

PROJET RÉSILIENCE CÔTIÈRE

Développement
d'outils d'adaptation
à l'érosion côtière
pour les municipalités
du Québec maritime

RAPPORT DE SYNTHÈSE

Décembre 2021



Laboratoire de dynamique
et de gestion intégrée des
zones côtières UQAR

Projet Résilience côtière

Développement d'outils d'adaptation à
l'érosion côtière
pour les municipalités du Québec maritime

Rapport de synthèse

Présenté au ministère de l'Environnement
et de la Lutte contre les changements climatiques

Sous la direction de
Pascal Bernatchez et Guillaume Marie

et

Sous la coordination de
Christian Fraser et Susan Drejza

Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières
Université du Québec à Rimouski

Décembre 2021

ÉQUIPE DE RÉALISATION

Direction scientifique du projet Résilience côtière

Pascal Bernatchez, Ph. D.

Université du Québec à Rimouski
Département de biologie, chimie et géographie
Chaire de recherche en géoscience côtière
Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières (LDGIZC)
300, allée des Ursulines, case postale 3300
Rimouski (Québec) G5L 3A1
Téléphone : (418) 723-1986, poste 1257 (bureau) ou poste 1206 (laboratoire)
Courriel : pascal_bernatchez@uqar.ca
ldgizc.uqar.ca

Guillaume Marie, Ph. D.

Université du Québec à Rimouski
Département de biologie, chimie et géographie
Chaire de recherche en géoscience côtière
Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières (LDGIZC)
Laboratoire d'Archéologie et de Patrimoine
Groupe de recherche sur les environnements nordiques Boréas
Groupe de recherche sur le patrimoine Archipel
300, allée des Ursulines, case postale 3300
Rimouski (Québec) G5L 3A1
Téléphone : (418) 723-1986, poste 1180 (bureau) ou poste 1206 (laboratoire)
Courriel : guillaume_marie@uqar.ca
ldgizc.uqar.ca

Rédaction, analyse et coordination

Christian Fraser, M. Sc. Océanographie, professionnel de recherche, LDGIZC, UQAR

Susan Drejza, M. Sc. Géographie, professionnelle de recherche, LDGIZC, UQAR

Contribution à la rédaction

Ariane Jobin

CHANTIER N° 3. Cartographie des écosystèmes côtiers du Québec maritime

Catherine Paul-Hus

CHANTIER N° 4. Cartographie des usages et des sites d'intérêt côtiers du Québec maritime et CHANTIER N° 12. Système intégré de gestion de l'environnement côtier SIGEC Web : une plateforme web de diffusion et de transfert des connaissances

Maud Touchette

CHANTIER N° 5. Exposition potentielle des bâtiments, routes et voies ferrées à l'érosion côtière au Québec maritime

Charles Caulet

CHANTIER N° 8a. Modélisation de l'effet des tempêtes actuelles et futures sur les côtes basses meubles

François Savoie-Ferron

CHANTIER N° 8b. Modélisation de l'effet de la hausse du niveau de la mer sur les marais maritimes

Équipe du projet Résilience côtière

Arseneault Évelyne	Desrosiers-Leblanc Laurie	Paquette Laurence
Bandet Marion	Drouet Maryne	Pascal Ludovic
Banville Sophie	Dugas Steeve	Paul-Hus Catherine
Béland Charles	Eustache-Létourneau Didier	Pelletier-Boily Clara
Bélisle Mathieu	Friesinger Stéphanie	Pitre Louis-David
Bernier Sébastien	Gabaj Castrillo Malika Jasmine	Provencher-Nolet Laurence
Blain Maude	Garneau Charlotte	Quirion-Poirier, Kevin
Bonnet Claudie	Guénette Caroline	Renaud Christophe
Bourriquen Marine	Hallé Valérie	Ricard Marylène
Bruyère Catherine	Houde-Poirier Myriane	Richer-Henry Marc-André
Calet Charles	Jacob Céline	Rousseau Pierre
Chambu Wani Marcellin	Jobin Ariane	Sauvé Philippe
Chauvet Pauline	Lalanne Pierre-André	Savoie-Ferron François
Coriveau Maude	Lanctôt, Sophie	Théroux Alexandra
Côté Mélodie	Lapointe-St-Pierre Mathilde	Thibault Jean
Coulombe David	Lévesque Marie-Claude	Touchette Maud
Crevier-Comtois Marc-Olivier	Marquis Gabrielle	Trubiano Corinne
Daigneault Laura-Christine	Martineu Zoé	Turpin Vincent
Desjardins Christine	McGrath Pompon Mireille	Verdun Julia
Desormeaux Alexia	Papageorges Sandrine	

Chargés de projet au ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (Direction de l'expertise hydrique)

Guillaume Jeanmoye-Turcotte, Géomorphologue, M. Sc. Géogr., M. Sc. Eau, DEH

Sarah Aubé-Michaud, Géomorphologue, M. Sc. Géogr., DEH

Francis Bourret, Biologiste, M. Sc, DAEMH

Jean-Denis Bouchard, Géologue, M. Sc., DEH

RÉFÉRENCE COMPLÈTE

Fraser C., Drejza, S., Marie, G. et Bernatchez, P. (2021) *Projet Résilience côtière : développement d'outils d'adaptation à l'érosion côtière pour les municipalités du Québec maritime. Rapport de Synthèse*. Chaire de recherche en géoscience côtière, Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières, Université du Québec à Rimouski. Rapport remis au MELCC, décembre 2021, 106 p.

Photographie de la page de couverture

LDGIZC, 2017. MRC des Basques.

REMERCIEMENTS

Nous remercions les professionnels des municipalités, MRC, organismes et ministères ainsi que les élus et résidents qui ont contribué directement à ce projet en partageant leurs besoins, informations et connaissances concernant la zone côtière.

Nous tenons à remercier le gouvernement du Québec qui a financé ce projet par le biais du PACC 2013-2020 — mesure 2.6



AVERTISSEMENT

La présente étude a été réalisée à la demande du ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques sous la responsabilité de la Direction de l'expertise hydrique (DEH) et a été financée par le Fonds vert dans le cadre du Plan d'action sur les changements climatiques 2013-2020 (PACC 2013-2020) du gouvernement du Québec.

Le ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques n'est pas responsable de l'exactitude, de l'actualité et de la fiabilité du contenu de ce mémoire. Les points de vue exprimés dans ce rapport émanent des auteurs et ne coïncident pas nécessairement avec ceux du ministère mentionné ci-haut.

Avant-Propos

Le laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières (LDGIZC) de l'UQAR est dédié à l'étude de l'évolution et de la dynamique des systèmes côtiers à l'échelle récente et actuelle, mais aussi sur une longue période historique couvrant le Quaternaire. Le programme de recherche vise ainsi à comprendre la sensibilité des régions côtières froides aux changements environnementaux afin d'appréhender leur évolution future. Les études pluridisciplinaires menées par le laboratoire visent à développer des modèles et à appuyer des initiatives de gestion intégrée dans une perspective de développement durable de l'environnement maritime. L'approche est basée sur des collaborations étroites entre les intervenants des différents paliers de gouvernements et des communautés côtières, ainsi que la compilation et l'intégration de bases de données multisources géospatiales. C'est avec cette approche que le projet Résilience côtière a vu le jour en 2017.

Plusieurs raisons ont contribué à la mise sur pied de ce projet. D'abord, les membres du LDGIZC ont une volonté grandissante d'accompagner les communautés côtières et de partager les connaissances et les bases de données développées depuis 2003 via des dizaines de projets. Nous constatons que les données nécessaires à la recherche scientifique peuvent aussi directement aider les gestionnaires locaux à faire de meilleurs choix d'aménagement de leur territoire. Le LDGIZC, avec du financement du ministère de la Sécurité publique du Québec, avait mené des projets sur la vulnérabilité côtière en 2012-2014 où les intervenants des MRC d'Avignon, de Bonaventure et des Îles-de-la-Madeleine avaient été consultés sur leurs besoins et sur le type d'outil à développer. Nous avons ainsi développé un outil pour évaluer et cartographier l'exposition actuelle et future des infrastructures à l'érosion côtière et avons remis les résultats et bases de données directement aux aménagistes et urbanistes locaux. Le jumelage science et gestion locale faisait déjà ses preuves et suscitait un certain engouement par d'autres MRC du Québec maritime.

Dans la même période, un projet visant à évaluer le coincement côtier a été complété pour une portion du littoral québécois et il y avait un intérêt du MELCC pour compléter l'étude de la vulnérabilité des écosystèmes côtiers et de produire des données susceptibles d'être intégrées dans une réglementation.

Lorsque la mesure 2.6 du PACC 2013-2020 « Soutien aux municipalités situées le long du Saint-Laurent confrontées aux aléas côtiers d'inondation et d'érosion » a été annoncée en 2015, nous avons rapidement vu l'opportunité de proposer un projet d'envergure qui allait donc inclure un volet sur la sécurité des populations et des infrastructures côtières et le renforcement des capacités d'adaptation et un autre volet sur la conservation des écosystèmes côtiers et le maintien de leurs services écologiques. Le projet a reçu un fort appui des municipalités et des MRC et il a pu démarrer en janvier 2017.

Faits saillants du projet Résilience côtière

Le **projet Résilience côtière** vise à réduire la vulnérabilité des communautés et des écosystèmes côtiers à l'érosion côtière, à développer des outils pour améliorer la planification de l'aménagement et la protection du territoire côtier et ainsi faciliter le choix des solutions d'adaptation face à l'érosion côtière dans un contexte de changements climatiques à court, moyen et long termes. Il a été mis en œuvre pour les **24 MRC du Québec maritime**. Ainsi, sur la rive nord et sur la rive sud de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent, le territoire de **123 municipalités** et **10 communautés autochtones** est couvert par ce travail.

Consultation

Le projet a débuté par la consultation de **420 intervenants**, dont **118 élus locaux**, lors de 21 ateliers. Afin de répondre aux nombreux besoins exprimés, un plan d'action pour chaque MRC a été élaboré et douze chantiers ont été mis en œuvre selon quatre thématiques : consultations, données de base, données avancées et diffusion. Les consultations ont été complétées par **640 entretiens avec les résidents côtiers**, **12 entretiens avec les gestionnaires** municipaux et ministériels et **52 entrevues avec des professionnels** œuvrant en génie et en aménagement. Une deuxième série d'ateliers regroupant 112 participants de 9 MRC a eu lieu en 2019. Le projet s'est terminé avec 12 ateliers finaux regroupant **265 intervenants** dans 24 MRC.

Données de base

Les trois grands chantiers de production des données de base ont permis de cartographier sur près de 4 200 km de côtes les **types de côtes** (75 000 segments caractérisés), les **écosystèmes côtiers** (55 235 polygones caractérisés) et les **usages et sites d'intérêt côtiers** (29 554 données).

Données avancées

Des données sur **l'exposition potentielle à l'érosion** de plus de 30 000 bâtiments, 1 390 km de routes et 170 km de voies ferrées ont été calculées sur toutes les côtes du Québec maritime. Un **indice de vulnérabilité** a également été développé et appliqué sur 8 sites témoins couvrant un total de 171 km de côtes afin de cibler les zones les plus vulnérables actuellement et d'ici 50 ans. Il a également été développé une méthodologie pour calculer la **distance de migration potentielle** des plages, des marais maritimes et des écosystèmes meubles de basses altitudes. Appliqué à 8 MRC, soit plus de 1 600 km de côtes, cela permet de dresser un portrait des secteurs où des contraintes naturelles ou anthropiques pourraient limiter la migration d'écosystèmes dans un contexte de hausse du niveau marin. De plus, pour mieux appréhender les impacts des changements climatiques sur les côtes, une **modélisation de l'effet des tempêtes** actuelles et

futures sur les côtes basses meubles a été produite pour 4 sites avec le logiciel XBeach et une **modélisation de l'effet de la hausse du niveau de la mer sur les marais maritimes** a été effectuée pour 8 sites avec le logiciel SLAMM. Finalement, des **portraits-diagnostic**s de sites prioritaires ont été réalisés et des recommandations pour l'adaptation aux aléas côtiers ont été émises à l'automne 2021 en se basant sur toutes les données existantes pour 16 secteurs priorités par les acteurs locaux lors des consultations.

Diffusion

De nombreux **outils de communication et de sensibilisation** ont été mis en œuvre pour partager avec tous les partenaires du projet. De plus, tout au long du projet, un **accompagnement des acteurs de la zone côtière dans l'adaptation aux aléas côtiers** a été offert. Finalement, l'outil qui permet de mettre en valeur et de diffuser tous les autres outils produits est le SIGEC Web, une **plateforme web de diffusion et de transfert des connaissances**. Des formations de niveau 1, niveau 2 et des séances questions/réponses sur le SIGEC Web ont été offertes sur Zoom à l'automne 2021. Au total, 191 personnes ont participé aux formations.



TABLE DES MATIÈRES

Avant-propos	6
Faits saillants du projet Résilience côtière	7
Introduction.....	10
CHANTIER N° 1. Consultation des professionnels, élus, résidents et groupes-cibles concernés par la zone côtière du Québec maritime	16
CHANTIER N° 2. Cartographie des types de côtes du Québec maritime	21
CHANTIER N° 3. Cartographie des écosystèmes côtiers du Québec maritime	25
CHANTIER N° 4. Cartographie des usages et des sites d'intérêt côtiers du Québec maritime	31
CHANTIER N° 5. Exposition potentielle des bâtiments, routes et voies ferrées à l'érosion côtière au Québec maritime.....	38
CHANTIER N° 6. Indice de vulnérabilité de la zone côtière à l'érosion	43
CHANTIER N° 7. Distance de migration potentielle des écosystèmes côtiers	51
CHANTIER N° 8a. Modélisation de l'effet des tempêtes actuelles et futures sur les côtes basses meubles.....	56
CHANTIER N° 8b. Modélisation de l'effet de la hausse du niveau de la mer sur les marais maritimes.....	61
CHANTIER N° 9. Portraits-diagnostic de sites prioritaires et recommandations pour l'adaptation aux aléas côtiers.....	67
CHANTIER N° 10. Outils de communication et de sensibilisation.....	69
CHANTIER N° 11. Accompagnement des acteurs de la zone côtière dans l'adaptation aux aléas côtiers	73
CHANTIER N° 12. SIGEC Web : une plateforme web de diffusion et de transfert des connaissances.....	77
Projets académiques menés au sein du projet Résilience côtière	83
Conclusion	101
Références.....	102

Introduction

Le phénomène de l'érosion côtière représente un défi de taille pour plusieurs communautés à l'échelle de la planète ^(46, 50, 70, 42) et les changements climatiques, qui affectent les littoraux depuis quelques décennies, ont pour effet d'exacerber les processus d'érosion ^(36, 39, 2, 76). Les côtes du Québec n'échappent pas à cette tendance ^(28, 12, 13, 9). Les changements climatiques entraînent, notamment, une réduction du couvert de glace ^(24, 68) et une hausse du niveau de la mer qui auront pour effet d'accentuer l'érosion et d'étendre les zones affectées par celle-ci ^(2, 25, 36, 43, 49, 44, 50, 76). Au Québec, la tendance du niveau marin est à la hausse pour l'ensemble des stations marégraphiques du Québec maritime depuis la fin des années 90 et l'accélération de la hausse est même plus importante que la moyenne mondiale dans le sud du golfe ^(48, 69, 5, 6).

Parallèlement, l'occupation du territoire semble souvent faire fi de la dynamique et des aléas côtiers puisque l'on observe, entre autres choses, une densification urbaine et le développement de nouveaux quartiers le long du littoral ^(56, 57, 59, 73). Au Québec, de nombreuses infrastructures sont construites très près de la ligne de rivage ⁽⁹⁾ et devant l'ampleur du phénomène, les communautés côtières doivent s'adapter rapidement et font face à un manque d'outils et de connaissances pour gérer adéquatement l'utilisation de la zone côtière ^(33, 47).



De plus, il est maintenant reconnu que les changements climatiques et les perturbations à l'environnement mèneront à l'extinction de plusieurs espèces et à la réduction de la diversité des écosystèmes. La dégradation ou la perte des écosystèmes peut nuire aux populations humaines et les rendre plus vulnérables aux aléas ⁽⁶⁷⁾. Pour être en mesure de contribuer efficacement à la résilience de l'écosociosystème, un écosystème doit être en bon état ⁽⁶⁷⁾. Malgré le développement des connaissances sur l'érosion côtière, l'évolution des écosystèmes côtiers n'a que rarement été prise en compte dans l'analyse de la vulnérabilité ou dans leur contribution à la résilience des collectivités côtières face aux aléas côtiers. Les écosystèmes et leurs services écologiques sont importants pour la gestion intégrée des zones côtières, pour la réduction des impacts des changements climatiques sur les zones côtières et pour la conservation de la biodiversité des écosystèmes côtiers.



Dans le contexte où les communautés côtières et les gouvernements manquent d'outils pour faire face aux aléas côtiers, il est primordial que la recherche sur la vulnérabilité côtière vienne concrètement en support à la gestion côtière locale ⁽⁶³⁾. La responsabilité légale du risque revient souvent au gouvernement central, ce qui limite la participation locale et les initiatives à l'échelle des communautés ^(18, 31). Cependant, il est désormais bien démontré que l'implication des instances locales est essentielle pour la réussite de l'adaptation ^(18, 63, 75, 47). C'est en se basant sur ces considérations que la présente étude a été réalisée.

Dans le projet Résilience côtière, la zone côtière du Québec est considérée comme un écosociosystème, c'est-à-dire que sont considérés tant les aspects socio-économiques et culturels que les aspects écologiques et leurs interrelations.

L'**objectif principal** du projet est de réduire la vulnérabilité des communautés et des écosystèmes côtiers à l'érosion côtière et de développer des outils pour améliorer la planification de l'aménagement et la protection du territoire côtier ainsi que pour faciliter le choix des solutions d'adaptation aux changements climatiques à court, moyen et long termes. L'originalité de la démarche repose sur l'implication dès le départ des acteurs locaux et régionaux qui ont exprimé leurs besoins en connaissances et en outils pour s'adapter aux aléas côtiers dans un contexte de changements climatiques, mais aussi sur leur participation au développement et à la réalisation de ce projet.

Lignes directrices du projet Résilience côtière

- Produire des données de base sur la totalité du territoire du Québec Maritime afin que partout les décisions puissent être prises en tenant compte de la dynamique côtière, des écosystèmes, des usages, des services écologiques et des enjeux.
- Effectuer un projet de « recherche-action » ajusté aux besoins des acteurs locaux et régionaux.
- Intégrer la recherche scientifique dans l'aménagement du territoire, lier les sciences naturelles et la gestion du territoire.
- Rendre des données et des outils cartographiques dans un format accessible par la totalité des acteurs de la zone côtière.
- Favoriser un rapprochement entre les chercheurs et les acteurs du milieu (utilisateurs, gestionnaires et résidents du territoire). Procurer des avantages réciproques : acteurs mieux informés sur l'avancement de la science et chercheurs mieux informés sur les problématiques et les contextes locaux.
- Mélanger la recherche fondamentale pour comprendre les phénomènes et la recherche appliquée pour créer des outils concrets. Volonté de produire des outils utiles et pratiques.

Organisation du projet

Afin d'atteindre les objectifs et de répondre aux besoins exprimés, le projet a été organisé en **douze chantiers** qui peuvent se regrouper selon quatre thématiques : consultations, données de base, données avancées et diffusion (figure 1).

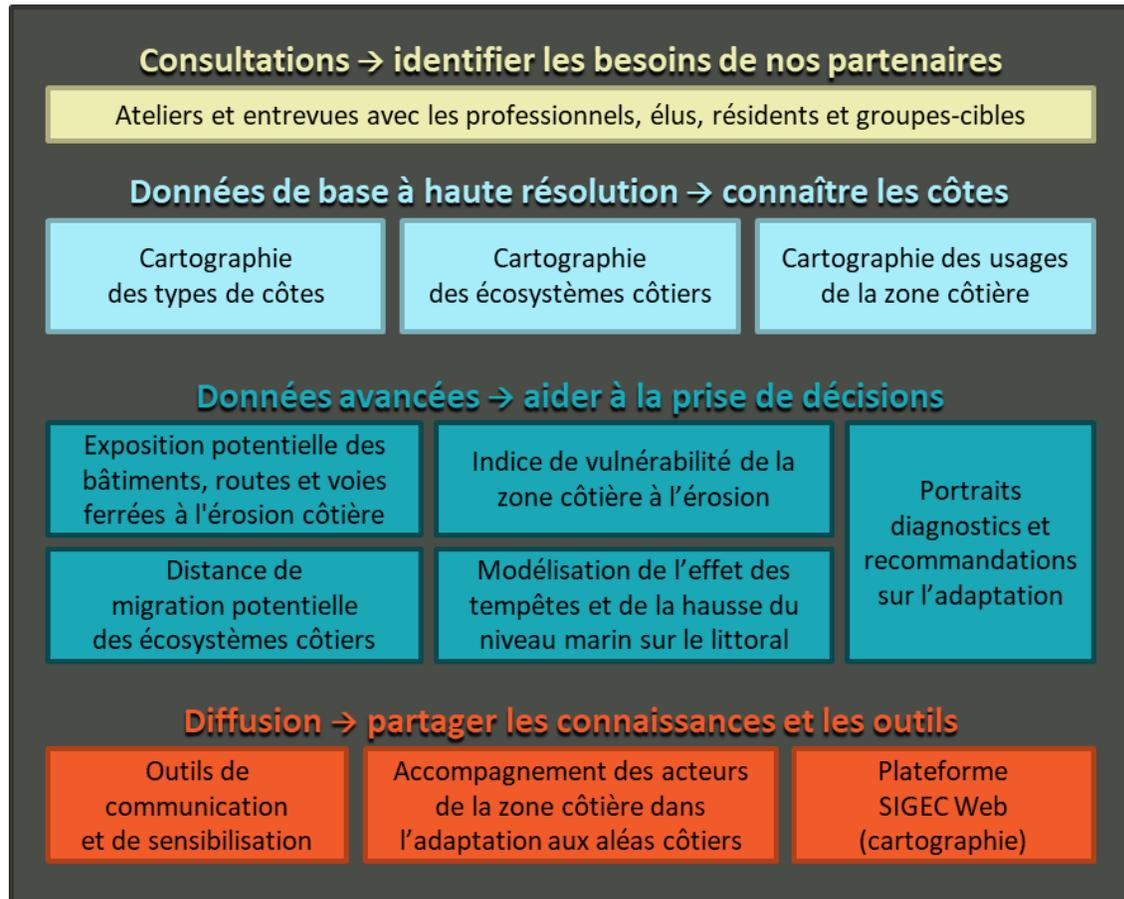
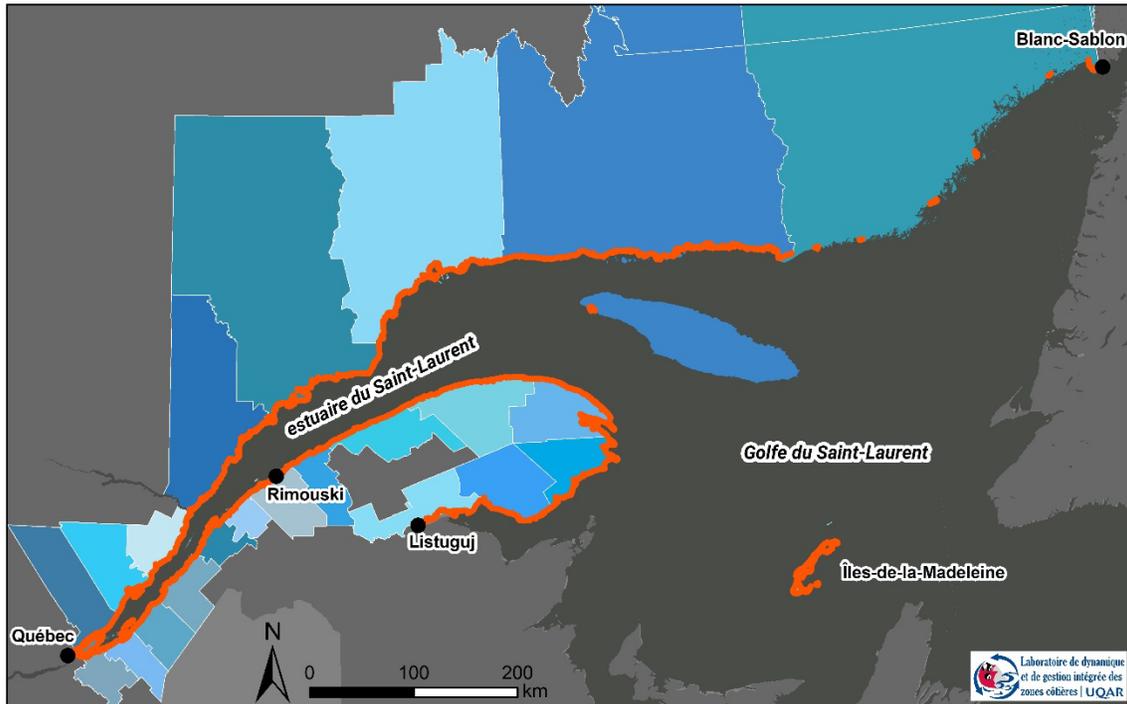


Figure 1. Schéma des 12 chantiers du projet Résilience côtière

Le présent rapport résume la démarche et toutes les réalisations du projet Résilience côtière de 2017 à 2021. La problématique et la méthodologie de chaque chantier sont résumées et un aperçu des résultats est présenté. Une section présente aussi les projets étudiants qui font partie du projet Résilience côtière.

Territoire

Le territoire d'étude couvre les côtes des 24 MRC, 123 municipalités et 10 communautés autochtones du Québec maritime (figure 2). Il s'agit de plus de 4 100 km de côtes. Seules les parties inhabitées de l'île d'Anticosti et de la MRC du Golfe-du-Saint-Laurent n'ont pas pu être considérées.



Fond de carte : © Gouvernement du Canada et © Gouvernement du Québec

Figure 2. Carte de localisation des MRC et côtes étudiées

Consultez les résultats détaillés de ce projet

- Rapports complets sur chaque chantier
- Fiches descriptives
- Capsules vidéo
- Métadonnées



ldgizc.uqar.ca/Web/projets/projet-resilience-cotiere

- Bases de données et cartographie



ldgizc.uqar.ca/Web/sigecweb



Tableau 1. Liste des MRC participantes au projet*

Région	MRC (code)	MRC (nom)
Capitale-Nationale	IDO	Île d'Orléans
	BPR	Côte de Beaupré
	CHA	Charlevoix
	CHE	Charlevoix-Est
Chaudière-Appalaches	BEL	Bellechasse
	MON	Montmagny
	ISL	L'Islet
Bas-Saint-Laurent	KAM	Kamouraska
	RDL	Rivière-du-Loup
	BAS	Les Basques
	RIM	Rimouski-Neigette
	MIT	La Mitis
	MAT	La Matanie
Gaspésie-Îles-de-la-Madeleine	HGA	La Haute-Gaspésie
	CGA	La Côte-de-Gaspé
	RPE	Rocher-Percé
	BON	Bonaventure
	AVI	Avignon
	IDM	Îles-de-la-Madeleine
Côte-Nord	HCN	La Haute-Côte-Nord
	MAN	Manicouagan
	SRI	Sept-Rivières
	MIN	Minganie
	GSL	Golfe-du-Saint-Laurent

* Les territoires autochtones sont inclus dans le territoire à l'étude

CHANTIER N° 1. Consultation des professionnels, élus, résidents et groupes-cibles concernés par la zone côtière du Québec maritime

Rédaction : Christian Fraser

Contribution : Catherine Paul-Hus, Maud Touchette, Evelyne Arsenault, Stéphanie Friesinger, Susan Drejza, Caroline Guénette, Pascal Bernatchez, Guillaume Marie, Marylène Ricard, Philippe Sauvé, Céline Jacob, Sandrine Papageorges, Laurie Desrosiers-Leblanc, Mireille McGrath Pompon et David Coulombe.

Introduction

Une des prémisses du projet Résilience côtière est de suivre une démarche de « recherche-action » ajustée aux besoins des acteurs locaux et régionaux. Il y a donc une volonté que les données et outils produits dans le projet soient utiles autant pour la recherche scientifique que pour la gestion et l'aménagement du territoire. Les consultations ont le double objectif de transmettre les connaissances scientifiques et de recueillir les connaissances et perceptions des acteurs. Cette section du rapport de synthèse propose un résumé de chaque type de consultation.

Atelier initial

Le projet Résilience côtière a commencé par une grande tournée de 21 ateliers regroupant 420 participants, dont 118 élus municipaux. Pour les 17 MRC des 3 régions de l'Est-du-Québec, les ateliers ont eu lieu au printemps 2017. Au printemps 2018, le territoire du projet s'est agrandi vers l'ouest et 4 ateliers supplémentaires ont eu lieu dans les MRC de L'Islet, Montmagny, Charlevoix et Charlevoix-Est. Pour les MRC de Bellechasse, l'Île d'Orléans et Côte-de-Beaupré, la concertation a été prise en charge par le Consortium Ouranos.

Les participants aux ateliers comprenaient des professionnels de l'aménagement et de la gestion du territoire ainsi que du personnel administratif des MRC et municipalités côtières,

La consultation des acteurs est utile pour :

- créer des outils qui répondent aux besoins des acteurs de la zone côtière
- inclure les acteurs de la zone côtière dans les choix et la démarche du projet
- intégrer les connaissances des participants dans la cartographie des usages
- intégrer les perceptions et connaissances des participants dans les études scientifiques
- intégrer les perceptions citoyennes dans l'analyse des sites prioritaires

des professionnels représentant chacun des ministères impliqués localement dans la gestion du territoire et des écosystèmes et des représentants des organismes locaux et régionaux concernés par la problématique de l'érosion et de la gestion de la zone côtière. Des rencontres spécifiques pour les élu.es étaient tenues en soirée. Chaque journée d'atelier comprenait le contenu suivant :

- Présentation du portrait des connaissances (changements climatiques, aléas, enjeux et écosystèmes côtiers) ;
- Identification des besoins et des outils en matière d'adaptation (figure 3) ;
- Atelier sur les perceptions et connaissances des mesures d'adaptations ;
- Atelier sur les perceptions et connaissances des écosystèmes ;
- Atelier sur la démarche du projet ;
- Atelier de cartographie interactive pour identifier les usages et les sites d'intérêt dans la zone côtière (figure 4)



Figure 3. Séance de votes des acteurs lors de l'atelier 1

Deux portraits des besoins et des outils ont été dressés suite aux deux séries d'ateliers (un pour les régions Côte-Nord, Bas-Saint-Laurent et Gaspésie-Îles-de-la-Madeleine et l'autre pour Chaudière-Appalaches et la Capitale-Nationale).

Un plan d'action pour chaque MRC a ensuite été élaboré et inclus les informations suivantes : 1) la liste de tous les outils priorités lors des ateliers, 2) l'état d'avancement de chaque outil et 3) la liste des données disponibles pour chaque territoire (photographies aériennes, données lidar, etc.).



Figure 4. Cartographie interactive

Atelier 2

Pour la deuxième série d'ateliers, 4 rencontres regroupant 112 participants de 9 MRC ont eu lieu. La tenue de l'atelier 2 dépendait de l'avancement de certains chantiers et certains ont dû être décalés dans le temps. Par la suite, le contexte de confinement nous a obligés à annuler plusieurs ateliers. Ces ateliers comprenaient le contenu suivant :

- Présentation des outils en développement et discussions ;
- Atelier sur les perceptions et connaissances des mesures d'adaptations (figure 5) ;
- Atelier sur les perceptions et connaissances des services écologiques ;
- Identification des sites prioritaires pour les portraits-diagnostic (figure 6) ;



Figure 5. Atelier sur les perceptions et connaissances des mesures d'adaptations



Figure 6. Identification des sites prioritaires pour les portraits-diagnostic

Atelier final

Une série de 12 ateliers a eu lieu à l'automne 2021 avec les partenaires des 24 MRC du projet, incluant des élus municipaux. Au total, 265 personnes ont participé aux rencontres organisées sur Zoom. Le but était de présenter les résultats finaux du projet, de répondre aux questions, de recueillir les commentaires et suggestions et de discuter de la suite du projet. Chaque chantier a été présenté afin de préciser la méthodologie, le type de données produites, l'utilité de chaque outil et les liens pour accéder aux données, métadonnées, rapports et autres produits. Une synthèse des plans d'action a aussi été présentée pour chaque MRC afin de faire un suivi sur les besoins et outils prioritaires en début de projet et sur les actions réalisées.

Consultation des résidents côtiers

Les ateliers du projet Résilience côtière s'adressant plutôt aux professionnels des municipalités, ministères et organismes, nous avons organisé une campagne de consultation auprès de 640 résidents côtiers de l'Est-du-Québec (figure 7 et figure 8) afin de mieux connaître la perception et les connaissances des résidents sur les phénomènes naturels, les changements du milieu et sur les mesures d'adaptation. Il y avait aussi un exercice de cartographie interactive sur les usages et sites d'intérêts de la zone côtière, comme ceux réalisés lors des ateliers 1.

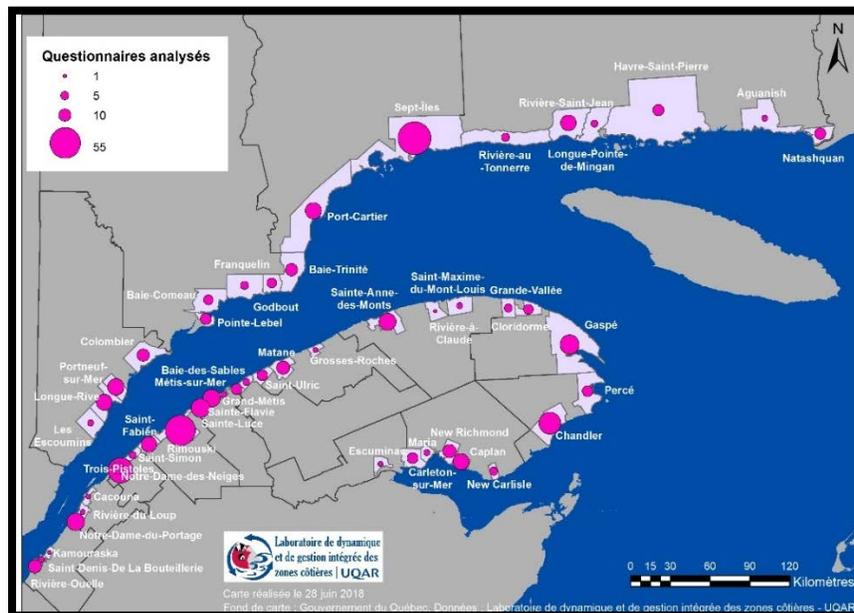


Figure 7. Répartition des entrevues avec les résidents côtiers

Un article est en cours de rédaction pour faire suite aux entrevues citoyennes réalisées : « Le rôle des résidents côtiers dans la capacité d'adaptation d'un système : étude de cas dans l'Est-du-Québec ».



