

# Caractérisation côtière du territoire de la Table de concertation régionale, zone de Québec

## RAPPORT FINAL

Rapport remis à la Communauté Métropolitaine de Québec

Sous la coordination de

Pascal Bernatchez

Mars 2016



## ÉQUIPE DE RÉALISATION

### Responsable du projet

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

**Robert Masson**, Coordonnateur, Gestion intégrée du Saint-Laurent  
Communauté Métropolitaine de Québec

### Chargée de projet (Recherche, numérisation, segmentation, analyse et rédaction)

**Chantal Quintin**, M.Sc., professionnelle de recherche, LDGIZC, UQAR

### Recherche, segmentation, analyse et rédaction

**Evelyne Arsenault**, Candidate à la maîtrise, géographie, UQAR

### Relevés sur le terrain

**Patrice Lapointe**, Techn. écologie appliquée, Technicien en géographie, LDGIZC, UQAR

**Simon Claveau**, B.Sc, préposé à l'aide technique, LDGIZC-UQAR

### Numérisation

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

## REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier Robert Masson, François Morneau, Carole Beauregard, Caroline Lavoie et Bruno Labonté de l'équipe la Communauté Métropolitaine de Québec (CMQ), pour leur appui et leur collaboration tout au long du projet.

Nous désirons également remercier la CMQ pour le financement de ce projet et pour l'accès aux sources de données numériques.

## RÉFÉRENCE COMPLÈTE

Quintin C., Arsenault, E. et Bernatchez, P. 2016. *Caractérisation côtière du territoire de la Table de concertation régionale, zone de Québec*. Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières, Université du Québec à Rimouski. Rapport remis à la Communauté Métropolitaine du Québec (CMQ), 50 p + annexes.

### Photographies de la page couverture :

Terrasse de plage, Saint-Augustin-de-Desmaures, LDGIZC, 2015; Marais maritime, Île d'Orléans, LDGIZC, 2015; Falaise meuble, Saint-Augustin-de-Desmaures, Canards Illimités Canada, 2011; Falaise rocheuse, Bellechasse, LDGIZC, 2015; Côte artificielle avec muret de béton, Île d'Orléans, LDGIZC, 2015; Côte artificielle avec enrochement, LDGIZC, 2015; Débordement côtier, Saint-Michel-de-Bellechasse, Jacques Lauzier, 2013 et Lise Paquette, 2007.

## Avant-propos

En janvier 2013, le ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC) et la Communauté métropolitaine de Québec (CMQ) ont signé une convention d'aide financière afin que la CMQ contribue à la gestion intégrée du Saint-Laurent (GISL) en assurant la mise en place, la coordination et la présidence de la Table de concertation régionale de la zone de Québec (TCR-Québec).

Fondée officiellement le 4 mars 2014, la TCR-Québec a pour mandat d'amener les différents intervenants régionaux touchés par la GISL à harmoniser leurs actions de façon optimale afin d'élaborer un plan de gestion intégrée régional (PGIR) représentatif des préoccupations et priorités d'action des acteurs de la zone et d'en suivre la mise en œuvre. Bien que plusieurs intervenants du territoire de la TCR-Québec constatent des enjeux économiques et environnementaux associés à l'érosion et la submersion côtières, aucun portrait de la situation sur l'ensemble du territoire n'avait été réalisé à ce jour. C'est dans ce contexte que la CMQ a confié au Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières (LDGIZC) de l'Université du Québec à Rimouski un mandat qui a pour but de dresser un portrait de la côte par la réalisation d'une caractérisation côtière développée à l'intérieur d'un Système d'Information Géographique (SIG). La finalité de ce projet permettra aux intervenants de la TCR-Québec de mieux connaître et de comprendre les constats observés. De plus, la caractérisation côtière fournira un outil de premier regard sur les principales caractéristiques de la côte du territoire de la TCR-Québec ainsi que les facteurs jouant un rôle clé sur la dynamique côtière.



## Table des matières

Avant-propos .....	iii
Table des matières .....	v
Liste des figures .....	vii
Liste des tableaux .....	ix
Glossaire .....	xi
1. Introduction.....	1
1.1. Mise en contexte .....	1
1.2. Localisation et description du territoire de la TCR-Québec .....	3
1.3. Objectifs.....	6
1.4. Présentation du rapport .....	7
2. Méthodologie .....	8
2.1. La caractérisation côtière .....	8
2.2. Les processus d'érosion actifs .....	12
2.3. Les taux de déplacement des côtes actives.....	12
3. Résultats .....	13
3.1. Caractérisation côtière .....	13
3.1.1. Les types de côte .....	13
3.1.2. L'état de la côte .....	17
3.1.3. Les côtes naturelles .....	21
3.1.4. Les côtes artificielles.....	21
3.2. Des processus bel et bien actifs .....	27
3.3. Analyse du réseau de stations de suivi de l'érosion de berges .....	30
4. Discussion .....	35
4.1. Autres particularités observées sur le territoire .....	36
4.1.1. Les blocs glaciels.....	36
4.1.2. Les débordements côtiers .....	36
4.1.3. Le batillage.....	38
4.1.4. Le coincement côtier ( <i>coastal squeeze</i> ) .....	38
4.2. Les effets des changements climatiques.....	41

4.3.	Des enjeux actuels et à venir.....	42
4.4.	Des pistes d'actions pour mener à des mesures d'adaptation appropriées .....	43
5.	Conclusion .....	45
	Références .....	46
	Annexe 1. Description des données numériques.....	51
	Tableau A : description des champs attributaire .....	51
	Tableau B : Type de côte .....	52
	Tableau C : État de la côte .....	56
	Tableau D : Artificialité .....	57
	Tableau E : Type d'artificialité .....	58
	Tableau F : État de l'artificialité .....	61
	Tableau G : Description des lignes de référence .....	62
	Annexe 2. Description des processus et réponses morphologiques rencontrés sur le territoire de la TCR-Québec.....	63
	Tableau A : Côte à marais maritime .....	63
	Tableau B : Côte meuble basse (<2 m) Terrasse de plage.....	65
	Tableau C : Falaise meuble (>2 m).....	66
	Tableau D : Falaise rocheuse (>2 m).....	67
	Tableau E : Côte rocheuse (<2 m).....	69
	Tableau F : Côte artificialisée.....	70

## Liste des figures

Figure 1. Processus d'aide à la décision menant à des mesures d'adaptation aux changements climatiques en milieux côtiers, adaptée de Whitman et MacLennan. (2015). .....	2
Figure 2. Localisation du territoire de la TRC-Québec dans l'estuaire fluvial du Saint-Laurent.....	4
Figure 3. Territoire à l'étude.....	5
Figure 4. Étapes de la caractérisation côtière. ....	8
Figure 5. Exemples de sources d'information employées pour la réalisation de la caractérisation côtière du territoire de la TCR-Québec. ....	10
Figure 6. Exemple de l'importance de la validation de la caractérisation côtière à l'aide de relevés sur le terrain à l'île-d'Orléans. Les relevés sur le terrain ont permis dans ce cas-ci d'identifier un enrochement qui n'était pas visible sur l'orthophotographie aérienne ainsi que sur le modèle numérique de terrain (MNT) dû à un couvert végétal arborescent.....	11
Figure 7. Relevé sur le terrain des stations de suivi de l'érosion des côtes, modifié de LDGIZC, 2016.....	12
Figure 8. Répartition de la longueur des types de côte inventoriés sur le territoire de la TCR-Québec. Crédit photos : Canards Illimités Canada, 2011 et LDGIZC, 2015. ....	14
Figure 9 : Répartition spatiale des types de côte et leur distribution selon les MRC du territoire de la TCR-Québec .....	15
Figure 10. Répartition de la longueur de l'état de la côte observé sur le territoire de la TCR-Québec. Crédit photos : Canards Illimités Canada, 2011 et LDGIZC, 2015. ....	17
Figure 11. Répartition spatiale de l'état de la côte et leur distribution selon les MRC du territoire de la TCR-Québec. ....	19
Figure 12. Répartition spatiale de la présence et l'absence de côtes artificielles et leur distribution selon les MRC du territoire de la TCR-Québec. ....	23
Figure 13. Répartition spatiale du type d'artificialité et leur distribution selon les MRC du territoire de la TCR-Québec (voir définition des types d'artificialité à l'annexe 1, Tableau E). ....	25
Figure 14. Taux de déplacement estimé à partir des relevés terrain réalisés annuellement entre 2007 et 2014 par le LDGIZC, TCR-Québec. ....	31
Figure 15. Marais maritime en érosion de la Côte-de-Beaupré (gauche) et terrasse de plage artificialisée sur la rive sud de l'île d'Orléans (droite). Crédit photos : LDGIZC, 2015. ....	35

Figure 16. Blocs glaciels observés à Saint-Augustin-de-Desmaures. Crédit photos : Google Earth, 2016 et Canards Illimités Canada, 2011. ....	36
Figure 17. Signes apparents de débordements côtiers observés lors des relevés sur le terrain réalisés en novembre 2015 à Bellechasse (haut) et à Saint-Augustin-de-Desmaures (bas). Crédit photos : LDGIZC, 2015. ....	37
Figure 18. Débordements côtiers survenus à Saint-Michel-de-Bellechasse; rue des Remparts. Crédit photos : a) Gracieuseté de Francine Gagnon, b) et c) Lise Paquette, d) Jacques Lauzier. ....	38
Figure 19. Schéma illustrant les facteurs qui influencent le coincement côtier. Déplacement de l'écosystème côtier en absence de contraintes (a). Déplacement de l'écosystème côtier bloqué par une contrainte naturelle (b). Déplacement de l'écosystème côtier bloqué par une contrainte anthropique (c et d) (Bernatchez et Quintin, 2016). ....	40
Figure 20. Cadre bâti et infrastructures de transport susceptibles d'entraîner un coincement côtier sur les marais maritimes, Sainte-Anne-de-Beaupré. Crédit photos : Lahoud. ....	41
Figure 21. Processus d'aide à la décision menant à des mesures d'adaptation aux changements climatiques en milieu côtier. ....	43

## Liste des tableaux

Tableau 1. Synthèse de l'évolution des marais maritimes inventoriée dans la littérature sur le territoire de la TCR-Québec.....	3
Tableau 2. Niveau marégraphique (m) des stations pertinentes pour le territoire de la TCR-Québec. ....	6
Tableau 3. Sources d'information utilisées pour la réalisation de la caractérisation côtière du territoire de la TCR-Québec.....	9
Tableau 4. Type de côte inventorié sur le territoire de la TCR-Québec. ....	13
Tableau 5. Processus potentiellement associés aux différents types de côte rencontrés en fonction des agents d'érosion actifs sur le territoire de la TCR-Québec.....	28
Tableau 6. Processus potentiellement associés aux différents types d'artificialité rencontrés en fonction des agents d'érosion actifs sur le territoire de la TCR-Québec.....	30
Tableau 7. Déplacement moyen estimé à partir des relevés terrain réalisés annuellement entre 2007 et 2014 par le LDGIZC sur les stations de suivi de l'érosion des berges selon les types de côte inventoriés des municipalités et MRC du territoire de la TCR-Québec* .....	33
Tableau 8. Déplacement moyen annuel calculé à partir des relevés terrain réalisés par le LDGIZC entre 2007 et 2014 des municipalités et MRC du territoire de la TCR-Québec.....	34
Tableau 9. Principaux enjeux identifiés sur le territoire de la TCR-Québec.....	42



## Glossaire

Taux de déplacement :	Il s'agit de la moyenne des différentes mesures annuelles de déplacement de la côte. Notons que les valeurs négatives correspondent à l'érosion de la côte alors que les valeurs positives correspondent à une avancée de la côte vers la mer.
Déplacement moyen :	Il s'agit de la moyenne des taux de déplacement mesurés pour un secteur donné (municipalité, MRC, etc.). Notons que les valeurs négatives correspondent à une tendance à l'érosion de la côte alors que les valeurs positives correspondent à une tendance à l'avancée de la côte vers la mer.
Ligne de rivage * :	Cette limite géomorphologique correspond à la limite de végétation herbacée dense, à la base d'un ouvrage de protection ou à la base d'une falaise. Elle correspond automatiquement à la limite des hautes mères maximales / pleines mers supérieures de grandes marées. Pour les marais maritimes, la ligne de rivage correspond à la limite entre le schorre supérieur et inférieur, soit approximativement le niveau moyen des hautes mers / pleines mers supérieures de marées moyennes.
Trait de côte * :	Cette limite géomorphologique correspond au sommet du talus côtier. C'est la limite de la zone d'influence des processus côtiers, la limite entre la côte et l'arrière côte. Dans les marais maritime, il s'agit de l'arrière du schorre supérieur, soit lorsque la végétation devient terrestre. Pour les besoins de mesure de l'évolution et pour la caractérisation des côtes, cela correspond également au sommet d'un ouvrage de protection rigide, bien que dans ce dernier cas, les processus côtiers puissent affecter les terrains situés en arrière de l'ouvrage anthropique lors des tempêtes.
Schorre supérieur ** :	Zone d'accumulation de sédiments fins colonisée par de la végétation herbacée inondée lors de la pleine mer supérieure de grande marée.
Schorre inférieur ** :	Zone d'accumulation de sédiments fins colonisée par de la végétation herbacée inondée lors de la pleine mer supérieure de marée moyenne.

