations sociales et économiques ou une dégradation de l'environnement (chaque aléa est entre autres caractérisé en un point donné, par une probabilité d'occurrence et une intensité données) (MSP 2008a). L'érosion et la submersion sont des aléas.

**Capacité d'adaptation** : Ensemble des mesures mises en place tant structurelles qu'organisationnelles dans le but de minimiser les conséquences prévisibles d'un ou plusieurs aléas. La capacité d'adaptation détermine la portion d'impacts potentiels qui deviennent des impacts réels (Fontaine et Steinemann, 2009).

**Cellule hydrosédimentaire** : Segments de côte ayant un fonctionnement relativement autonome par rapport aux segments voisins (SDAGE, 2005), mais leur limite peut parfois se déplacer ou encore la cellule peut recevoir ou perdre des sédiments au profit des cellules adjacentes selon les conditions environnementales. Du point de vue du transport sédimentaire, les limites de la cellule sont donc perméables par rapport à l'**unité hydrosédimentaire** qui est imperméable. Les limites correspondent généralement à une inversion des dérives littorales ou encore à un cap rocheux. Les cellules peuvent parfois être appelées sous-unités hydrosédimentaires.

**Dérive littorale (principale)**: Déplacement des sédiments côtiers (sable, gravier, galets) dans une direction privilégiée en fonction des houles obliques, des courants (de marée et autres), du vent et du déferlement des vagues. Le terme désigne à la fois le courant parallèle à la côte et le déplacement des sédiments qui est causé par ce courant. La **dérive littorale secondaire** désigne un déplacement de sédiments de moindre importance en direction opposée en fonction de conditions environnementales minoritaires dans leur durée ou leur intensité.

**Enjeu** : Un enjeu est un élément anthropique ou naturel, un usage ou une activité qui peut être exposé ou affecté par un aléa. Il s'agit de ce que l'on risque de perdre (Metzger et D'Ercole, 2011). Dans le cadre de la présente étude, l'aléa concerné est l'érosion côtière.

**Érosion côtière** : Phénomène d'ajustement de la côte qui entraîne une perte de substrat par des processus marins, terrestres ou aériens. L'érosion peut être verticale (abaissement de la plage) ou horizontale (perte de terrain côtier). L'érosion côtière est l'aléa considéré dans la présente étude.

**Exposition** : Potentialité d'un élément (un enjeu) à subir des préjudices ou des dommages causés par la manifestation d'un aléa. Dans le cadre de la présente étude, l'aléa est l'érosion côtière.

**Impact** : Conséquence de l'exposition aux aléas sur les enjeux et/ou sur les éléments exposés. Dans le cadre de la présente étude, l'aléa est l'érosion côtière. Par exemple, si la côte recule et que l'érosion endommage la route, l'impact qui en découle est de rendre la route impraticable.

**Ligne de rivage** : Limite géomorphologique qui correspond à la limite de végétation herbacée dense, à la base d'une structure de protection rigide ou à la base d'une falaise. Elle correspond approximativement à la limite des hautes mers maximales. Pour les marais maritimes, la ligne de rivage correspond à la limite entre le schorre supérieur et inférieur, soit approximativement à la limite des pleines mers supérieures de marées moyennes.

---

**Plage** : Portion d'un rivage, de faible pente, constituée de sédiments fins (limons, sables) ou plus grossiers (galets, blocs) où les vagues déferlent. Aussi appelée estran ou zone intertidale, la plage comprend le haut et le bas estran.

**Recul événementiel** : Recul de la ligne de rivage ou du trait de côte lors d'un événement de tempête ou lors d'un mouvement de terrain dans une falaise.

**Résilience** : Aptitude d'un système, d'une collectivité ou d'une société potentiellement exposé à des aléas à s'adapter, en résistant ou en changeant, en vue d'établir et de maintenir des structures et un niveau de fonctionnement acceptables (Ministère de la Sécurité publique du Québec, 2008a).

**Risque** : Combinaison de la probabilité d'occurrence d'un aléa et des conséquences pouvant en résulter sur les éléments vulnérables d'un milieu donné (Ministère de la Sécurité publique du Québec, 2008a).

**Sinistre** : Événement qui cause de graves préjudices aux personnes ou d'importants dommages aux biens et exige de la collectivité affectée des mesures inhabituelles. On parle aussi de catastrophe ou de désastre (MSP, 2008a).

**Submersion** : Inondation des terrains côtiers par la mer. La submersion peut être temporaire (due aux vagues de tempête ou à une surcote par exemple) ou permanente (due à la hausse du niveau de la mer). La submersion est un aléa côtier.

**Trait de côte** : Limite géomorphologique qui correspond au sommet du talus côtier ou parfois au sommet d'une structure de protection rigide. C'est la limite de la zone d'influence des processus côtiers; la limite entre la côte et l'arrière côte.

**Unité géomorphologique homogène** : Portion de côte qui présente une dynamique hydrosédimentaire homogène, des taux d'évolution semblables et un même type de côte.

**Unité hydrosédimentaire** : Secteur de côte dans lequel le transit sédimentaire est limité à ses extrémités par deux éléments morphologiques infranchissables (cap rocheux, pointes, rivière, bathymétrie, artificialité) et à l'intérieur duquel se font les échanges sédimentaires le long de la côte (SDAGE, 2005). Les unités sont indépendantes du point de vue du transport sédimentaire, c'est-à-dire que toute modification du mouvement de sédiments dans une unité est sans conséquence directe sur les unités voisines. Une unité peut être subdivisée en plusieurs **cellules hydrosédimentaires**.