Figure 8. Consultations citoyennes regroupant des tranches de population en zone côtière issues de diverses catégories sociodémographiques

Consultation des gestionnaires municipaux et ministériels

En plus de leur participation aux ateliers 1 et 2, douze gestionnaires municipaux, supramunicipaux et ministériels des MRC de La Matanie et d'Avignon ont été rencontrés individuellement dans le cadre du projet de maîtrise de Laurie Desrosiers-Leblanc. Ils ont été invités à émettre leur opinion sur les limites à d'adaptation aux risques côtiers et de discuter des politiques et outils d'adaptation aux risques côtiers. La section du présent rapport sur les projets académiques résume le projet de Laurie Desrosiers-Leblanc.

Consultation avec les firmes de génie-conseil du Québec

Dans le cadre du projet de doctorat de Philippe Sauvé, 17 entretiens avec les entreprises œuvrant en génie et en aménagement côtier représentant 52 professionnels ont été réalisés. Un article a été publié sur les résultats de cette consultation ⁽⁶⁶⁾. Des pistes de solutions ont été identifiées pour améliorer le processus décisionnel pour la sélection d'un ouvrage de protection côtière, ainsi que pour le développement du génie côtier au Québec. Les résultats sont aussi

basés sur la caractérisation de l'artificialité des côtes de l'Est-du-Québec ainsi que sur les consultations réalisées lors des ateliers 1 et 2 et sur les résultats d'entrevues citoyennes.

Consultez les résultats de ce chantier

- Portraits sur les besoins et outils
- Articles scientifiques



ldgizc.uqar.ca/Web/projets/projet-resilience-cotiere

CHANTIER N° 2. Cartographie des types de côtes du Québec maritime

Rédaction : Susan Drejza

Contribution : Evelyne Arsenault (coordination), Stéphanie Friesinger, Maude Blain, François Savoie-Ferron, Myriane Houde-Poirier, Steeve Dugas, Christian Fraser, Pascal Bernatchez et Guillaume Marie.

Introduction

L'étude de la dynamique côtière ainsi que la gestion et l'aménagement de la zone littorale maritime requièrent des connaissances approfondies sur les caractéristiques et les processus géomorphologiques des côtes. Le milieu côtier étant très dynamique, les données de caractérisation sont rapidement désuètes et nécessitent une mise à jour régulière. Plusieurs tronçons du Québec maritime ont été caractérisés dans les dernières années dans le contexte d'études localisées sur un petit territoire ou en fonction d'une problématique précise. Dans le cadre de la Chaire de recherche en géoscience côtière 2008-2012, une caractérisation plus complète du littoral de l'Est-du-Québec a été réalisée en se basant sur l'imagerie oblique de 2010 et sur une campagne de terrain ⁽²⁸⁾. Cependant, une mise à jour et l'ajout de certaines régions étaient devenus nécessaires.

La cartographie des côtes du Québec maritime réalisée dans le cadre de ce chantier est très complète et s'étend sur un immense territoire. Elle constitue une assise commune pour tous les territoires côtiers de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent et permet d'en dresser un portrait détaillé à différentes échelles.

Pour ce chantier, ce sont **les côtes de 24 MRC, 123 municipalités et 10 communautés autochtones** qui ont été **cartographiées**. Il s'agit de 4 183,7 km de côtes. Il est à noter qu'uniquement les parties habitées de l'île d'Anticosti (MRC de la Minganie) et les villages de la MRC du Golfe-du-Saint-Laurent ont pu être cartographiés. La numérisation a été produite sur une zone s'étalant de la limite entre la mer et la terre, jusqu'à 200 m à l'intérieur des terres.

La cartographie des types de côtes est utile pour :

- calculer l'évolution de la côte
- évaluer l'exposition à l'érosion
- cibler les zones sensibles à la submersion
- délimiter les écosystèmes côtiers
- délimiter les usages du territoire côtier
- calculer la distance de migration potentielle des écosystèmes
- suivre l'artificialisation de la côte
- calculer une marge de sécurité
- produire plusieurs outils d'aide à la décision et de sensibilisation
- faciliter les interventions lors de sinistres

Méthodologie

La **numérisation** des limites géomorphologiques côtière repose sur un travail de photo-interprétation d'images aériennes dans un Système d'information géographique (SIG). La numérisation se fait en 2D, à une échelle de 1:600. Les images utilisées sont les images les plus récentes disponibles et varient entre 2015 et 2019 selon les MRC. Lorsque présentes, voici les principales lignes qui sont tracées tant en contact avec l'eau (ensemble hydrographique côtier ou estuarien) qu'en arrière-côte (figure 9 et figure 10) :

- La ligne de rivage
- Le sommet de la microfalaise ou de la falaise
- Le sommet de l'ouvrage de protection côtière
- La base d'un talus en arrière côte (talus de 5 m et plus)
- Le sommet d'un talus en arrière côte (talus de 5 m et plus)
- Le front de schorre supérieur (si microfalaise nette)
- Le fond du marais
- La base et le sommet des ouvrages de protection côtière situés en arrière côte

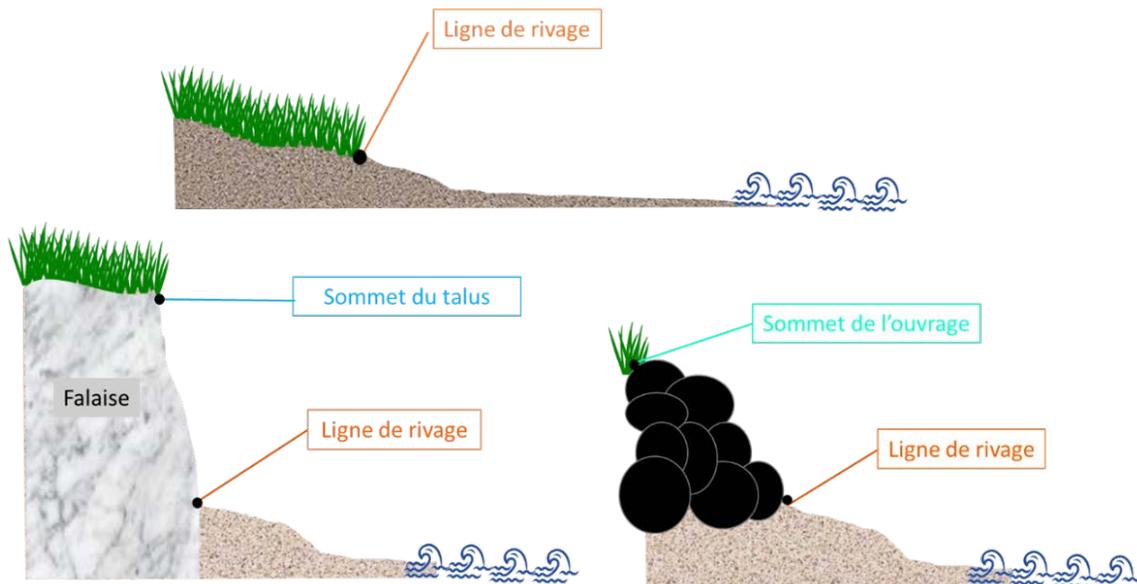


Figure 9. Exemples types des limites tracées au niveau de la côte pour une côte basse, une falaise et une côte artificialisée



Figure 10. Numérisation et caractérisation de la côte

La **caractérisation** de la côte se fait par photo-interprétation, principalement à partir des images obliques du LDGIZC prises entre 2017 et 2019. Lorsque la caractérisation est complexe à établir par l'interprétation seule de ces images, l'analyse est bonifiée avec :

- des documents des caractérisations antérieures du LDGIZC ;
- des photos prises sur le terrain, notamment celles des campagnes du suivi de l'érosion 2017 à 2020 du Réseau de suivi de l'érosion côtière du Québec maritime ;
- des données lidars (relief ombré, isolignes topographiques, extraction du niveau des PMSGM ou modèle de pente) ;
- des images aériennes antérieures (selon leur disponibilité au sein du LDGIZC) ;

Pour chaque segment, 46 champs de la table attributaire sont remplis, manuellement ou automatiquement. Voici les principaux :

- le grand type de côte (11 possibilités)
- le type de côte principal
- le type de côte secondaire
- l'état de la côte
- le type d'artificialité si présent
- l'état de l'artificialité le cas échéant

Pour accéder à la cartographie des types de côtes sur le SIGEC Web



ldgizc.uqar.ca/Web/sigecweb

En tout, 75 104 segments linéaires ont été numérisés et caractérisés dans le cadre de ce projet, représentant une longueur de 8 652 km. La figure 11 présente un exemple de cartographie des types de côtes.

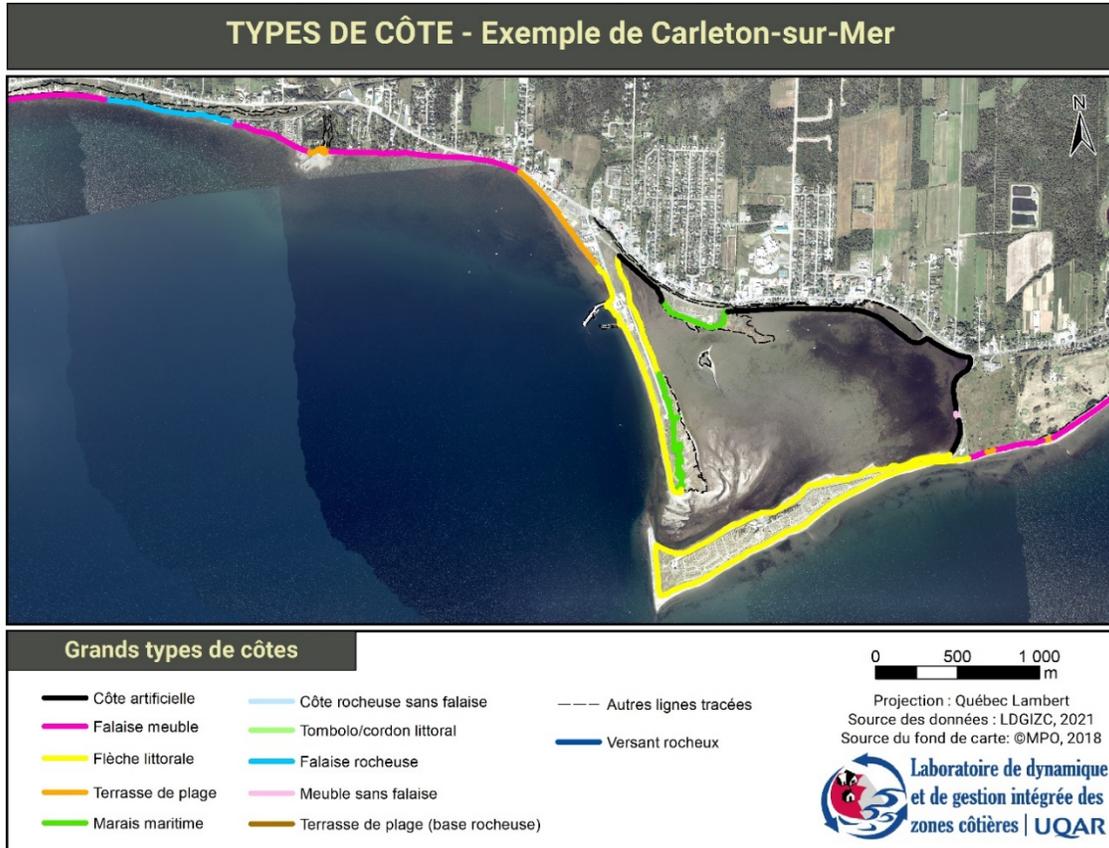


Figure 11. Exemples de cartographie des grands types de côtes.

Résultats

Les **grands types de côtes** que l'on retrouve au Québec maritime varient selon les régions et les MRC. Les côtes sont majoritairement meubles à 60,5 % (plus de 2 500 km) et plus de 39 % rocheuses (plus de 1 600 km), et majoritairement basses 70,4 % (plus de 2 900 km) et 29,5 % sont des falaises (plus de 1 200 km). Au Québec la proportion de **côtes artificialisées** est en moyenne de 13,95 %, mais cela varie en 1,58 et 52,18 % selon les régions et les MRC. Les MRC de Minganie et de la Haute-Côte-Nord ont moins de 5 % de côtes artificialisées alors que celles de Charlevoix, La Mitis et Kamouraska en ont plus de 45 %. Les types principaux d'artificialité présents sur les côtes sont les protections de blocs (58,62 %), suivi des murs de protection (23,15 %). Les ouvrages de protection contre la submersion représentent 8,58 % des artificialités des côtes du Québec maritime.

Consultez les résultats de ce chantier

- Rapport méthodologique
- Capsule vidéo
- Métadonnées



ldgizc.uqar.ca/Web/projets/projet-resilience-cotiere

CHANTIER N° 3. Cartographie des écosystèmes côtiers du Québec maritime

Coordination et rédaction : Ariane Jobin

Contribution : Didier Eustache-Létourneau, Malika Jasmine Gabaj Castrillo, Laurence Provencher-Nolet, Corinne Trubiano, Gabrielle Marquis, Marcellin Chambu Wani, Louis-David Pitre, Sandrine Papageorges, Maryne Drouet, Mathilde Lapointe-Saint-Pierre, Marylène Ricard, Vincent Turpin, Mathieu Bélisle, Laurence Paquette, Jean Thibault, Pauline Chauvet, David Coulombe, Susan Drejza, Christian Fraser, Pascal Bernatchez et Guillaume Marie.

Introduction

À la lumière des connaissances sur la vulnérabilité des écosystèmes côtiers, une cartographie de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent s'avère nécessaire pour assurer la conservation de ces derniers. En plus de dresser le portrait global des écosystèmes côtiers du Québec maritime, la cartographie devient un point de référence pour permettre l'analyse de leur évolution dans le temps. Cette cartographie sur le territoire du Québec maritime est une prémisse. Elle pourra servir de base pour plusieurs autres projets d'organismes, d'intervenant.es et de dirigeant.es du milieu et du territoire, dans leurs interventions et leurs plans d'aménagements, entre autres.

L'objectif principal de ce projet est de réaliser une cartographie surfacique à haute résolution spatiale sur l'ensemble du territoire du Québec maritime dont la totalité du littoral est caractérisée et associée à un écosystème.

Ce projet est une initiative réalisée en collaboration avec le ministère des Pêches et Océans Canada (MPO), dans le cadre de son volet *Planification pour une intervention environnementale intégrée (PIEI)* du *Plan de Protection des Océans (PPO)*, ayant pour objectif la mise à jour du Régime de préparation et d'intervention en cas de déversement d'hydrocarbures en milieu marin du Canada. Les données produites serviront à mieux localiser les ressources à risque sous le mandat du MPO ainsi qu'à améliorer la réponse en cas d'incident environnemental comme un déversement pétrolier. L'intégration de plus de 3000 points de validation est en cours et sera intégrée sur la plateforme SIGEC Web au printemps 2022.

La cartographie des écosystèmes côtiers est utile pour :

- Calculer la superficie des écosystèmes
- Évaluer les services écologiques
- Évaluer la sensibilité et la vulnérabilité des écosystèmes aux changements climatiques
- Cartographier la distance de migration potentielle des écosystèmes
- Identifier les habitats prioritaires pour la conservation
- Intégrer aux études d'impacts
- Réaliser des plans de conservation
- Compléter les plans régionaux des milieux humides et hydriques (PRMHH)
- Réaliser différents outils de sensibilisation

Territoire

La cartographie des écosystèmes côtiers s’est effectuée pour 24 MRC (figure 12) pour lesquelles la majorité de leurs côtes ont été couvertes. Cependant pour la MRC de la Minganie, plus précisément sur l’île d’Anticosti, c’est seulement 36 km de côte près du village de Port-Meunier qui ont été caractérisés. De même pour la MRC du Golfe-du-Saint-Laurent, seuls les secteurs de 4 villages ont été cartographiés : Kegaska, La Romaine/Unamen-Shipu, Chevery et Blanc-Sablon.

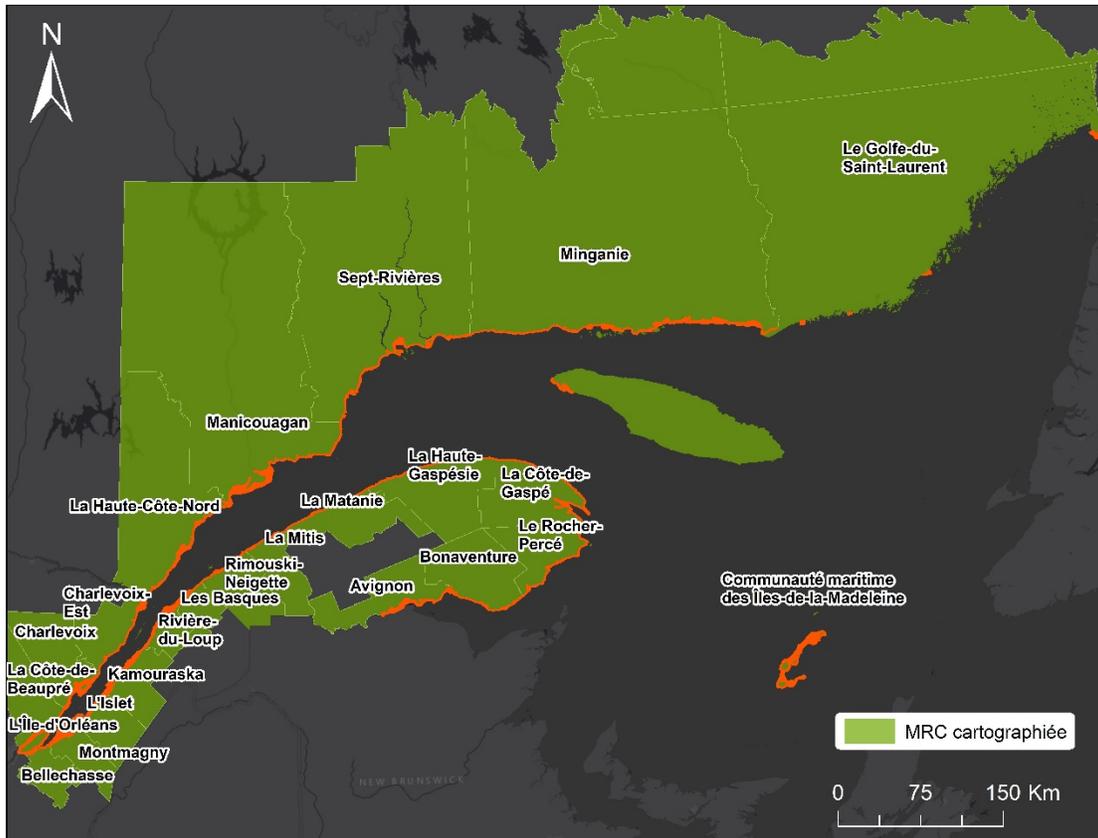


Figure 12. Carte de localisation des 24 MRC dont les écosystèmes côtiers ont été cartographiés

Méthodologie

La cartographie fut réalisée principalement à partir de photo-interprétation de l’imagerie aérienne verticale et d’images obliques hélicoptérées. La zone côtière cartographiée s’étend à partir du trait de côte (marais maritimes) ou de la ligne de rivage (autres environnements) vers le large sur une distance minimale de 500 mètres. Cette distance peut être augmentée selon l’étirement de zone intertidale ou de la visibilité sous-marine des photos aériennes.

Avant de faire la caractérisation par photo-interprétation, des étapes de prétraitement des images furent nécessaires. Une segmentation des images a été réalisée dans la plateforme de télédétection Geomatica (PCI-Geomatics). La segmentation utilise un algorithme classifiant chacun des pixels de l'image sur la base de leurs caractéristiques spectrales communes.

Suite à la segmentation, un travail de reconstruction, de découpage et d'assemblage des polygones fut effectué manuellement par photo-interprétation. La cartographie des écosystèmes a été accomplie dans le logiciel ArcGIS. L'objectif de la cartographie est, d'une part, de remanier la segmentation dans le but d'obtenir un polygone représentant un milieu dont les caractéristiques physiques et biologiques sont les plus homogènes et, d'autre part, de la caractériser dans la base de données. La cartographie est réalisée pour être visualisée à une échelle de 1:4000.

La validation terrain fut réalisée à l'automne 2018 et 2019, afin de valider les données de photo-interprétation et de mieux identifier les espèces végétales présentes dans les écosystèmes côtiers, pour l'ensemble du territoire, à l'exception de la MRC du Golfe-du-Saint-Laurent et de l'île d'Anticosti. La figure 13 schématise la méthodologie du chantier.

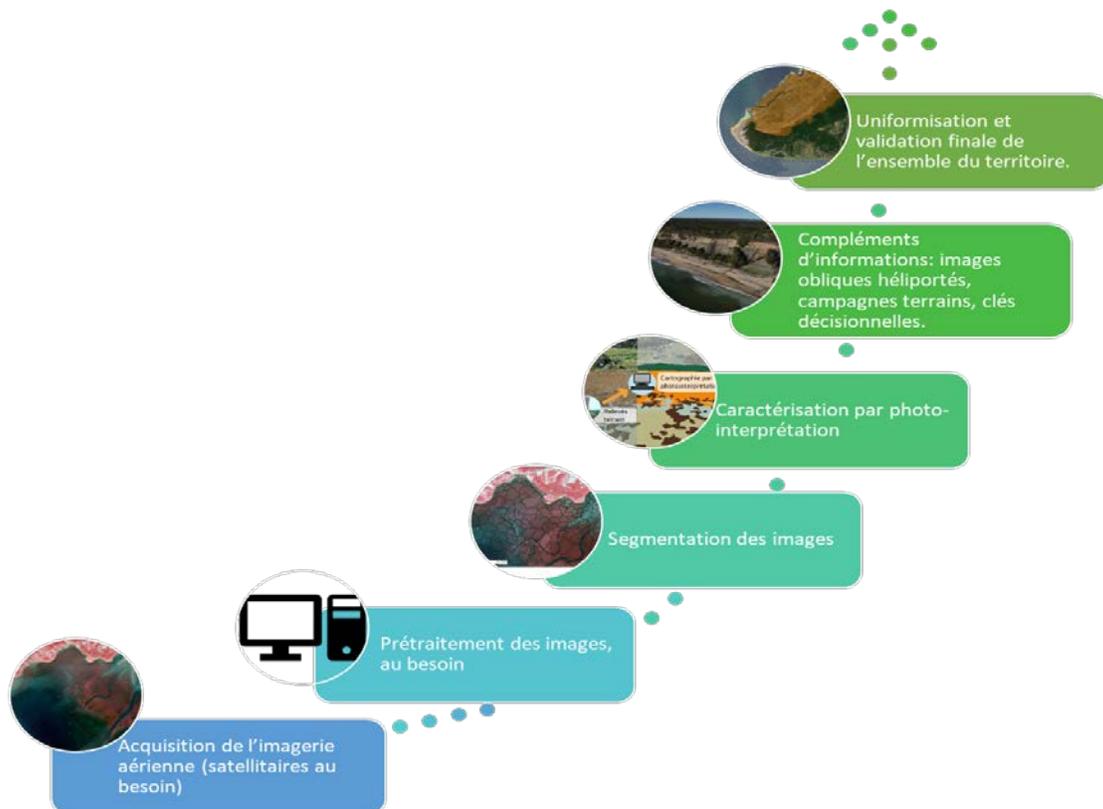


Figure 13. Schéma synthèse de la méthodologie de photo-interprétation des écosystèmes côtiers

Suite à la caractérisation, des noms d'écosystèmes ont été générés à deux niveaux de précision. Ces noms sont générés à partir d'un code en langage python. Le code permet la concaténation de plusieurs colonnes pour formuler les noms d'écosystèmes de façon systématique et rapide. Cette étape permet aussi de cibler rapidement des erreurs liées à la saisie manuelle des données.

La méthode utilisée pour concaténer les données de caractérisation vers un nom d'écosystème côtier détaillé mène à une liste de 561 noms d'écosystèmes pour l'ensemble du territoire d'étude. Les noms d'écosystèmes détaillés générés offrent beaucoup d'informations, mais étant très nombreux, cela ne facilite pas les analyses globales ni l'affichage cartographique. C'est ainsi que 35 noms d'écosystèmes synthèses ont été générés à partir des noms complets.

Résultats

La superficie totale cartographiée totalise 3 588,85 km². Ce sont 55 235 polygones qui ont été caractérisés et classés en 35 écosystèmes. Cette cartographie est aussi accompagnée de **11 fiches** descriptives des grands écosystèmes. La figure 14 illustre la superficie des principaux écosystèmes intertidaux de l'ensemble du territoire. Pour une meilleure représentation, les écosystèmes de l'infra-littoral ne sont pas affichés. Ils représentent 2 416,19 km².

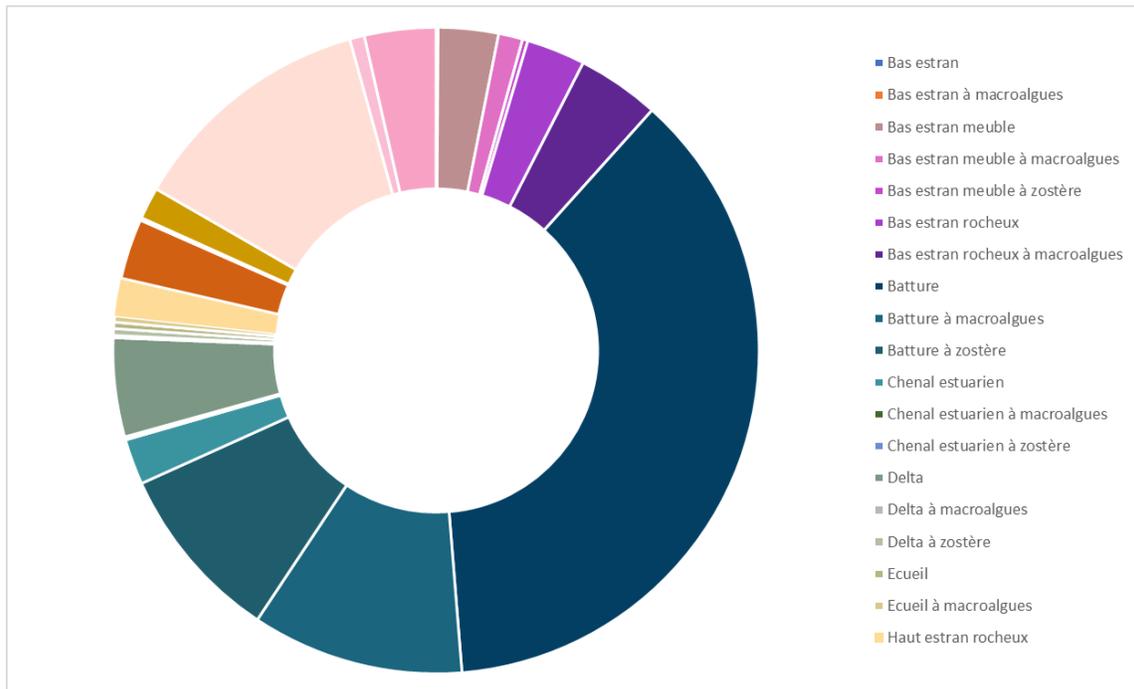


Figure 14. Superficie des écosystèmes intertidaux du Québec maritime

La cartographie des écosystèmes côtiers du Québec maritime est disponible dans son intégralité sur la plateforme SIGEC Web. Cette dernière offre 9 cartes thématiques déjà réalisées : les écosystèmes côtiers, les systèmes géomorphologiques, la zostère marine, la couverture végétale, la dominance végétale, la couverture et la dominance végétale, l'étagement du littoral, les marais maritimes ainsi que les principaux substrats. La figure 15 illustre un exemple de cette cartographie.

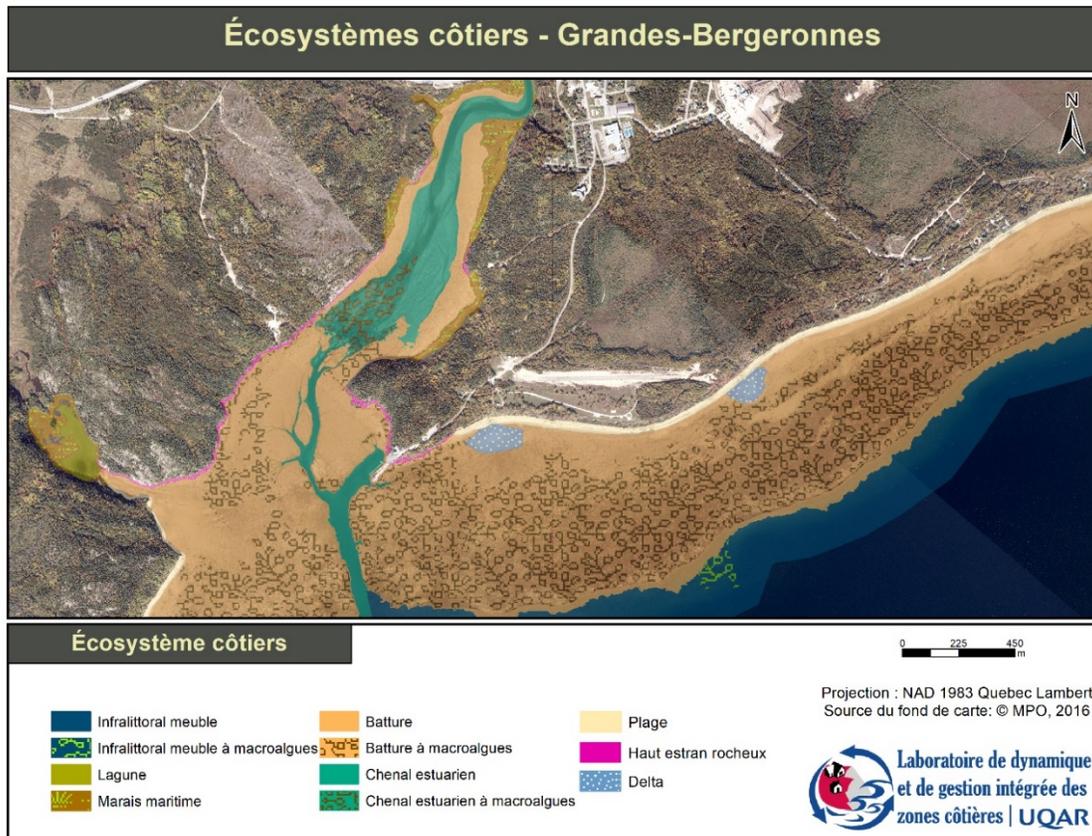


Figure 15. Écosystèmes de l'embouchure de la rivière Grandes-Bergeronnes, Côte-Nord.

La plateforme en ligne permet aussi l'utilisation d'un tableau de bord, afin d'illustrer une cartographie et des statistiques pour une région, une ville ou un secteur donné. La figure 16 illustre d'ailleurs un exemple de statistiques pour la municipalité de Franquelin, dans la MRC de Manicouagan sur la Côte-Nord.



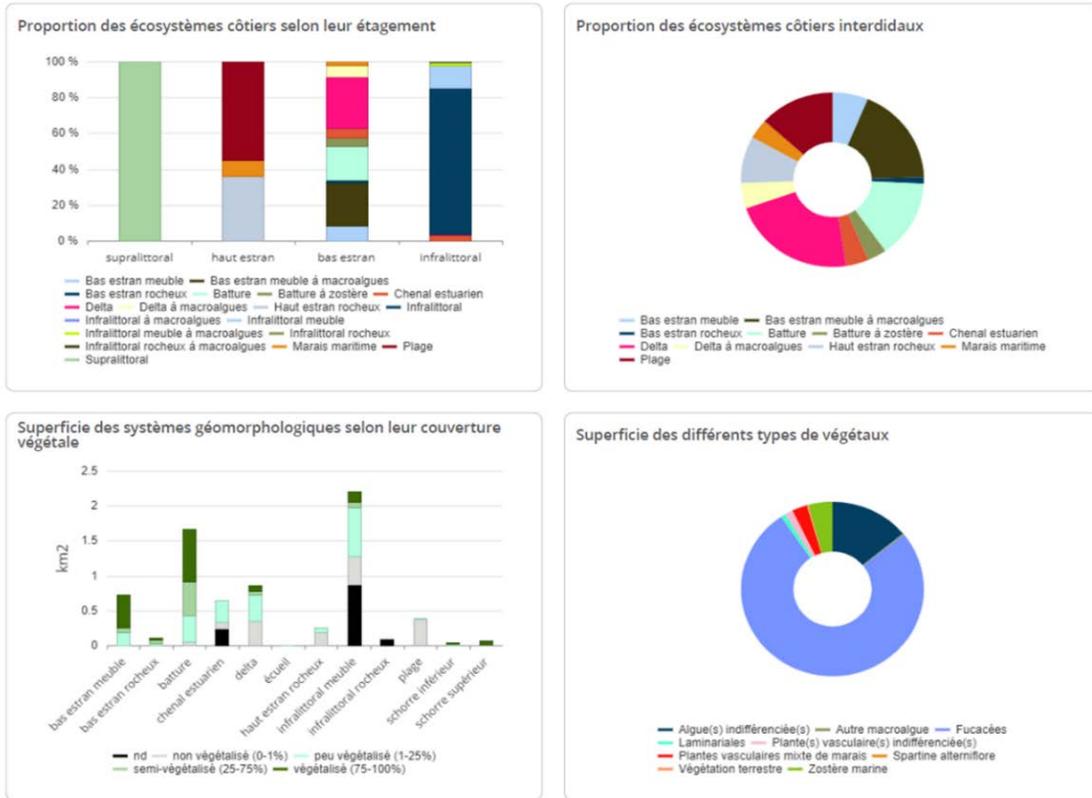


Figure 16. Exemple des graphiques réalisés à l'aide du tableau de bord pour la municipalité de Franquelin, sur la Côte-Nord.

Finalement, ces données permettront à plusieurs organismes, municipalités, MRC, gouvernements et autres acteurs d'intervenir sur leur territoire et ainsi mieux s'adapter aux changements climatiques affectant les écosystèmes côtiers. Ainsi, ce projet est une forme de démocratisation des savoirs en rendant aussi accessible aux résidentes et résidents côtiers la vaste base de données en ligne ainsi que des outils cartographiques à portée de la main via la plateforme SIGEC Web.