Source : \*Bernatchez et Drejza (2015) et \*\*Quintin *et al.* (2006)

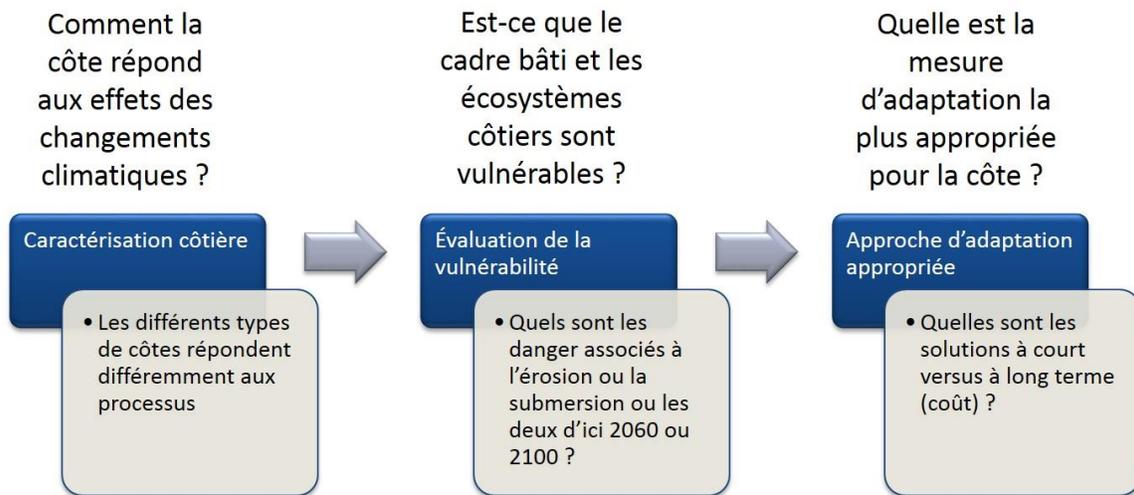


## 1. Introduction

### 1.1. Mise en contexte

La prise en compte de l'érosion et de la submersion côtière occupe une place de plus en plus importante dans la gestion des territoires côtiers à l'échelle mondiale. Au Québec, en plus d'une augmentation mesurée de l'intensité de l'érosion côtière dans plusieurs secteurs (Bernatchez et Dubois, 2004; Bernatchez *et al.*, 2008), les épisodes de déferlement de vagues et de débordements côtiers pourraient être plus fréquents et plus intenses dû aux effets des changements climatiques (Nicholls et Cazenave, 2010). Ces phénomènes s'inscrivent dans l'évolution naturelle du littoral. Depuis plusieurs décennies, l'attrait pour les plans d'eau et le Saint-Laurent se traduit par une densification de la présence et des activités humaines. Notamment, la conversion de chalets en résidences principale est souvent observée pour les propriétés riveraines. Ainsi, des bâtiments et des infrastructures sont exposés aux risques d'érosion et de submersion côtière.

Depuis les années 2000, plusieurs démarches ont été mises en place au Québec maritime afin de mieux comprendre la problématique liée à l'érosion côtière et de développer des outils d'aide à la prise de décision. Cette démarche est basée sur trois grandes étapes (figure 1.). La première étape consiste tout d'abord à caractériser la côte, ce qui permet de définir comment cette dernière répond aux différents processus. Par la suite, une évaluation de la vulnérabilité est réalisée. Celle-ci, à l'aide d'une analyse historique, permet de projeter la côte à court et moyen terme afin finalement d'aider la prise de décision sur la mesure d'adaptation la plus appropriée à adopter pour la côte. Dans certaines régions, cette démarche a permis de proposer un zonage des marges de sécurité en érosion côtière, qui représente un outil réglementaire très demandé par les responsables de l'aménagement du territoire (Bernatchez *et al.*, 2012b; Bernatchez *et al.*, 2012c; Bernatchez *et al.*, 2008; Fraser *et al.*, 2012). Des outils pour la planification territoriale et l'identification des zones d'intervention prioritaires ont aussi été développés dans les MRCs d'Avignon, de Bonaventure et des Îles-de-la-Madeleine (Fraser *et al.*, 2014a; Fraser *et al.*, 2014b). Quelques municipalités ont aussi fait l'objet d'une analyse coûts-avantages permettant de faire un choix éclairé sur les stratégies d'adaptation à préconisées (Leclerc et Dupuis, 2008; Ouranos, 2015; Tecsalt, 2008).



**Figure 1. Processus d'aide à la décision menant à des mesures d'adaptation aux changements climatiques en milieux côtiers, adaptée de Whitman et MacLennan. (2015).**

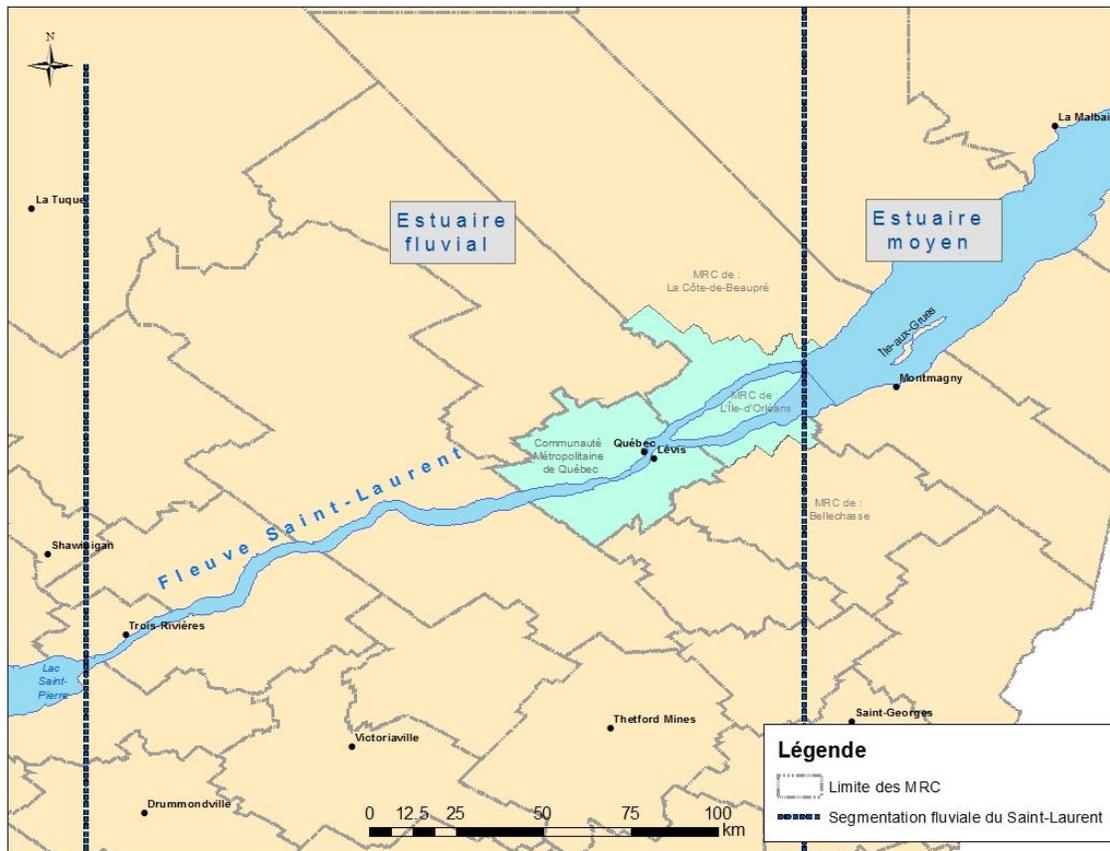
Bien que la compilation de résultats sur l'évolution côtière à l'échelle nationale, continentale et même mondiale démontre que les changements climatiques ont un impact direct sur les milieux côtiers, la gestion des risques côtiers et l'intégration des impacts potentiels liés aux changements climatiques sont encore peu explorés pour les zones côtières de la région de Québec et ses environs. À ce jour, peu de données sont disponibles relativement à l'évolution côtière sur le territoire de la TCR-Québec. Les travaux réalisés pour ce secteur (Allaire et Parent, 2004; Argus, 2001; Bhiry *et al.*, 2013; Dionne, 2000; Jean et Létourneau, 2011) portent principalement sur la caractérisation, la préservation ou la mise en valeur des milieux humides ou autres habitats écologiques riverains. Bien qu'ils aient parfois caractérisé l'artificialisation de la côte et quelques une de ses propriétés, ces derniers s'attardent principalement aux modifications de la zone intertidale. Dans les marais maritimes, certains travaux ont toutefois mesuré leur évolution. Une synthèse de ces travaux répertoriés dans la littérature est présentée au tableau 1. De plus, une étude de caractérisation de la côte a été réalisée à Saint-Augustin-de-Desmaures départageant les côtes naturelles de celles munies de différentes structures de protection (Génivar, 2009). Cette dernière étude évaluait également le degré d'efficacité des ouvrages en place en plus de prioriser d'éventuelles interventions.

**Tableau 1.Synthèse de l'évolution des marais maritimes inventoriée dans la littérature sur le territoire de la TCR-Québec.**

Source	Période	Localisation des marais	Évolution de la côte	Entité mesurée	Méthode
Allard (1981)	1963-1972	Anse aux canards (pointe est de l'île d'Orléans)	4,9 m/an	Limite inférieure du schorre	Photo- interprétation
	1972-1978		2,7 m/an		
Allard <i>et al.</i> (2012)	1964-2002	Cap-Tourmente	-0,9 m/an à -1,8 m/an	Limite du schorre supérieur/inférieur	Photo- interprétation
Troude et Sérodes (1985)	1964-1981	Cap-Tourmente	-2 m/an	Limite du schorre supérieur/inférieur	Photo- interprétation
Dionne (1986)	1964-1981	Cap-Tourmente	-1,8 m	Limite du schorre supérieur/inférieur	Photo- interprétation
Dionne (2000)	1992-1998	Sainte-Anne-de-Beaupré	-1 m	Limite du schorre supérieur/inférieur	Piquet
Jean et Létourneau (2011)	1970-78 à 1990-91	Côte de Beaupré	-81 ha	Superficie des marais	Téledétection
Bhiry <i>et al.</i> (2013)	1965-2010	Saint-Augustin-de-Desmaures	-0,10 m/an	Déplacement du schorre supérieur vers les terres	Photo- interprétation
			-370 m <sup>2</sup>	Superficie du schorre supérieur	
			+9670 m <sup>2</sup>	Superficie du schorre inférieur	
			-1360 m <sup>2</sup>	Superficie de la plage	
	1963-2010	Beaumont	-0,10 à -0,30 m/an	Déplacement du schorre supérieur vers les terres	
			-770 m <sup>2</sup>	Superficie du schorre supérieur	
			-710 m <sup>2</sup>	Superficie de la plage	
			Augmentation	Superficie du schorre inférieur	
	1960-2008	Château Richer	0,62 à 0,64 m/an	Déplacement du schorre supérieur vers les terres	
			-4880 m <sup>2</sup>	Superficie du schorre supérieur	
			Tendance variable	Superficie du schorre inférieur	