**Vulnérabilité** : Condition résultant de facteurs physiques, sociaux, économiques ou environnementaux, qui prédispose les éléments exposés à la manifestation d'un aléa à subir des préjudices ou des dommages (MSP, 2008a).

---

## Références

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 OURANOS et au FACC, 256 pages.

Bernatchez, P., Drejza, S. et Dugas, S. (2012a). *Marges de sécurité en érosion côtière : évolution historique et future du littoral des îles de la Madeleine*. 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, juillet 2012, 71 p. et annexes

Bernatchez, P., Fraser, C., Dugas, S. et Drejza, S. (2012b). *Marges de sécurité en érosion côtière : évolution historique et future du littoral de la MRC d'Avignon*. 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, août 2012, 49 p. et annexes.

Bernatchez, P., Fraser, C., Lefavre, D. et Dugas, S. (2011). Integrating anthropogenic factor, geomorphological indicators and local knowledge in the analysis of coastal flooding and erosion hazards. *Ocean & Coastal Management*, 54 : 621-632.

Boruff, B.J.; Emrich, C., and Cutter, S.L. (2005). Erosion hazard vulnerability of US coastal counties. *Journal of Coastal Research*, 21(5), 932-942.

Dawson RJ, Dickson ME, Nicholls RJ, Hall JW, Walkden MJA, Stansby PK, Mokrech M, Richards J, Zhou J, Milligan J, Jordan A, Pearson S, Rees J, Bates PD, Koukoulas S, Watkinson AR (2009). Integrated analysis of risks of coastal flooding and cliff erosion under scenarios of long term change. *Climatic Change* 95:249-288

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. et Bernatchez, P. (2014). *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. Rapport remis au ministère des Transports du Québec, septembre 2014, 226 p. + annexes.

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

---

Fontaine, M., and A.C. Steinemann. (2009). Assessing vulnerability to natural hazards: An impact-based method and application to drought in Washington State. *Natural Hazards Review* 10(1):11-18

Fraser, C., Bernatchez, P. et Dugas, S. (2014). *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. et annexes cartographiques.

Fraser, C., Bernatchez, P., Dugas, S. et Drejza, S. (2012). *Marges de sécurité en érosion côtière : évolution historique et future du littoral de la MRC 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, août 2012, 50 p. et annexes.

Fraser, C., Desmeules, P. (2006). *Plan de gestion intégrée de la zone côtière de Carleton et de Saint-Omer, Québec, Canada ; Outil pour le développement durable du territoire*. Comité côtier Carleton - Saint-Omer, Conseil régional de l'environnement Gaspésie-Îles-de-la-Madeleine, 88 pages.

Friesinger, S., 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.

Hinkel, J. (2011). Indicators of vulnerability and adaptive capacity: towards a clarification of the science-policy interface. *Global environmental change* 21:198-208.

Hill, H.W., Kelley, J.T., Belknap, D.F., Dickson, S.M. (2004). The effects of storms and storm-generated currents on sand beaches in southern Maine, USA. *Marine Geology* 210: 149-168

Leclerc, M., Dupuis, P. (2008). *Recherche d'une solution économique et durable à la problématique d'érosion littorale à Pointe-aux-Outardes*. Pour le compte de la Ville de Pointe-aux-Outardes et du Ministère de la Sécurité publique, en collaboration avec OURANOS et divers partenaires. Rapport de recherche INRS-ETE R990 et Aquap Praxis Inc. 10136-100. 220 pages + 9 annexes.

Metzger, P. et D'Ercole, R. (2011). Les risques en milieu urbain : éléments de réflexion. *EchoGéo* 18. En ligne : <http://echogeo.revues.org/12640>

Meur-Férec, C. et Morel, V. (2004) L'érosion sur la frange côtière : un exemple de gestion des risques. *Natures Sciences Sociétés*, vol. 12, p.263-273.

Ministère de la Sécurité publique du Québec (2008a). Concepts de base en sécurité civile. <http://www.securitepublique.gouv.qc.ca/securite-civile/publications-statistiques-civile/concepts-base/concepts-base-introduction.html>

Ministère de la Sécurité publique du Québec (2008b). Gestion de risques en sécurité civile. <http://www.securitepublique.gouv.qc.ca/securite-civile/publications-statistiques-civile/gestion-risques/introduction.html>

---

Municipalité des Îles (2014), sur le site internet <http://www.muniles.ca/> consulté en juin 2014.

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.

SDAGE (2005). Guide technique n°9, Connaissance et gestion de l'érosion du littoral, 51 p.

Tecsult (2008). *Analyse coûts-avantages de solutions d'adaptation à l'érosion côtière pour la Ville de Sept-Îles*, rapport d'étude réalisé pour la Ville de Sept-Îles, 90 p.

Thieler, E.R. and Hammar-Klose, E.S. (2000). *National Assessment of Coastal Vulnerability to Future Sea-Level Rise: Preliminary Results for the U.S. Atlantic Coast*. U.S.G.S., Open File Report, pp. 99-593.

Vafeidis, T., Nicholls, R.J., McFadden, L., Tol, R.S.J., Hinkel, J., Spencer, T., Grashoff, P.S., Boot, G. and Klein, R.J.T. (2008). A new global coastal database for impact and vulnerability analysis to sea-level rise. *Journal of coastal research*. 24 (4) 917-924.

Yoo, G., Hwang, J.H. et Choi, C. (2011). Development and application of a methodology for vulnerability assesment of climate change in coastal cities. *Ocean and coastal management*, 54, 524-53.