Consultez les résultats de ce chantier

- Rapport méthodologique
- Fiches descriptives des grands écosystèmes
- Capsule vidéo
- Métadonnées



ldgizc.uqar.ca/Web/projets/projet-resilience-cotiere

CHANTIER N° 4. Cartographie des usages et des sites d'intérêt côtiers du Québec maritime

Coordination et rédaction : Catherine Paul-Hus

Contribution : Maryne Drouet, Alexia Desormeaux, Zoé Martineau, Patrice Lapointe, Mathieu Bélisle, Valérie Hallé, Susan Drejza, Christian Fraser, Pascal Bernatchez et Guillaume Marie.

Introduction

Les populations vivant le long des côtes du Québec maritime ont un lien indéniable avec leur environnement. Elles ont l'habitude de pratiquer sur la côte des activités récréatives, de s'y rassembler, de s'y ressourcer, d'y réaliser des activités sociales, parfois même d'y travailler. Or les côtes sont de plus en plus exposées par les aléas naturels dans un contexte de changements climatiques. Les usages et sites d'intérêt en zone côtière sont donc impactés de plusieurs manières : soit par la perte de terrain et donc la disparition des sites d'intérêt, soit par la destruction partielle ou totale de bâtiments ou d'infrastructures d'intérêt patrimonial ou mémoriel ou servant de support pour des activités récréotouristiques, soit encore par l'incapacité de maintenir certaines activités sur la côte ou en mer en raison du réchauffement climatique.

Ces usages et sites d'intérêt en zone côtière, autant socioculturels qu'écologiques, n'avaient pas encore été répertoriés pour l'ensemble du Québec maritime. Par usages en zone côtière, nous entendons les pratiques habituellement observées parmi les personnes fréquentant la zone côtière. Ces pratiques ont été distinguées en trois types : les activités, les sites d'intérêt et les infrastructures. Le recensement des activités, sites d'intérêt et infrastructures, le plus exhaustif possible est utile à plusieurs égards. Il

convient d'intégrer dans les études sur les risques naturels des données relatives aux nombreux usages (sociaux, culturels, récréatifs, touristiques) que les populations peuvent avoir, car, même s'il s'agit parfois de biens intangibles, ils participent à la vulnérabilité des territoires exposés ⁽³⁾. Leur spatialisation est également importante pour la réalisation de cartes de risque. Ces éléments sont par ailleurs essentiels pour évaluer les services écologiques offerts par les écosystèmes côtiers ou pour mettre en branle, par exemple, des plans de conservation ou de restauration des habitats côtiers. L'inclusion de valeurs sociales dans la planification spatiale peut améliorer l'engagement des communautés locales et des parties prenantes dans le processus de planification ⁽¹⁹⁾. Enfin, connaître les usages en zone côtière sur le territoire permet également de les intégrer dans la planification, notamment dans un objectif durable ^(35, 51).

La cartographie des usages est utile pour :

- Connaître les usages actuels et passés du territoire côtier
- Considérer les usages lors du choix des interventions et des mesures de protection
- Prendre en compte le tangible et l'intangible lors d'ACA
- Évaluer les services écologiques

Dans une perspective de gestion intégrée en aménagement du territoire, il est essentiel de considérer les données sociales recueillies auprès des parties prenantes impliquées dans les différents projets en aménagement du territoire. Aucun portrait exhaustif des usages n'avait été produit à ce jour. Les informations disponibles se concentrent souvent sur de petits secteurs ou présentent une grande précision pour seulement un usage spécifique.

Objectifs

Pour pallier le manque de données pour le Québec maritime, le LDGIZC a réalisé une cartographie participative avec les communautés de la zone côtière en s'inspirant d'un projet accompli en 2012 pour une plus petite zone d'étude qui incluait trois communautés innues. Ce projet réalisé en collaboration avec le Conseil Tribal Mamuitun était également axé sur les savoirs locaux et les activités culturelles ⁽¹⁵⁾. La cartographie des usages et des sites d'intérêt côtiers (CUSIC) comprend quant à elle l'ensemble du Québec maritime.

L'objectif général de la CUSIC est de permettre l'approfondissement des connaissances du territoire et d'outiller les communautés pour faire face aux risques côtiers. Le but est de réaliser un portrait exhaustif à jour des usages pratiqués et des sites d'intérêt présents dans la zone côtière pour l'ensemble du Québec maritime.

Cet objectif général est axé autour de 3 principaux sous-objectifs qui sont spécifiques aux applications de l'outil de cartographie participative et à son utilité pour d'autres chantiers du projet Résilience côtière. Ces sous-objectifs sont les suivants :

- Connaître les usages en milieu côtier, actuels et passés, et leur valeur socioculturelle ou écologique, ainsi que les infrastructures qui peuvent y être associées ;
- Connaître les principaux changements observés et le niveau de préoccupation associé ;
- Inclure les usages cartographiés, qu'ils soient tangibles ou intangibles, dans la planification territoriale, les analyses de risque multicritères, le choix des solutions d'adaptation ou les études d'impact.

Méthodologie

La figure 17 présente l'ensemble des grandes étapes méthodologiques suivies afin de produire la cartographie des usages et des sites d'intérêt côtiers.

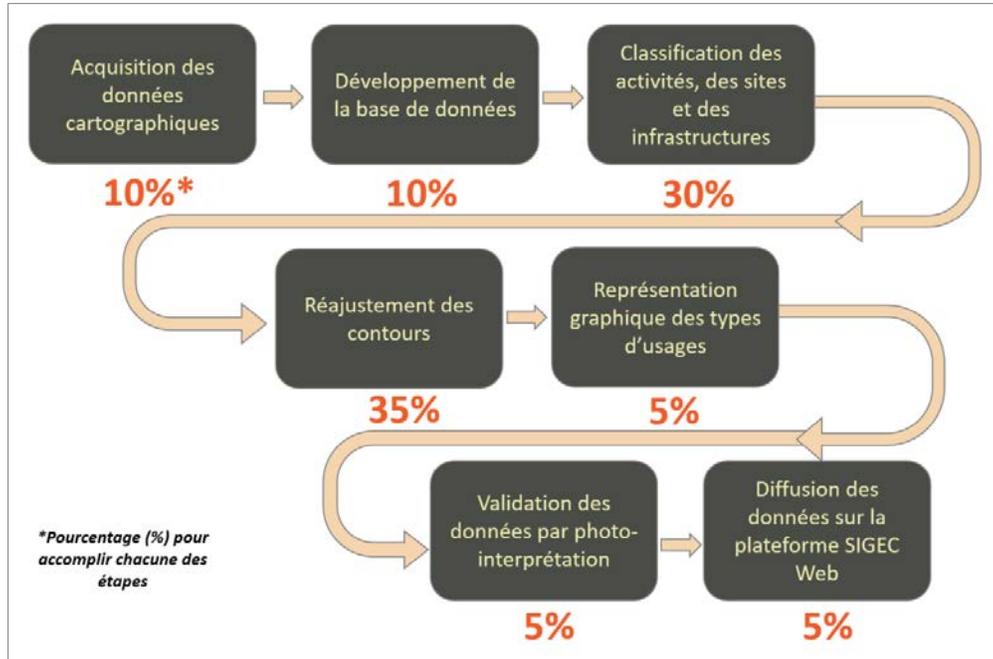


Figure 17. Principales étapes méthodologiques de la cartographie des usages et des sites d'intérêt côtiers

L'acquisition de données cartographiques est basée sur trois grandes approches : 1) la cartographie interactive dont des ateliers de travail avec des professionnels des organisations locales et régionales ainsi que des entrevues avec les résidents côtiers ; 2) l'inventaire et l'analyse des données existantes fournies par des organisations nationales, provinciales, régionales et municipales sous plusieurs formats et 3) la photo-interprétation avec différents types d'imagerie. Une base de données géospatiale a ensuite été créée afin d'intégrer toutes les données récoltées par le LDGIZC et celles des organismes externes. En raison de la diversité des données acquises, un exercice de classification par type d'usage a été fait. Cette classification comprenait des activités, des sites et des infrastructures. Dans le cadre de ce projet, les activités sont définies par l'ensemble de diverses actions menées dans un lieu, les sites d'intérêt par des lieux délimités subjectivement et qui fournissent des éléments locaux de vie ou un potentiel socioécologique important en zone côtière, et les infrastructures par l'ensemble des ouvrages et installations (maritimes, récréotouristiques, etc.). Les contours des polygones ont été par la suite réajustés dans la zone côtière (estran) entre l'arrière-côte, jusqu'à 500 m de la ligne de rivage (niveau supérieur des hautes eaux), et l'avant-côte ou mer bordière, jusqu'à 500 m du zéro marégraphique (niveau inférieur des basses eaux). Après avoir réajusté les contours des différents usages et sites d'intérêt et avoir fait les validations par photo-interprétation, les polygones sont convertis en point. À chacun des centroïdes de polygone est associé un pictogramme décrivant le type d'usage, le statut du service écologique et/ou le groupe associé. L'avant-dernière étape du travail consiste à valider les données de certaines activités, et certains sites et infrastructures pour ensuite pouvoir diffuser les données sur la plateforme de Système Intégré de Gestion de l'Environnement Côtier (SIGEC Web : <https://sigec.uqar.ca>). Les données y seront fournies sous forme de cartes thématiques, dans un cadre de référence homogène et structuré.

Résultats

La cartographie des usages et des sites d'intérêt côtiers rassemble près de 30 000 données réparties sur tout le territoire du Québec maritime. Toutefois, ces usages ne sont pas répartis de façon égale, car l'acquisition de données a été différente d'une région administrative à l'autre. Par exemple, dans les régions de Capitale-Nationale et de Chaudière-Appalaches, il n'y a pas eu d'entrevues avec les communautés côtières. Ce travail de collecte d'informations avec les communautés s'est effectué dans les autres régions, soit le Bas-Saint-Laurent, la Côte-Nord et la Gaspésie-Îles-de-la-Madeleine. Dans le tableau 2 ici-bas présentant le nombre d'usages par type et par région administrative, on remarque effectivement un nombre très faible d'activités dans l'estuaire moyen du fleuve. Les activités répertoriées proviennent donc des ateliers de travail avec les professionnels des MRC et des données recueillies auprès des divers organismes.

Tableau 2. Nombre d'usages par type et par région administrative

		Types			
		Activités	Sites d'intérêt	Infrastructures	TOTAL
Régions administratives	Bas-Saint-Laurent	1055	4954	970	6979
	Capitale-Nationale	141	2009	642	2792
	Chaudière-Appalaches	32	1768	283	2083
	Côte-Nord	2149	6634	1966	10 749
	Gaspésie-Îles-de-la-Madeleine	1262	3939	1750	6951
	Tout le Québec maritime	4639	19 304	5611	29 554

Bien évidemment, les statistiques varient également en fonction, entre autres, de l'étendue des différentes régions administratives, de la répartition des données acquises et du nombre de personnes ayant participé aux différentes séances de cartographie participative (lors des entrevues ou des ateliers de travail).

Une multitude de graphiques et de cartes peuvent être produits à partir de la base de données des usages. La figure 18 présente un exemple de graphique et la figure 19 présente quant à elle un exemple de carte.

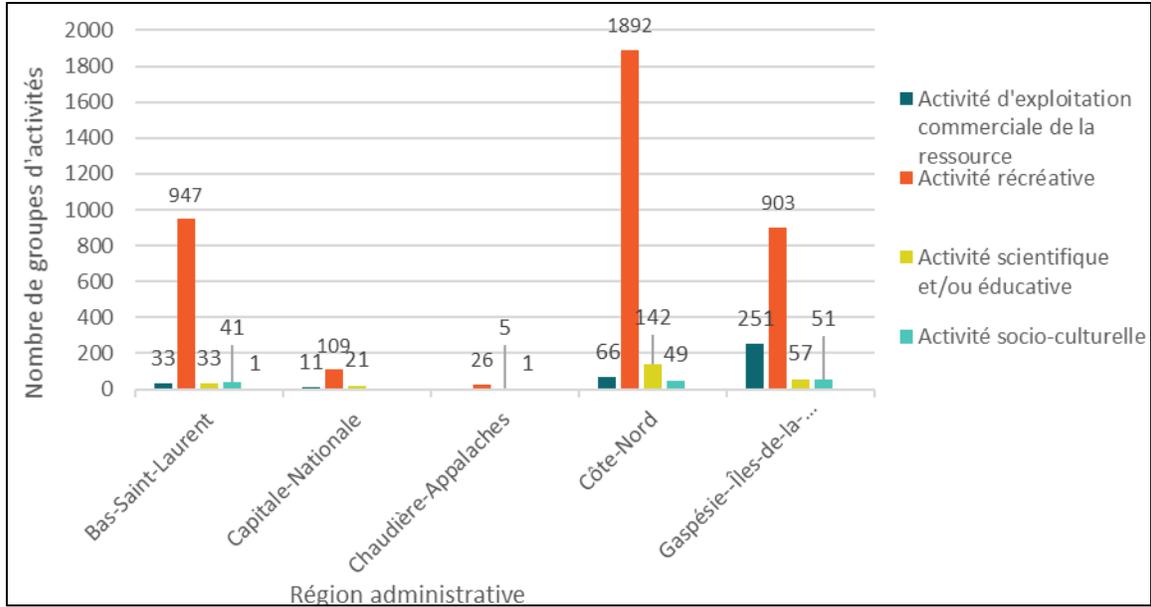
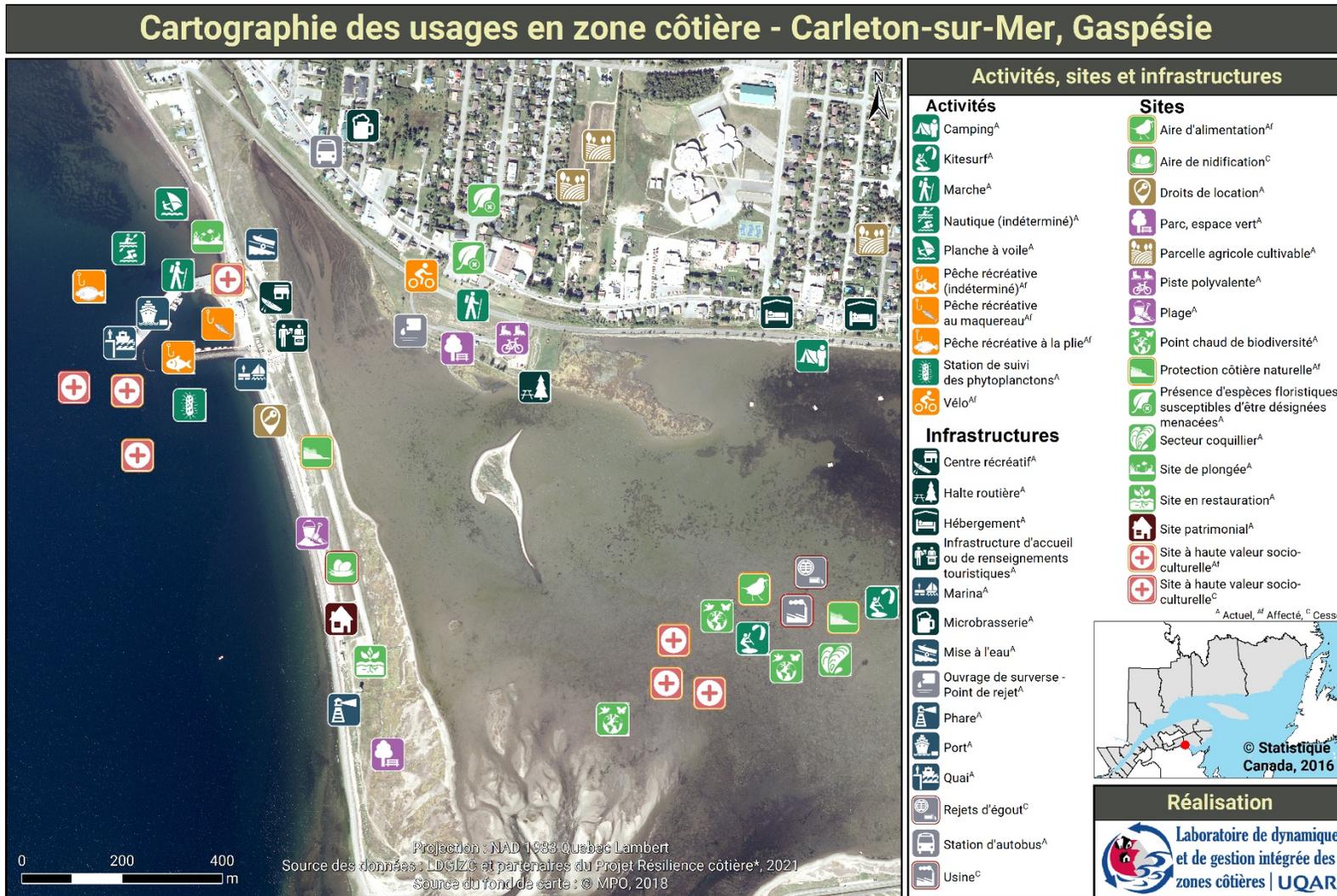


Figure 18. Nombre d'activités recensées par groupe d'activités par région administrative du Québec maritime

Pour accéder à la cartographie des usages sur le SIGEC Web

↓

ldgizc.uqar.ca/Web/sigecweb



*voir la liste complète des partenaires du Projet Résilience côtière en annexe du rapport méthodologique
 Figure 19. Résultats de la CUSIC à Carleton-sur-Mer, Gaspésie-Îles-de-la-Madeleine

Conclusion

Dans une perspective de gestion intégrée en aménagement du territoire, il est important de bien connaître l'ensemble des usages de la zone côtière pour l'ensemble du Québec maritime afin de faire des choix judicieux qui prennent en considération les perceptions des communautés et leur savoir traditionnel. La cartographie des usages et des sites d'intérêt côtiers a donc permis de dresser un portrait détaillé des activités pratiquées, des lieux d'intérêt et des infrastructures localisés dans la zone côtière.

Certains biais de la méthode ont été identifiés. Parmi ceux-ci figurent, entre autres, la présence ou l'absence et le type de données, la limite de l'utilisation d'une donnée ponctuelle versus surfacique pour connaître l'étendue de l'information et le fait que les données n'ont pas été validées sur le terrain ou mesurées. En contrepartie, cette méthodologie a aussi ses avantages. Elle a permis de réaliser un travail de grande précision sur un très vaste territoire. De nombreuses personnes résidant en zone côtière ont participé à des entrevues dans lesquels se déroulait une cartographie participative (plus de 550 entrevues). Cette forte participation permet d'avoir un portrait exhaustif des perceptions sur les usages ainsi que les changements observés.

Comme les usages de la côte ainsi que les perceptions des communautés sont en constante évolution, il serait intéressant que ces données soient mises à jour minimalement chaque décennie. En complément aux données provenant des données externes et de celles récoltées lors des ateliers de travail, il serait pertinent que des entrevues soient réalisées auprès des communautés côtières de l'estuaire moyen afin d'obtenir davantage d'informations sur les activités pratiquées et sur les sites d'intérêt sur ce territoire.

Consultez les résultats de ce chantier

- Rapport méthodologique
- Capsule vidéo
- Métadonnées



ldgizc.uqar.ca/Web/projets/projet-resilience-cotiere

CHANTIER N° 5. Exposition potentielle des bâtiments, routes et voies ferrées à l'érosion côtière au Québec maritime

Coordination et rédaction : Maud Touchette

Contribution : Maude Corriveau, Myriane Houde-Poirier, Alexia Desormeaux, Steeve Dugas, Charles Béland, Susan Drejza, Christian Fraser, Pascal Bernatchez et Guillaume Marie.

Introduction

Au Québec, de nombreuses infrastructures sont construites très près de la ligne de rivage ⁽⁹⁾. Certains bâtiments et tronçons de route et de voie ferrée sont actuellement affectés par l'érosion côtière et d'autres le seront dans les prochaines années dépendamment de la vitesse de recul de la côte. Cependant, il est difficile pour les gestionnaires de bien identifier les zones à risque, de prioriser les interventions et de planifier l'aménagement du territoire à moyen et long terme sans connaître précisément l'exposition de chaque infrastructure.

L'objectif principal de ce chantier est de produire la cartographie des infrastructures potentiellement exposées à l'érosion côtière pour les MRC visées par le projet Résilience côtière, et ce, dans le but d'améliorer la planification et la gestion intégrée des zones côtières. Cette cartographie permet d'identifier les infrastructures à risque et les secteurs où la mise en place de mesures d'adaptation serait nécessaire, à court, moyen ou long terme, afin d'en augmenter la résilience face à l'aléa d'érosion. Il est primordial que la recherche sur la vulnérabilité côtière vienne concrètement en support à la gestion côtière.

La cartographie de l'exposition est utile pour :

- Réaliser un portrait des enjeux
- Évaluer la vulnérabilité du cadre bâti
- Prioriser les interventions à court, moyen et long terme
- Planifier l'aménagement du territoire en considérant l'évolution de la côte
- Identifier des solutions d'adaptation en prévention

Territoire

Le calcul de l'exposition potentielle à l'érosion côtière a été effectué pour les toutes les MRC du Québec maritime (figure 20). L'exposition potentielle des MRC de Bonaventure, d'Avignon et de la communauté maritime des Îles-de-la-Madeleine avait déjà été réalisée dans le cadre d'un projet antérieur ^(32,34). Les sept MRC de l'estuaire moyen (représentées dans les teintes de brun dans la figure 1) ont été analysées seulement en fonction du recul événementiel.

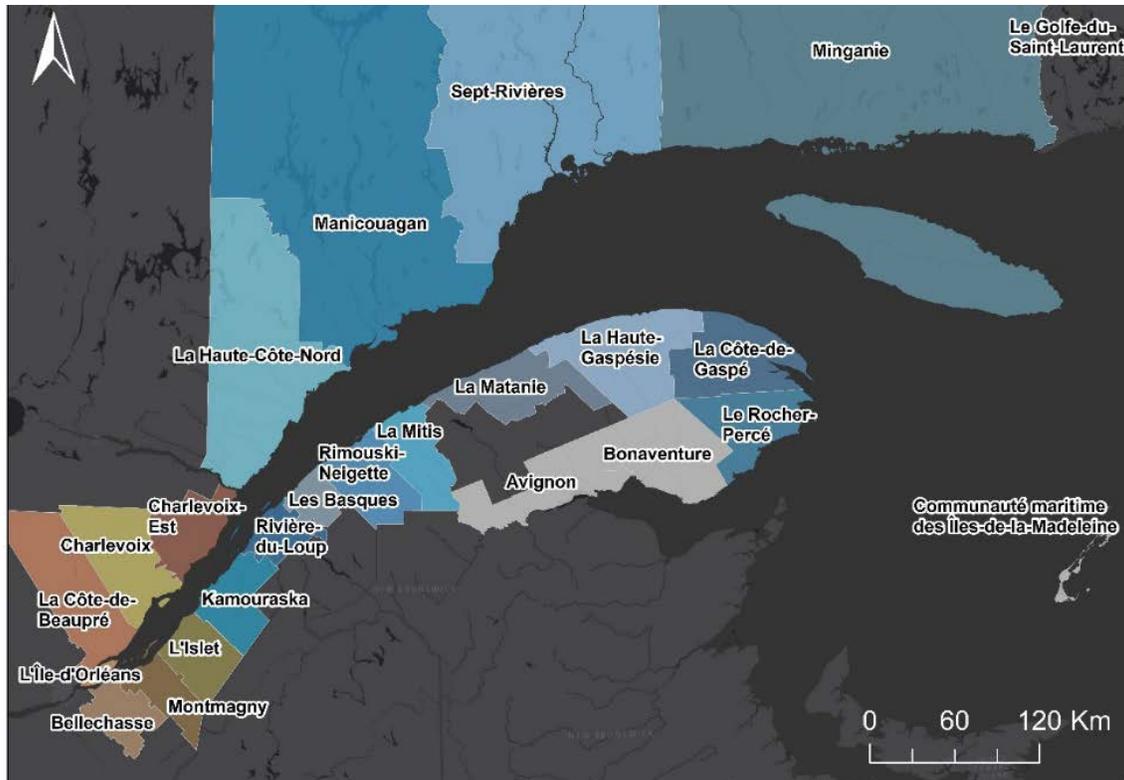


Figure 20. Localisation des MRC à l'étude *l'exposition potentielle n'a pas été réalisée sur l'île d'Anticosti, ni pour la MRC du Golfe-du-Saint-Laurent.

Méthodologie

Dans le cadre de ce chantier, il s'agit de réaliser la cartographie des infrastructures (linéaires et ponctuelles) potentiellement exposées à l'érosion côtière, dans une bande côtière de 150 m. Cette cartographie porte uniquement sur l'aléa d'érosion ; les autres aléas côtiers tels que la submersion ou les mouvements de masse le long des berges ne sont pas inclus ici.

L'exposition est dite **potentielle**, car il n'est jamais possible d'assurer que c'est exactement à ce moment que l'érosion va « toucher » à une infrastructure. Cette cartographie n'est pas une prévision absolue de l'évolution de la côte. Selon les connaissances scientifiques disponibles, il s'agit de la meilleure estimation de l'horizon auquel cela pourrait survenir.

L'exposition potentielle des bâtiments et des infrastructures linéaires, telles que les routes et les chemins de fer, est définie selon les trois paramètres suivants :

- 1) **Distance à la côte** : la distance la plus proche entre l'infrastructure et la ligne de rivage/trait de côte. Cette distance est mesurée pour toutes les infrastructures contenues dans une bande de 150 m par rapport à la côte ;
- 2) **Recul événementiel** : le recul maximal possible lors d'un seul événement pour chaque type de côte. Les données de recul événementiel proviennent de données terrain sur l'évolution récente du littoral (stations de suivi de l'érosion 2000-2018) ainsi que de mesures réalisées à la suite d'événements de tempêtes ;

- 3) **Vitesse de déplacement** : la vitesse de déplacement de la ligne de rivage/trait de côte telle que mesurée à partir des données d'évolution historiques pour la période récente (correspondant généralement à la période comprise entre les années 1980-1990 et les années 2010).

L'exposition potentielle des bâtiments et des infrastructures à l'érosion est calculée selon l'équation suivante (figure 21).

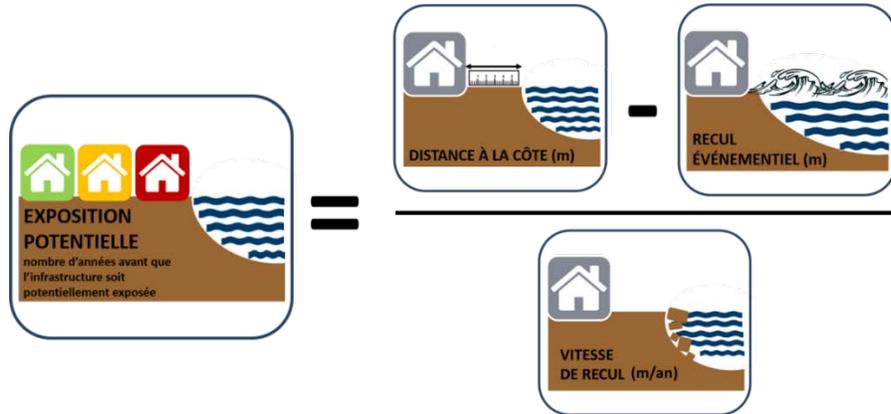


Figure 21. Équation utilisée pour le calcul de l'exposition potentielle des bâtiments et des infrastructures à l'érosion côtière.

Les résultats des calculs d'exposition s'expriment en classes d'exposition (tableau 3). Il s'agit de classes ayant un intervalle de 10 ans pour les années 2020 à 2069 (par exemple, « 2040-2049 »). Les autres classes possibles sont « actuellement exposé », « 2070-2099 », « non exposé d'ici 2099 » et « exposition indéfinie ».

Tableau 3. Classes d'exposition potentielle à l'érosion côtière

Classes d'exposition	Description
Actuellement exposé	L'infrastructure est actuellement exposée à l'aléa d'érosion.
2020-2029	L'infrastructure sera potentiellement exposée entre 2020 et 2029 à l'aléa d'érosion.
2030-2039	L'infrastructure sera potentiellement exposée entre 2030 et 2039 à l'aléa d'érosion.
2040-2049	L'infrastructure sera potentiellement exposée entre 2040 et 2049 à l'aléa d'érosion.
2050-2059	L'infrastructure sera potentiellement exposée entre 2050 et 2059 à l'aléa d'érosion.
2060-2069	L'infrastructure sera potentiellement exposée entre 2060 et 2069 à l'aléa d'érosion.
2070-2099	L'infrastructure sera potentiellement exposée entre 2070 et 2099 à l'aléa d'érosion.
Non exposé d'ici 2099	L'infrastructure sera potentiellement exposée après 2099 à l'aléa d'érosion, ou ne sera potentiellement pas exposée, étant donné un taux d'évolution de la côte positif (accrétion) ou un taux d'évolution de la côte stable.
Exposition indéfinie	Les données nécessaires (photos et traits de côtes historiques) au calcul de l'exposition potentielle ne sont pas disponibles.

Résultats

Plus de 30 000 bâtiments, 1 390 km de routes et 170 km de voies ferrées ont été analysés sur le territoire du Québec maritime, afin d'obtenir une cartographie de l'exposition potentielle des infrastructures à l'érosion côtière, dans une bande de 150 m. Ces chiffres excluent les MRC d'Avignon, de Bonaventure et des Îles-de-la-Madeleine dont l'exposition a été calculée dans un projet précédent ^(32,34).

On compte 2387 bâtiments actuellement exposés auxquels s'ajoutent 1 301 bâtiments entre 2020 et 2099 seulement pour les régions du Bas-Saint-Laurent, de la Gaspésie-Îles-de-la-Madeleine et de la Côte-Nord. Pour les routes, on compte 114 km de tronçons actuellement exposés et 70 km de plus entre 2020 et 2099 seulement pour les 3 régions de l'Est. Enfin, on compte 32 km de voie ferrée actuellement exposée et 2,5 km de plus concentrés dans les MRC de Côte-de-Gaspé et du Rocher-Percé.

La cartographie ci-dessous (figure 22) offre un exemple de l'exposition potentielle à l'aléa d'érosion côtière des routes et des bâtiments, situés dans une bande côtière de 150 m le long de la côte dans un secteur de la municipalité de Pointe-Lebel (Manicouagan).

***Pour accéder à la cartographie
de l'exposition sur le SIGEC Web***



ldgizc.uqar.ca/Web/sigecweb

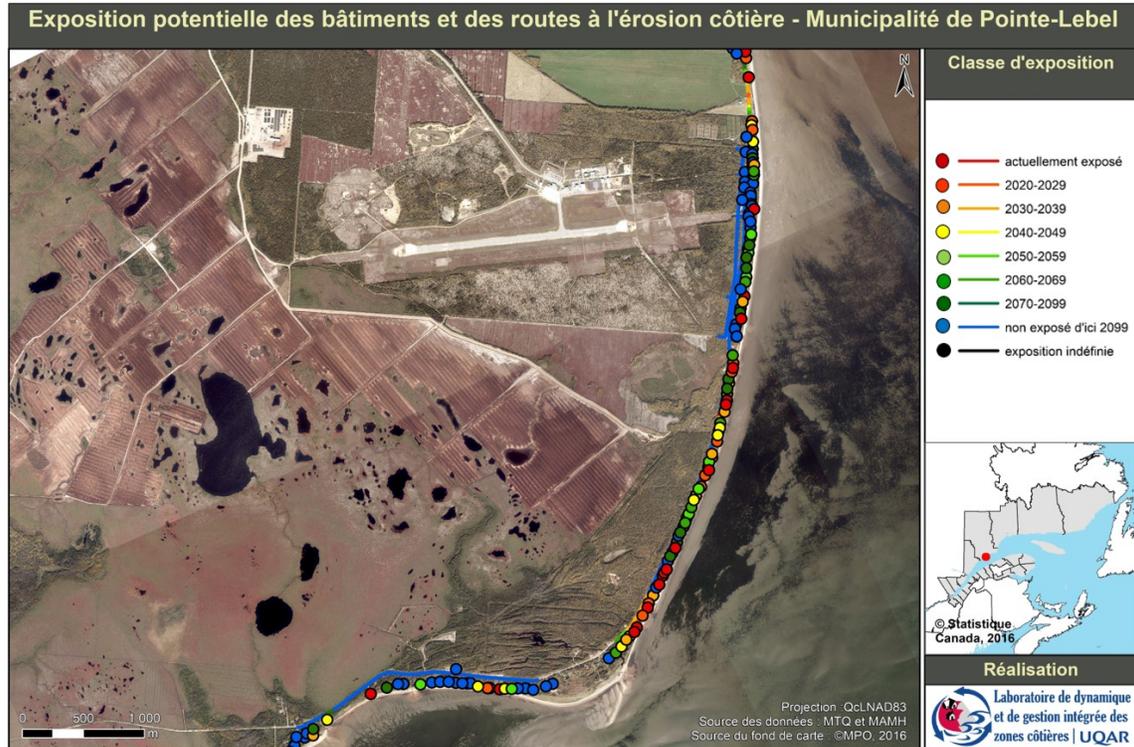


Figure 22. Exemple de carte d'exposition potentielle des infrastructures — municipalité de Pointe-Lebel (Manicouagan).

Consultez les résultats de ce chantier

- Rapport méthodologique
- Capsule vidéo
- Métadonnées



ldgizc.uqar.ca/Web/projets/projet-resilience-cotiere

CHANTIER N° 6. Indice de vulnérabilité de la zone côtière à l'érosion

Rédaction : Susan Drejza

Contribution : Guillaume Marie, Clara Pelletier-Boily Christian Fraser et Pascal Bernatchez.

Introduction

Dans le cadre du projet Résilience côtière, nous avons souhaité mettre au point une méthodologie originale d'analyse de la vulnérabilité à l'érosion des territoires côtiers, par le biais d'un indice, adaptée aux données disponibles, aux besoins des acteurs de terrain et reproductible partout dans l'Est-du-Québec. Cela permet aussi de valoriser les données d'exposition et d'évolution côtière à notre disposition. L'objectif était à la fois de développer une méthodologie originale, adaptée aux données disponibles et aux réalités du Québec maritime et intégrant des paramètres de divers ordres (exposition à l'érosion côtière, diversité des enjeux exposés, capacités d'adaptation), et de fournir un indice relativement simple à mettre en œuvre et pouvant servir d'outil d'aide à la décision pour les acteurs partenaires en distinguant des secteurs plus ou moins vulnérables à l'érosion côtière et prioriser éventuellement les sites d'implantation de solutions d'adaptation.

*La vulnérabilité peut être définie de nombreuses manières, parfois divergentes, selon les chercheurs et les champs de recherche ^(1,61,58). Dans le cadre de notre étude, la **vulnérabilité d'un territoire** correspondra à **la propension ou prédisposition à subir un dommage ou un effet néfaste** ⁽³⁸⁾. Il est possible de la conceptualiser sa quantification telle que présentée à la*

L'indice de vulnérabilité est utile pour :

- Comprendre le territoire en profondeur
- Comparer des sites avec plusieurs paramètres
- Effectuer une priorisation pour les interventions

figure 23.