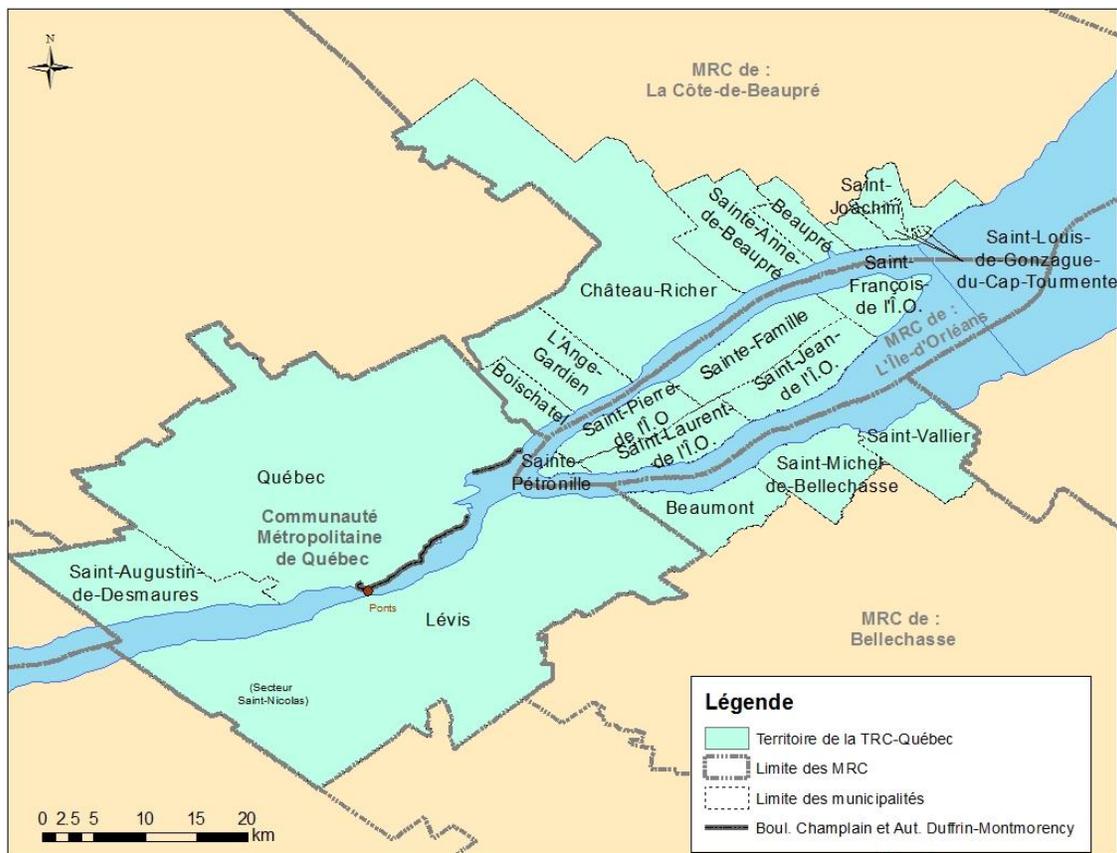
## 1.2. Localisation et description du territoire de la TCR-Québec

Le territoire de la TCR-Québec est situé à l'extrême est de l'estuaire fluvial du fleuve Saint-Laurent qui s'étend, lui, entre l'extrémité avale du lac Saint-Pierre et la pointe est de l'île d'Orléans (figure 2).



**Figure 2. Localisation du territoire de la TRC-Québec dans l'estuaire fluvial du Saint-Laurent.**

Dans le cadre de cette étude, la zone côtière étudiée couvre un territoire allant de Saint-Augustin-de-Desmaures à Saint-Joachim sur la rive nord, sur la rive sud de la Ville de Lévis à la MRC de Bellechasse ainsi que l'île d'Orléans (figure 3). On observe sur les côtes de la rive sud, une alternance de falaises rocheuses associées aux affleurements appalachiens et de dépôts littoraux, sur les basses terrasses entre ces crans rocheux, liés au retrait de la Mer de Champlain. Sur la zone intertidale, des marais se sont développés en plusieurs endroits le long de la rive sud, sur la rive nord de l'île d'Orléans de même que le long de la côte de Beaupré et à l'ouest des ponts. À Québec, la côte se caractérise par une basse terrasse, dont de longs segments sont composés de matériaux de remblai mis en place pour la construction du boulevard Champlain et de l'autoroute Dufferin-Montmorency. À l'ouest des ponts, soit les secteurs de Saint-Nicolas et de Saint-Augustin-de-Desmaures, d'étroites terrasses de plage peuvent être observées à la base de falaises meubles. Celles-ci sont également présentes au pied des falaises rocheuses sur les côtes de Bellechasse.



**Figure 3. Territoire à l'étude.**

La variabilité locale des niveaux d'eau constitue un élément important à considérer pour évaluer la dynamique côtière de ce milieu. Dans le secteur étudié, la largeur du fleuve varie de 600 m aux hauteurs des ponts entre Québec et Lévis à près de 15 km entre Cap-Tourmente et Montmagny entraînant une grande variation dans les amplitudes de la marée. En effet, la région de Québec présente les plus fortes amplitudes de marée du système Saint-Laurent (tableau 2). Les conditions climatiques (vents, basses pressions atmosphériques) combinées à de fortes marées astronomiques peuvent également contribuer à rehausser les niveaux d'eau lors d'événements de tempêtes. À ceci s'ajoutent périodiquement des apports d'eau liés aux crues printanières ou pluviales du fleuve et de ses affluents. Selon leur localisation, les côtes sont exposées aux vents, aux vagues et aux courants de marée qui peuvent s'avérer des agents d'érosion considérables. Ceux-ci peuvent également contribuer à l'élévation du niveau d'eau et favoriser des épisodes de submersion. D'ailleurs, des avertissements d'onde de tempête<sup>1</sup> sont parfois émis pour les secteurs côtiers de la zone étudiée.

<sup>1</sup> Émis pour les niveaux anormalement élevés des eaux et les vagues hautes pouvant inonder les côtes et causés par une tempête (onde de tempête ou marée de tempête). Cela se produit généralement lorsque les marées astronomiques sont à leur maximum. Environnement et changements climatiques Canada, Critères d'alertes météo publiques. Consultation en ligne: 28 janvier 2016 <http://www.ec.gc.ca/meteo-weather/default.asp?lang=Fr&n=d9553ab5-1#ondedetempete>

L'importante artificialisation observée dans le secteur d'étude témoigne d'ailleurs d'un long historique d'épisodes d'érosion et de submersion côtière. Sur l'ensemble du territoire, on retrouve sur les basses terrasses, des chalets, ou des résidences principales, majoritairement protégées par diverses structures de protection rigides (muret de béton et enrochement). Pour les villes de Québec, la rive sud de l'île d'Orléans de même que pour Lévis et les villages côtiers de Bellechasse, le gouvernement fédéral aurait consenti une aide financière aux municipalités pour la construction de murets de ciment dans les années 1960 (Morneau *et al.*, 2014).

**Tableau 2. Niveau marégraphique (m) des stations pertinentes pour le territoire de la TCR-Québec.**

Localité (no. de station)	Marnage		Amplitude de marée		Extrême enregistré		Niveau moyen de l'eau
	GM	MM	GM	MM	Pleines mers	Basses mers	
St-Joachim (#3080)	7,1	4,8	6,8	5,4	n.d.	n.d.	2,7
Sainte-Anne-de-Beaupré (#3087)	6,7	5,0	6,6	5,5	7,1	-0,5	2,9
Montmorency (#3095)	6,0	4,4	5,8	4,8	n.d.	n.d.	2,5
Saint-François I.O. (#3100)	6,7	4,8	6,8	5,5	7,6	-0,6	2,9
Saint-Jean I.O. (#3105)	6,5	4,9	6,2	5,1	6,4	-0,3	2,5
Saint-Laurent I.O. (#3110)	6,5	4,7	6,0	5,0	6,7	-0,3	2,5
Vieux Québec (#3248)	5,7	4,1	6,1	n.d.	6,8	-0,4	2,6
Québec (Lauzon) (#3250)	6,2	4,4	6,1	4,8	7,1	-1,5	2,5
Immigration Wharf (#3251)	5,5	4,0	6,0	n.d.	n.d.	n.d.	2,6
Saint-Nicolas (#3270)	4,7	3,5	5,7	n.d.	n.d.	n.d.	2,5
Neuville (#3280)	4,6	3,6	5,4	n.d.	6,5	-0,9	2,5

Source : (SHC, 2016)  
 GM : grande marée  
 MM : marée moyenne  
 n.d. : non disponible

### 1.3. Objectifs

Les problématiques associées à l'érosion et à la submersion côtière ont été signalées par plusieurs intervenants de la Communauté métropolitaine de Québec (CMQ) (Bernier *et al.*, 2015; Morneau *et al.*, 2014). Or, le manque de connaissances est un frein afin de répondre aux enjeux actuels et futurs. À l'issue de rencontres avec des représentants de la TCR-Québec et à l'initiative de la CMQ, le Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières (LDGIZC) de l'Université du Québec à Rimouski (UQAR) propose un projet de recherche pour

caractériser le littoral du territoire de la TCR-Québec.

De façon plus spécifique le projet vise à :

- Numériser le trait de côte et la ligne de rivage à l'aide d'orthophotographies récentes;
- Déterminer le type et l'état de la côte ainsi que les processus actifs par photo-interprétation;
- Analyser les données existantes sur l'érosion côtière (stations de suivi du LDGIZC).

#### **1.4. Présentation du rapport**

Le rapport comprend trois parties. À la suite de cette introduction, la partie 2 présente la méthodologie qui a mené au portrait de la côte du territoire de la TCR-Québec. Les résultats de cette caractérisation sont présentés dans la troisième partie. Celle-ci expose une analyse des types de côte et de leur état ainsi que le type et l'état de l'artificialité suivi d'une description des processus d'érosion actifs. Une analyse des relevés des stations de suivi de l'érosion des côtes du LDGIZC réalisés entre 2007 et 2014 est également effectuée. Les éléments de cette partie permettront, dans la quatrième partie, de dégager quelques constats spécifiques au territoire de la TCR-Québec et d'émettre quelques pistes d'action qui pourraient mener vers des mesures d'adaptation aux changements climatiques en milieux côtiers.

## 2. Méthodologie

### 2.1. La caractérisation côtière

La caractérisation côtière comprend quatre grandes étapes (figure 4). Elle consiste d'abord à numériser un tracé détaillé de la ligne de rivage et du trait de côte dans un Système d'Information Géographique (SIG) (ArcGIS 10.2), à partir d'orthophotographies aériennes les plus récentes. La ligne de rivage correspond au niveau supérieur des hautes eaux qui est associé généralement à la limite de la végétation stable, soit celle de la végétation dans le cas des milieux sableux (terrasse de plage) ou celle de l'interface entre le schorre inférieur et supérieur pour les marais maritimes. Cette limite est plutôt constante et stable et constitue la meilleure limite à utiliser pour les côtes basses (terrasses de plage, marais maritimes) dans une optique d'évolution côtière (Grenier et Dubois, 1992). Dans le cas de côtes artificielles, la limite supérieure des ouvrages de protection est utilisée. Lorsqu'il s'agit d'une falaise, c'est la rupture de pente au haut de la falaise qui est utilisée comme trait de côte

Le tracé est ensuite délimité par des segments côtiers homogènes selon des caractéristiques spécifiques. Un nouveau segment est déterminé dès qu'une des caractéristiques côtières (type et état de la côte et type et état de l'artificialité) subit un changement sur une longueur minimale d'environ 5 m. Dans le cadre de cette étude, le changement des caractéristiques a été identifié à l'aide de différentes sources de données intégrées dans un SIG disponible sur le portail de la CMQ et au LDGIZC (tableau 3 et figure 5).

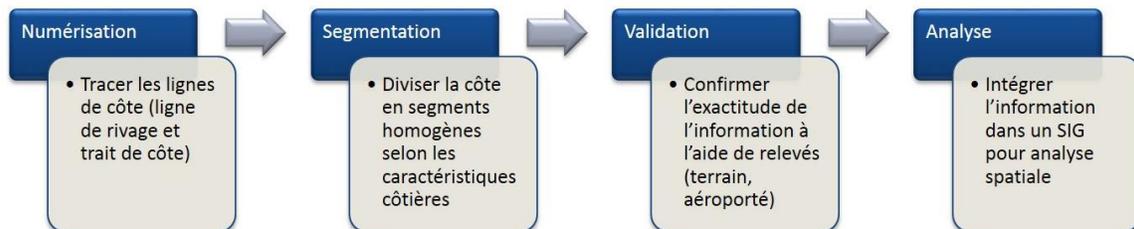


Figure 4. Étapes de la caractérisation côtière.

**Tableau 3. Sources d'information utilisées pour la réalisation de la caractérisation côtière du territoire de la TCR-Québec.**

Source d'information	Provenance	Secteur couvert
Orthophotographie couleur	CMQ, 2013	MRC Côte-de-Beaupré, de l'Île d'Orléans, Lévis et Agglomération de Québec
Orthophotographie couleur	CMQ, 2011	MRC de Bellechasse
Lidar	CMQ, 2012	L'ensemble du territoire de la TCR-Québec (à l'exception de la rive nord de l'Île d'Orléans)
Modèle numérique de terrain (MNT)	CMQ, 2012	L'ensemble du territoire de la TCRQ (à l'exception de la rive nord de l'Île d'Orléans)
Relevés sur le terrain (validation de la caractérisation côtière)	LDGIZC, 2015	MRC de Bellechasse et de l'Île d'Orléans, ainsi que la municipalité de Saint-Augustin-de-Desmaures
Relevés sur le terrain (suivi de l'érosion des berges)	LDGIZC, 2007 à 2014	MRC Côte-de-Beaupré, de l'Île d'Orléans
Photographie aérienne oblique	Canards Illimités, 2005-2012	L'ensemble du territoire de la TCR-Québec
Photographie aérienne oblique	LDGIZC, 2010	MRC de la Côte-de-Beaupré
Imagerie aérienne 3D	Google earth, 2016	L'ensemble du territoire de la TCR-Québec



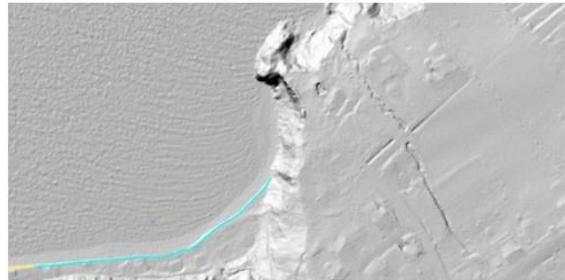
Relevé sur le terrain



Relevé aéroporté oblique



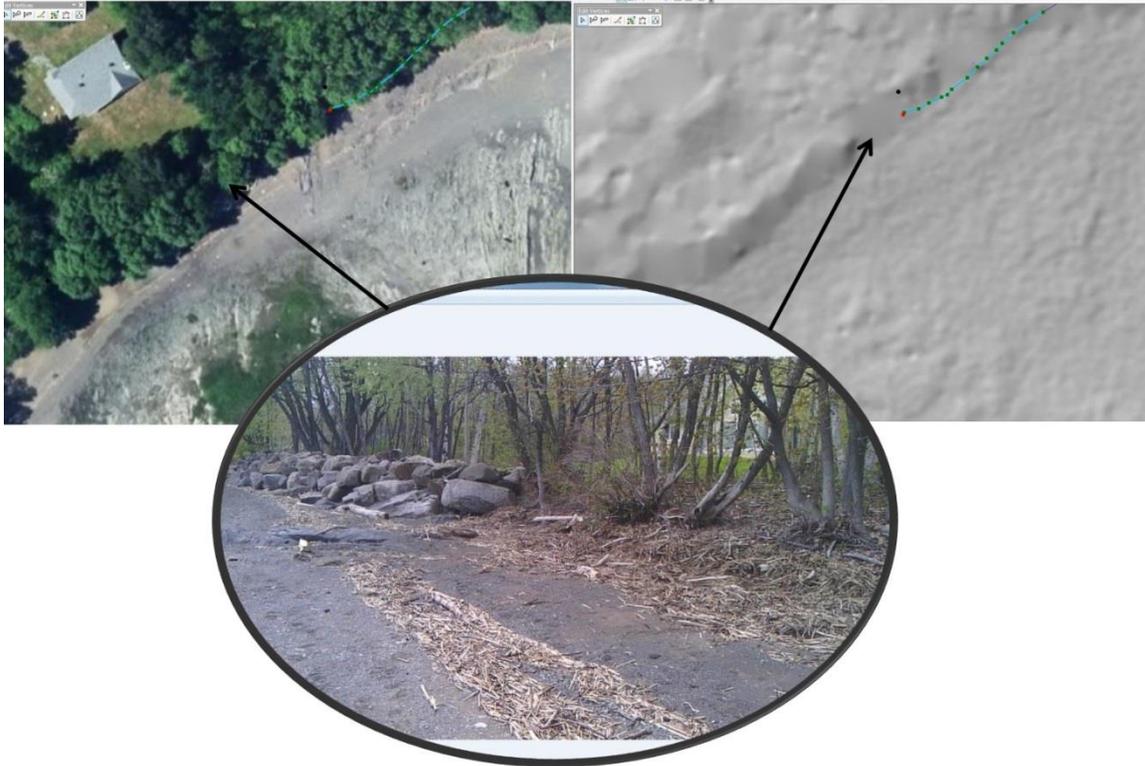
Orthophotographie couleur



Modèle numérique de terrain

**Figure 5. Exemples de sources d'information employées pour la réalisation de la caractérisation côtière du territoire de la TCR-Québec.**

Pour la MRC de Bellechasse et de l'Île-d'Orléans, ainsi que la municipalité de Saint-Augustin-de-Desmaures, la caractérisation côtière a été validée par des relevés sur le terrain effectués du 10 au 16 novembre 2015. Durant cette campagne, 546 points d'observations ont été validés et 1 513 photos de la côte ont été prises. La validation sur le terrain s'avère essentielle dans certains secteurs où les différents outils ne permettent pas d'identifier certaines caractéristiques côtières dû notamment à la présence d'un couvert végétal arborescent le long de la côte (figure 6).



**Figure 6. Exemple de l'importance de la validation de la caractérisation côtière à l'aide de relevés sur le terrain à l'Île-d'Orléans. Les relevés sur le terrain ont permis dans ce cas-ci d'identifier un enrochement qui n'était pas visible sur l'orthophotographie aérienne ainsi que sur le modèle numérique de terrain (MNT) dû à un couvert végétal arborescent.**

Les traits associés à la caractérisation côtière ont été numérisés au 1:600 et les falaises (bas et haut de talus) situées près de terrasses de plage au 1:2 000. Les informations associées à chaque segment ont été intégrées dans un SIG afin d'effectuer une analyse spatiale des caractéristiques physiques de la côte. Les résultats sont présentés à la section 3. La version numérique du travail de caractérisation côtière a été remise avec ce rapport au format ESRI shapefile. Une description des attributs est présentée à l'annexe 1.

Suite à la demande de la CMQ lors d'une rencontre de travail les segments de la caractérisation côtière ont été reliés dans une optique de traitement géomatique et d'analyses spatiales ultérieures. Ces derniers sont identifiables par l'attribut « Trait potentiel » dans le champ ligne de référence (champs : Ligne\_Ref). Par conséquent, le type de côte attribué à ces lignes de côte est : « bas de falaise », « berge (rivière) », « Transition », « autre (accès) » ou « Traverse de cours d'eau » (voir les descriptions à l'annexe 1). Il faut toutefois noter que ces segments ont été numérisés à une échelle de 1:2 000 et n'ont pas été validés. De plus, dans les principales rivières<sup>2</sup>, la numérisation des traits a été réalisée jusqu'au niveau probable d'influence des marées, identifié par la présence de barrage ou de seuil.

<sup>2</sup> Rivières Chaudière, Etchemin, Saint-Charles, Cap-Rouge, Montmorency et Ste-Anne

## 2.2. Les processus d'érosion actifs

Bien que l'action des vagues sur la côte soit souvent citée comme le principal processus associé à l'érosion côtière, il existe une panoplie de processus d'érosion. À l'aide des sources d'information présentées au tableau 3 et de l'état de la côte défini par la caractérisation côtière, les processus d'érosion ont été identifiés. Une description se retrouve dans la section 3 et à l'annexe 2.

## 2.3. Les taux de déplacement des côtes actives

L'estimation du taux de déplacement réalisée à partir de mesures récoltées sur le terrain permet de connaître précisément l'avancée et/ou le recul des côtes à un endroit donné. Basé sur cette approche, le LDGIZC a mis en place un réseau de suivi de l'érosion des côtes sur l'ensemble du Québec maritime (LDGIZC, 2016). En 2014, le réseau de suivi comprenait 5 407 bornes effectives réparties sur les côtes de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent. Le territoire de la TCR-Québec comprend actuellement 246 de ces stations. Elles correspondent à des éléments permanents déjà présents (par exemple, coin de bâtiments, poteaux, arbres) soit à des piquets d'arpentage installés spécifiquement pour le réseau de suivi et positionné à l'aide d'un GPS (figure 7). Les repères sont mesurés à une fréquence annuelle et exceptionnellement un relevé supplémentaire peut être fait à la suite de tempêtes. Le réseau de suivi est évolutif et de nouvelles stations de mesures peuvent être ajoutées chaque année selon les besoins constatés sur le terrain. Pour le territoire à l'étude, un total de 1193 relevés de ces stations, ont été réalisés entre 2007 et 2014. Le calcul de taux de déplacement a été possible pour 201 d'entre elles, dont 108 réparties sur le territoire de la MRC de l'Île-d'Orléans et 102 sur celui de la Côte-de-Beaupré.

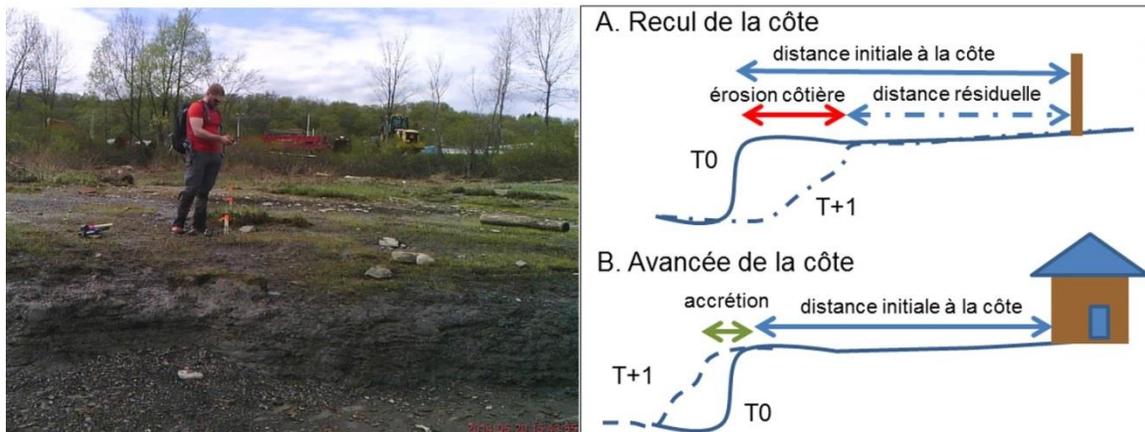


Figure 7. Relevé sur le terrain des stations de suivi de l'érosion des côtes, modifié de LDGIZC, 2016.

### 3. Résultats

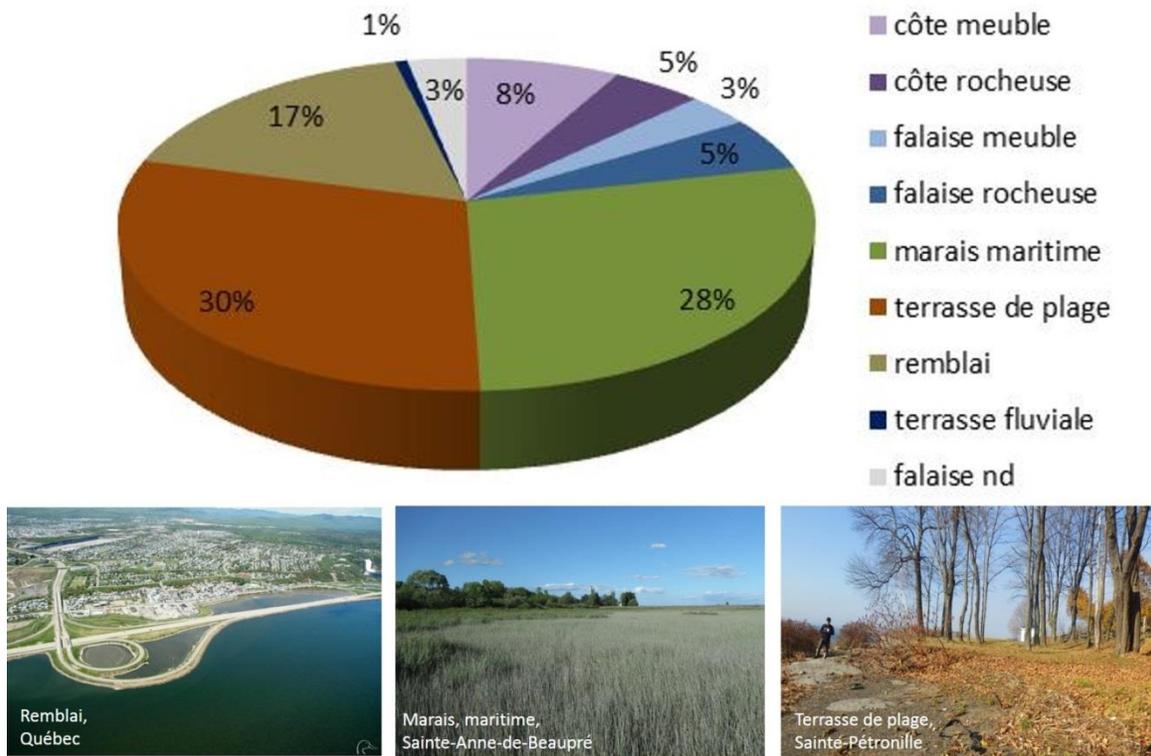
#### 3.1. Caractérisation côtière

##### 3.1.1. Les types de côte

Le territoire de la TCR-Québec compte une grande diversité de côtes sur près de 300 km de linéaire côtier. Dix types de côte y ont été répertoriés (tableau 4.). Pour des fins d'analyses des résultats, les types de côte ont été regroupés en huit classes (excluant les côtes indéterminées). D'après les résultats de la caractérisation côtière, les côtes basses (hauteur inférieure à 5 m) dominent nettement le paysage côtier représentant près de 90 % de l'ensemble du territoire de la TCR-Québec (figure 8). De ce nombre, le tiers est composé de terrasses de plage et de marais maritimes soit une proportion de 30 % et de 28 % respectivement. Dans une moindre mesure, les côtes à remblai représentent 17 % de la longueur totale du territoire côtier. Les falaises (hauteur supérieure à 5 m) totalisent 8 % du territoire. Elles sont composées de dépôt meuble dans 3 % des cas et de roche dans 5 % des cas.