Figure 23. Schéma conceptuel de la quantification de la vulnérabilité

Ce chantier a également pu compter sur le travail réalisé par l'étudiante à la maîtrise en géographie Clara Pelletier-Boily (voir section sur les projets académiques).

Méthodologie développée

Suite à une revue de littérature scientifique des nombreux travaux menés actuellement sur les indices de vulnérabilité aux aléas naturels, notamment en domaine côtier, la méthodologie a été déterminée.

Les niveaux de vulnérabilité sont définis en considérant les enjeux exposés à l'érosion côtière à deux échéances temporelles :

- **Vulnérabilité actuelle à l'érosion**, soit en 2020
- **Vulnérabilité à moyen terme à l'érosion**, soit en 2070 (50 ans environ)

L'unité de base choisie pour l'indice de vulnérabilité de la zone côtière à l'érosion est un **secteur de côte** de 500 m de largeur. L'étendue vers les terres dépend elle de l'exposition à l'érosion côtière, déterminée selon le scénario d'adaptation jugé le plus pertinent. Pour le calcul de l'indice, on considèrera tous les enjeux qui se situent dans ces polygones, car ces éléments correspondent à tout ce qui pourrait être potentiellement affecté par l'érosion (figure 24).

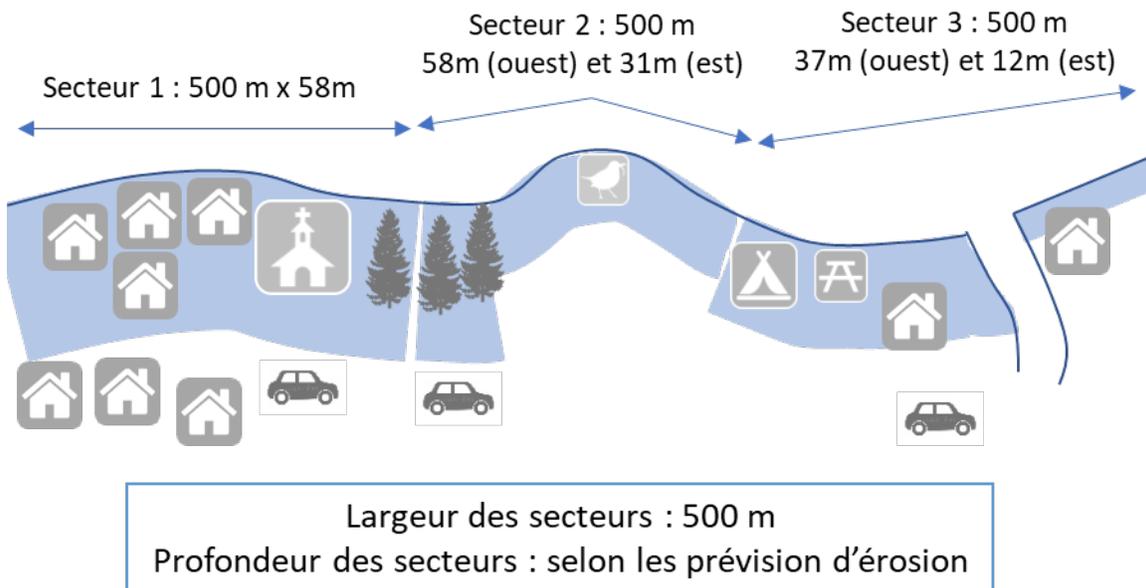


Figure 24. Schéma méthodologique de division de la zone exposée à l'érosion en secteurs de 500 m

Pour ce qui concerne les **enjeux** présents dans les secteurs exposés à l'érosion, 12 paramètres ont été retenus. Ils touchent aux enjeux humains, socio-économiques et environnementaux. Chacun s'est vu attribuer un score entre 1 (n'augmente pas la vulnérabilité) et 5 (augmente beaucoup la vulnérabilité). De plus, une sélection de 10 paramètres (9 pour la MRC du Golfe-du-Saint-Laurent) relevant du **niveau d'adaptation** ont été retenus. Ils touchent aux aménagements du territoire,

aux solutions d'adaptation, aux communications, à la sensibilisation, à la gestion de crise, à la gouvernance et à la capacité à faire face de la société.

Avec 22 paramètres (tableau 4), cela permet de faire le tour de tous les éléments importants en termes d'enjeux exposés à l'érosion, mais aussi de niveau d'adaptation de la communauté. Cependant, le nombre tout de même limité de critères permettra une mise à jour si l'environnement physique ou l'occupation humaine évolue.

Tableau 4. Paramètres étudiés pour l'indice de vulnérabilité de la zone côtière à l'érosion

N° du paramètre	Catégorie	Nom du paramètre
E1	Enjeux humains	Nombre d'habitants exposés
E2		Proportion de la population vulnérable
E3		Niveau d'instruction de la population
E4	Enjeux socio-économiques	Bâtiments abritant des personnes sensibles
E5		Usages sociaux et récréotouristiques
E6		Enjeux patrimoniaux
E7		Enjeux économiques
E8		Réseaux d'infrastructures
E9		Niveau d'impact de la rupture du service routier
E10		Enjeux stratégiques
E11	Enjeux	Risques pour l'environnement causés par les activités humaines
E12	environnementaux	Enjeux écosystémiques menacés par l'érosion côtière
A1	Aménagement du territoire	Niveau de zonage des risques d'érosion côtière
A2		Niveau de réglementation liée aux risques naturels
A3	Solutions d'adaptation	Mesures de protection structurelles
A4		Mesures de protection alternatives
A5		Existence de relocalisations
A6	Communication Sensibilisation	Accès à l'information concernant les risques côtiers
A7	Gestion de crise	Niveau de préparation à une crise éventuelle
A8	Gouvernance	Démarche locale de gestion des risques ou de la zone côtière
A9	Capacité à faire face de la société	Importance accordée aux mesures d'adaptation les plus durables (Connaissances des mesures d'adaptation les plus durables pour la MRC de GSL)
A10		Connaissances de l'érosion côtière (non disponible pour GSL)

De plus, afin de refléter au mieux quels sont les éléments qui, selon les acteurs du territoire, permettent d'indiquer si un secteur de côte est vulnérable ou non à l'érosion côtière et à quel point il est vulnérable, il leur a été demandé de quantifier l'importance qu'ils accordent aux

paramètres. Ainsi l'équipe scientifique a pu, par la suite, pondérer les paramètres pour en tenir compte. Il s'agit d'un élément peu présent dans les indices de la littérature.

Une matrice (figure 25) permet à la fin du processus de déterminer le niveau de vulnérabilité de chaque secteur étudié.

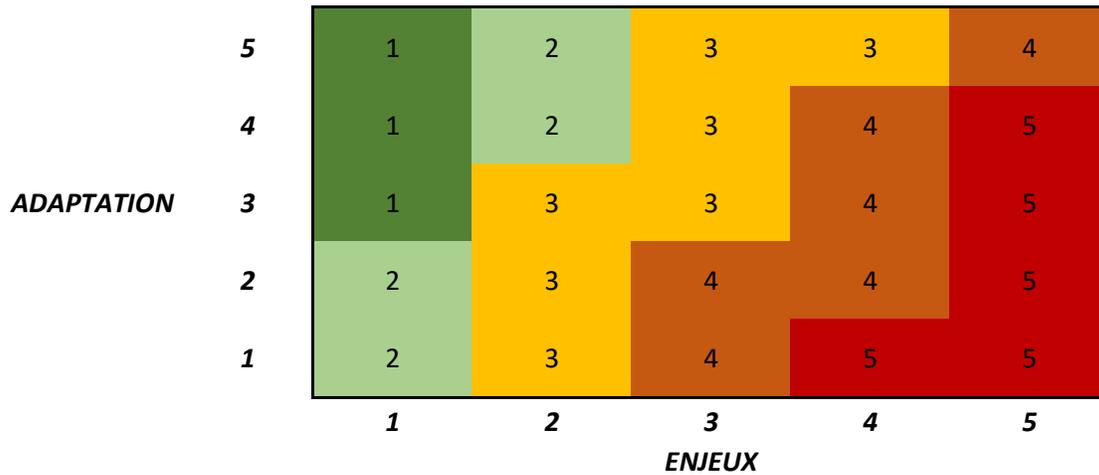


Figure 25. Matrice du niveau de vulnérabilité en fonction des niveaux d'Enjeux exposés et d'Adaptation

Application à 8 sites témoins

La méthode a été mise au point pour être applicable partout dans l'est du Québec. Elle a, pour le moment, été appliquée sur 8 sites témoins qui se trouvent dans 5 MRC (figure 26) et ont une longueur totale de 171 km soit :

- 5,4 km de Notre-Dame-des-Neiges à Trois-Pistoles, dans la MRC des Basques,
- 28,7 km de Baie-des-Sables à Matane, dans La Matanie,
- 43,1 km de Saint-Maxime-du-Mont-Louis à Rivière Madeleine, en Haute-Gaspésie,
- 23,8 km à Havre-Saint-Pierre, en Minganie,
- 13,1 km pour Kegaska, dans la MRC du Golfe-du-Saint-Laurent (Basse-Côte-Nord),
- 26,6 km pour La Romaine et Unamen-Shipu, dans la MRC du Golfe-du-Saint-Laurent (Basse-Côte-Nord),
- 9,0 km pour Chevery, dans la MRC du Golfe-du-Saint-Laurent (Basse-Côte-Nord),
- 21,3 km pour Blanc-Sablon, dans la MRC du Golfe-du-Saint-Laurent (Basse-Côte-Nord).



Figure 26. Carte des sites témoins de l'indice de vulnérabilité de la zone côtière à l'érosion

Résultats (exemple d'Unamen-Shipu/La Romaine)

Pour la communauté d'Unamen-Shipu/La Romaine, la cartographie de l'indice de vulnérabilité de la zone côtière à l'érosion permet de déterminer que la partie ouest est la plus vulnérable, car plusieurs types d'enjeux s'y retrouvent (figure 27).

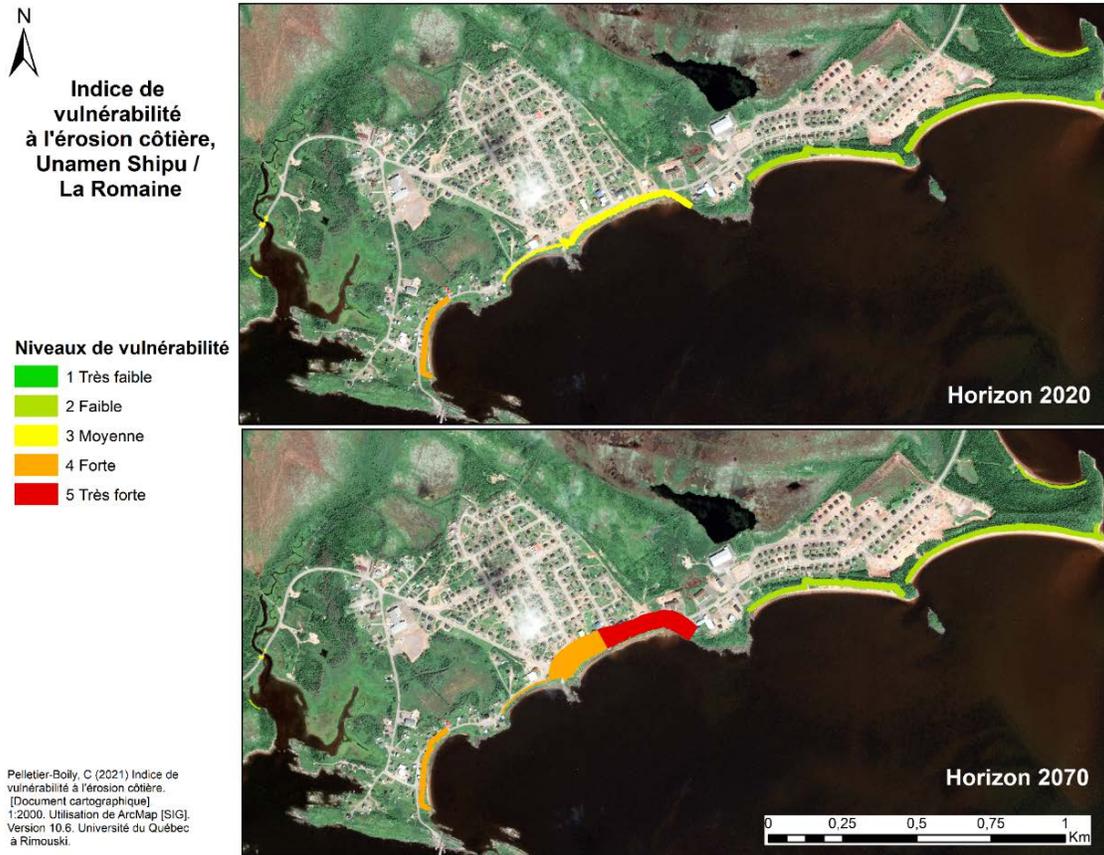


Figure 27. Indice de vulnérabilité de la zone côtière à l'érosion, Unamen-Shipu/ La Romaine

Le segment le plus vulnérable est le segment ROM_10 qui abrite une diversité d'activités économiques et récréotouristiques, des enjeux stratégiques dont la station de pompage et l'aqueduc ainsi que la radio communautaire qui permet les communications en période d'urgence (E10) (figure 28 et figure 29). Ce site présente une vulnérabilité très forte (score de 5). Cette vulnérabilité identifiée grâce à l'indice représente la réalité puisque à l'automne 2020, le conseil d'Unamen-Shipu a fait construire un enrochement devant une partie des segments ROM_009 et ROM_010. Cette réaction des décideurs de la communauté démontre que l'indice développé dans cette étude mesurait bien la vulnérabilité de ces secteurs.

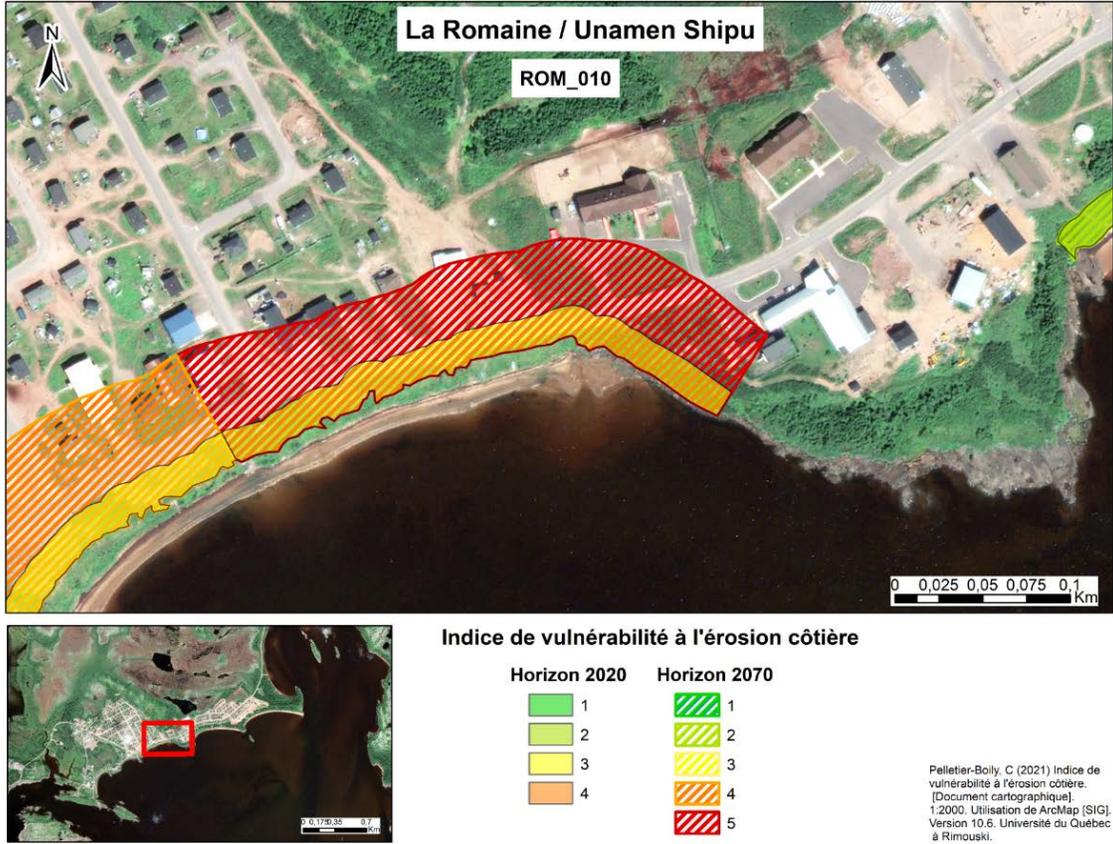


Figure 28. Indice de vulnérabilité à l'érosion côtière, segment ROM-010



Figure 29. Photo oblique du segment ROM-010 (LDGIZC, 2019)

Conclusion

Ainsi, le chantier d'élaboration de l'**indice de vulnérabilité de la zone côtière à l'érosion** offre aux municipalités, MRC et ministères concernés un outil concret d'aide à la décision en vue d'une adaptation optimale à l'érosion. L'élaboration d'une méthodologie adaptée spécifiquement aux réalités de l'Est-du-Québec permet de cibler les secteurs ayant la plus grande vulnérabilité actuellement et d'ici 50 ans. De plus les bases de données complètes permettent de savoir quel est le ou les paramètre(s) qui contribuent à l'augmentation ou la diminution de la vulnérabilité et ainsi de trouver des pistes d'adaptation à mettre en œuvre. Suite à ce chantier, il est maintenant possible d'appliquer l'indice de vulnérabilité de la zone côtière à l'érosion à d'**autres sites**.

Consultez les résultats de ce chantier

- Rapport complet
- Capsule vidéo



ldgizc.uqar.ca/Web/projets/projet-resilience-cotiere

CHANTIER N° 7. Distance de migration potentielle des écosystèmes côtiers

Rédaction : Susan Drejza

Contribution : Maude Corriveau, Mélodie Côté, Alexandra Thérout, Marc-André Richer-Henry, Christian Fraser, Pascal Bernatchez et Guillaume Marie.

Introduction

Les écosystèmes côtiers du Québec maritime sont majoritairement naturels. Cependant, une occupation humaine est présente, à différents degrés, dans toutes les régions. Même si les structures humaines sont le plus souvent situées à l'extérieur des écosystèmes en tant que tels, leur présence à proximité peut avoir un impact en ce qui a trait à mobilité actuelle et future des environnements côtiers naturels. Sous l'effet de la hausse du niveau marin, et en fonction des conditions locales, certains écosystèmes côtiers vont :

- Prograder vers la mer (ex. grâce à des apports sédimentaires pouvant être issus de l'érosion ailleurs le long de la côte) ;
- Se maintenir et demeurer au même emplacement (ex. accrétion verticale d'un marais) ;
- Disparaître (ex. érosion et ennoisement d'une plage) ;
- Migrer vers les terres.

La migration des écosystèmes côtiers vers les terres est la réponse potentielle qui nous intéresse tout particulièrement dans le cadre de ce chantier. Celle-ci est possible dans la mesure où aucune contrainte ne la limite. Si une contrainte est présente en arrière côte, qu'elle soit naturelle ou anthropique, alors l'écosystème ne pourra pas migrer et se retrouvera coincé. C'est le phénomène que l'on appelle coincement côtier (*coastal squeeze*). C'est pourquoi nous avons calculé la distance entre les limites des écosystèmes et les contraintes. Il s'agit de la « **distance de migration potentielle** » des écosystèmes côtiers (DMP). Cette mesure a pour objectif de dresser un portrait de la situation et de connaître les endroits où elle devrait être considérée.

La cartographie de la distance de migration potentielle est utile pour :

- Dresser un portrait de la situation
- Cibler les secteurs problématiques et les causes (humaines/naturelles)
- Cibler des secteurs potentiels pour le « réalignement côtier »
- Première étape pour définir la sensibilité au coincement côtier (*coastal squeeze*)
- Première étape pour calculer l'espace de mobilité des écosystèmes

Territoire

En plus de développer une méthodologie basée sur les données produites par les chantiers de base du projet Résilience côtière, les côtes de 8 MRC ont été traitées. Cela représente 1607,0 km soit 38,4 % du territoire du Québec maritime (figure 30).

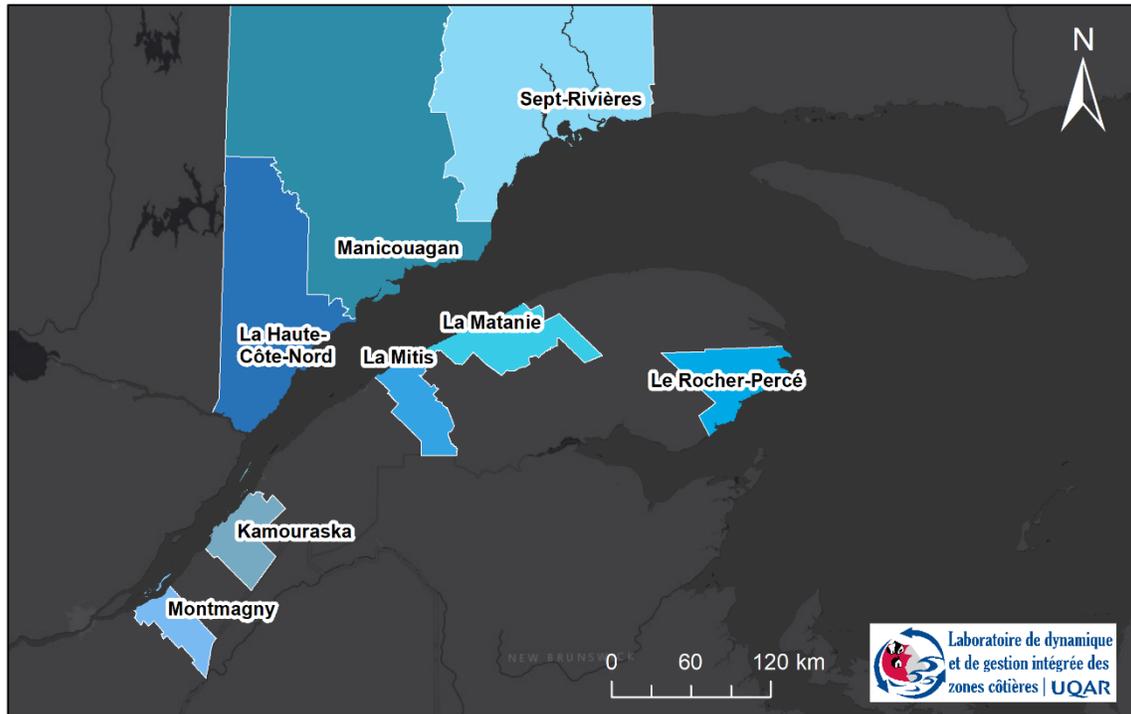


Figure 30. Localisation des 8 MRC à l'étude

Méthodologie

La distance de migration potentielle correspond à la distance entre la limite de l'écosystème et des éléments anthropiques et naturels situés sur la côte ou l'arrière-côte et considérés comme des contraintes à la migration de l'écosystème (figure 31). Les contraintes considérées pour effectuer les mesures de DMP sont celles localisées sur une distance de 150 m de la côte. La DMP est mesurée le long de transects équidistants de 25 m et est exprimé en mètres. Pour les territoires étudiés, cela représente plus de 52 000 points de mesure de DMP. Les calculs sont effectués avec les logiciels ArcGIS, MobitTC et MatLab. Bien que plusieurs données étaient existantes, elles ont dû être adaptées pour les besoins spécifiques de ce chantier et validées manuellement pour tous les territoires.

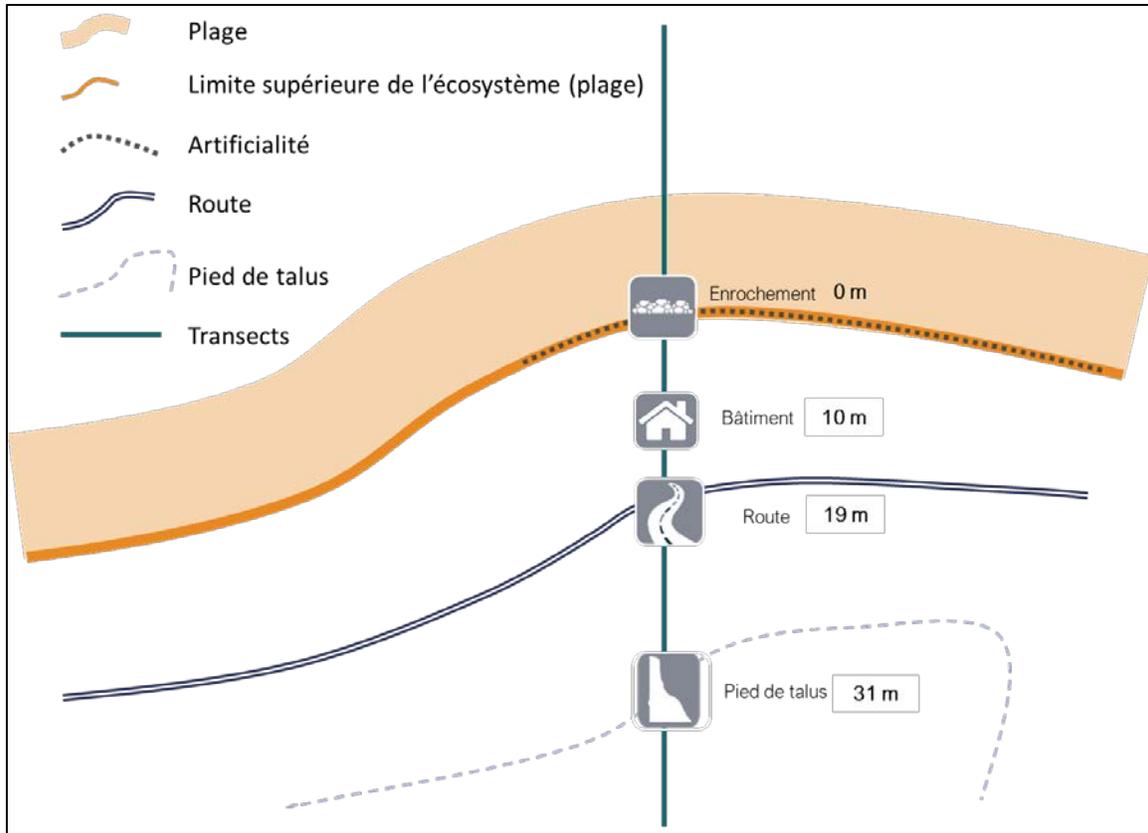


Figure 31. Schéma conceptuel des mesures de distance de migration potentielle (exemple d'une plage)

Les calculs de DMP portent sur les **d'écosystèmes côtiers** de **plages**, de **marais** et sur les écosystèmes **meubles de basses altitudes**. La limite des écosystèmes de plage correspond à la limite *supérieure* de la plage. Il en va de même pour les écosystèmes de marais où le fond du marais est utilisé. Quant aux écosystèmes meubles de basses altitudes tels que les terrasses de plage ou les flèches littorales, la limite de l'écosystème correspond à sa limite *inférieure*.

Les contraintes naturelles et anthropiques considérées pour les calculs de la DMP dans le cadre de ce chantier sont les suivantes :

Naturelles (topographiques)

- La contrainte altitudinale de 5 m
- Les pieds/bas de talus

Anthropiques

- L'artificialité à la côte
- Les routes
- Les chemins de fer
- Les bâtiments principaux des unités d'évaluation foncière

Résultats

Ce chantier permet de dresser un portrait des différentes situations à l'échelle locale et régionale dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent et d'identifier, par exemple, les secteurs libres de contraintes ou ceux sans aucun espace libre de même que de connaître le type de contraintes présent pour un territoire donné. La cartographie est disponible dans le SIGEC Web (figure 32) et un tableau de bord pour chaque écosystème permet de consulter les statistiques de votre territoire d'intérêt. Par exemple, la distance de migration est de 0 m pour plus de 50 % des plages dans 4 des 8 MRC étudiées (La Haute-Côte-Nord, La Mitis, Montmagny et le Rocher-Percé). Cependant, les raisons peuvent être différentes et parfois il s'agit de contraintes naturelles (talus, altitude) et dans d'autres MRC il s'agit plutôt d'artificialités et d'infrastructures humaines. Pour les marais maritimes, près de 74 % de ceux de la MRC du Kamouraska n'ont aucun potentiel de migration. On peut également constater qu'un peu plus de la moitié des écosystèmes meubles de basses altitudes n'ont aucune distance potentielle de migration dans les MRC de La Mitis et de Montmagny.

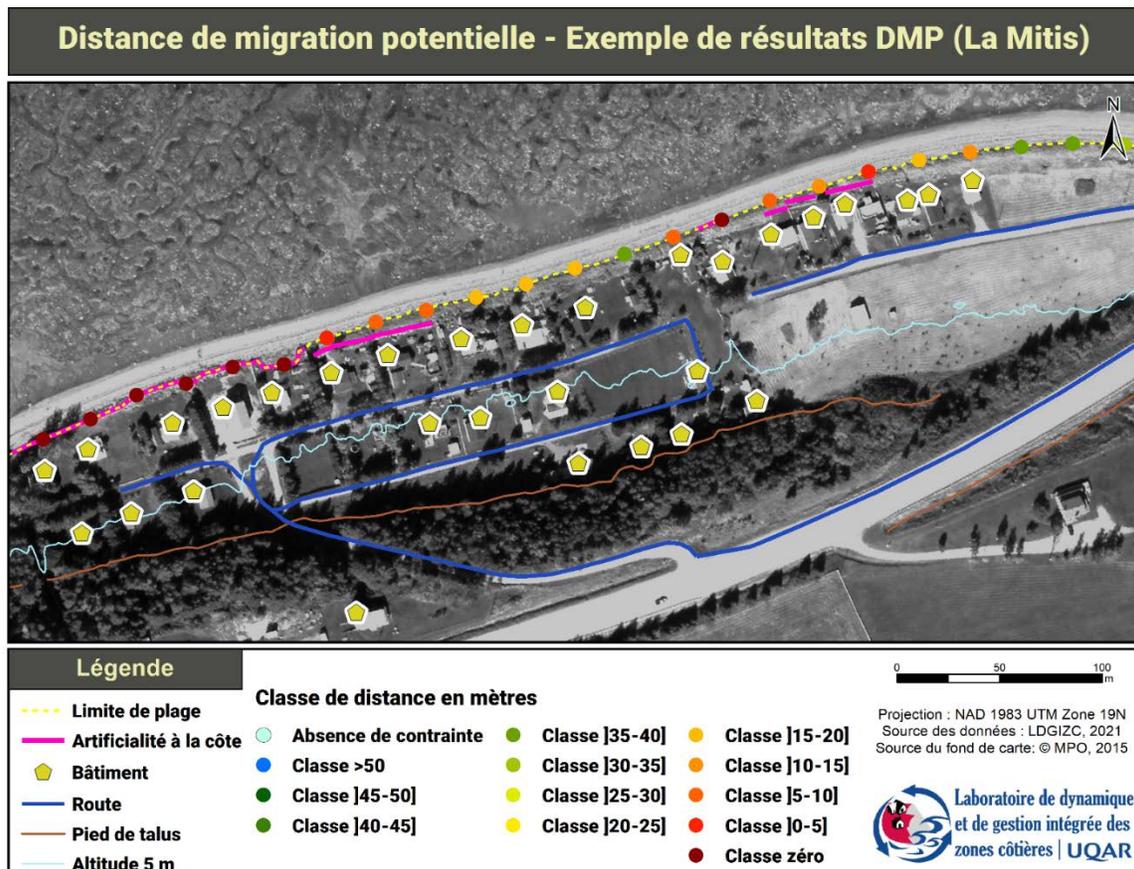


Figure 32. Exemple de résultats cartographiques, MRC La Mitis, écosystème de plage

D'ores et déjà les travaux réalisés dans le cadre de ce chantier nous permettent de cartographier les écosystèmes côtiers pour lesquels la DMP est de 0 m et qui pourraient donc s'avérer particulièrement sensibles à la hausse anticipée du niveau marin relatif. En effet, pour ceux-ci la migration vers les terres est impossible. On peut alors prévoir que les écosystèmes qui ne sont pas situés dans des zones où le bilan sédimentaire est positif (zone de progradation ou d'accrétion verticale) seront érodés et/ou submergés. Notons toutefois que lorsque la contrainte est un talus meuble (ex. sable) à 0 m, la migration vers les terres des écosystèmes n'est pas complètement impossible. En effet, dans ce telles situations, il est raisonnable d'anticiper que ce type de talus subira de l'érosion sous l'effet de la hausse du niveau de la mer et donc que les plages, par exemple, puissent migrer vers les terres à mesure que cette érosion s'effectuera. L'artificialisation future des talus pourrait par contre entraver ce processus naturel (recul du talus) en plus de réduire les apports sédimentaires pouvant soutenir les capacités d'adaptation (progradation et accrétion verticale) des écosystèmes côtiers.

Consultez les résultats de ce chantier

- Rapport méthodologique
- Capsule vidéo (écosystèmes)
- Métadonnées



ldgizc.uqar.ca/Web/projets/projet-resilience-cotiere

- Bases de données et cartographie



ldgizc.uqar.ca/Web/sigecweb

CHANTIER N° 8a. Modélisation de l'effet des tempêtes actuelles et futures sur les côtes basses meubles

Rédaction : Charles Caulet et Christian Fraser

Contribution : Susan Drejza, Pascal Bernatchez et Guillaume Marie.

Introduction

Ce chantier traite de l'impact des tempêtes hivernales sur les plages sableuses du littoral québécois. Les scientifiques et les communautés côtières ont une connaissance et un vécu des événements de tempête passés ; ils peuvent ainsi se préparer pour mesurer et vivre les impacts des tempêtes à venir. Cependant, est-ce que la prochaine tempête sera semblable à la dernière ? Pouvons-nous évaluer l'impact des événements à venir dans 10 ans, dans 50 ans ? Il n'existe aucune réponse certaine, mais des outils de modélisation permettent d'évaluer les conditions futures. En alimentant ces outils avec des données prédites, mais réalistes, il est possible d'estimer du moins qualitativement l'impact de tempêtes futures sur le littoral québécois.

Dû aux besoins en termes de données disponibles et de puissances de calculs, la modélisation ne peut pas être effectuée sur l'ensemble du Québec maritime. Ainsi 4 sites témoins ont été choisis pour appliquer la méthodologie : Sainte-Luce, Pointe-Lebel, Maria et Pointe-aux-Loups (figure 33). Les sites présentent différentes caractéristiques environnementales en termes de forçages hydrodynamiques, de morphologies et de contextes géomorphologiques. Notre étude porte ainsi sur un spectre large des typologies de plage rencontrées sur le littoral du Québec maritime.

La modélisation de l'impact des tempêtes est utile pour :

- Comprendre les effets de la hausse du niveau marin
- Sensibiliser les gestionnaires et les résidents côtiers
- Gérer des situations d'urgence actuelle et future (épaisseur d'eau + vitesse des courants)

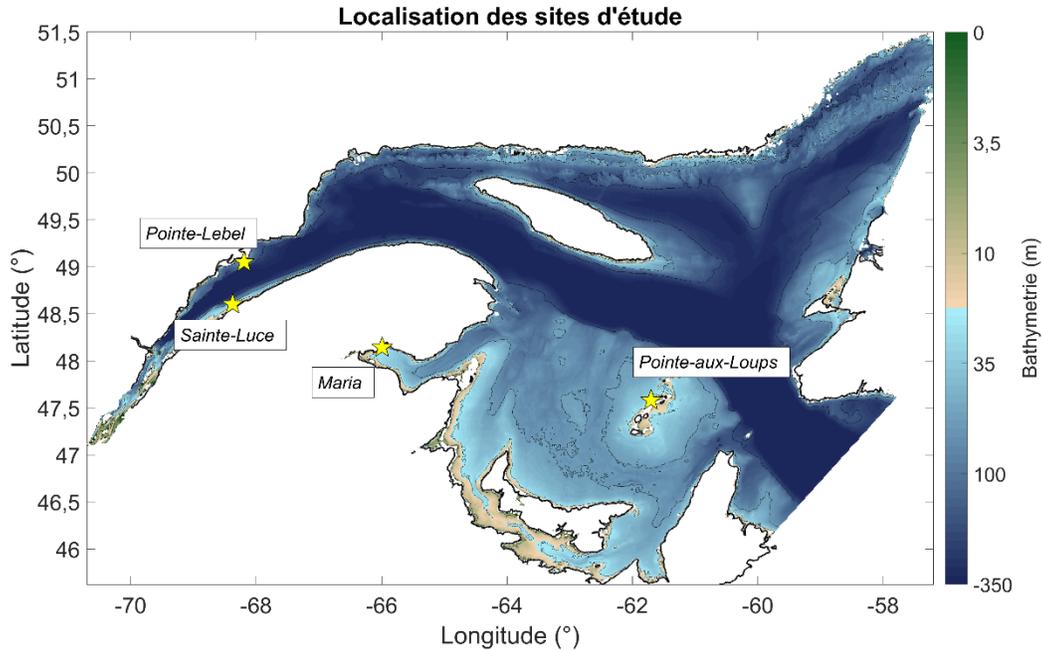


Figure 33. Répartition des sites d'études dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent

Méthodologie

Pour chacun des sites d'études, un modèle numérique XBeach a été implanté ⁽⁶⁵⁾. Celui-ci contient une calibration de plusieurs paramètres adaptés à chacun des sites. Grâce à cet outil, une simulation de la dynamique hydrosédimentaire est réalisée avec les caractéristiques d'une tempête hivernale historique. Afin de mesurer l'impact des tempêtes futures, une seconde simulation est faite en prenant en compte les mêmes conditions hydrodynamiques ainsi que la hausse du niveau marin relatif (qui est calculée pour chacun des sites). Une analyse des transferts sédimentaires ainsi que des variables hydrodynamiques est réalisée lors de ces événements.

Tempêtes historiques

Au cours du mois de décembre 2010 et 2016, plusieurs dépressions atmosphériques importantes ont été enregistrées sur le territoire du Québec (figure 34). Ces dépressions ont généré des vents violents à la côte et des surcotes du niveau d'eau importantes ⁽⁶⁴⁾. Le 6 décembre 2010, la dépression la plus importante de l'épisode hivernal est enregistrée. Les territoires du Bas-Saint-Laurent (Sainte-Luce) et de la Baie-des-Chaleurs (Maria) ont été particulièrement touchés ⁽⁶⁵⁾. L'évènement du 22 décembre 2010 a aussi été important aux Îles-de-la-Madeleine (Pointe-aux-Loups).

Conditions Météo-marines enregistrées lors des mois de décembre 2010 et novembre 2016

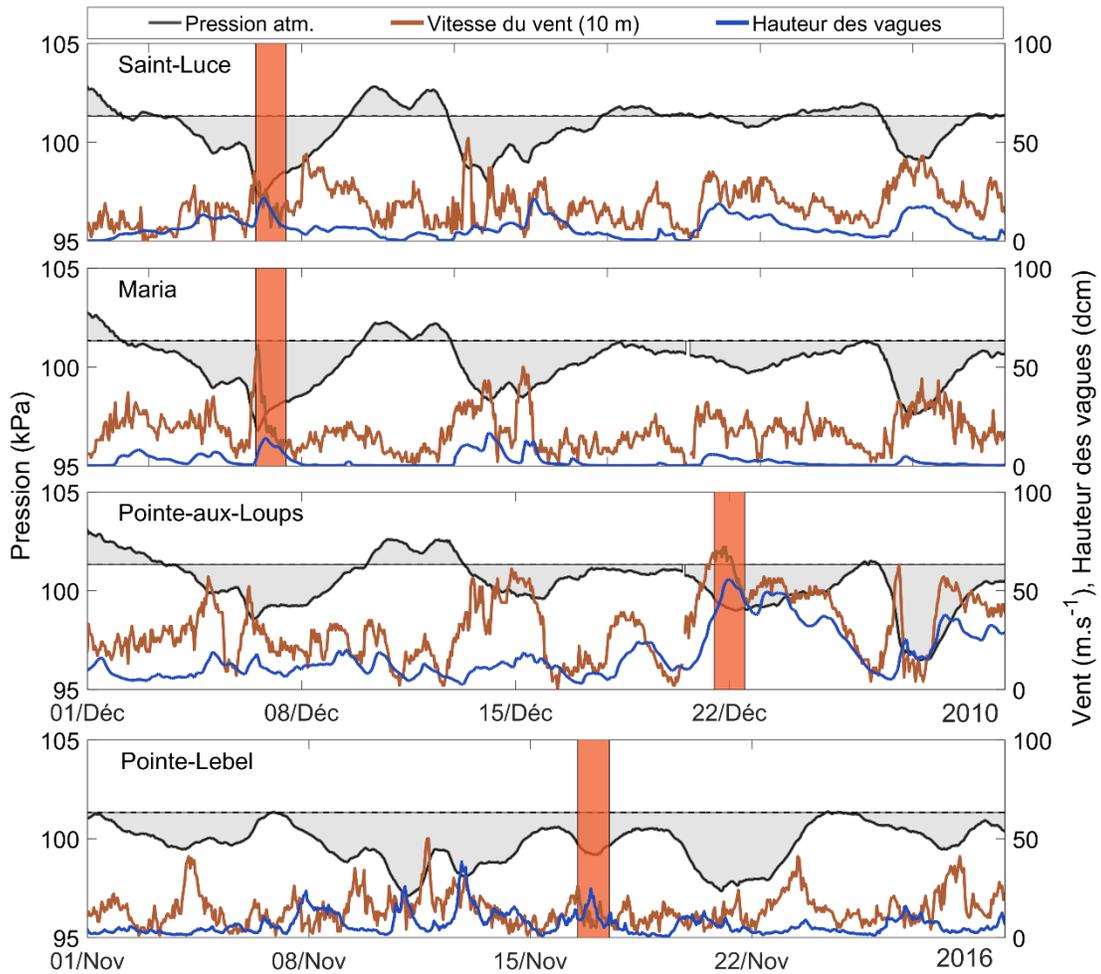


Figure 34. Conditions météo-marine enregistrées sur nos sites d'étude lors des mois de décembre 2010 et de novembre 2016

Niveau marin relatif en 2070

Sur chacun des 4 sites, la hausse du niveau marin et le déplacement isostatique de la croûte terrestre ont été évalués pour 2070 selon les données de Oppenheimer et coll. (2019)⁽⁶⁰⁾ et de Peltier et coll. (2015)⁽⁶²⁾ suivant le scénario RCP 8.5 du GIEC (GIEC, 2014). Ce scénario est le plus pessimiste envisagé par le GIEC, mais semble devenir de plus en plus probable⁽⁶⁷⁾. Ces variations du niveau marin relatif pour 2070 ont été ajoutées au niveau d'eau enregistré lors des événements de tempête en 2010 et 2016. Ces conditions ont été ensuite utilisées pour alimenter le modèle XBeach afin de reproduire l'impact d'une tempête hypothétique, mais réaliste pouvant avoir lieu en 2070.

Résultats

Notre étude montre que l'impact de la tempête historique considérée varie selon les sites. Une submersion marine est observée sur le littoral de Sainte-Luce, touchant plusieurs dizaines de résidences. La nappe de submersion atteindrait par endroit la Route du Fleuve, relativement exposée car surplombant la plage. Cette submersion est accompagnée d'une érosion assez intense à certains endroits avec un recul du trait de côte de l'ordre de plusieurs mètres. Pour Pointe-Lebel, la modélisation de l'évènement du 16 novembre 2016 montre un impact modéré de la tempête avec une érosion du trait de côte pouvant être importante (quelques mètres de recul) accompagnée de franchissement par les vagues. Les résidences présentes sur le littoral ne sont pas directement affectées, mais les parcelles exposées ont subi une légère inondation ainsi qu'un recul du trait de côte. Ces observations sont en accord avec des observations vidéo réalisées lors de l'évènement. Sur le site de Maria, l'effet de la tempête sur la municipalité est majeur (figure 35). Une grande partie de la zone modélisée est submergée, occasionnant un isolement de certains secteurs résidentiels ainsi qu'une coupure de plusieurs voies de communication routières. Des courants importants dans les zones submergées suggèrent que celles-ci peuvent s'avérer dangereuses pour les populations et les services de secours.

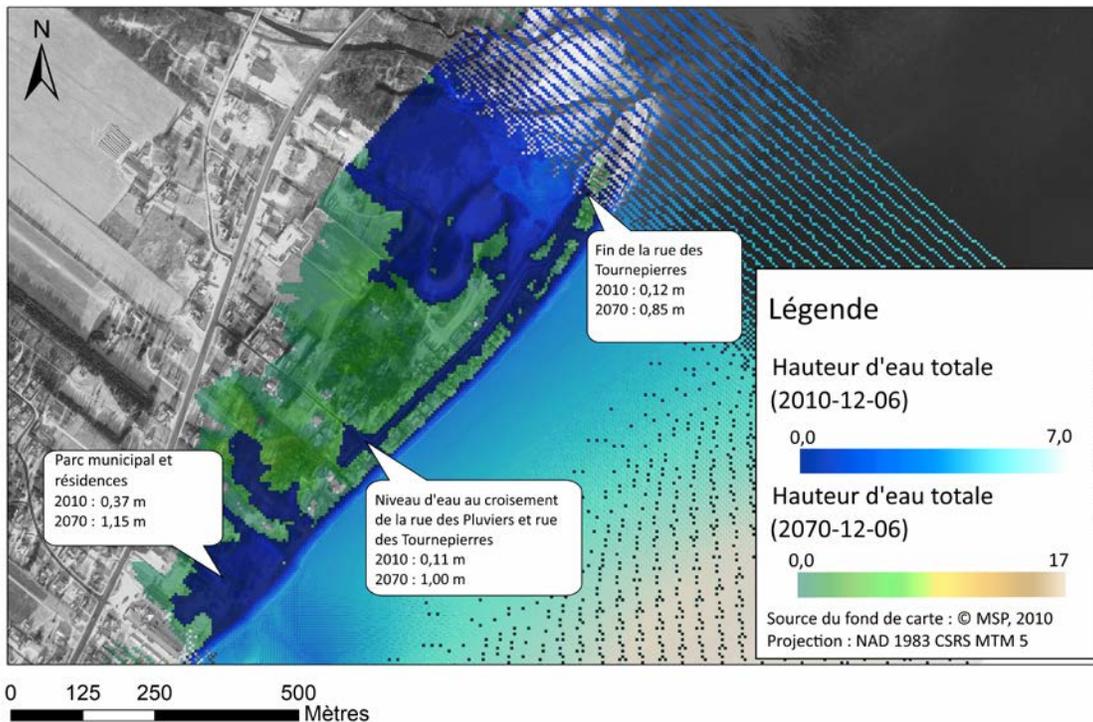


Figure 35. Nappes de submersion modélisées pour le secteur de Maria, lors du pic de la tempête du 6 décembre 2010 et de celle du 6 décembre 2070 (20 h 00 UTC). Les deux nappes sont superposées avec une échelle de couleur différente.

Pour le site de Pointe-aux-Loups, de nombreux franchissements du cordon dunaire sont enregistrés. Ils occasionnent des inondations plus ou moins importantes sur l'arrière-plage. Ces franchissements sont accompagnés de courants importants et pourraient compromettre l'utilisation de la Route 199, surplombant la plage.

Ces observations restent valables pour chacun des sites étudiés lors de la tempête hypothétique (2070 ou 2076), mais à une échelle supérieure. En effet, pour Maria et Sainte-Luce notamment la submersion marine est bien plus importante. Pour la municipalité de Maria, pratiquement l'ensemble de la bande terrestre contenue dans la grille du modèle se retrouve submergée. Cela représente une centaine d'infrastructures, résidences privées et commerciales. Dans le cas où une telle submersion adviendrait, la sécurité de la population résidente dans l'ensemble de la zone étudiée serait compromise. À Sainte-Luce, l'ensemble de la bande littorale entre la mer et la Route du Fleuve est exposée au risque de submersion avec une quantité d'eau importante (plus de 1 m d'eau au niveau des façades nord des bâtiments faisant face à la mer). La Route du Fleuve deviendrait probablement impraticable, l'eau atteignant 0,80 m à plusieurs endroits. Les courants et les vagues modélisés au niveau de la bande littorale exposée atteignent des valeurs dangereuses (plus de 1,5 m/s pour les courants et 1 m de vague).

Conclusion

La modélisation des tempêtes historiques et futures peut offrir un outil très pertinent pour mieux envisager les impacts sur la côte et particulièrement sur les zones urbanisées. La planification de l'aménagement du territoire devrait considérer ces résultats afin d'éviter de concentrer l'urbanisation dans les zones potentiellement à risque de subir des impacts.

Consultez les résultats de ce chantier

- Rapport complet
- Capsule vidéo



ldgizc.uqar.ca/Web/projets/projet-resilience-cotiere

CHANTIER N° 8b. Modélisation de l'effet de la hausse du niveau de la mer sur les marais maritimes

Rédaction : François Savoie-Ferron

Contribution : Maryne Drouet, Susan Drejza, Christian Fraser, Pascal Bernatchez et Guillaume Marie.

Introduction

La hausse du niveau marin a des conséquences majeures sur l'ensemble des écosystèmes côtiers. Offrant une grande variété de services écologiques et géomorphologiques, les marais maritimes sont d'importants habitats pour plusieurs espèces évoluant en zone côtière ⁽⁴⁾. De plus, ils jouent un rôle de zone tampon face aux risques de submersion et d'érosion côtière ^(71,74). Un rôle d'autant plus important dans un contexte d'accélération de hausse du niveau marin. Les marais salés possèdent la capacité de s'adapter à la hausse du niveau marin en migrant vers les terres et en se développant verticalement ⁽¹¹⁾. La capacité d'adaptation des marais est principalement régie en fonction du taux de hausse de niveau marin relatif, de l'espace de liberté disponible vers les terres, de l'apport sédimentaire disponible et de sa production de matière organique.

Avec comme objectif de favoriser une meilleure conservation de ces écosystèmes en soulignant les différentes réponses des marais à la hausse du niveau marin au Québec maritime, 8 marais ont été modélisés (figure 36) à partir du logiciel SLAMM (*Sea Level Affecting Marshes Model*) et selon les niveaux d'eau prédis par le scénario RCP 8.5 du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC). Ce logiciel (warrenpinnacle.com/prof/SLAMM) permet de modéliser l'évolution des marais en réponse à la hausse du niveau marin en simulant plusieurs processus primaires, dont les phénomènes d'inondation, d'accrétion, d'érosion, de saturation du sol et de salinité. Le choix des marais a été déterminé par la disponibilité des taux d'accrétion mesurés in situ. Les marais choisis ont par conséquent fait l'objet d'études antérieures ou de campagnes de carottage effectuées par le LDGIZC.

La modélisation des marais est utile pour :

- connaître l'évolution future possible des marais
- cibler les types de marais sensibles à la hausse du niveau de la mer
- cibler des pistes de conservation
- évaluer l'espace de mobilité des marais

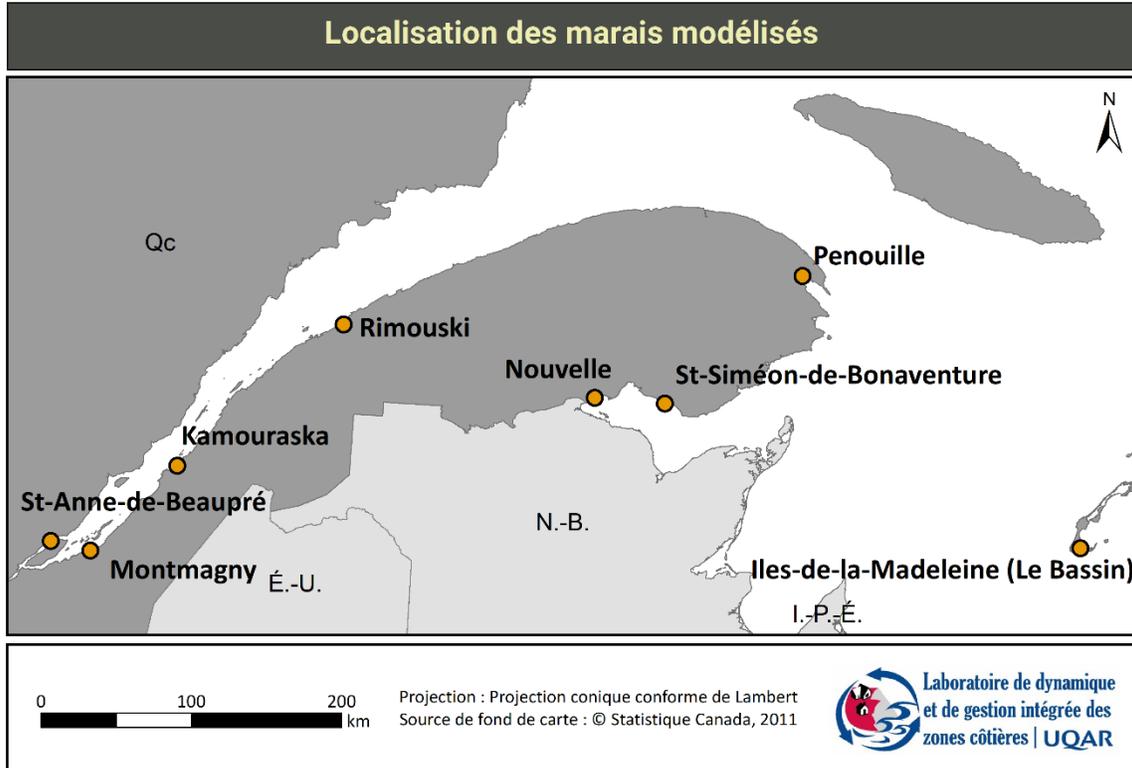


Figure 36. Localisation des marais modélisés

Résultats

La réponse des marais salés à la hausse du niveau marin peut être étudiée sous deux angles : les variations de sa surface totale et les variations du type de couvert végétal le composant (figure 37 et figure 38). Dans ce cas, la proportion du schorre supérieur qui contient une grande diversité végétale en comparaison au schorre inférieur qui est généralement mono-espèce au Québec.

Les résultats des modélisations nous indiquent une certaine tendance est-ouest dans la variation des surfaces totale des marais salés. Au sud-est de la zone d'étude, les marais des Îles-de-la-Madeleine, de Nouvelle et de Saint-Siméon connaîtraient un gain de leurs surfaces (figure 37). Au centre de la zone d'étude, les marais de Penouille, Rimouski et Kamouraska subiraient une perte de leurs surfaces (figure 37 et figure 38). Quant à eux, les marais de Montmagny et Sainte-Anne-de-Beaupré situées à l'ouest de la zone d'étude demeureraient relativement stables dans leurs surfaces (figure 38).

La variation des surfaces occupées par le schorre supérieur est plus hétérogène. Les marais des Îles-de-la-Madeleine, de Penouille et de Rimouski connaissent des gains de schorre supérieur plus importants en comparaison aux marais de Saint-Siméon et Kamouraska qui connaissent les pertes les plus importantes. À Saint-Siméon, le schorre supérieur subirait une diminution potentielle de 67 % en 2100 selon le scénario supérieur (figure 39).

Ces variations sont principalement expliquées par le phénomène de coincement côtier apparent dans chaque marais où la perte de schorre supérieure est importante. En effet, la migration des marais de Saint-Siméon et de Kamouraska est limitée par la présence de routes, de remblais et d'aboiteaux. À l'inverse, les marais des Îles-de-la-Madeleine, de Penouille et de Rimouski possèdent la capacité de migrer vers les terres sans contrainte physique.

Dans tous les cas, plus la hausse du niveau de la mer est importante comme simulé par les valeurs supérieures du scénario RCP 8.5, plus la réponse des marais sont importantes en comparaison avec les niveaux d'eau simulés par les valeurs médianes.

Conclusion

Au Québec maritime, les variations de la surface et de la composition des marais sont principalement expliquées par trois facteurs : les variations du niveau marin relatif entraîné par la variation verticale de la croûte terrestre (hausse accélérée aux IDLM et dans la Baie-des-Chaleurs et une hausse ralentie dans l'Estuaire moyen) ; l'espace de liberté disponible pouvant accommoder, ou non, la migration des marais vers les terres (très limité à Saint-Siméon et Kamouraska et très vaste aux Îles-de-la-Madeleine) ; le taux d'accumulation venant accroître l'élévation du marais (très importants à Nouvelle et dans l'Estuaire moyen). On remarque finalement que plus la hausse du niveau marin est grande, représentée ici par les valeurs supérieures du scénario RCP 8.5, plus la transformation des marais est marquée.

La réponse des marais salés à une hausse du niveau marin est donc assez hétérogène. Ces variations sont causées par des phénomènes d'ordres globaux comme la hausse eustatique du niveau marin, par des phénomènes régionaux comme les variations isostatiques de la croûte terrestre et par des phénomènes locaux comme l'accrétion verticale des marais et le phénomène de coincement côtier.

Consultez les résultats de ce chantier

- Rapport complet
- Capsule vidéo



ldgizc.uqar.ca/Web/projets/projet-resilience-cotiere

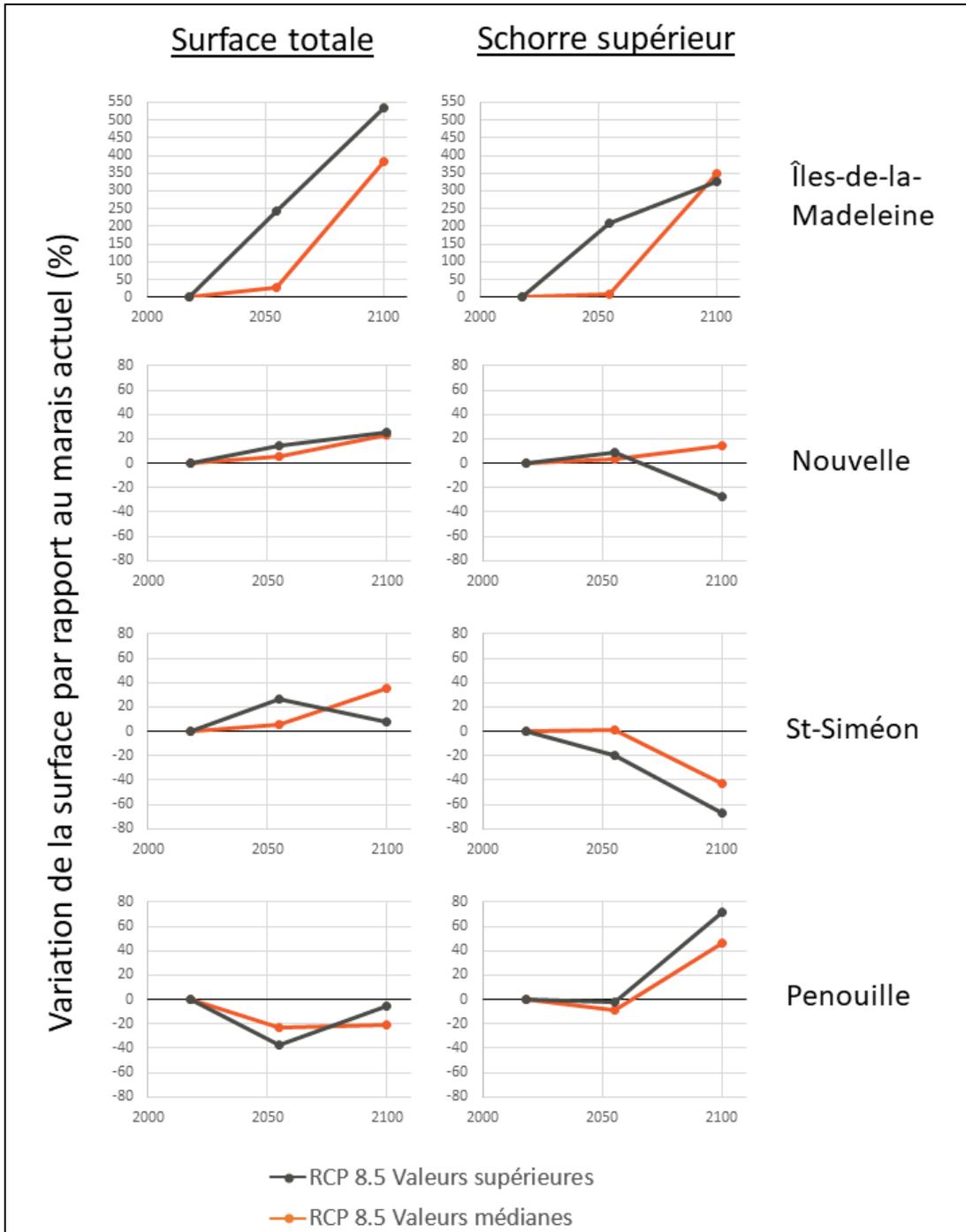


Figure 37. Variation (%) de la surface totale du marais et du schorre supérieur par rapport au marais actuel. La comparaison est effectuée en 2055 et 2100 selon les valeurs médianes et supérieures des scénarios RCP 8.5 du GIEC pour les sites des IDLM, Nouvelle

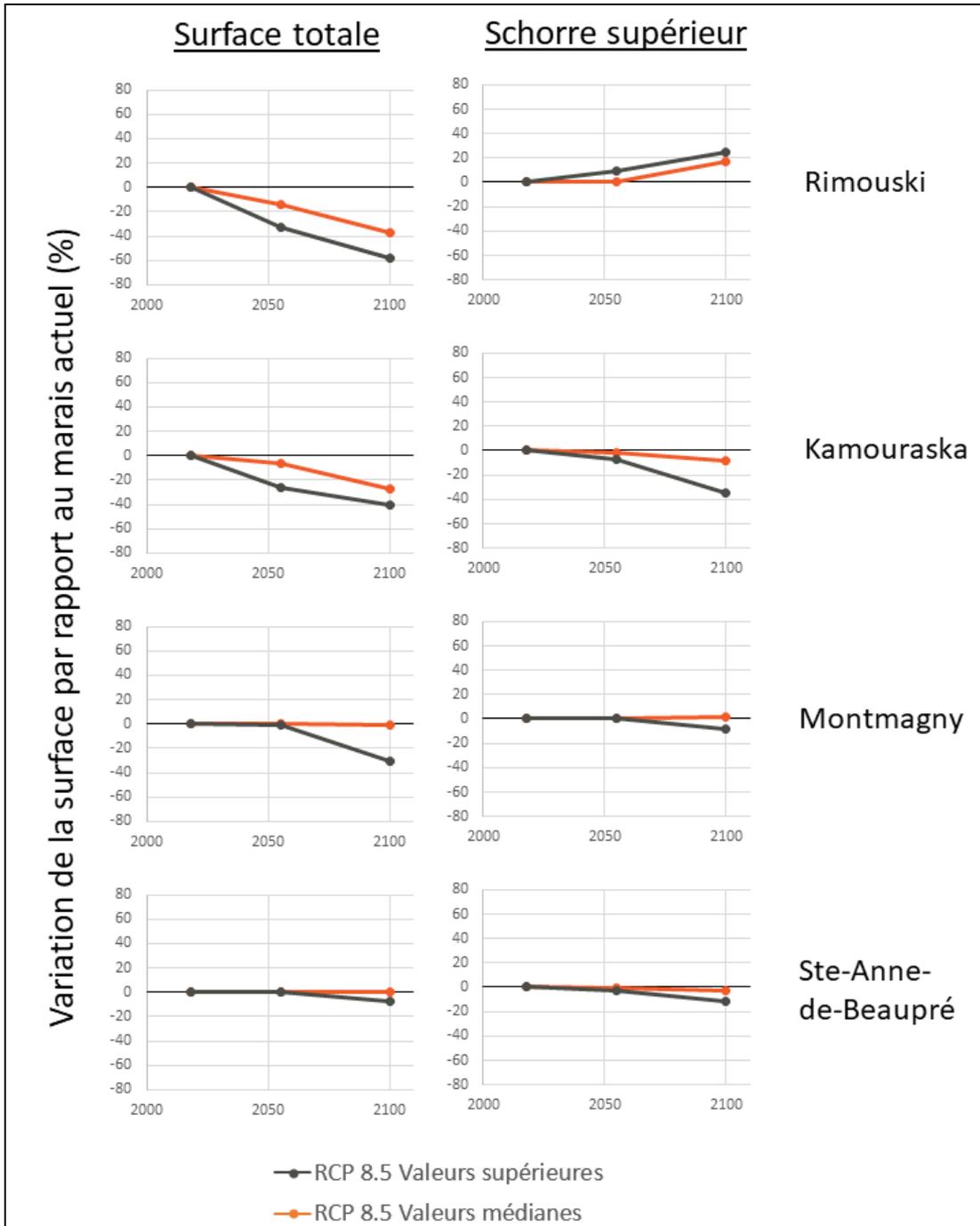


Figure 38. Variation (%) de la surface totale du marais et du schorre supérieur par rapport au marais actuel. La comparaison est effectuée en 2055 et 2100 selon les valeurs médianes et supérieures des scénarios RCP 8.5 du GIEC pour les sites des IDLM, Nouvelle

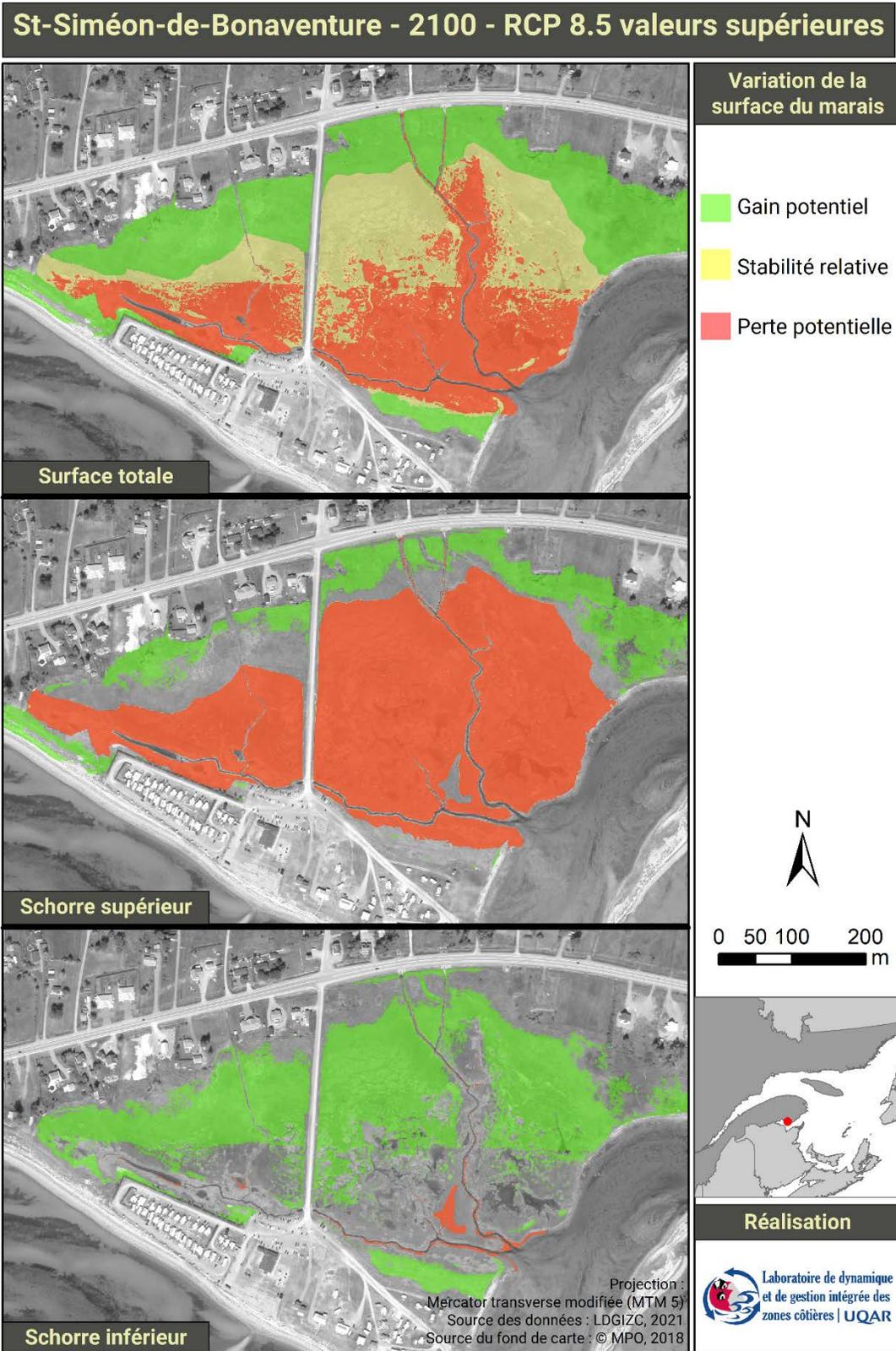


Figure 39. Représentation cartographique de l'évolution de la surface du marais de Saint-Siméon en 2100 selon les valeurs supérieures du scénario RCP 8.5 du GIEC

CHANTIER N° 9. Portraits-diagnostic de sites prioritaires et recommandations pour l'adaptation aux aléas côtiers

Rédaction : Christian Fraser

Contribution : Maud Touchette, Myriane-Houde-Poirier, François Savoie-Ferron, Charles Béland, Stéphanie Friesinger, Susan Drejza, Guillaume Marie, Pascal Bernatchez, Philippe Sauvé et Laurie Desrosiers-Leblanc.