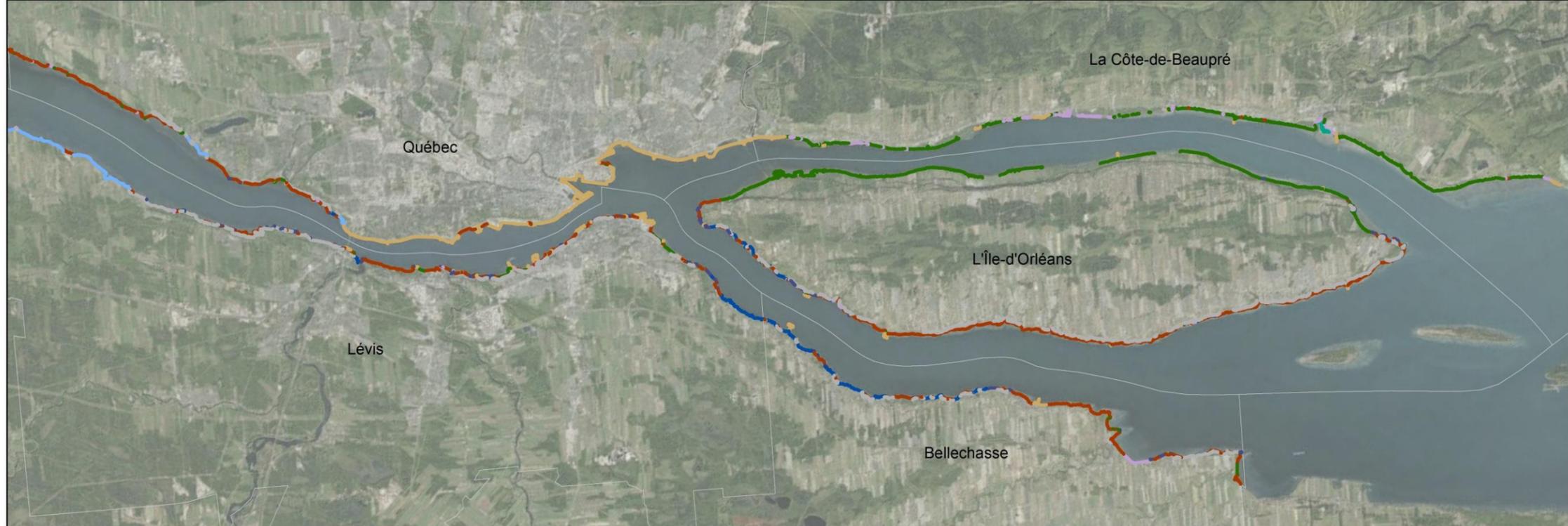
**Tableau 4. Type de côte inventorié sur le territoire de la TCR-Québec.**

Type de côte simplifié	Type de côte
falaise meuble	falaise meuble
côte meuble	falaise meuble (basse) falaise intertidale (basse)
falaise nd	falaise meuble nd falaise nd falaise nd (basse) falaise rocheuse nd
falaise rocheuse	falaise rocheuse
côte rocheuse	falaise rocheuse (basse) rocheuse
marais maritime	marais maritime
remblai	remblai
terrasse de plage	terrasse de plage
terrasse fluviale	terrasse fluviale



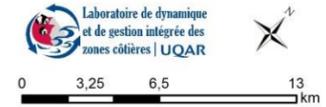
**Figure 8. Répartition de la longueur des types de côte inventoriés sur le territoire de la TCR-Québec. Crédit photos : Canards Illimités Canada, 2011 et LDGIZC, 2015.**

La figure 9 montre la répartition spatiale des types de côte et leur distribution selon les MRC du territoire à l'étude. Les résultats révèlent que la diversité du paysage côtier n'est pas homogène d'une MRC à l'autre. En effet, pour les MRC de la Côte-de-Beaupré et de l'île d'Orléans, les marais maritimes représentent 64 % et 43 % de leur longueur totale respective. Bien que les marais maritimes se concentrent au nord de l'île d'Orléans, la rive sud est essentiellement composée de terrasses de plage totalisant 33 % de la MRC. L'agglomération de Québec est composée à 56 % de côte à remblai qu'on retrouve essentiellement le long du boulevard Champlain et de l'autoroute Dufferin-Montmorency et à 33 % de terrasses de plage majoritairement concentrées dans la partie ouest. Ces dernières sont également omniprésentes dans la MRC de Bellechasse avec 48 %. Elles se concentrent dans la partie ouest de la MRC quant à l'est les falaises rocheuses, qui représentent 25 % de la MRC dominant le paysage côtier. Comparativement aux autres, la Ville de Lévis est composée d'une diversité de types de côte. En effet, bien que les terrasses de plage représentent 33 % du territoire, on observe également la présence de falaises meubles (14 %) et de côtes rocheuses (10 %). De plus il est important de mentionner que 13 % des falaises sont indéterminées pour cette MRC. La présence de végétation sur l'escarpement, ne permettait pas d'identifier le type de dépôt dans la plupart des cas.



**Légende**

- Type de côte**
- Côte rocheuse
  - Falaise rocheuse
  - Terrasse de plage
  - Terrasse fluviale
  - Côte meuble
  - Falaise meuble
  - Marais maritime
  - Remblai
  - Falaise nd



NAD\_1983\_MTM\_7, Imagerie : DigitalGlobe, 2011, Réalisation : Février, 2016

	Agglomération de Québec	Bellechasse	L'Île d'Orléans	La Côte-de-Beaupré	Lévis
Côte meuble	2%	5%	8%	23%	1%
Côte rocheuse	1%	7%	6%	0%	10%
Falaise meuble	4%	0%	0%	0%	14%
Falaise rocheuse	0%	25%	3%	0%	7%
Marais maritime	3%	2%	43%	64%	5%
Terrasse de plage	33%	48%	37%	1%	33%
Remblai	56%	6%	4%	9%	16%
Terrasse fluviale	0%	0%	0%	3%	0%
Falaise nd	0%	6%	0%	0%	13%
<b>Total général</b>	<b>100% (55 145 m)</b>	<b>100% (3 485 m)</b>	<b>100% (94 207 m)</b>	<b>100% (58 187 m)</b>	<b>100% (53 114 m)</b>

Figure 9 : Répartition spatiale des types de côte et leur distribution selon les MRC du territoire de la TCR-Québec



### 3.1.2. L'état de la côte

Bien que plus de 80 % des côtes du territoire côtier de la TCR-Québec soient composées de dépôt meuble, c'est-à-dire qu'elles sont particulièrement sensibles à l'érosion, les côtes stables, elles représentent 62 % du territoire, alors que seulement 30 % montrent des signes apparents de processus d'érosion actifs (figure 10.). De ce dernier pourcentage, 23 % sont considérées comme actives et 7 % comme semi-végétalisées.

La figure 11 montre la répartition spatiale des différents états de la côte et leur distribution selon les MRC du territoire de la TCR-Québec. Les résultats révèlent que les côtes actives sont principalement concentrées dans les MRC de la Côte-de-Beaupré (69 %) et de l'île-d'Orléans (25 %) et ce plus spécifiquement sur la rive nord de l'île. Les côtes stables, situées majoritairement au sud de l'île d'Orléans représentent 68 %. Toutefois, il est important de mentionner que cette stabilité ne signifie pas une absence de processus d'érosion, mais dans la majorité des cas elle est associée à la présence de structures de protection côtière (par exemple, muret de béton). L'agglomération de Québec, la ville de Lévis et la MRC de Bellechasse ont également une forte proportion de côtes stables avec 81 %, 76 % et 73 % respectivement. Les côtes ayant des signes apparents de processus d'érosion actifs sont dans ces MRC localisées ponctuellement et représentent 17 %, 14 % et 13 % pour l'agglomération de Québec, la ville de Lévis ainsi que pour la MRC de Bellechasse respectivement.

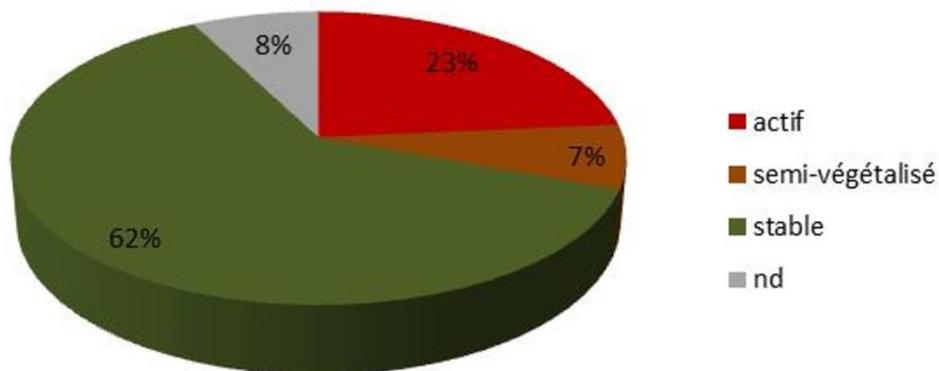
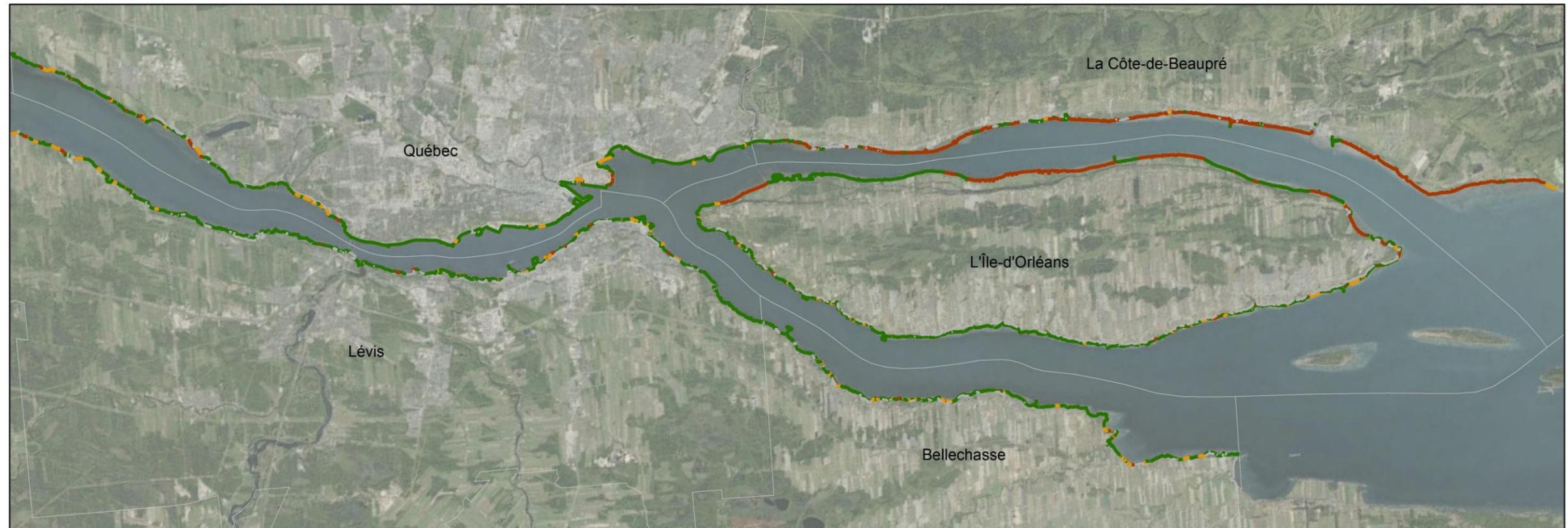


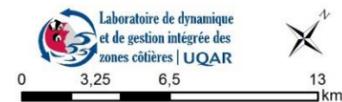
Figure 10. Répartition de la longueur de l'état de la côte observé sur le territoire de la TCR-Québec. Crédit photos : Canards Illimités Canada, 2011 et LDGIZC, 2015.





### Légende

État de la côte — Actif — Semi-végétalisé — Stable — nd



NAD\_1983\_MTM\_7, Imagerie : DigitalGlobe, 2011, Réalisation : Février, 2016

	Agglomération de Québec	Bellechasse	L'Île d'Orléans	La Côte-de-Beaupré	Lévis
Actif	5%	2%	25%	69%	4%
Semi-végétalisé	12%	12%	5%	2%	9%
Stable	81%	73%	68%	13%	76%
nd	2%	13%	1%	16%	12%
<b>Total général</b>	<b>100% (55 145 m)</b>	<b>100% (34 985 m)</b>	<b>100% (94 207 m)</b>	<b>100% (58 187 m)</b>	<b>100% (53 114 m)</b>

Figure 11. Répartition spatiale de l'état de la côte et leur distribution selon les MRC du territoire de la TCR-Québec.



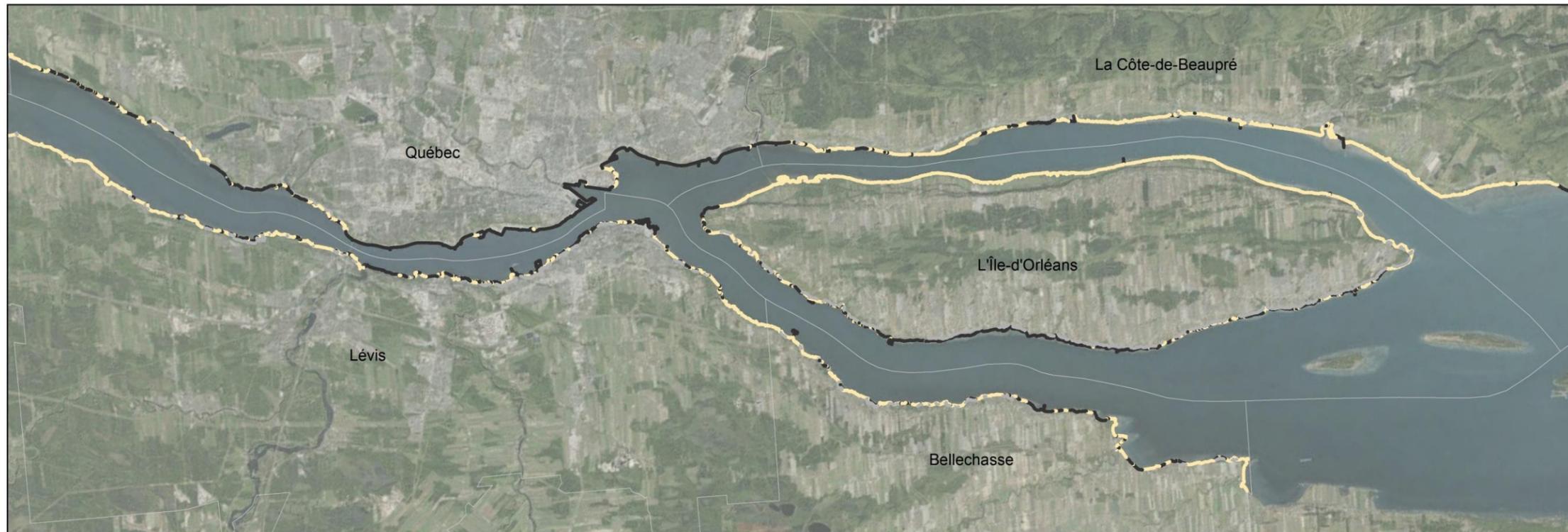
### 3.1.3. Les côtes naturelles

Les côtes naturelles, c'est-à-dire exemptes de structures de protection, représentent 82% du linéaire côtier sur la côte de Beauport. Sur l'île d'Orléans, les 68% de côtes naturelles sont principalement situées sur la rive nord de celle-ci. Pour la côte de Bellechasse et de Lévis, les proportions de côtes naturelles sont respectivement de 69% et 60% alors que pour la ville de Québec, elles ne représentent que 24%.

### 3.1.4. Les côtes artificielles

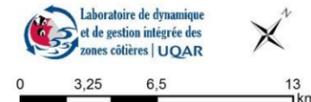
La segmentation de l'artificialité des côtes du territoire de la TCR-Québec a permis d'identifier les côtes artificielles et de déterminer dans la majorité des cas le type d'artificialité (figure 12 et figure 13). Les résultats montrent que 38 % des côtes de l'ensemble du territoire à l'étude sont artificielles. Les structures de protection côtière sont observées principalement dans l'agglomération de Québec (76 %), plus précisément près des ponts et de la chute Montmorency. Dans une moindre mesure les côtes artificielles sont également observées à Lévis (39 %), près des ponts et du chantier maritime Davie, sur la rive sud de l'île d'Orléans (32 %) et sur les côtes de Bellechasse (30 %), principalement devant les noyaux villageois ou de façon ponctuelle pour protéger quelques chalets ou résidences.





**Légende**

Côte artificielle — oui — non — nd

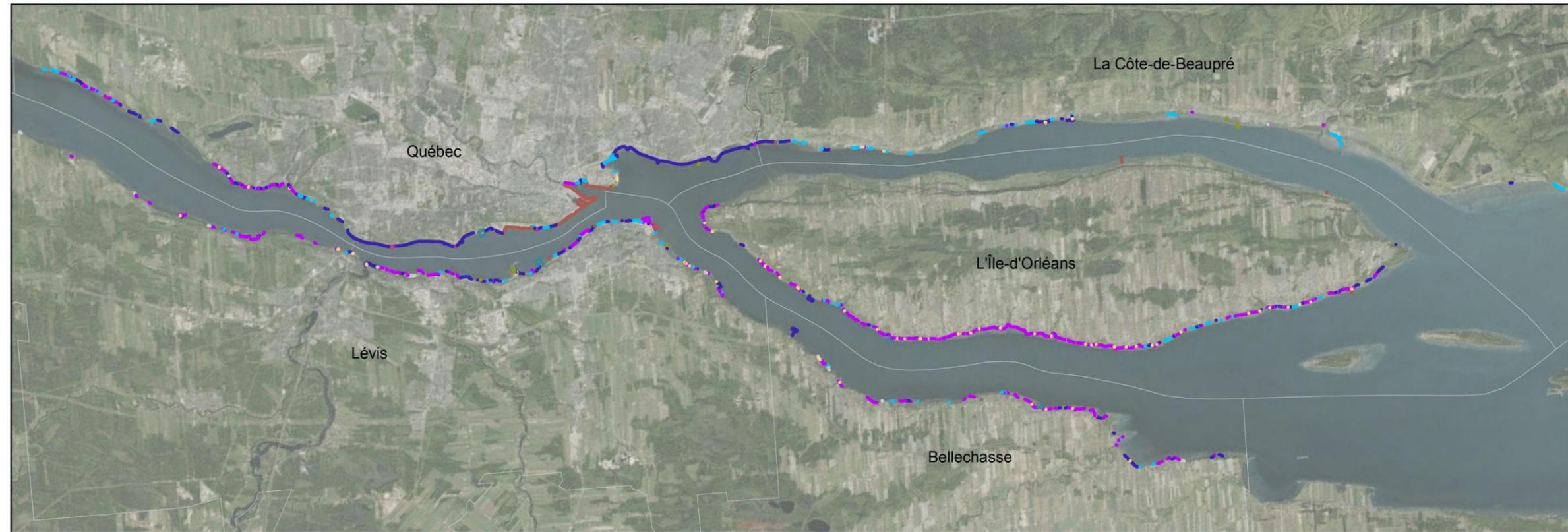


NAD\_1983\_MTM\_7, Imagerie : DigitalGlobe, 2011, Réalisation : Février, 2016

	Agglomération de Québec	Bellechasse	L'Île d'Orléans	La Côte-de-Beaupré	Lévis	TCRQ
oui	76%	30%	32%	17%	39%	38%
non	24%	69%	68%	82%	60%	61%
nd	0%	1%	0%	1%	1%	1%
<b>Total général</b>	<b>100% (55 145 m)</b>	<b>100% (34 985 m)</b>	<b>100% (94 207 m)</b>	<b>100% (58 187 m)</b>	<b>100% (53 114 m)</b>	<b>100% (295 640 m)</b>

Figure 12. Répartition spatiale de la présence et l'absence de côtes artificielles et leur distribution selon les MRC du territoire de la TCR-Québec.





### Légende

Type d'artificialité — Accès — Bloc déversé — Enrochement — Marina — Muret — Quai — Remblai — nd



NAD\_1983\_MTM\_7, Imagerie : DigitalGlobe, 2011, Réalisation : Février, 2016

	Agglomération de Québec	Bellechasse	L'Île d'Orléans	La Côte-de-Beaupré	Lévis	TCR-Québec
Accès	1%	1%	3%	2%	4%	2%
Bloc déversé	10%	5%	6%	54%	9%	12%
Enrochement	48%	26%	13%	35%	23%	31%
Marina	3%	7%	4%	0%	8%	4%
Muret	14%	55%	70%	1%	43%	37%
Quai	21%	0%	4%	2%	5%	10%
Remblai	2%	0%	0%	6%	5%	2%
nd	0%	6%	0%	0%	4%	2%
<b>Total général</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100% (295 640 m)</b>

Figure 13. Répartition spatiale du type d'artificialité et leur distribution selon les MRC du territoire de la TCR-Québec (voir définition des types d'artificialité à l'annexe 1, Tableau E).



Plus des deux tiers des côtes artificielles du territoire de la TCR-Québec sont des structures rigides. En effet, les murets et les enrochements représentent 37 % et 31 % du territoire respectivement (figure 13). Les murets sont principalement localisés dans les MRC de l'île-d'Orléans (70 %), de Bellechasse (55 %) et de Lévis (43 %). Quant aux enrochements, ils sont majoritairement situés dans l'agglomération de Québec (48 %) et de la MRC de la Côte-de-Beaupré (35 %). Dans cette MRC la présence de blocs déversés n'est pas négligeable avec 54 %.

### 3.2. Des processus bel et bien actifs

L'exercice de photo-interprétation et les connaissances acquises sur le territoire ont permis d'identifier plusieurs agents d'érosion actifs sur les côtes du territoire de la TCR-Québec. Parmi les principaux agents identifiés mentionnons notamment les vagues de tempête et celles associées au batillage, les courants de marées, les glaces, l'alternance de gel-dégel, le « picorage » par les oiseaux de rivage, la submersion lors de l'élévation du niveau de l'eau lié aux marées, aux surcotes et aux crues du Saint-Laurent ainsi que l'hydrogéologie (par exemple la pluie) une composante importante dans le déclenchement des différents types de mouvements de masse le long des littoraux. Ces différents agents d'érosion se répartissent en fonction du type de côte et, engendrent par conséquent, des réponses géomorphologiques très variées. Les visites sur le terrain réalisées dans les secteurs de l'île d'Orléans, de Bellechasse et de Saint-Augustin-de-Desmaures ont permis de préciser et de bonifier l'identification des agents d'érosion et des processus qui y sont liés .

Le tableau 5 présente les processus potentiellement associés aux différents types de côte rencontrés en fonction des agents d'érosion actifs. Une description plus détaillée des processus d'érosion observés sur le territoire de la TRC-Québec est présentée et illustrée à l'annexe 2. Il est important de mentionner que d'autres processus d'érosion pourraient être présents sur le territoire de la TCR-Québec, mais n'ont peut-être pas été décelés lors de ce premier survol. Une caractérisation plus approfondie pourrait être nécessaire pour certains sites problématiques où le milieu présenterait certaines particularités (ex. : utilisation historique du site, construction sur les segments adjacents, etc.).