L'objectif de ce chantier est de réaliser des portraits-diagnostic sur des sites prioritaires et à émettre des recommandations pour faciliter l'adaptation aux aléas côtiers. C'est en quelque sorte l'intégration de l'ensemble des données issues du projet Résilience côtière et aussi de toutes les connaissances acquises par le LDGIZC. En tout, 16 portraits-diagnostic ont été réalisés dans l'Est-du-Québec. Tous les sites ont été choisis en concertation par des acteurs locaux et régionaux. Chaque portrait comprend une cinquantaine de pages et présente des dizaines de cartes thématiques.

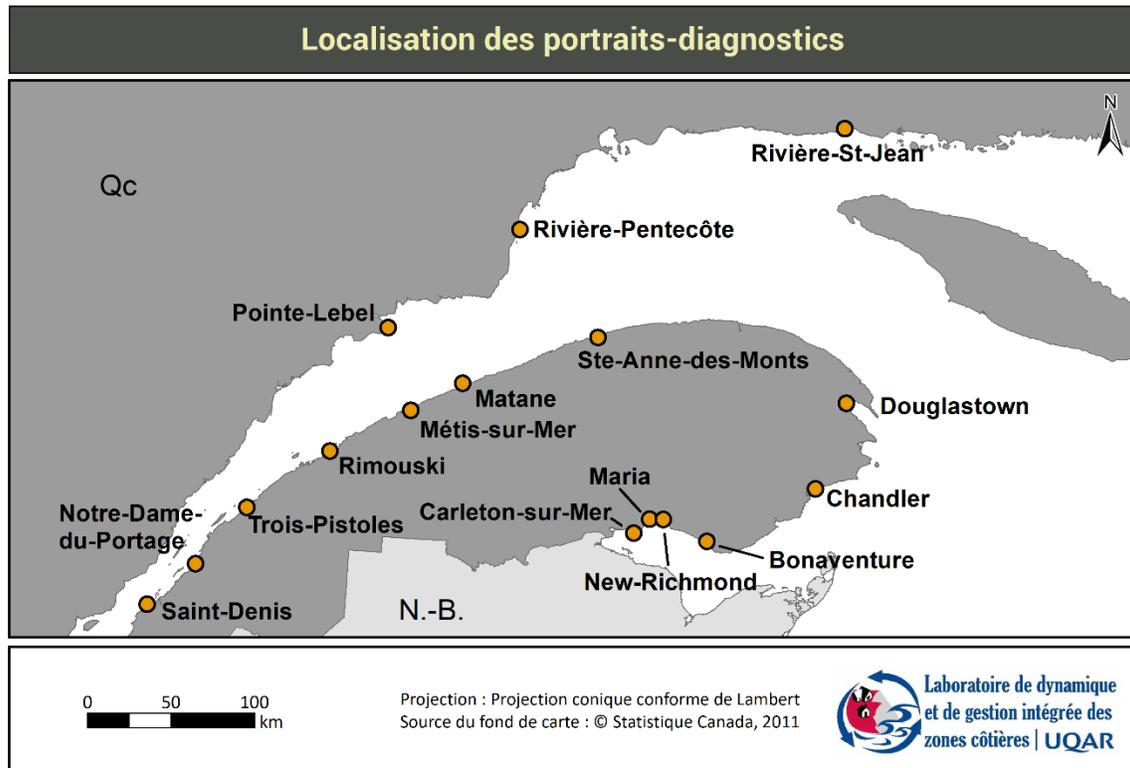


Figure 40. Localisation des portraits-diagnostic

Les portraits-diagnostic permettent de considérer tous les facteurs importants dans le choix d'une solution d'adaptation en colligeant et présentant des données sur les thèmes suivants : caractérisation des côtes, évolution des côtes, écosystèmes côtiers, usages en zone côtière, perceptions des résidents côtiers et exposition potentielle des bâtiments et des infrastructures à l'érosion côtière. Une section présente ensuite les enjeux, les études et les démarches existantes sur le territoire. Enfin, une annexe présente un résumé des principales lois relatives à la gestion des risques côtiers.

Suite à l'ensemble des constats, des recommandations ont été formulées lors de rencontres de travail qui regroupaient des experts du ministère de la Sécurité publique du Québec, du ministère des Transports du Québec, du ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques et du LDGIZC. Les recommandations sont regroupées sous 4 thématiques : 1) résidents côtiers, 2) aménagement du territoire, 3) études et 4) ouvrages et mesures de protection.

Ces recommandations ne sont pas issues d'une étude détaillée sur le territoire. L'objectif est plutôt de rassembler toutes les connaissances disponibles sur un site, de cibler les connaissances manquantes et de produire un premier diagnostic. Les recommandations ne sont donc pas définitives et permettent surtout de mieux encadrer les démarches à venir pour l'analyse de solutions.

Les portraits-diagnostic sont utiles pour :

- considérer tous les facteurs importants dans le choix d'une solution d'adaptation
- obtenir de l'aide pour la mise en œuvre de solutions
- favoriser la concertation entre les différents acteurs
- développer des outils de sensibilisation locaux

Consultez les résultats de ce chantier

- Chaque portrait-diagnostic
- Capsule vidéo



ldgizc.uqar.ca/Web/projets/projet-resilience-cotiere

CHANTIER N° 10. Outils de communication et de sensibilisation

Rédaction : Susan Drejza et Christian Fraser

Contribution : Julia Verdun, Catherine Bruyère, Catherine Paul-Hus, Sophie Banville, Pascal Bernatchez et Guillaume Marie.

Introduction

À la suite de l'analyse des résultats des ateliers 1 du projet Résilience, les besoins les plus évoqués concernaient tout ce qui a trait à la communication, sensibilisation et à l'information. De plus lorsque interrogés sur le type d'outils à produire par l'équipe du projet Résilience côtière, c'est encore là les outils de communication, sensibilisation et information qui ont été les plus demandés. Étant donné que le projet de recherche-action avait pour objectif de répondre aux besoins des acteurs régionaux, l'équipe du projet a été complétée par une personne attirée aux communications. Ceci a permis de mettre en œuvre plusieurs outils à destination de nos partenaires.

Site web du laboratoire

Tout d'abord, une refonte et une mise à jour du contenu du site web du Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières (ldgizc.uqar.ca) ont été effectuées. On y retrouve la description de tous les projets en cours et complétés, nos réseaux de suivi, toutes les publications du laboratoire ainsi qu'une section "Ressources et documentation".

Bulletin d'information

Par la suite, il a été décidé de créer le **bulletin d'information** « La zone côtière » pour expliquer et illustrer certains thèmes sur lesquels nous sommes plus fréquemment questionnés ainsi que pour informer sur les projets du LDIGIZC. Comprenant entre 14 et 20 pages, 5 bulletins ont été réalisés jusqu'à présent (figure 41).

Les outils de communication et de sensibilisation sont utiles pour :

- diffuser les travaux de recherche du LDGIZC
- sensibiliser différents publics cibles sur les problématiques côtières
- assurer le suivi de nos projets avec nos partenaires
- impliquer davantage les acteurs du milieu côtier dans la recherche



Figure 41. Bulletins « La zone côtière » publiés par le LDGIZC

Infolettre

Des infolettres ont aussi été envoyées à l’ensemble des partenaires du projet, soit plus de 1 000 personnes réparties dans les 24 MRC et dans les directions centrales des ministères. Les 4 infolettres envoyées (figure 42) ont permis d’informer sur l’avancement du projet à la fois chantier par chantier, mais aussi selon les différentes MRC. Des résumés des méthodes mises en place ont aussi été inclus pour que tous puissent bien saisir quels outils seraient disponibles pour eux. Aussi, des lettres ont été envoyées par courrier et courriel à deux reprises à l’ensemble des élu.es municipaux des 24 MRC afin de les informer de l’avancement du projet, des outils en développement et des ateliers à venir. Ces communications ont été lues en conseil des maires de chaque MRC.



Figure 42. Infolettres du Projet Résilience côtière

Catalogue des ressources

Un diagnostic a été réalisé sur les multiples outils de communication et de vulgarisation existants liés aux zones côtières, aux aléas et aux écosystèmes côtiers tant au Québec ainsi que sur les exemples inspirants d’autres territoires. En effet, il est important de ne pas dédoubler les outils déjà réalisés par d’autres équipes tout en comblant les besoins qui n’ont pas pu être répondus. Ainsi, un catalogue des ressources et des liens d’intérêts sur les processus et enjeux de l’érosion et la submersion côtière au Québec maritime a été pu être créé. Face au constat de la multitude des sources d’information sur les processus côtiers et leurs enjeux au Québec maritime, plusieurs acteurs locaux nous avaient fait part du besoin de réunir toutes ces ressources au même endroit.

Une section de notre site web rassemble ainsi les liens de documents vulgarisés disponibles en ligne pour tout public et classés selon 9 catégories (documentation d'ordre générale, solutions d'adaptation, géomorphologie et dynamique côtière, écosystèmes et habitats côtiers, gestion intégrée des zones côtières, sécurité publique et actions en cas de sinistres, santé, pour les enfants, législation et processus gouvernementaux). Cette liste, disponible [ici](#), est en constante actualisation. De plus, une revue de presse mensuelle est rendue disponible à tous.

Communications scientifiques et publiques

Il est évident qu'en tant qu'équipe universitaire, nous avons également réalisé des présentations dans des colloques et événements scientifiques afin de partager avec nos pairs à la fois la démarche de ce projet de recherche action, les résultats obtenus et certains chantiers. On compte notamment des présentations lors du Colloque sur les risques naturels (ACFAS, 2017 et 2018), à la *International Geographical Union Regional Conference* (2018), au *CoastGIS Symposium 2018* (Islande), à la Rencontre Géorisque 2019 (France), au Symposium Ouranos 2020 et à Zone côtière Canada (2021).

De plus, des membres de l'équipe ont pris part à des événements publics, des conférences publiques, des panels de discussion et sont intervenus dans des cours. Dès que possible l'équipe acceptait de participer à des reportages et émissions radio et télé tant locales que régionales et nationales ainsi que dans la presse écrite, des revues ou des sites web. Ces prises de paroles et le temps consacré à répondre aux questions faisaient partie de notre mandat et ont permis de transmettre les connaissances acquises à la fois dans ce projet, mais aussi par l'ensemble de l'équipe du LDGIZC.

Capsules vidéo

Finalement, afin de permettre au plus grand nombre d'être informés de tout ce qui a été réalisé dans le cadre du Projet Résilience côtière, 9 capsules vidéo de 4 à 7 minutes chacune ont été réalisées. Les capsules vidéo sont disponibles sur la [chaîne YouTube du LDGIZC](#) (figure 43). Elles couvrent tous les chantiers de manière brève et illustrée et incluent des rencontres avec des partenaires du projet qui utilisent nos données.

Projet Résilience côtière : rapport de synthèse

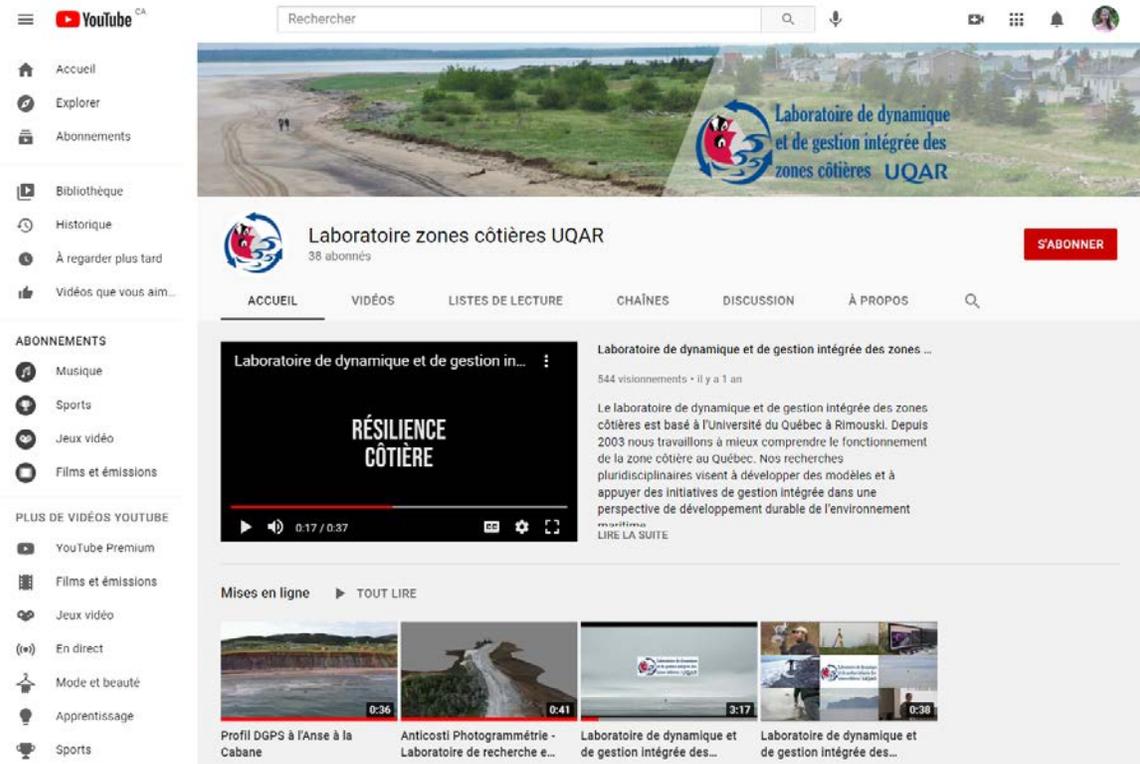


Figure 43. Capture d'écran de notre chaîne YouTube

Consultez les résultats de ce chantier

- Infolettres
- Bulletins d'information
- Bottin des ressources
- Capsules vidéo sur les chantiers



ldgizc.uqar.ca

CHANTIER N° 11. Accompagnement des acteurs de la zone côtière dans l'adaptation aux aléas côtiers

Rédaction : Christian Fraser et Susan Drejza

Contribution : Pascal Bernatchez, Guillaume Marie, Evelyne Arsenault et Stéphanie Friesinger.

Introduction

Les membres du laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières (LDGIZC) ont toujours accordé une grande importance au transfert des connaissances scientifiques directement vers les professionnels œuvrant dans les municipalités, les MRC, les organismes et les ministères ainsi que vers les élu.es et les résident.es. Certes, ces acteurs locaux, régionaux ou provinciaux ont accès à nos rapports publiés et à certaines bases de données, mais ils font souvent face à des situations où ils ont rapidement besoin d'un conseil, d'un avis ou d'information précise sur un secteur côtier. C'est ainsi que l'équipe du LDGIZC en arrive à accompagner les acteurs soit par un simple échange téléphonique ou parfois par une participation à une démarche plus engageante. Cette tendance a pris une garde ampleur avec le projet Résilience côtière qui vise à accompagner particulièrement les municipalités dans leur démarche vers l'adaptation face aux aléas côtiers. Lors des ateliers 1, l'accompagnement a été parmi les besoins priorisés les plus importants (voir chantier 1). Dans une volonté de collaboration, l'équipe du projet Résilience côtière a clairement invité les participants à contacter le LDGIZC pour faire part de leurs demandes.

Depuis 2017, plus d'une centaine de rencontres et d'activités ont été faites dans le but d'accompagner des acteurs. Bien que difficiles à circonscrire autour d'une thématique, nous avons rassemblé ces activités d'accompagnement sous un chantier, car ces tâches ont occupé beaucoup de temps pour plusieurs membres de l'équipe. Chaque participation à une rencontre nécessite du temps de préparation et de recherche et souvent le montage d'une présentation. Voici les principaux types d'accompagnement réalisés avec quelques exemples concrets.

L'accompagnement des acteurs est utile pour :

- répondre directement et rapidement aux besoins des acteurs du milieu
- les orienter sur les bonnes pistes (données disponibles et récentes)
- permettre aux chercheurs de rester connectés aux besoins, aux problématiques locales et aux initiatives sur le territoire

Participation à des rencontres de travail ou des assemblées publiques sur des enjeux locaux

Souvent en présence d'un ou plusieurs ministères, de l'administration municipale et de résidents côtiers, ces rencontres visent à partager les connaissances et à répondre aux questions concernant la dynamique côtière.

Quelques exemples :

- Participation à des assemblées publiques à Rimouski, Grande-Vallée, Sainte-Flavie et Sept-Îles ;
- Participation et présentation au conseil des maires en Haute-Gaspésie ;
- Participation et présentation à une rencontre avec un comité d'élu.es de la Minganie ;
- Rencontre de travail avec le comité ZIP des Îles-de-la-Madeleine pour la mise en place d'une priorisation des sites d'intérêt écologiques, l'intégration future de la base de données de cartographie des écosystèmes et l'élaboration du PRMHH des îles de la Madeleine ;
- Participation pour le développement d'un projet sur la modélisation, la cartographie et la gestion de la submersion avec la MRC de Rimouski-Neigette ;
- Rencontre de travail avec la municipalité de New Richmond, le ministère de la Sécurité publique du Québec et les citoyens du secteur de la rue de la Plage. Le but était de discuter de la dynamique côtière du secteur et des options d'adaptation.

Participation courante à des comités sur les enjeux côtiers

Ce type d'accompagnement est celui qui a demandé le plus de temps et d'engagement. Il s'agit de participer à des rencontres de comité mensuelles ou trimestrielles et souvent de préparer des présentations, des documents et de faire un suivi sur l'avancement du projet Résilience côtière. Ces participations nous permettent aussi de rester bien au fait de l'actualité sur les problématiques côtières et de suivre les initiatives sur le territoire.

Quelques exemples :

- Participation au groupe de travail sur l'érosion et la submersion côtière de la Table de concertation régionale Sud de l'Estuaire. Participation au plan d'action et à la section érosion et submersion du PGIR ;
- Participation au projet du CIRADD concernant la création d'un plan de gestion intégrée de la zone côtière pour les municipalités de Carleton-sur-Mer, Maria, New Richmond et Bonaventure ;
- Participation au projet Panacées (Mitis) ;
- Participation à la commission permanente sur l'érosion aux Îles-de-la-Madeleine ;
- Participation aux rencontres du Comité Érosion — Sous-comité du comité de la CAR Îles-de-la-Madeleine (présentation sur le bilan des réalisations, tenue d'un kiosque d'information à la soirée d'information publique du Comité).

Échanges ponctuels

Nous recevons régulièrement des courriels ou des appels de la part d'urbanistes, d'aménagistes, de directeurs généraux municipaux, de chargés de projets en environnement ou de fonctionnaires qui désirent obtenir une information ou simplement discuter d'un sujet relié à l'expertise du LDGIZC. Ces accompagnements dépassent rarement une demi-journée.

Quelques exemples :

- Accompagnement sur un projet de « mobilité du paysage » à Maria ;
- Quelques rencontres téléphoniques avec la directrice générale de Tadoussac concernant un choix de solutions d'adaptation ;
- Quelques rencontres avec l'urbaniste de Maria afin de discuter des données disponibles et des options d'intervention pour un secteur critique ;
- Rencontre de travail avec le CERMIM aux Îles-de-la-Madeleine pour discuter de partager de données et d'expertise ;
- Échanges sur l'évolution côtière leurs infrastructures d'eau de la ville de Matane.

Visites terrain

Il est parfois nécessaire d'aller visiter les sites afin d'avoir la meilleure compréhension et d'offrir un bon accompagnement. Ces visites sont souvent l'occasion de discuter de problématiques, d'enjeux et d'opportunités de projets.

Quelques exemples :

- Visite terrain à Saint-Omer en lien avec le projet de recharge de plage du Comité ZIP Gaspésie ;
- Participation à une rencontre et à une visite terrain sur l'île aux Grues concernant une problématique d'érosion dans un marais ;
- Visite terrain, rencontres téléphoniques et partage de données pour un projet de suivi de l'érosion côtière au parc de Miguasha ;
- Visite terrain et participation à une capsule vidéo dans la cadre d'un projet de restauration d'écosystème du Comité ZIP du Sud de l'Estuaire.

Partage de données

Les municipalités, MRC, ministères, firmes privées et organismes environnementaux font souvent appel au LDGIZC pour obtenir des données. C'est une tâche quasi hebdomadaire de préparer les données et les ententes d'utilisation des données.

Quelques exemples :

- Imagerie et données sur les écosystèmes pour le Bureau d'écologie appliquée et Environnement Canada concernant un projet sur le phragmite dans les MRC de Kamouraska, Rivière-du-Loup et les Basques ;
- Données sur l'érosion pour la firme WSP à Sept-Îles et Sainte-Anne-des-Monts ;
- Imagerie et données sur l'érosion pour la MRC de Montmagny pour la gestion du littoral ;
- Imagerie et données LIDAR pour le Comité ZIP Baie-des-Chaleurs dans le cadre d'un projet de restauration du pédoncule du banc de Saint-Omer ;
- Données LIDAR pour le Comité ZIP Côte-Nord du Golfe dans le cadre d'un projet de suivi et de restauration d'habitats du capelan ;
- Données de modélisation pour la firme CIMA dans le cadre d'une étude sur l'agitation dans le port de Cacouna en vue de l'installation d'un nouveau poste à quai.

Conclusion

L'accompagnement des acteurs de la part de l'équipe du LDGIZC est un réel besoin et est fort apprécié. Il ne s'agit pas de se substituer à des groupes environnementaux ou firmes de conseils qui produisent des études complètes, mais de transmettre le savoir présent à l'université et d'offrir un soutien scientifique aux communautés par rapport aux recherches et à l'expertise que nous avons développée. Cependant, cette tâche est rarement financée dans les autres projets de recherche du laboratoire. Suite au projet Résilience côtière, il faudra trouver des solutions afin de pouvoir maintenir les activités d'accompagnement qui sont importantes pour les scientifiques et les gestionnaires.

CHANTIER N° 12. SIGEC Web : une plateforme web de diffusion et de transfert des connaissances

Coordination et rédaction : Catherine Paul-Hus

Contribution : Maryne Drouet, Pierre-André Lalanne, Susan Drejza, Christian Fraser, Pascal Bernatchez et Guillaume Marie.

Introduction

Le Système Intégré de Gestion de l'Environnement Côtier (SIGEC Web) est un géoportail de connaissances sur le milieu côtier, développé par le Laboratoire. Les informations disponibles sur le littoral de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent y sont fournies sous forme de cartes thématiques, dans un cadre de référence homogène et structuré qui tient compte des aléas côtiers et des changements climatiques (figure 44).

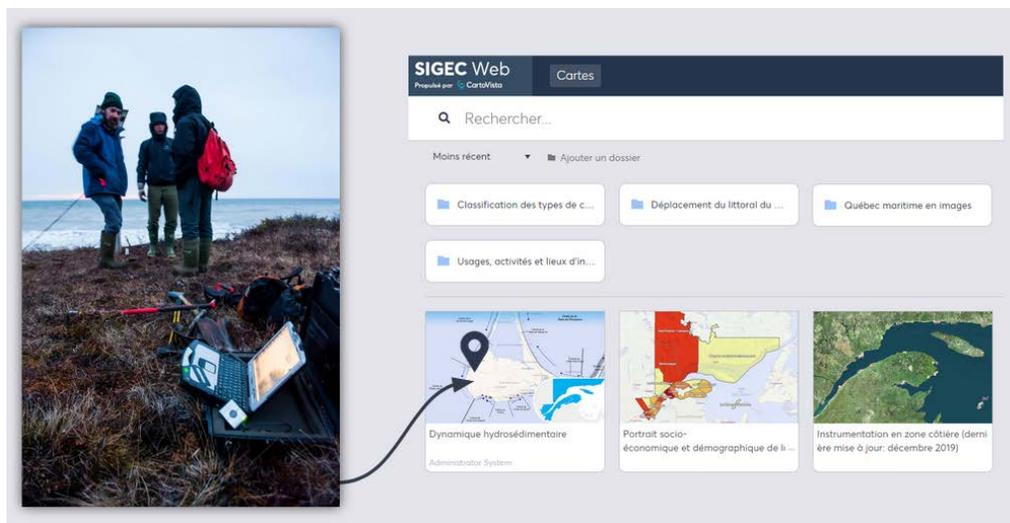


Figure 44. Collecte et diffusion des données sur le SIGEC Web

Le SIGEC Web est utile pour :

- diffuser les bases de données produites par le LDGIZC depuis 20 ans
- dresser des portraits rapides sur des zones ciblées (tableaux de bord)
- réaliser des analyses sur une quinzaine de thématiques
- offrir un accès universel aux thématiques plus générales (types de côte, dynamique côtière, données socio-économiques, etc.)
- assurer une mise à jour courante des données

Le SIGEC Web permet de visualiser toutes sortes de données sans avoir besoin de logiciels spécifiques ou complexes. Cette plateforme cartographique permet donc de doter les municipalités, les MRC et les ministères d'un outil d'aide à la décision en matière de gestion durable du Québec maritime qui tient compte des aléas côtiers et des changements climatiques. Cette plateforme web a été développée avec l'aide financière du ministère de la Sécurité publique du Québec et aussi du ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques du Québec via le projet Résilience côtière.

Objectifs

Malgré la quantité d'informations numériques disponibles sur les zones côtières, plusieurs municipalités côtières et organismes locaux et régionaux n'ont pas de système d'information géographique ni de ressources techniques pour gérer ces informations numériques. Il est essentiel de posséder un cadre de référence homogénéisé et structuré pour gérer cette quantité d'information, mais aussi pour assurer leur validité et leur qualité.

C'est dans ce contexte que le SIGEC Web a été développé par le Laboratoire en 2003, pour permettre :

- D'accéder à un système d'information géographique via un lien internet convivial ;
- D'assurer la diffusion de l'information aux autorités et intervenants concernés par la gestion côtière.

Principales fonctionnalités

Le SIGEC Web offre une panoplie de fonctionnalités aux utilisateurs. Voici un tableau qui présente les principales fonctionnalités développées dans cet outil classées par grande catégorie (tableau 5).

Tableau 5. Principales fonctionnalités du SIGEC Web

		Principales fonctionnalités
Catégorie	Affichage	<ul style="list-style-type: none"> - Recherche - Contrôle des couches - i d'information - Légende - Métadonnées
	Navigation	<ul style="list-style-type: none"> - Retour à la vue initiale - Recentrer la carte - Zoom avant - Zoom arrière - Sélection (ponctuelle, rectangulaire, polygonale) - Règle

	Principales fonctionnalités
Interactivité	<ul style="list-style-type: none">- Affichage dynamique lors du passage du curseur sur les données- Légende dynamique
Extraction	<ul style="list-style-type: none">- Exporter les données en format Microsoft Excel (xlsx)- Imprimer la carte en format PDF- Télécharger les graphiques en format PNG ou SVG
Statistiques	<ul style="list-style-type: none">- Création de graphiques- Tableau de statistiques
Imagerie	<ul style="list-style-type: none">- Imagerie aérienne- Images obliques de la côte- Google Street View
Collaboration	<ul style="list-style-type: none">- Ajouter une annotation- Ajouter un point- Tracer une polyligne- Tracer un polygone, un rectangle et une ellipse- Enregistrer une session et la partager avec d'autres utilisateurs du SIGEC Web

Des tutoriels présentant les principales fonctionnalités du SIGEC Web sont disponibles [ici](#).

Cartes thématiques et tableaux de bord

Dès l'automne 2021, de nombreuses cartes thématiques seront mises à la disposition de l'ensemble des partenaires du projet Résilience côtière (ministères, MRC, municipalités côtières, organismes œuvrant dans la gestion du territoire, etc.). Des exemples de cartes sont présentés à la figure 45, la figure 46 et la figure 47.



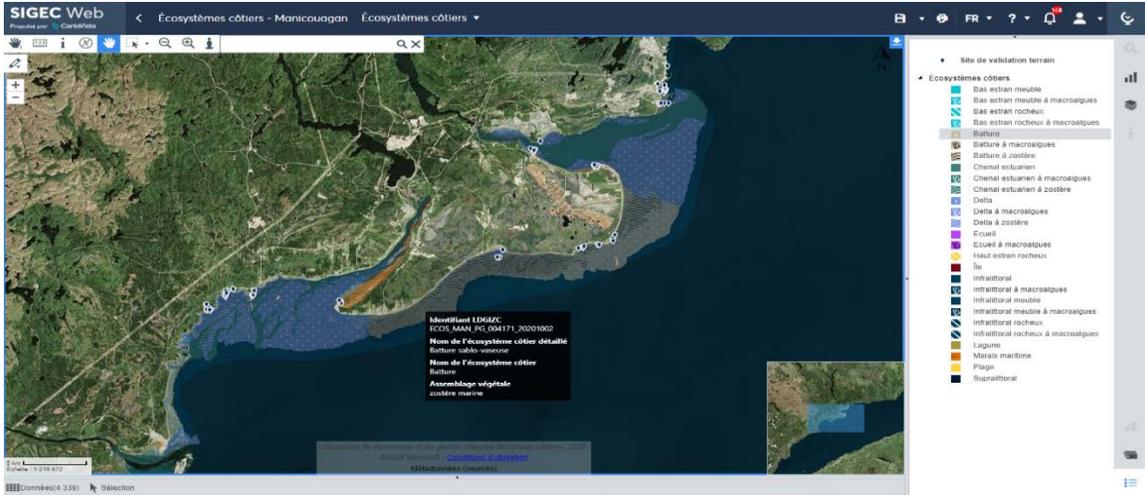


Figure 45. Exemple de carte des écosystèmes côtiers

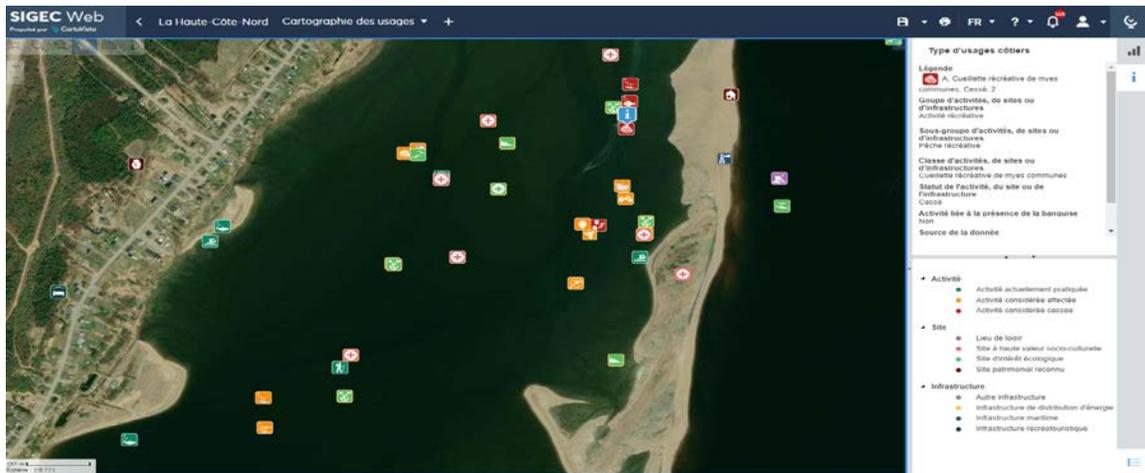


Figure 46. Exemple de carte des usages et sites d'intérêt côtiers

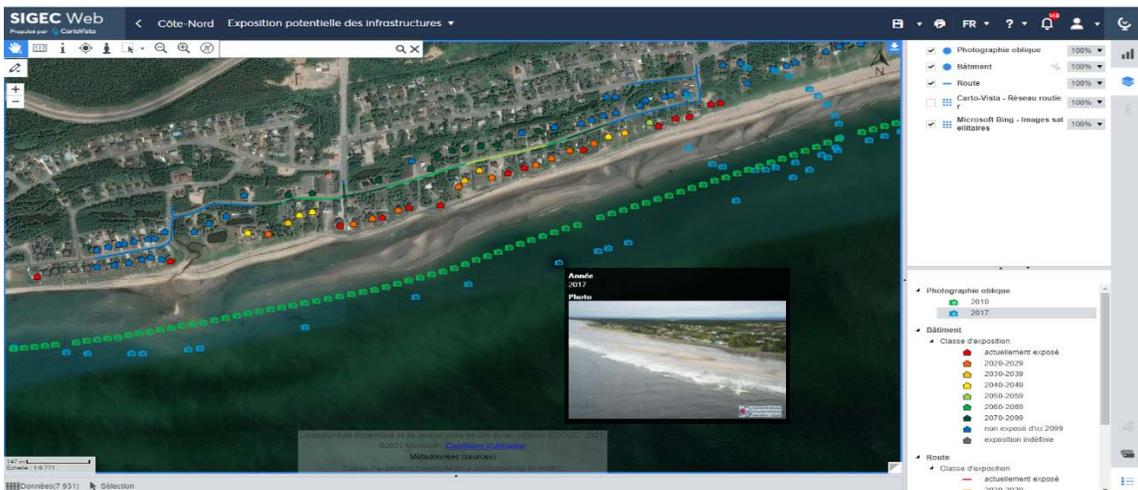


Figure 47. Exemple de carte de l'exposition potentielle des infrastructures à l'érosion côtière

Des tableaux de bord ont aussi été développés pour présenter un portrait synthèse des résultats des principaux chantiers de travail pour un territoire sélectionné. Deux options de sélection sont offertes : la sélection à partir de filtres comme les MRC, les municipalités, les unités ou les cellules hydrosédimentaires ou la sélection d'une zone personnalisée qui peut être tracée en fonction des besoins de l'utilisateur. Les tableaux de bord sont composés de 4 onglets. Le tableau suivant expose ce qui est inclus dans chacun de ces onglets (tableau 6).

Tableau 6. Composantes des tableaux de bord

		Composantes
Onglets	Vue d'ensemble	<ul style="list-style-type: none"> - Mise en contexte qui décrit sommairement la méthodologie - Statistiques pertinentes au chantier de travail - Images obliques du secteur sélectionné - Schéma méthodologique
	Cartographie	<ul style="list-style-type: none"> - Mise en contexte qui décrit de manière synthétique la cartographie - Carte du secteur sélectionné
	Graphiques	<ul style="list-style-type: none"> - Graphiques dynamiques pertinents au chantier de travail - Brève description des graphiques (vue agrandie)
	Métadonnées	<ul style="list-style-type: none"> - Brève description des métadonnées

La figure 48, la figure 49 et la figure 50 montrent un exemple de tableau de bord (Cartographie des écosystèmes côtiers). Le secteur sélectionné est la municipalité de Pointe-aux-Outardes.



Figure 48. Onglet « Vue d'ensemble » du tableau de bord



Figure 49. Onglet « Cartographie » du tableau de bord



Figure 50. Onglet « Graphiques » du tableau de bord

Formations sur le SIGEC Web

Pour faciliter l’utilisation des données par les usagers, des formations ont été offertes sur Zoom à l’automne 2021. Au total, 191 personnes ont participé aux formations de niveau 1, niveau 2 et aux séances questions/réponses. Ces dernières ont été proposées afin d’offrir des moments où l’équipe peut répondre aux questions des usagers et en faire profiter au plus grand nombre.

Conclusion

Le SIGEC Web est sans aucun doute un outil fort utile pour l’ensemble des partenaires du projet Résilience côtière grâce à la diversité des données qui y sont diffusées. Il permet non seulement la visualisation de données, mais également d’en faire des analyses cartographiques. Cet outil évolue constamment, avec la mise à jour des cartes thématiques existantes et l’ajout de nouvelles cartes au fur et à mesure que nos recherches progressent. Nos équipes travaillent fort pour que les données soient toujours les plus à jour et répondre aux besoins des organismes qui œuvrent dans l’environnement côtier.

Projets académiques menés au sein du projet Résilience côtière

Deux projets de maîtrise, un doctorat et deux postdoctorats ont été inclus et financés dans le cadre du projet Résilience côtière. Ces projets ont permis de contribuer à la formation de personnel hautement qualifié dans le domaine des géosciences côtières. De plus, leurs recherches pointues ont permis de faire cheminer la connaissance. Un résumé de chaque projet est présenté.

Consultez les documents

- Mémoires de maîtrise
- Thèse de doctorat
- Articles scientifiques



**[ldgizc.uqar.ca/Web/projets/
projet-resilience-cotiere](http://ldgizc.uqar.ca/Web/projets/projet-resilience-cotiere)**

Vers une vision de la gestion de l'érosion côtière incluant les écosystèmes côtiers

Céline Jacob, projet de postdoctorat, UQAR — UQO

Problématique

Comment faire évoluer la gestion de l'érosion côtière vers une meilleure prise en compte des systèmes écologiques, en particulier des écosystèmes côtiers, en s'appuyant sur l'amélioration de la capacité sociale de la gouvernance adaptative ?

Objectifs

L'objectif de ces recherches est d'investiguer le rôle de la capacité sociale de la gouvernance adaptative afin de mieux prendre en compte les écosystèmes côtiers dans l'adaptation à l'érosion côtière. Afin d'améliorer la capacité des acteurs à intégrer le système écologique dans leurs réflexions, un premier volet s'est intéressé à évaluer la perception des parties prenantes locales par rapport aux services écosystémiques côtiers et un deuxième volet a étudié l'intégration de la connaissance écologique dans les pratiques de gestion adaptative.

Méthodologie

Dans le premier volet, les ateliers 2 du projet Résilience côtière ont permis la tenue de sessions d'une heure et demie dans quatre différentes régions du Québec maritime rassemblant plus d'une centaine d'acteurs locaux (voir chapitre 1 sur les consultations). La session s'est attachée à évaluer les valeurs qu'attribuent ces acteurs aux services écosystémiques côtiers à travers une approche sociale.



Figure 51. Exemple de fiche présentée aux acteurs détaillant les services écosystémiques associés aux plages

Pour le deuxième volet, 27 entretiens semi-directifs ont été menés dans la région administrative Gaspésie–Îles-de-la-Madeleine auprès de représentants de différents ministères provinciaux et régionaux (environnement, affaires municipales et de l'habitation, sécurité publique, forêt, faune et parcs, organismes environnementaux, organismes de bassins versants, comités ZIP, municipalités régionales de comté, etc.). Les entretiens se sont penchés, entre autres, sur les questions suivantes :

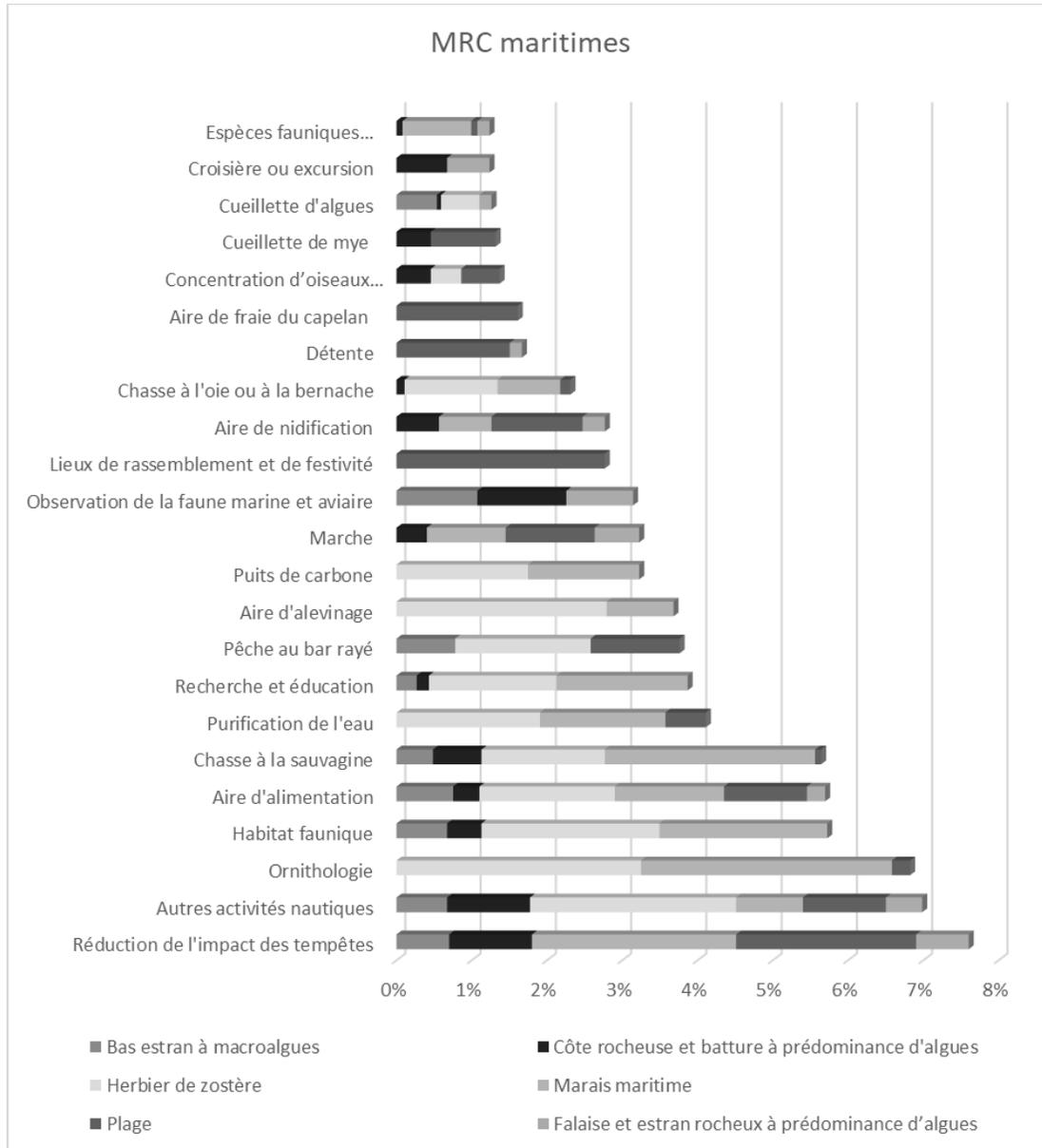
- Le rôle de leur institution concernant la gestion de l'érosion côtière
- L'implication de leur institution dans les stratégies de conservation des habitats côtiers
- L'inclusion des problématiques environnementales liées aux habitats côtiers dans leur mandat

Des documents clés ont aussi été examinés afin de fournir des éléments techniques pour l'analyse.

Résultats

Volet 1

Cette étude fournit la première évaluation au Québec de la perception des acteurs locaux concernant les habitats côtiers. À l'échelle des quatre municipalités régionales de comté, les services culturels ont rassemblé 38 % des votes, les services de support 25 % et les services de régulation et d'approvisionnement 18 %. Les services les plus populaires sont liés aux herbiers (29 %), aux milieux humides (28 %) et aux plages (20 %).



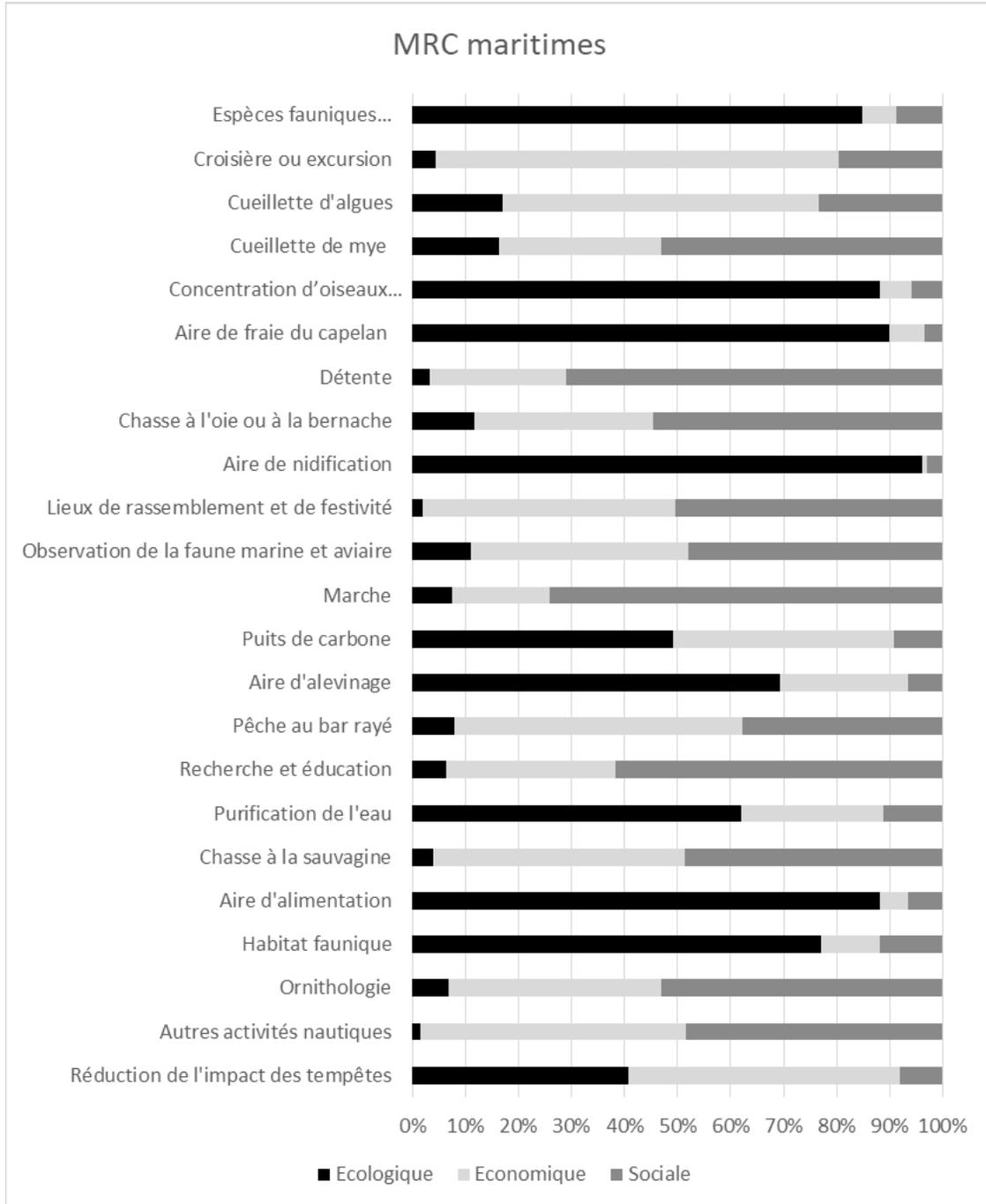


Figure 52. Pourcentages de votes par service écosystémique et par type d'écosystèmes qui les fournit (en haut), pourcentage des sphères associées pour chaque service (en bas)

Les résultats de l'évaluation des services ainsi que des priorités de conservation démontrent l'intérêt d'utiliser cette approche par les services pour une meilleure gestion des écosystèmes. En effet, dans l'objectif de promouvoir une gouvernance adaptative, les liens entre la biodiversité et le bien-être humain devraient être plus visibles.

Bien que les participants aient valorisé les services fournis par des écosystèmes moins connus tels que les herbiers et les estrans à prédominance d'algues, ils ont eu des difficultés à appréhender le lien entre ces écosystèmes et leurs usages. Même si la présentation des différents écosystèmes, des services et les discussions afférentes ont permis de mettre en lumière des résultats importants, cet exercice présente aussi certaines limites. Valoriser les services ne signifie pas forcément valoriser les écosystèmes associés. Les acteurs ont priorisé les plages pour la conservation alors que les services les plus populaires se retrouvent dans les herbiers et les milieux humides. L'approche sociale utilisée s'est montrée particulièrement utile pour aborder la question des services culturels. En effet, les identités culturelle et individuelle se sont avérées être des éléments clés expliquant l'attachement des acteurs aux habitats côtiers.

Ces résultats permettent d'ouvrir la voie à la gouvernance adaptative de la gestion de l'érosion côtière en s'éloignant de la perspective traditionnelle d'ingénierie par le biais de l'utilisation des services côtiers. La protection côtière fournie par les écosystèmes côtiers apparaît comme très populaire au sein des quatre territoires étudiés. La reconnaissance des écosystèmes côtiers par les acteurs locaux comme moyen de protection contre les risques côtiers encourage une approche soulignant les bénéfices des écosystèmes côtiers dans les sphères économiques, sociales et environnementales. Ainsi l'amélioration de la connaissance, de la capacité d'apprentissage et de l'expérience pratique des décideurs locaux permettent de promouvoir une vision plus socioécologique de la gestion de l'érosion côtière.

Volet 2

Dans ce deuxième volet, nous avons analysé l'évolution de la gestion de l'érosion côtière au Québec depuis les années 90 et souligné l'importance de développer des stratégies qui intègrent les problématiques environnementales. En dressant un parallèle avec le développement historique de la gestion intégrée de la zone côtière (GIZC) au Québec, ce travail a permis d'émettre des recommandations à destination des décideurs locaux.



Figure 53. Principales recommandations pour la gestion de l'érosion côtière s'appuyant sur les retours d'expérience de la GIZC

Ce travail sur la capacité sociale des acteurs locaux est crucial pour replacer les écosystèmes côtiers au cœur de l'adaptation au changement climatique.

Évaluation de la vulnérabilité à l'érosion côtière des communautés isolées de la Basse-Côte-Nord : un outil d'aide à la décision

Clara Pelletier-Boily, projet de maîtrise en géographie UQAR

Introduction

L'étude porte sur l'érosion côtière et l'impact de l'isolement des communautés sur leur niveau de vulnérabilité et de résilience. Les facteurs qui influencent la vulnérabilité côtière en milieu isolé sont moins connus et les facteurs sont souvent propres à chaque site d'étude. Ainsi, la problématique de l'étude est : est-ce que l'isolement des communautés de la Basse-Côte-Nord augmente leur niveau de vulnérabilité à l'érosion côtière ?

Cette étude a pour principal objectif d'évaluer la vulnérabilité et la résilience à l'érosion côtière de quatre communautés isolées de la Basse-Côte-Nord, soit Kegaska, La Romaine/Unamen-Shipu, Chevery et Blanc-Sablon, grâce à l'utilisation d'un indice de vulnérabilité. Pour cela, nous tenterons :

- d'évaluer la vulnérabilité aux aléas côtiers de communautés isolées ;
- de proposer des mesures d'adaptation et de prévention permettant d'augmenter la résilience de ces communautés.

Méthodologie

L'évaluation de la vulnérabilité à l'érosion côtière s'est faite par le biais d'un indice élaboré en équipe (voir le chantier 6) et inspiré de la littérature ^(41, 17, 55, 57, 54, 29). Celui-ci a permis de calculer et cartographier la vulnérabilité, de cibler les spécificités de la vulnérabilité sur les territoires étudiés et les mesures d'adaptation à améliorer ou à mettre en place. Deux grandes étapes méthodologiques sont préliminaires avant de calculer l'indice de vulnérabilité, soient l'évaluation de l'adaptation des communautés et l'évaluation de l'exposition à l'érosion côtière. Des entretiens semi-dirigés auprès d'acteurs de la MRC du Golfe-du-Saint-Laurent et une enquête par questionnaire auprès d'habitants de la Basse-Côte-Nord ont été réalisés afin d'évaluer l'adaptation et les perceptions de ces différents acteurs. Les zones exposées à l'érosion côtière ont également été identifiées, à la fois actuellement et à l'horizon temporel 2070, grâce à un scénario de projection des conditions futures (voir le chantier 6). Chaque enjeu présent dans ces zones a été pris en compte dans l'évaluation de la vulnérabilité. La vulnérabilité a été calculée en combinant le sous-indice Enjeux exposés et le sous-indice niveau d'Adaptation (voir le chantier 6).

Résultats et discussion

La figure 54 montre un exemple de la cartographie de l'indice de vulnérabilité. À l'horizon 2070, le niveau de vulnérabilité augmente pour deux secteurs centraux dû à l'augmentation de l'exposition à l'érosion côtière et, entre autres, au nombre et à la variété d'enjeux exposés.

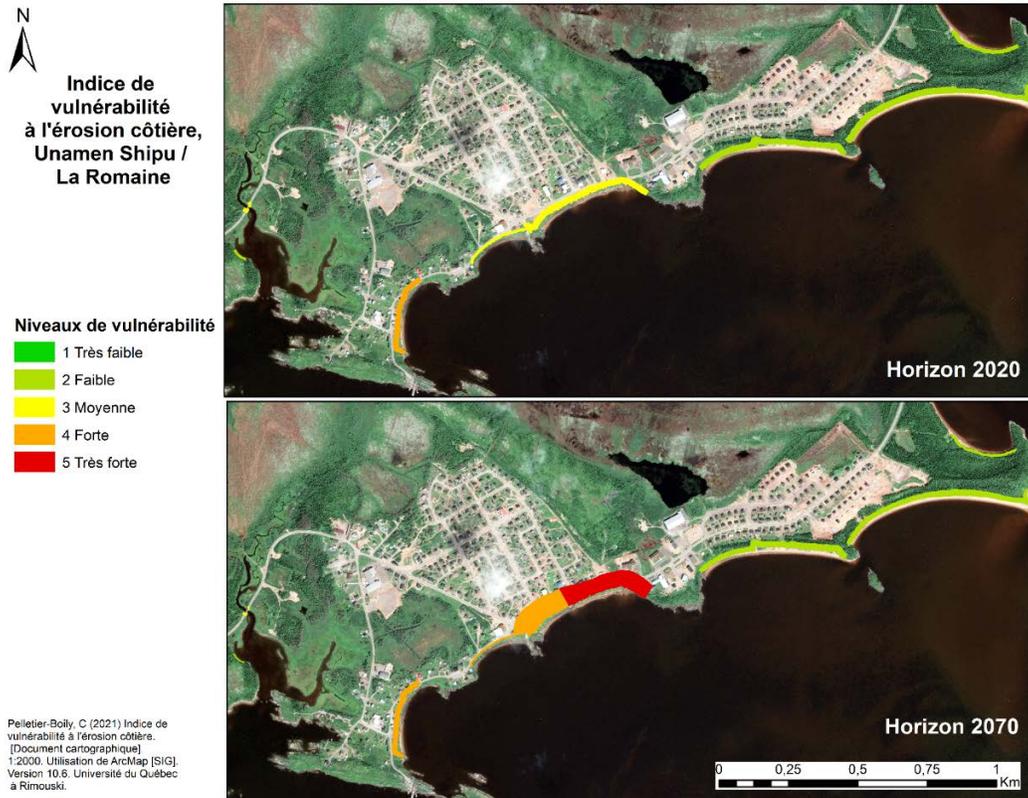


Figure 54. Indice de vulnérabilité à l'érosion côtière, Unamen-Shipu/La Romaine

Afin de comparer les sites entre eux, l'indice moyen de vulnérabilité de chaque site ainsi que leurs sous-indices moyens ont été calculés. La figure 55 montre qu'à l'horizon 2020, le sous-indice Enjeux exposés est semblable pour tous les sites étudiés malgré la diversité des situations rencontrées, alors qu'à l'horizon 2070, il augmente pour les sites de La Romaine/Unamen-Shipu et Chevery. Pour ce qui est du sous-indice Adaptation, La Romaine/Unamen-Shipu est le site ayant le plus faible niveau d'adaptation (très faible adaptation). Chevery est le site ayant le niveau d'adaptation le plus élevé, entre autres causé par le fait que c'est le seul site où il y a eu des relocalisations ce qui est comptabilisé dans l'indice comme ayant un rôle augmentant la capacité d'adaptation des communautés. L'indice de vulnérabilité globale est similaire pour tous les sites à l'horizon 2020. Les sites ont une vulnérabilité moyenne. À l'horizon 2070, seul l'indice de vulnérabilité de La Romaine/Unamen-Shipu augmente à une vulnérabilité forte, ce qui en fait le site le plus vulnérable des quatre.

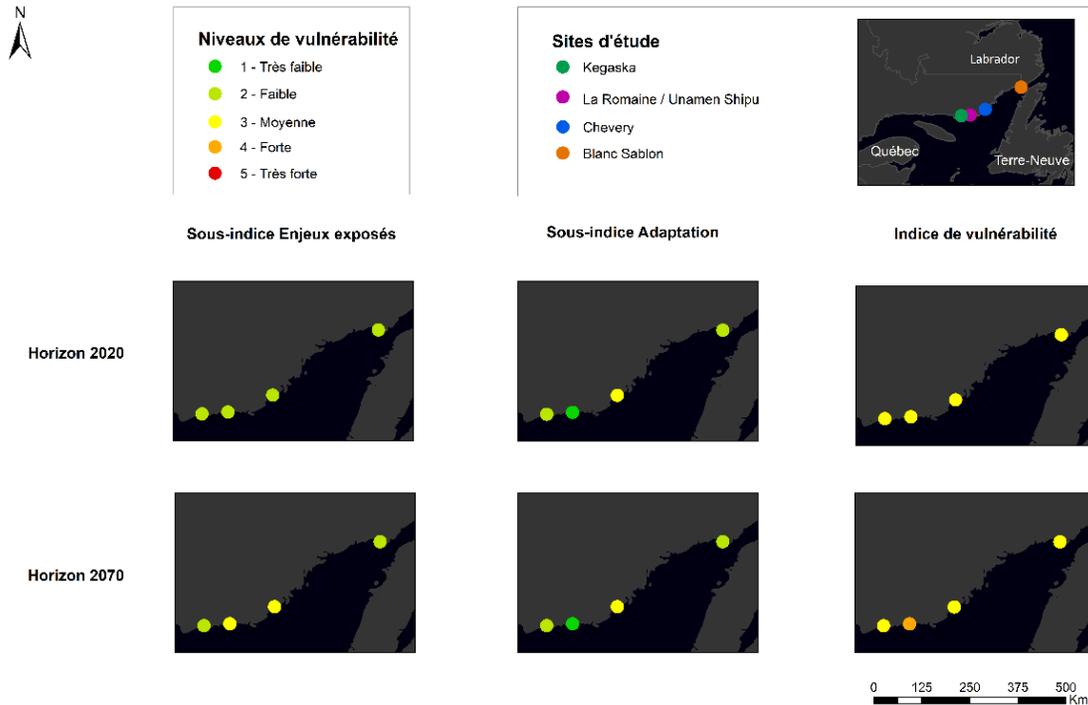


Figure 55. Synthèse des résultats de l'indice de vulnérabilité pour les 4 sites de la Basse-Côte-Nord

Les points de vue des acteurs interviewés à propos de l'isolement diffèrent selon la position géographique des communautés dans lesquelles les acteurs résident et la connectivité de celles-ci par rapport à un lien routier et aux grands centres. Un seul acteur ne pense pas : « qu'il y ait du positif là-dedans (l'isolement) ». Alors que les autres acteurs y perçoivent des répercussions positives.

Le facteur isolement n'est pas un facteur qui semble augmenter de façon explicite la vulnérabilité des communautés de la Basse-Côte-Nord. En effet, l'isolement sur certains aspects augmente la vulnérabilité des communautés isolées entre autres par la marginalisation causée par la distance géographique qui les sépare des centres de services sociaux et économiques, mais aussi, des centres de décisions politiques ⁽⁵²⁾. D'ailleurs la distance entre Kegaska et Sept-Îles, où plusieurs directions régionales ministérielles se trouvent, est de 418 km. La distance est encore plus grande entre le parlement et Kegaska, soit de 1 058 km. L'isolement peut créer un écart entre les centres urbains et les régions éloignées pour l'accès aux réseaux de transports efficaces et aux technologies de l'information ⁽²¹⁾. D'ailleurs en Basse-Côte-Nord, il y a absence de route continue entre les villages et le transport se fait par la voie maritime ou aérienne. En effet, pour les sites étudiés, la marginalisation causée par la distance géographique et le manque d'accès à un réseau de transport efficaces sont des facteurs qui contribuent à augmenter la vulnérabilité. Or, l'accès aux technologies de l'information ne s'applique pas aux sites étudiés puisque les communautés de la Basse-Côte-Nord ont accès à internet et celui-ci permet une meilleure communication.

Toutefois, pour d'autres aspects, l'isolement contribue à diminuer la vulnérabilité. Par exemple, dans la littérature, avoir des réserves d'aliments permet de prévenir et minimiser les pertes et les dommages lors d'un aléa naturel ⁽⁴⁵⁾. À ce propos, 89 % des répondants des sites étudiés ont des réserves d'aliments et 94 % ont des réserves d'aliments pour une durée d'une semaine et plus. De plus, 69 % des répondants des quatre communautés ont mentionné pouvoir compter sur l'aide de la communauté lors d'une tempête. Bien souvent les communautés isolées partagent une grande fierté de leur identité, due à un grand sentiment d'appartenance et à un rapport particulier à l'espace qui favorisent des liens sociaux solides ⁽³⁰⁾ et contribuent à améliorer la résilience de celle-ci comme c'est le cas en Basse-Côte-Nord.

Identification et développement d’ouvrages de protection côtière pour augmenter la résilience des communautés côtières dans un contexte de changements climatiques

Philippe Sauvé, projet de doctorat en Environnement, UQAR

Les aléas côtiers constituent une problématique complexe qui ne peut pas être résolue par une solution unique. Pourtant, en 2017, encore pas moins de 98 % des ouvrages de protection côtière (OPC) présents sur le territoire du Québec maritime étaient des ouvrages réfléchifs rigides, tels les enrochements et les murs ^(10, 16, 66). Or, ce type d’aménagement mal adapté à la majorité des systèmes côtiers contribue à réduire la capacité naturelle des écosystèmes côtiers à absorber l’énergie des vagues, ce qui résulte en une augmentation du risque d’érosion et de submersion côtières ^(12, 27, 23). La littérature scientifique dans le domaine montre qu’il existe dans le monde une grande diversité de types d’OPC qui engendrent des effets spécifiques dans les systèmes socioécologiques côtiers (SSEC) où ils sont implantés. L’analyse de cette documentation montre aussi que le nombre d’études associé aux effets des OPC, en général et selon les types de côtes, varie d’un type d’OPC à l’autre, ce qui peut limiter l’intérêt de certains types, faute de données probantes ⁽⁶⁶⁾.

Néanmoins, une plus grande ouverture quant à l’utilisation d’une plus vaste diversité d’OPC est constatée, à la lumière d’une série de consultations des acteurs de la zone côtière (citoyens, municipalités, MRC, ministères, organismes, entreprises œuvrant en génie et en aménagement côtier) effectuée par la Chaire de recherche en géoscience côtière dans le cadre du projet Résilience côtière, entre février 2017 et mai 2018.

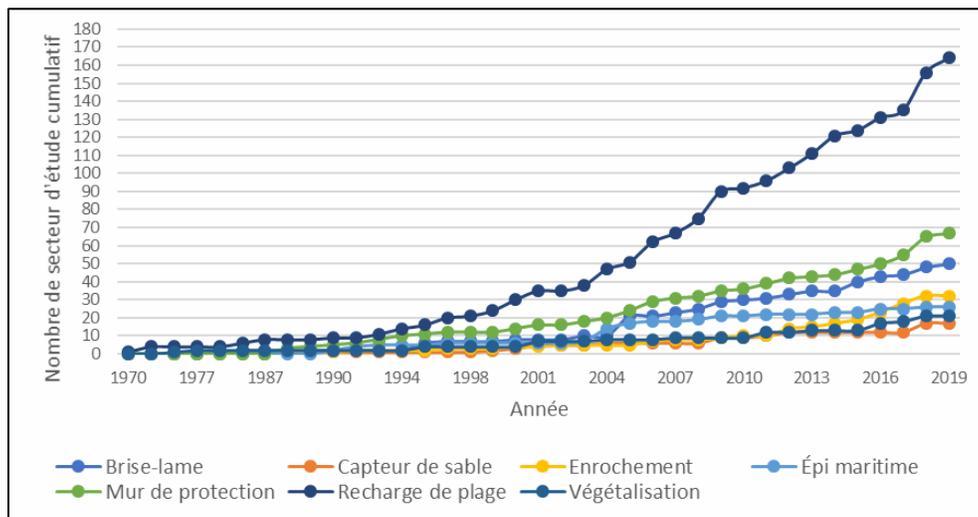


Figure 56. Nombre cumulé de secteurs d’étude pour chacun des ouvrages de protection côtière

Considérant la grande diversité des types d'OPC, la complexité de leurs interrelations avec les composantes des différents SSEC, ainsi que l'incertitude associée à l'effet des changements climatiques sur l'évolution des SSEC à moyen et long termes, il apparaît primordial que les processus décisionnels puissent tenir compte des caractéristiques locales des SSEC pour déterminer les solutions les mieux adaptées aux milieux dans lesquels une intervention est nécessaire. Actuellement, le processus décisionnel pour la sélection d'un OPC se limite généralement à une analyse comparative de critères qualitatifs et n'implique ni les acteurs concernés ni les citoyens (Desrosiers-Leblanc et coll., *en préparation*). L'analyse coût-avantage est la seule méthode d'aide à la décision identifiée dans la littérature scientifique qui a été employée pour évaluer les OPC en fonction du milieu d'implantation. Or, l'analyse coût-avantage s'appuie sur une unité d'agrégation monétaire pour comparer les impacts de diverses options d'adaptation techniquement réalisables sur le milieu côtier. Même si la transposition en unité monétaire semble assez intuitive pour certains impacts, cette approche ne convient pas à la majorité des impacts intangibles^(20, 22, 53). Il devient alors nécessaire de multiplier les hypothèses pour parvenir à comparer des critères hétéroclites sur une base monétaire commune. Or, d'autres méthodes d'aide à la décision utilisent une agrégation partielle des critères et des unités comparatives neutres.

Réalisé dans un contexte interdisciplinaire, mon projet de recherche vise à développer une approche intégrée d'identification des OPC les plus appropriés aux conditions spécifiques d'un SSEC en intégrant, d'une part, les effets des changements climatiques sur l'évolution du système côtier et, d'autre part, les besoins exprimés par les acteurs du territoire (professionnels et gestionnaires). Ses objectifs spécifiques sont de : 1) caractériser le processus décisionnel menant à la sélection d'un OPC au Québec ; 2) développer une méthode pour agréger l'information en fonction de différentes catégories d'effet des OPC, afin de produire une synthèse qualitative de l'information disponible dans la littérature scientifique, puis d'utiliser cette synthèse dans le processus décisionnel menant à la présélection d'OPC bien adaptés aux conditions du milieu d'étude ; 3) intégrer les priorités des acteurs locaux dans un processus d'analyse multicritère menant à la sélection d'un OPC adapté à un milieu donné. Ces objectifs sont détaillés ci-après.

Objectif 1

La caractérisation du processus décisionnel menant à la sélection d'un OPC a été réalisée par des consultations menées en 2017-2018 à l'échelle de l'Est-du-Québec par le Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières (LDGIZC) de l'UQAR auprès de 300 gestionnaires et des professionnels des communautés côtières, de 494 citoyens côtiers ainsi que de 17 firmes œuvrant en génie et en aménagement côtier. Les résultats publiés à l'automne 2020⁽⁶²⁾ montrent que les acteurs sont davantage ouverts à l'utilisation d'une grande diversité d'OPC par rapport à des études antérieures. Également, plusieurs besoins ont été identifiés pour améliorer le processus décisionnel menant à la sélection d'un OPC : augmentation du financement de l'aménagement, le suivi et l'entretien ainsi que des études de cas et des projets pilotes d'OPC ; projets interdisciplinaires et intégrés ; ajustement de la réglementation environnementale ; développement d'outils pour l'aide à la décision.

Objectif 2

La méthode d'identification d'un OPC adapté au contexte local combine deux approches, soit un algorithme et une analyse multicritère (figure 57). Dans un premier temps, l'algorithme permet de classer les impacts des OPC sur le SSEC en trois étapes. (i) La caractérisation du SSEC est effectuée au moyen d'indicateurs de suivis géomorphologiques (type de côte et type de sédiment), écologiques (habitats, assemblages, diversité et fonctions des écosystèmes), sociaux (services écologiques) et hydrodynamiques (dérive littorale, régime de vagues et marnage). Les données cartographiques (caractérisation côtière, écosystèmes côtiers, activités et usages côtiers) du LDGIZC servent à définir l'état initial des indicateurs de suivi des cellules hydrosédimentaires à l'étude. (ii) Une base de données répertoriant les effets des OPC sur l'ensemble des paramètres du SSEC a été développée sur la base d'une revue exhaustive de la littérature scientifique réalisée entre janvier 2018 et mars 2020. Elle regroupe les affirmations, par les auteurs des études de cas publiées dans des articles scientifiques à l'échelle mondiale, sur les effets des OPC, selon les trois indicateurs principaux : géomorphologique, écosystémique et social. Ces trois indicateurs seront subdivisés en deux niveaux supplémentaires afin de conserver un niveau de détails pertinent tout en permettant d'agréger les affirmations. Suite à cette phase d'agrégation, chaque affirmation sera évaluée sur une échelle de pondération (-5 à 5) en fonction de son intensité et de son caractère positif ou négatif en termes d'effets sur le SSEC. La base de données inclut également des renseignements sur les milieux dans lesquels les effets des OPC ont été observés (type de côte, type de sédiments, régime de vague, marnage), ce qui permet de les contextualiser. (iii) Ainsi, le traitement de l'information par l'algorithme visera à identifier et à colliger les effets observés dans des milieux aux caractéristiques environnementales similaires aux secteurs où un OPC est envisagé.