**Tableau 5. Processus potentiellement associés aux différents types de côte rencontrés en fonction des agents d'érosion actifs sur le territoire de la TCR-Québec.**

Agent d'érosion	Type de côte	Processus potentiellement associés
<b>Action des vagues</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Marais maritime</li> <li>• Côtes meuble (basses)/terrasse de plage</li> <li>• Falaise meuble</li> <li>• Falaise rocheuse</li> <li>• Côte rocheuse</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Encoche d'érosion</li> <li>• Sapement basal</li> <li>• Formation de microfalaise</li> <li>• Glissement de terrain (rotationnel, par décrochement ou superficiel)</li> </ul>
<b>Action des glaces</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Marais maritime</li> <li>• Côtes meuble (basses)/terrasse de plage</li> <li>• Falaise meuble</li> <li>• Falaise rocheuse</li> <li>• Côte rocheuse</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Abrasion de la base des falaises (sapement basal)</li> <li>• Abrasion de la plateforme littorale</li> <li>• Arrachement de parcelle de végétation (radeaux de schorre)</li> <li>• Formation de marelles</li> </ul>
<b>Submersion</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Marais maritime</li> <li>• Côtes meuble (basses)/terrasse de plage</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dépôts de sédiments sur la zone d'arrière-plage (lobe transgressif)</li> <li>• Ensevelissement de la végétation</li> <li>• Ruissellement (lors du retrait de l'eau)</li> <li>• Affaissement des structures de protection</li> <li>• Suffosion</li> </ul>
<b>« Picorage » par la faune aillée</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Marais maritime</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dénudement de parcelles de végétation du schorre inférieur</li> <li>• Formation de marres et élargissement de marelles</li> </ul>
<b>Action du gel-dégel</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Falaise rocheuse</li> <li>• Côte rocheuse</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Météorisation de la roche</li> </ul>
<b>Hydrogéologique/gravitaire</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Côtes meuble (basses)/terrasse de plage</li> <li>• Falaise meuble</li> <li>• Falaise rocheuse</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Formation de microfalaise</li> <li>• Glissement de terrain (rotationnel, par décrochement ou superficiel)</li> <li>• Coulée (argileuse, boueuse ou sableuse)</li> <li>• Ravinement</li> <li>• Suffosion (trou, rigole et ravin)</li> <li>• Écroulement</li> <li>• Éboulis</li> </ul>

Il faut toutefois savoir que certains processus peuvent être très dommageables à un endroit donné et avoir un impact limité ailleurs. Par exemple, l'action des vagues sur les côtes à marais forme des encoches d'érosion alors que sur les côtes rocheuses, leur impact s'opère sur une période de temps beaucoup plus importante et leur effet est donc beaucoup moindre. De même, dans un marais, les glaces peuvent se souder au matériel sédimentaire en place et ultimement arracher des parcelles de végétation. Ces parcelles de végétation, communément appelés radeaux de schorre, sont transportées par les vagues et éventuellement déposées sur le littoral. Sur les côtes à terrasse de plage les glaces contribuent plutôt à l'érosion en grugeant la côte à force d'impact lorsqu'elles sont combinées aux vagues ou par déplacement lors des épisodes de débâcle. Finalement sur les côtes à falaise, la pente peut également accentuer les processus gravitaires.

La présence de structures de protection, bien que limitant le recul du trait de côte, n'est pas, non plus, sans conséquence pour le milieu littoral (tableau 6). La réflexion des fortes vagues, surtout par temps de tempêtes, remanie le matériel sédimentaire situé à la base des structures. Ceci a non seulement pour effet de provoquer l'affouillement des murets ou l'affaissement des enrochements et des murets, mais peut également favoriser le déficit sédimentaire des littoraux puisque les vagues évacuent ce matériel vers le large ou vers d'autres segments côtiers le long de la côte. Lorsque ce phénomène est observé, il peut se traduire par un abaissement vertical des plages et une diminution de leur largeur. Les plages ne peuvent alors plus jouer leur rôle protecteur puisqu'elles ne peuvent plus atténuer aussi efficacement l'énergie des vagues.

**Tableau 6. Processus potentiellement associés aux différents types d’artificialité rencontrés en fonction des agents d’érosion actifs sur le territoire de la TCR-Québec.**

Agent d’érosion	Type d’artificialité	Processus potentiellement associés
<b>Action des vagues</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Muret</li> <li>• Enrochement</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Affouillement</li> <li>• Effet de bout</li> <li>• Déstabilisation des structures</li> <li>• Abaissement de la plage</li> </ul>
<b>Action des glaces</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Enrochement</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Déstabilisation des structures</li> <li>• Affaissement</li> </ul>
<b>Submersion</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Muret</li> <li>• Enrochement</li> <li>• Remblai / Structures portuaires</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Franchissement</li> <li>• Ruissellement lors du retrait des eaux</li> <li>• Effondrement des structures</li> <li>• Suffosion</li> <li>• Ravinement</li> </ul>
<b>Action du gel-dégel</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Enrochement</li> <li>• Muret</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Infiltration dans les interstices et météorisation, fissuration</li> <li>• Affaissement</li> </ul>
<b>Aménagement anthropique</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Marais maritime avec canaux de drainage</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Formation et élargissement d’encoche d’érosion</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Marais maritime et plage avec contraintes artificielles sur l’arrière côte</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Coincement côtier (<i>Coastal squeeze</i>)</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Remblai</li> <li>• Enrochement</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Empiètement littoral</li> </ul>

### 3.3. Analyse du réseau de stations de suivi de l’érosion de berges

Pour l’ensemble des côtes où les taux de déplacement ont pu être évalués (MRC Côte de Beupré et Île d’Orléans), un déplacement moyen de l’ordre de -0,61 m/an a été calculé. La figure 14 permet de visualiser le positionnement de ces stations de mesure et d’apprécier la répartition des taux de déplacement. On y observe que les taux de déplacement négatif (ce qui correspond à l’érosion de la côte) les plus élevés se situent surtout dans le secteur du marais de Cap-Tourmente, et dans une moindre mesure, dans le marais devant la côte de Sainte-Famille sur la rive nord de l’île d’Orléans et juste en face, dans ceux de Château-Richer et de Sainte-Anne-de-Beupré. Le tableau 7 présente d’ailleurs les taux de déplacement pour chaque municipalité et chaque MRC en fonction du type de côte inventorié.

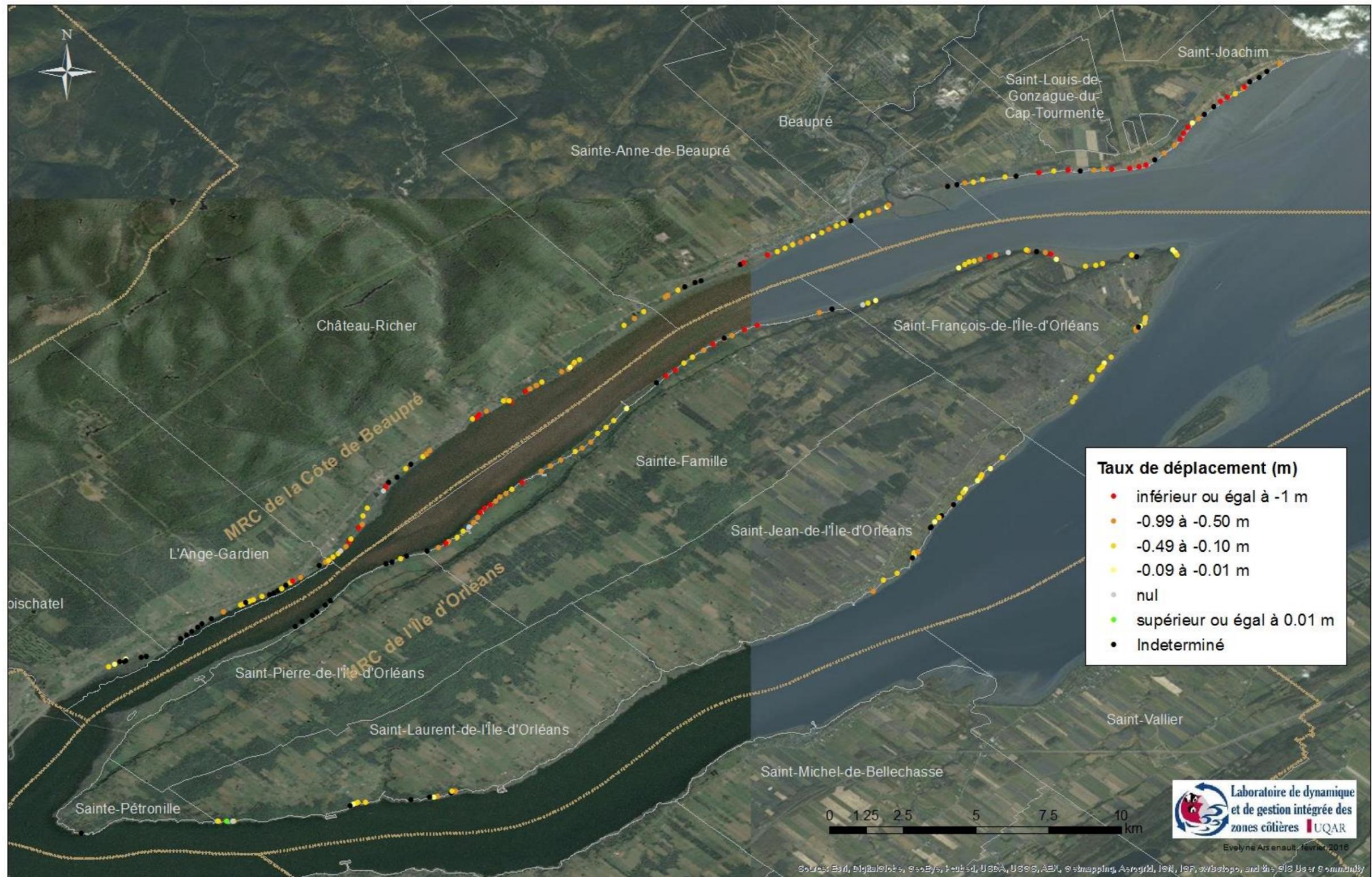


Figure 14. Taux de déplacement estimé à partir des relevés terrain réalisés annuellement entre 2007 et 2014 par le LDGIZC, TCR-Québec.



Les taux de déplacement obtenu à partir des stations de suivi reflètent toutefois la réalité de trois secteurs distincts, soit la côte de Beaupré où le déplacement moyen est de -0,73 m/an, la rive nord de l'île d'Orléans, en face, qui présente une valeur très semblable avec -0,74 m/an et la rive sud de l'île où le déplacement moyen y est plutôt de -0,20 m/an.

Ces résultats varient toutefois légèrement en fonction du type de côte. La côte de Beaupré et la rive nord de l'île présentent majoritairement des côtes à marais maritime dont les déplacements moyens sont de -0,75 m/an et -0,85 m/an respectivement. Le recul des côtes meubles sur la côte de Beaupré est de -0,69 m/an, alors qu'il est plutôt de -0,46 m/an du côté nord de l'île. Dans les terrasses de plage de la rive sud de l'île d'Orléans, où l'érosion s'observe généralement sur les rares portions du linéaire côtier où aucune structure de protection n'est encore présente, le taux de déplacement moyen est de -0,20 m/an.

**Tableau 7. Déplacement moyen estimé à partir des relevés terrain réalisés annuellement entre 2007 et 2014 par le LDGIZC sur les stations de suivi de l'érosion des berges selon les types de côte inventoriés des municipalités et MRC du territoire de la TCR-Québec\*.**

Type de côte	Côte meuble		Marais maritime		Terrasse de plage		Déplacement moyen	Nb. de station
Municipalité	Déplacement moyen	Nombre de stations	Déplacement moyen	Nombre de stations	Déplacement moyen	Nombre de stations		
<b>Côte-de-Beaupré</b>								
Beaupré			-0,41	5			-0,41	5
Boischatel	-0,17	2	-0,07	2			-0,12	4
Château-Richer	-0,74	25	-0,47	13			-0,65	38
L'Ange-Gardien	-0,71	2	-0,52	12			-0,55	14
Sainte-Anne-de-Beaupré			-0,54	15			-0,54	15
Saint-Joachim			-1,23	26			-1,23	26
<b>Moyenne - Côte-de-Beaupré</b>	<b>-0,69</b>	<b>29</b>	<b>-0,75</b>	<b>73</b>			<b>-0,73</b>	<b>102</b>
<b>Île d'Orléans - rive sud</b>								
Saint-François-de-l'Île-d'Orléans					-0,19	19	-0,19	19
Saint-Jean-de-l'Île-d'Orléans					-0,20	18	-0,20	19
Saint-Laurent-de-l'Île-d'Orléans					-0,21	13	-0,21	13
<b>Moyenne - Île d'Orléans - rive sud</b>					<b>-0,20</b>	<b>49</b>	<b>-0,20</b>	<b>51</b>
<b>Île d'Orléans - rive nord</b>								
Sainte-Famille	-0,46	15	-1,20	22			-0,90	37
Saint-François-de-l'Île-d'Orléans			-0,44	17	-0,82	1	-0,45	19
Saint-Pierre			-0,22	1			-0,22	1
<b>Moyenne - Île d'Orléans - rive nord</b>	<b>-0,46</b>	<b>15</b>	<b>-0,85</b>	<b>40</b>	<b>-0,82</b>	<b>1</b>	<b>-0,74</b>	<b>57</b>
<b>Total général</b>	<b>-0,62</b>	<b>44</b>	<b>-0,79</b>	<b>112</b>	<b>-0,21</b>	<b>50</b>	<b>-0,61</b>	<b>210</b>

\*Seules les municipalités documentées par le réseau de stations de suivi du LDGIZC de l'érosion des berges figures dans ce tableau. Les municipalités manquantes sont associées à une absence de stations de suivi de l'érosion des berges.