Objectif 3

Sur la base de la liste des OPC présélectionnés par l'algorithme, une analyse multicritère sera utilisée pour comparer les OPC en fonction de la pondération accordée par les acteurs locaux (professionnels et gestionnaires) lors des ateliers 2 du projet Résilience côtière tenus par le LDGIZC à l'échelle des MRC de l'Est-du-Québec.



Figure 57. Schématisation de la méthode d'identification d'un OPC qui combine un algorithme d'identification et une analyse multicritère

Ainsi, en combinant les résultats de l'algorithme avec l'analyse multicritère, l'approche d'identification proposée permettra de hiérarchiser les OPC adaptés à un milieu donné en regard de leur impact sur l'état initial du SSEC et de la pondération attribuée par les acteurs. Elle sera ensuite validée in situ dans quatre secteurs d'étude sélectionnés selon leurs caractéristiques distinctives et représentatives des milieux côtiers de l'estuaire maritime et du golfe du Saint-Laurent.

Politiques et outils d'adaptation aux risques côtiers : état de la situation, enjeux et perspectives au Québec

Laurie Desrosiers-Leblanc, projet de maîtrise en géographie, UQAR

Introduction

Le début du XXI^e siècle marque un point tournant pour la place de la prévention dans la gestion des risques naturels côtiers au Québec. Depuis 2000, de nombreuses actions dans le Québec maritime ont été mises en place dans l'optique d'une meilleure adaptation aux aléas côtiers. Toutefois, malgré des investissements financiers et humains majeurs, plusieurs lacunes semblent persister dans les politiques publiques relatives à la gestion de ces risques. Avec les effets attendus et observés des changements climatiques, il est pressant de soulever les barrières qui limitent le processus d'adaptation du milieu local, puis d'apporter des pistes de réflexion pour une meilleure gestion des risques côtiers.

Méthodologie

La démarche employée repose sur deux cueillettes de données *in situ* ainsi qu'une revue de littérature. La méthodologie principale du projet de recherche est basée sur 12 entretiens semi-directifs réalisés auprès de gestionnaires municipaux, supramunicipaux et ministériels des MRC de La Matanie et d'Avignon, ainsi que leur région administrative respective, soit le Bas-Saint-Laurent et la Gaspésie-Îles-de-la-Madeleine où les gestionnaires ont été invités à émettre leur opinion sur les limites auxquelles ils se heurtent dans leur quête d'adaptation aux risques côtiers. Les entretiens se sont conclus par l'ébauche de leurs idéaux pour une gestion efficace desdits risques. S'ajoute également une partie axée sur la perception des résidents côtiers à l'égard des stratégies d'adaptation et de la gouvernance où 563 questionnaires comprenant des questions ouvertes et des questions fermées ont été effectués à travers l'Est-du-Québec.

Résultats

Les limites ciblées par les gestionnaires englobent huit thématiques principales. Les résultats obtenus révèlent une application ardue des lois et des politiques au sein des localités de l'Est-du-Québec. La loi sur la Qualité de l'Environnement est la plus critiquée, résultats s'expliquant par la difficulté d'application au contexte côtier et par le manque de ressources humaines et d'expertise pour appliquer rigoureusement la réglementation qui est liée à l'échelle locale. Les modalités de l'outil réglementaire, qu'est le cadre normatif, sont remises en question par bon nombre d'acteurs ministériels, notamment parce qu'il n'aurait pas été créé en réelle concertation avec les différents ministères. Les résultats démontrent également une communication défailante entre certaines municipalités et leur MRC concernant les risques côtiers. Certaines municipalités ont

été peu appuyées dans la sensibilisation aux citoyens et dans la gestion desdits risques. Les résultats concernant les résidents côtiers dévoilent quant à eux une ouverture particulière pour des stratégies d'adaptation autres que des ouvrages de protection côtière (OPC), en favorisant notamment des mesures qui prennent en compte l'importance de préservation des écosystèmes côtiers. En contradiction avec la connaissance scientifique, certains résidents côtiers veulent encore protéger leurs biens matériels par lesdits ouvrages.

Voici les pistes de réflexion évoquées dans ce mémoire pour une meilleure gestion préventive des risques côtiers :

- La relocalisation préventive initiée par les résidents côtiers pour une meilleure acceptabilité sociale.
- Une plus grande accessibilité à l'assurabilité des biens en zones côtières est également mise de l'avant puisque à ce jour, peu de compagnies couvrent les risques côtiers et celles qui le proposent ont des tarifs peu abordables. Le gouvernement du Québec devient alors l'assureur ultime en cas de risque imminent, une situation qui repose sur une approche réactive plutôt que préventive.
- L'élément central de la réflexion repose sur la redistribution des pouvoirs à l'échelle locale en ce qui a trait à la gestion des risques côtiers.

Ce mémoire fait état de la présence réelle de lacunes limitant l'adaptation aux risques côtiers des communautés côtières de l'Est-du-Québec. La démarche pourrait être améliorée en intégrant à l'étude les territoires autochtones, les élus locaux, ainsi que les organismes locaux et régionaux œuvrant dans la gestion des risques côtiers.

Influence de la glace de rive sur les écosystèmes à herbier de l'estuaire du Saint-Laurent

Ludovic Pascal, projet de postdoctorat, UQAR

Problématique

Les herbiers de phanérogames sont constitués des seules plantes à fleurs adaptées à la vie marine en immersion. Ils jouent un rôle fondamental dans le fonctionnement des écosystèmes benthiques côtier en atténuant la vitesse des courants et l'intensité des vagues, séquestrant une quantité considérable de carbone, servant de zone refuge pour de nombreuses espèces qui ne pourraient pas vivre sans. Dans l'estuaire du Saint-Laurent, la glace de rive exerce une forte influence sur la dynamique des herbiers. En effet, elle détruit complètement le système foliaire durant la saison hivernale et peut même causer l'arrachement d'herbier et ainsi former des marelles persistantes dans le temps. Avec les changements climatiques, on assiste à une augmentation de cycle glaciaire (c.-à-d. de phase d'englacement et de déglacement) pendant la saison hivernale ce qui a pour conséquence d'augmenter la probabilité d'arrachage glaciaire.

Objectifs

L'objectif général de ce projet est de déterminer les conséquences écologiques de la formation de marelle dans les herbiers intertidaux de Zostère. Plus précisément, ce projet avait deux sous objectifs qui étaient d'évaluer les conséquences de la formation de marelles dans un herbier de Zostère sur (1) la composition et l'activité des organismes benthiques et (2) la résistance face à un enrichissement en nutriment.

Méthodologie

Objectif 1

Des échantillons de sédiment ont été prélevés à quatre reprises au courant de l'année 2018 pour déterminer (1) la phénologie de l'herbier et (2) la structure des communautés de macrofaune benthiques dans les zones végétalisées de l'herbier et dans les marelles.



Figure 58. Image d'une marelle dans l'herbier de Zostère de la péninsule de Manicouagan

Objectif 2

Des carottes de sédiment ont été prélevées dans des zones végétalisées et des marelles puis ramenées au laboratoire pour les soumettre à différentes concentrations d'enrichissement en nutriment. Des mesures ont été faites pour déterminer l'activité de la macrofaune et la dynamique biogéochimique à l'interface eau-sédiment.



Figure 59. Carottes de sédiment exposé à un gradient d'enrichissement en nutriment en laboratoire

Résultats

L'herbier présente une forte saisonnalité. Les biomasses de feuilles et de racines/rhizomes sont très faibles à la sortie de l'hiver (mai). Le maximum de biomasse foliaire est atteint en août. Entre août et octobre, les herbiers font des réserves dans leurs rhizomes pour pouvoir survivre l'hiver. Les communautés de macrofaune benthique montrent également une forte saisonnalité avec une diversité et des densités fortement réduites l'hiver et un fort recrutement l'été. De manière générale, les zones végétalisées présentent une plus forte diversité et densité d'espèces que les marelles. Cependant la biomasse totale de la macrofaune benthique est similaire entre zones végétalisées et marelles. Ce résultat indique que les espèces colonisant les marelles ont une biomasse individuelle plus grande que celles colonisant les herbiers (les organismes sont plus gros dans les marelles). Cette différence se traduit par une plus grande activité de bioturbation par la macrofaune benthique dans les marelles que dans les zones végétalisées.

Sea ice effects on benthic community structure and biogeochemical processes in seagrass landscapes

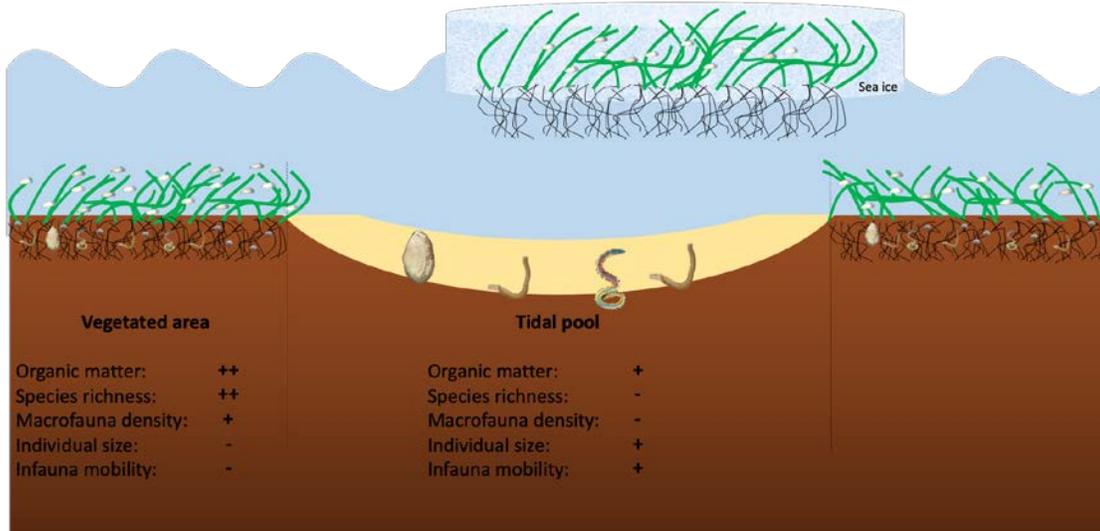
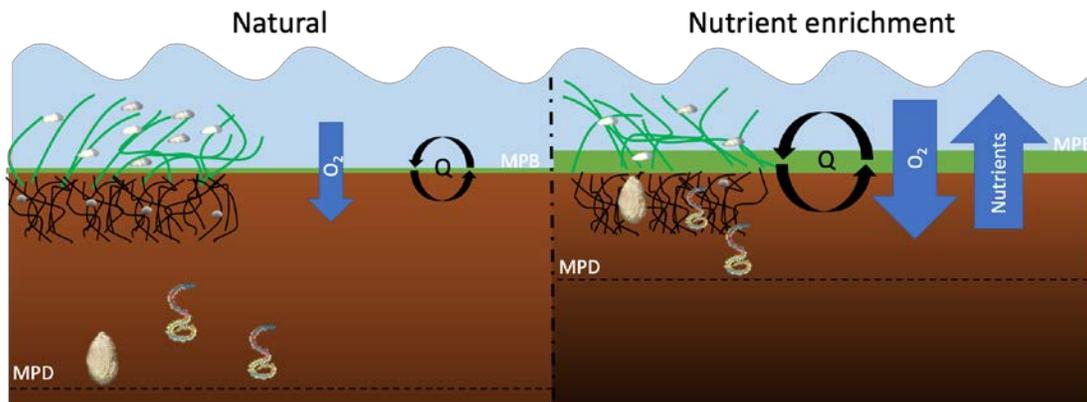


Figure 60. Résumé graphique des principaux résultats de l'objectif 1

Les expériences en laboratoire ont montré qu'un enrichissement en nutriment dans la colonne d'eau engendre une augmentation de la quantité de matière organique à la surface du sédiment ainsi que la concentration de solutés réduits dans les eaux interstitielles du sédiment. Ces effets ont eu des répercussions sur l'activité de la macrofaune benthique, qui a pénétré moins profondément dans la colonne sédimentaire et augmenté son activité de ventilation. En conséquence, les flux de nutriments du sédiment vers la colonne d'eau augmentent, favorisant le processus d'eutrophication. La présence de l'herbier (par rapport aux marelles) avait tendance à atténuer ces effets.



- Q: Porewater exchange rate
- MPD: Maximum Penetration Depth
- MPB: Microphytobenthos
- ➡ Benthic fluxes
- Darker colour indicates higher concentration of reduced species

Figure 61. Résumé graphique des principaux résultats de l'objectif 2

Conclusion

Le **projet Résilience côtière** a permis de créer des bases de données complètes et détaillées sur près de 4200 km de côtes au Québec maritime incluant 123 municipalités et 10 communautés autochtones. Les données de base concernent les types de côtes, les écosystèmes côtiers et les usages et sites d'intérêt côtiers. Le projet a aussi permis d'appliquer sur l'ensemble du territoire l'outil sur l'exposition potentielle des infrastructures à l'érosion côtière développé précédemment par le LDGIZC et la chaire de recherche en géosciences côtières. De nouveaux outils ont également été développés par l'équipe tels que l'indice de vulnérabilité de la zone côtière à l'érosion, la distance de migration potentielle des écosystèmes, la modélisation de l'effet des tempêtes sur les côtes basses et l'effet de la hausse du niveau marin sur les marais maritimes. Les données ont non seulement été produites pour la recherche, mais elles ont été partagées aux partenaires locaux, régionaux et nationaux du projet dans un format convivial. La plateforme de cartographie SIGEC Web assurera effectivement la diffusion d'une grande quantité de données et d'outils auprès de tous les partenaires.

Cependant, la fin du projet n'est que le début pour l'adaptation des communautés à l'érosion côtière. Maintenant, nous souhaitons que ces connaissances et outils soient bien intégrés et soient surtout utiles pour améliorer la planification de l'aménagement afin de faciliter le choix des solutions d'adaptation face à l'érosion côtière. Nous souhaitons aussi que d'autres outils soient développés selon les besoins des communautés côtières. L'équipe du LDGIZC restera à l'écoute des besoins et souhaite maintenir la collaboration établie avec les communautés côtières durant le projet Résilience côtière.

Références

- 1- Adger, W.N. (2006). Vulnerability. *Global Environmental Change*, 16, 268–281.
- 2- Allison, I. dir. (2009). *The Copenhagen Diagnosis 2009. Updating the World on the Latest Climate Science*. New South Wales University, Climate Change Research Centre, Sydney, Australia, 60 p.
- 3- Bagdanavičiūtė, I., Kelpšaitė-Rimkienė, L., Galinienė, J., Soomere, T. (2019). Index-based multi-criteria approach to coastal risk assessment. *Journal of Coastal Conservation*, 23, 785–800, DOI: [10.1007/s11852-018-0638-5](https://doi.org/10.1007/s11852-018-0638-5)
- 4- Barbier, E.B., Hacker, S.D., Kennedy, C., Koch, E.W., Stier, A.C., Silliman, B.R. (2011). The value of estuarine and coastal ecosystem services. *Ecological Monographs*, 81, 169–193.
- 5- Barnett, R. L., Bernatchez, P., Garneau, M., Brain, M. J., Charman, D. J., Stephenson, D. B., Haley, S., & Sanderson, N. (2019). Late Holocene sea-level changes in eastern Québec and potential drivers. *Quaternary Science Reviews*, 203, 151–169. DOI: [10.1016/j.quascirev.2018.10.039](https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2018.10.039)
- 6- Barnett, R. L., Bernatchez, P., Garneau, M., Juneau, M.-N. (2017). Reconstructing late Holocene relative sea-level changes at the Magdalen Islands (Gulf of St. Lawrence, Canada) using multi-proxy analyses. *Journal of Quaternary Science*, 32(3), 380–395. DOI: [10.1002/jqs.2931](https://doi.org/10.1002/jqs.2931)
- 7- Bell, S.L., Phoenix, C., Lovell, R., Wheeler, B.W. (2015). Seeking everyday wellbeing: The coast as a therapeutic landscape. *Social Science & Medicine*, 142, 56–67. DOI : [10.1016/j.socscimed.2015.08.011](https://doi.org/10.1016/j.socscimed.2015.08.011)
- 8- Bernatchez, P., Drejza, S., Dugas, S. (2012). *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.
- 9- Bernatchez, P., Dugas, S., Fraser, C., Da Silva, L. (2015). *Évaluation économique des impacts potentiels de l'érosion des côtes du Québec maritime dans un contexte de changements climatiques*. Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières, Université du Québec à Rimouski. Rapport remis à Ouranos, 45 p. et annexes.
- 10- Bernatchez, P., Dugas, S., Sauvé, P., Roy, M.-A. (2017). *Cartographie et analyse de l'artificialité du littoral de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent : rapport intermédiaire #1*. 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, mars 2017, 134 p.
- 11- Bernatchez, P. et Quintin, C. (2016). Potentiel de migration des écosystèmes côtiers meubles québécois de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent dans le contexte de la hausse appréhendée du niveau de la mer. *Le Naturaliste canadien*, 140(2), 91–104. DOI : [10.7202/1036507ar](https://doi.org/10.7202/1036507ar)
- 12- Bernatchez, P., Fraser, C. (2012). Evolution of coastal defence structures and consequences for beach width trends, Québec, Canada. *J. Coastal Res.*, 28, 1550–1566. DOI : [10.2112/jcoastres-d-10-00189.1](https://doi.org/10.2112/jcoastres-d-10-00189.1)
- 13- Bernatchez, P., Fraser, C., Friesinger, S., Jolivet, Y., Dugas, S., Drejza, S., 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. ouranos.ca/media/publication/145_Bernatchezetal2008.pdf
- 14- Bernatchez, P., Fraser, C., Lefavre, D., 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.
- 15- Bernatchez, P., Friesinger, S., Denis, C., Jolivet, Y. (2012). *Géorisques côtiers, vulnérabilité et adaptation de la communauté d'Ekuanitshit dans un contexte de changements climatiques*. Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières, Université du Québec à Rimouski. Rapport de recherche remis au Conseil tribal Mamuitun et au ministère des Affaires autochtones et Développement du nord Canada, 220 p.

- 16- Bernatchez, P., Sauvé, P., Dugas, S., Arsenault, E., Friesinger, S., Drejza, S., Roy, M.-A et Blain, M. (2020). *Cartographie et analyse de l'évolution de l'artificialité du littoral de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent (2010-2017)*. Chaire de recherche en géoscience côtière, Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières, Université du Québec à Rimouski. Rapport intermédiaire #2 remis au ministère de la Sécurité publique du Québec, novembre 2020, 52 p. + annexes.
- 17- Boruff, B.J., Emrich, C., Cutter, S.L. (2005). Erosion Hazard Vulnerability of U.S. Coastal Counties. *Journal of Coastal Research*, 21(5), 932–942. DOI: [10.2112/04-0172.1](https://doi.org/10.2112/04-0172.1)
- 18- Boyer-Villemaire, U., Bernatchez, P., Benavente, J., Cooper, J.A.G. (2014). Quantifying community's functional awareness of coastal changes and hazards from citizen perception analysis in Canada, UK and Spain. *Ocean & Coastal Management*, 93, 106–120. DOI: [10.1016/j.ocecoaman.2014.03.016](https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2014.03.016)
- 19- Bryan, B.A., Raymond, C.M., Crossman, N.D., Macdonald, D.H. (2010). Targeting the management of ecosystem services based on social values: Where, what, and how? *Landscape and Urban Planning*, 97(2), 111–122. DOI: [10.1016/j.landurbplan.2010.05.002](https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2010.05.002)
- 20- Bryce, R., Irvine, K. N., Church, A., Fish, R., Ranger, S. & Kenter, J. O. (2016). Subjective well-being indicators for large-scale assessment of cultural ecosystem services. *Ecosystem Services*, 21 (July), 258–269. DOI: [10.1016/j.ecoser.2016.07.015](https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2016.07.015)
- 21- Carson, D., Ensign, P.C., Rasmussen, R.O., Huskey, L., Taylor, A., Carson, D., Rasmussen, R., Ensign, P., Huskey, L., Taylor, A. (2011). *Perspectives on 'demography at the edge'*. in: Demography at the edge: Remote human populations in developed nations, 1st ed. Routledge, London. p. 3-20. DOI: [10.4324/9781315576480](https://doi.org/10.4324/9781315576480)
- 22- Chan, K. M. A., Satterfield, T. & Goldstein, J. (2012). Rethinking ecosystem services to better address and navigate cultural values. *Ecological Economics*, 74, 8–18. DOI : [10.1016/j.ecolecon.2011.11.011](https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2011.11.011)
- 23- Cooper, J.A.G., O'Connor, M.C., McIvor, S. (2020). Coastal defences versus coastal ecosystems: a regional appraisal. *Mar. Pol.* 111, 102 332 <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2016.02.021>
- 24- Corriveau, M., Bernatchez, P., Belzile, M., Senneville, S. (2018). *Influence de la réduction du couvert de glace sur l'érosion côtière en bordure des infrastructures routières de l'Est-du-Québec dans un contexte de changements climatiques (CC04.1) : Rapport final*. Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières, Université du Québec à Rimouski. Rapport remis au ministère des Transports du Québec, avril 2019, 457 p. et annexes.
- 25- Dalrymple, R.A. dir. (2012). *Sea-Level Rise for the Coasts of California, Oregon, and Washington: Past, Present, and Future*. Committee on Sea Level Rise in California, Oregon, and Washington; Board on Earth Sciences and Resources; Ocean Studies Board; Division on Earth and Life Studies; National Research Council. National Academy of Sciences. 260 p.
- 26- Desrosiers-Leblanc, L., Sauvé, P., Bernatchez, P., Arsenault, E., Paul-Hus, C., Fraser, C., [en préparation]. *Consultation des entreprises œuvrant en génie et en aménagement côtier : Limites et besoins pour le développement de la discipline au Québec*. Chaire de recherche en géoscience côtière, Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières, Université du Québec à Rimouski. Rapport pour le ministère de la Sécurité publique du Québec.
- 27- Didier, D., Bernatchez, P., Boucher-Brossard, G., Lambert, A., Fraser, C., Barnett, R., Van-Wierst, S. (2015). Coastal Flood Assessment Based on Field Debris Measurements and Wave Runup Empirical Model. *J. Mar. Sci. Eng.*, 3, 560–590. DOI : 10,3390/jmse3030560
- 28- Drejza, S., Friesinger, S., 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. Remis au ministère des Transports du Québec, 226 p. et annexes.

- 29- Drejza, S., Friesinger, S., Bernatchez, P., Marie, G. (2015). *Vulnérabilité des infrastructures routières de l'Est-du-Québec à l'érosion et à la submersion côtière dans un contexte de changements climatiques : Développement d'une approche et d'un indice pour quantifier la vulnérabilité des infrastructures routières à l'érosion et à la submersion côtière dans un contexte de changements climatiques sur 9 sites témoins. Volume III*. Projet X008.1. Université du Québec à Rimouski. Rapport remis au ministère des Transports du Québec, 308 p.
- 30- Ependa, A. (2004). *Les milieux ruraux québécois en restructuration : diagnostic, facteurs tangibles et intangibles de dévitalisation rurale et perspectives de développement local approprié*. Thèse de doctorat en développement régional, Université du Québec à Rimouski. 450 p.
- 31- Few, R., Brown, K & Tompkins EL. (2007). Climate change and coastal management; Decisions: Insights from Christchurch Bay, UK. *Coastal Management*. 35:255–270.
- 32- Fraser, C., Bernatchez, P. & Dugas, S. (2014). *Exposition potentielle des infrastructures à l'érosion côtière : développement d'un outil de planification de l'aménagement côtier ; MRC d'Avignon et de Bonaventure*. 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, 106 p. et annexes cartographiques.
- 33- Fraser, C., Bernatchez, P. et Dugas, S. (2017). Development of a GIS coastal land-use planning tool for coastal erosion adaptation based on the exposure of buildings and infrastructure to coastal erosion, Québec, Canada, *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 8 (2), pp. 1103-1125, DOI: 10.1080/19475705.2017.1294114
- 34- Fraser, C., Bernatchez, P., Drejza, S., & 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*. 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.
- 35- Freedman, M., Antil, T., Gagnon, J.-P. (2011). De la mise en valeur du patrimoine au développement durable. *Téoros Revue de recherche en tourisme*, 30(2), 124–127.
- 36- GIEC (2013). *Climate change 2013: The physical science basis*. Cambridge University Press, Cambridge. 222 p.
- 37- GIEC (2014). Changements climatiques 2014 : Rapport de synthèse. Contribution des Groupes de travail I, II et III au cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat [sous la direction de l'équipe de rédaction principale, R.K. Pachauri et L.A. Meyer]. GIEC, Genève, Suisse, 161 p.
- 38- GIEC (2014). Coastal Systems and Low-Lying Areas. In *Climate Change 2014—Impacts, Adaptation and Vulnerability: Part A: Global and Sectoral Aspects: Working Group II Contribution to the IPCC Fifth Assessment Report* (pp. 361-410). Cambridge University Press. DOI : [10.1017/CBO9781107415379.010](https://doi.org/10.1017/CBO9781107415379.010)
- 39- GIEC (2018). Résumé à l'intention des décideurs, Réchauffement planétaire de 1,5 °C, Rapport spécial du GIEC sur les conséquences d'un réchauffement planétaire de 1,5 °C par rapport aux niveaux pré-industriels et les trajectoires associées d'émissions mondiales de gaz à effet de serre, dans le contexte du renforcement de la parade mondiale au changement climatique, du développement durable et de la lutte contre la pauvreté [publié sous la direction de V. Masson-Delmotte, P. Zhai, H. O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J. B. R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M. I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor et T. Waterfield]. Organisation météorologique mondiale, Genève, Suisse, 32 p.
- 40- Giupponi C., Giove S., Giannini V. (2013). A dynamic assessment tool for exploring and communicating vulnerability to floods and climate change. *Environmental Modelling and Software*, 44, 136–147.
- 41- Gornitz, V., White, T.W., Cushman, R.M. (1991). *Vulnerability of the U.S. to future sea level rise* (Vol. 1). USA. [[osti.gov/servlets/purl/5875484](https://ostl.gov/servlets/purl/5875484)]
- 42- Goussard, J.J. (2014). *Stakes and challenges of vigilance facing coastal risks in a fast development context; presentation of the coastal risk regional prevention plan of Western Africa and the West African Coastal Observation Mission*, in: Connaissance et compréhension des risques côtiers : aléas, enjeux, représentations, gestion. Brest, France. 487 p.
- 43- Harvey, N. et Nicholls, R. (2008). Global sea-level rise and coastal vulnerability. *Sustainability Science*, 3, 5–7.

- 44- Helderop, E., and Grubestic, T.H. (2019). Social, geomorphic, and climatic factors driving U.S. coastal city vulnerability to storm surge flooding. *Ocean and Coastal Management*, 181(January), 104902. DOI: [10.1016/j.ocecoaman.2019.104902](https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2019.104902)
- 45- Hoffmann, R., and Muttarak, R. (2017). Learn from the Past, Prepare for the Future: Impacts of Education and Experience on Disaster Preparedness in the Philippines and Thailand. *World Development*, 96, 32–51. DOI: [10.1016/j.worlddev.2017.02.016](https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2017.02.016)
- 46- Jouzel, J., Planton, S., Le Cozannet, G., Cazenave, A., Costa, S., Douez, O., Gaufrès, P., Hissel, F., Idier, D., Laborie, V., Petit, V., Sergent, P. (2015). *Le climat de la France au XXI^e siècle*, Vol. 5, Changement climatique et niveau de la mer : de la planète aux côtes françaises. Rapport, ministère de la Transition écologique, Direction générale de l'énergie et du climat, France. 71 p.
- 47- Jude S, Jones AP, Andrews JE, Bateman IJ. (2006). Visualisation for participatory coastal zone management: a case study of the Norfolk coast, England. *Journal of Coastal Resilience*. 226:1527–1538.
- 48- Koohzare, A., Vaníček, P. et Santos, M. (2008). Pattern of recent vertical crustal movements in Canada, *Journal of Geodynamics*, 45 : 133-145.
- 49- Lozano, I., Devoy, R.J.N., May, W., Anderson, U. (2004). Storminess and vulnerability along the Atlantic coastlines of Europe : Analysis of storm records and of a greenhouse gases induced climate scenario. *Marine Geology*, 210, 205–225.
- 50- Marchand, M. (Ed). (2010). *Concepts and Science for Coastal Erosion Management*. Concise report for policy makers. Deltares, Delft, Pays-Bas. 32 p.
- 51- Marie, G. (2018). L'apport de la géographie aux études patrimoniales. In K. Hébert et J. Goyette, *Entre disciplines et indiscipline, le patrimoine*. Presses de l'Université du Québec, 232, 79–120.
- 52- Maru, Y.T., Stafford Smith, M., Sparrow, A., Pinho, P.F., Dube, O.P. (2014). A linked vulnerability and resilience framework for adaptation pathways in remote disadvantaged communities. *Global Environmental Change*, 28, 337–350. DOI: [10.1016/j.gloenvcha.2013.12.007](https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2013.12.007)
- 53- McCauley, D. J. (2006). Selling out on nature. *Nature*, 443(7107), 27–28. DOI: 10.1038/443027a
- 54- McLaughlin, S., McKenna, J., Cooper, J.A.G. (2002). Socio-economic data in coastal vulnerability indices: constraints and opportunities. *J Coastal Research*, 36, 487–497. DOI: [10.2112/1551-5036-36.sp1.487](https://doi.org/10.2112/1551-5036-36.sp1.487)
- 55- McLaughlin, S., Andrew, J., Cooper, G. (2010). A multi-scale coastal vulnerability index: A tool for coastal managers? *Environmental Hazards*, 9(3), 233–248. DOI: [10.3763/ehaz.2010.0052](https://doi.org/10.3763/ehaz.2010.0052)
- 56- Merkens, J.L., Reimann, L., Hinkel, J., Vafeidis, A.T. (2016). Gridded population projections for the coastal zone under the Shared Socioeconomic Pathways. *Global and Planetary Change*, 145, 57–66. DOI: [10.1016/j.gloplacha.2016.08.009](https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2016.08.009)
- 57- Meur-Férec, C., Deboudt, P., Morel, V. (2008). Coastal Risks in France: An Integrated Method for Evaluating Vulnerability. *Journal of Coastal Research*, 2(2), 178–189. DOI: [10.2112/05-0609.1](https://doi.org/10.2112/05-0609.1)
- 58- Nguyen, T.T.X., Bonetti, J., Rogers, K., Woodroffe, C.D. (2016). Indicator-based assessment of climate-change impacts on coasts: a review of concepts, methodological approaches and vulnerability indices. *Ocean & Coastal Management* 123, 18–43.
- 59- Nicholls, R.J. (2011). Planning for the impacts of sea level rise. *Oceanography* 24(2), 144–157.
- 60- Oppenheimer, M., et al. (2019). *Chapter 4: Sea Level Rise and Implications for Low Lying Islands, Coasts and Communities* in: Pörtner, H.-O. et al. (eds), IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate, Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- 61- Paul, S.K., 2013. Vulnerability concepts and its application in various fields: a review on geographical perspective. *Journal of Life and Earth Sciences*, 8, 63–81.
- 62- Peltier, W., Argus, D., Drummond, R. (2015). Space geodesy constrains ice age terminal deglaciation: The global ICE-6G_C (VM5a) model. *J. Geophys. Res-Earth*, 120(1), 450–487.
- 63- Preston B, Yuen EJ, Westaway RM. (2011). Putting vulnerability to climate change on the map: a review of approaches, benefits, and risks. *Sustainability science*. 6:177–202.
- 64- 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, Volume I : 48p. + Volume II : 170 p.

- 65- Roelvink, D., Reniers, A., Van Dongeren, A. P., De Vries, J. V. T., McCall, R., & Lescinski, J. (2009). Modelling storm impacts on beaches, dunes and barrier islands. *Coastal engineering*, 56 (11-12), 1133-1152.
- 66- Sauvé, P., Bernatchez, P., Glaus, M. (2020). The role of the decision-making process on shoreline armoring : A case study in Québec, Canada. *Ocean Coast. Manag.* 198. DOI: [10.1016/j.ocecoaman.2020.105358](https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2020.105358)
- 67- Schwalm, C. R., Glendon, S. & Duffy, P. B. (2020). RCP8. 5 tracks cumulative CO2 emissions. Proceedings of the National Academy of Sciences, 117(33), 19656-19657.
- 68- Senneville, S., St-Onge-Drouin, S., Dumont, D., Bihan-Poudec, A.-C., Belemaalem, Z., Corriveau, M., Bernatchez, P., Bélanger, S., Tolszczuk-Leclerc, S., Villeneuve, R. (2014). *Modélisation des glaces dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent dans la perspective des changements climatiques*. ISMER-UQAR. Rapport final présenté au ministère des Transports du Québec, 384 p.
- 69- Slangen, A. B. A., Carson, M., Katsman, C. A., van de Wal, R. S. W., Köhl, A., Vermeersen, L. L. A., et Stammer, D. (2014). Projecting twenty-first century regional sea-level changes. *Climatic change*, 124(1-2): 317-332.
- 70- Silva, R., Martínez, M.L., Hesp, P.A., Catalan, P., Osorio, A.F., Martell, R., Fossati, M., Miot da Silva, G., Mariño-Tapia, I., Pereira, P., Cienguegos, R., Klein, A., Govaere, G. (2014). Present and Future Challenges of Coastal Erosion in Latin America. *J. Coastal Res.* 71, 1–16. DOI: [10.2112/si71-001.1](https://doi.org/10.2112/si71-001.1)
- 71- Silva, T.A., Freitas, M.C., Andrade, C., Taborda, R., Freire, P., Schmidt, S., Antunes, C. (2013). Geomorphological response of the salt marshes in the Tagus estuary to sea level rise, *J. Coastal Res. Special Issue No. 65*, 582–587.
- 72- UICN France (2013). *Panorama des services écologiques fournis par les milieux naturels en France — volume 2.2 : les écosystèmes marins et côtiers*. Paris, France.
- 73- Vitousek, S., Barnard, P.L., Fletcher, C.H., Frazer, N., Erikson, L., Storlazzi, C.D. (2017). Doubling of coastal flooding frequency within decades due to sea-level rise. *Sci. Rep.* 7, 1399. DOI: [10.1038/s41598-017-01362-7](https://doi.org/10.1038/s41598-017-01362-7)
- 74- Yang, X. (Ed.) (2009). *Remote Sensing and Geospatial Technologies for Coastal Ecosystem Assessment and Management*. 1st edition, 1–14). Springer, Tallahassee.
- 75- Yoo, G., Hwang, J.H. & Choi, C. (2011). Development and application of a methodology for vulnerability assessment of climate change in coastal cities. *Ocean and coastal management*, 54, 524-53.
- 76- Zhang K, Douglas, BC, Leatherman SP. (2004). Global warming and coastal erosion. *Climate Change*. 64:41–58.