D'un point de vue annuel (tableau 8), sur la côte de Beaupré, l'érosion des marais s'est surtout produite entre 2011 et 2012 où on observe des déplacements moyens de -0,86 m, soit variant entre -1,33 m à Château-Richer et -0,10 m/an à Beaupré. Toutefois, des déplacements moyens

annuels de près d'un mètre dans une même municipalité sont souvent observés. D'ailleurs, le déplacement moyen le plus important pour cette MRC a atteint -1,86 m en 2008-2009 à Saint-Joachim.

Sur la rive nord de l'île d'Orléans, c'est entre 2008 et 2009 ainsi qu'entre 2011 et 2012 qu'on observe les valeurs de déplacement moyen les plus élevées, avec respectivement -0,80 et -0,79 m. Le marais devant la côte de Sainte-Famille semble afficher des valeurs souvent plus élevées que le marais devant la côte de Saint-François-de-l'île-d'Orléans.

Sur la rive sud de l'île, c'est entre 2012 et 2013 que le déplacement moyen le plus important, soit -0,43 m, est survenu. Cette valeur maximale semble principalement être attribuable au déplacement de -0,91 m observé sur la côte de Saint-Laurent-de-l'île-d'Orléans. Autrement, les valeurs de déplacement moyen pour ce secteur varient entre 0,01 et -0,48 m.

**Tableau 8. Déplacement moyen annuel calculé à partir des relevés terrain réalisés par le LDGIZC entre 2007 et 2014 des municipalités et MRC du territoire de la TCR-Québec.**

Municipalité	2007-2008	2008-2009	2009-2010	2010-2011	2011-2012	2012-2013	2013-2014	Nb. de mesure
<b>La Côte-de-Beaupré</b>								
Beaupré	-0,60	0,00	0,00	-0,40	-0,10	-0,25	-0,31	1
Boischatel	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,45	0,00	0,00	1
Château-Richer	-0,80	-0,65	-0,56	-0,47	-1,33	-0,95	-0,46	13
L'Ange-Gardien	-0,40	-0,43	-0,03	-0,08	-1,21	-1,07	-0,04	4
Sainte-Anne-de-Beaupré	-0,81	-0,31	-1,20	-0,33	-0,49	-0,24	-0,70	8
Saint-Joachim	-0,87	-1,86	-0,52	-0,52	-0,36	-0,58	-1,20	7
<b>Recul moyen - Côte-de-Beaupré</b>	<b>-0,74</b>	<b>-0,75</b>	<b>-0,61</b>	<b>-0,39</b>	<b>-0,86</b>	<b>-0,67</b>	<b>-0,60</b>	<b>34</b>
<b>L'île-d'Orléans - rive sud</b>								
Saint-François-de-l'île-d'Orléans	-0,12	-0,22	-0,17	-0,30	-0,12	-0,11	-0,01	10
Saint-Jean-de-l'île-d'Orléans	0,00	-0,24	-0,42	-0,13	-0,23	-0,48	-0,34	8
Saint-Laurent-de-l'île-d'Orléans	0,00	-0,02	-0,45	-0,19	-0,02	-0,91	-0,05	6
<b>Recul moyen- île d'Orléans - rive sud</b>	<b>-0,05</b>	<b>-0,18</b>	<b>-0,33</b>	<b>-0,22</b>	<b>-0,13</b>	<b>-0,43</b>	<b>-0,13</b>	<b>24</b>
<b>Île-d'Orléans - rive nord</b>								
Sainte-Famille	-0,21	-0,88	-0,42	-0,54	-0,81	-0,56	-0,70	15
Saint-François-de-l'île-d'Orléans	-0,29	-0,49	-0,45	-0,13	-0,73	-0,04	-0,02	4
<b>Recul moyen - Île-d'Orléans - rive nord</b>	<b>-0,23</b>	<b>-0,80</b>	<b>-0,42</b>	<b>-0,46</b>	<b>-0,79</b>	<b>-0,45</b>	<b>-0,56</b>	<b>19</b>
<b>Recul moyen général</b>	<b>-0,40</b>	<b>-0,59</b>	<b>-0,47</b>	<b>-0,35</b>	<b>-0,61</b>	<b>-0,54</b>	<b>-0,44</b>	<b>77</b>

#### 4. Discussion

Le territoire de la TCR-Québec se démarque par sa diversité côtière. Sur 300 km de côtes, on retrouve une alternance de falaises et de côtes basses rocheuses ou meubles. Ce sont toutefois, les marais maritimes et les terrasses de plage qui dominent le paysage côtier. Ces dernières sont dans la majorité des cas protégées par des structures de protection ou des aménagements côtiers (quai, remblai, etc.). En effet, dans les années 1960, le gouvernement fédéral aurait octroyé une aide financière aux municipalités pour la construction de murets notamment pour la ville de Québec, la rive sud de l'île d'Orléans de même que pour Lévis et les noyaux villageois de Bellechasse (Morneau *et al.*, 2014). Les côtes à marais maritimes sont majoritairement concentrées sur le territoire côtier de la MRC de la Côte-de-Beaupré ainsi que sur la rive nord de l'île d'Orléans bien qu'on observe également des marais sur les littoraux des autres secteurs. Si la proportion qu'occupent les falaises est de moindre mesure, leur représentativité n'est pas négligeable pour la Ville de Lévis ainsi qu'à l'ouest de l'agglomération de Québec, plus précisément à Saint-Augustin-de-Desmaures.

Sur près de 300 km de côtes du territoire à l'étude, 70 % sont constitués de dépôts meubles donc sensibles à l'érosion et 88 % sont des côtes basses, qui présentent de grands risques de submersion lors de tempêtes. Les résultats de ce travail ont montré que les segments où l'état de la côte est jugé « actif » se trouvent majoritairement dans les marais de la côte de Beaupré et de la rive nord de l'île d'Orléans (figure 15). Ailleurs, la forte présence de l'artificialité dans le paysage côtier témoigne de cette sensibilité à l'érosion et la submersion et traduit aussi une occupation importante du territoire. En effet, près de 40 % des côtes sont artificialisées avec des structures de protection rigides telles que des murets et des enrochements (figure 15).



**Figure 15. Marais maritime en érosion de la Côte-de-Beaupré (gauche) et terrasse de plage artificialisée sur la rive sud de l'île d'Orléans (droite). Crédit photos : LDGIZC, 2015.**

Finalement, considérant que 1) d'importants reculs de la côte ont été observés dans les marais par divers auteurs, par les relevés des stations de suivi de l'érosion côtière du LDGIZC ou lors de la caractérisation du présent mandat et que 2) l'érosion ou la submersion sont, la plupart du temps, à l'origine de la mise en place de structures de protection observées le long de la côte, on peut conclure que 61 % du linéaire côtier du territoire à l'étude serait potentiellement vulnérable aux aléas mentionnés.

## 4.1. Autres particularités observées sur le territoire

### 4.1.1. Les blocs glaciels

Certaines particularités ont été observées sur le territoire et semblent spécifiques à certains secteurs ou se distinguent des réalités généralement étudiées par le LDGIZC depuis plusieurs années sur les côtes du Québec maritime. Par exemple, à Saint-Augustin-de-Desmaures on peut observer la présence de nombreux blocs glaciels sur l'estran disposés parallèlement à la côte offrant ainsi dans certains secteurs une protection naturelle à la côte (figure 16). Bien que la présence de blocs glaciels soit omniprésente dans ce paysage côtier, nous n'avons inventorié aucune étude portant sur cette particularité pour ce secteur ou dans les environs. Or, les blocs glaciels ont été documentés et étudiés (nature, origine, mode de transport, etc.) à quelques endroits le long du Saint-Laurent et plus particulièrement sur la rive sud de l'estuaire du Saint-Laurent et dans une moindre mesure sur la rive nord de l'estuaire moyen, plus précisément dans la région de Charlevoix (Dionne, 2001, 2004, 2011; Le Roux, 2012; Dionne et Poitras, 1996).



**Figure 16. Blocs glaciels observés à Saint-Augustin-de-Desmaures. Crédit photos : Google Earth, 2016 et Canards Illimités Canada, 2011.**

### 4.1.2. Les débordements côtiers

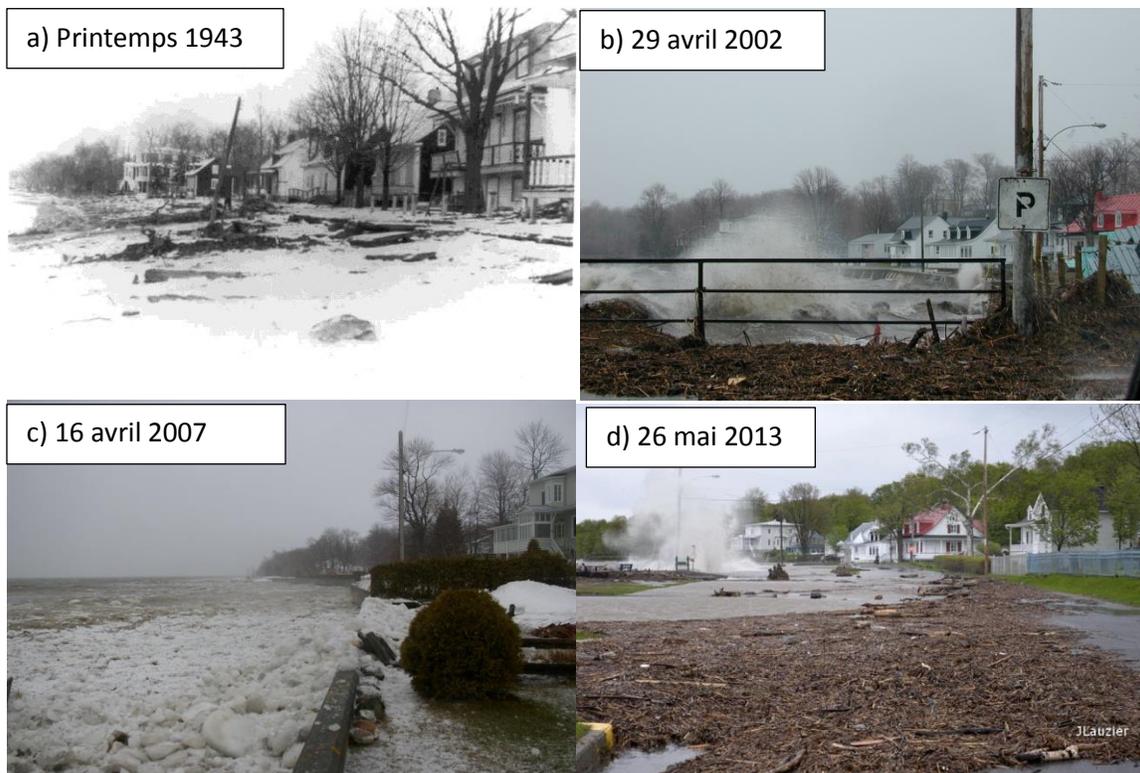
Bien que dans le cadre de ce présent mandat, la submersion n'ait pas été étudiée, cet aléa est bel et bien présent sur le territoire côtier de la TCR-Québec. En effet, les variations du niveau d'eau jouent un rôle majeur sur la dynamique côtière du territoire de la TCR-Québec (Bernier *et al.*, 2015). C'est dans cette partie du Saint-Laurent que l'onde de marée atteint son maximum d'amplitude, soit près de 6 mètres. De plus, la fluctuation des niveaux d'eau, bien qu'assujettie aux jeux des marées, est aussi fonction des débits du fleuve. Lors des relevés sur le terrain

réalisés en novembre 2015 des signes de débordements côtiers ont été observés à Saint-Augustin-de-Desmaures de même que sur le littoral de Bellechasse et sur la rive sud de l'île d'Orléans (figure 17). Ces formes potentiellement associées à des périodes de crues du Saint-Laurent ou d'ondes de tempête sont constituées de matériaux sableux ou graveleux qui peuvent dans certains cas enfouir la végétation.



**Figure 17. Signes apparents de débordements côtiers observés lors des relevés sur le terrain réalisés en novembre 2015 à Bellechasse (haut) et à Saint-Augustin-de-Desmaures (bas). Crédit photos : LDGIZC, 2015.**

Dans l'est du Québec, les événements de débordements côtiers les plus dévastateurs semblent survenir surtout à l'automne et au début de l'hiver (Bernatchez *et al.*, 2012a). Or, il semble que dans l'estuaire fluvial, plusieurs événements soient associés à la période de crue printanière du fleuve combinée aux épisodes de grandes marées (figure 18). Ce constat n'est basé que sur quelques observations arbitraires, mais soulève le besoin d'identifier quels sont les paramètres météo-marins les plus actifs pour chacun des milieux du territoire de la TRC-Québec.



**Figure 18. Débordements côtiers survenus à Saint-Michel-de-Bellechasse; rue des Remparts. Crédit photos : a) Gracieuseté de Francine Gagnon, b) et c) Lise Paquette, d) Jacques Lauzier.**

#### 4.1.3. Le batillage

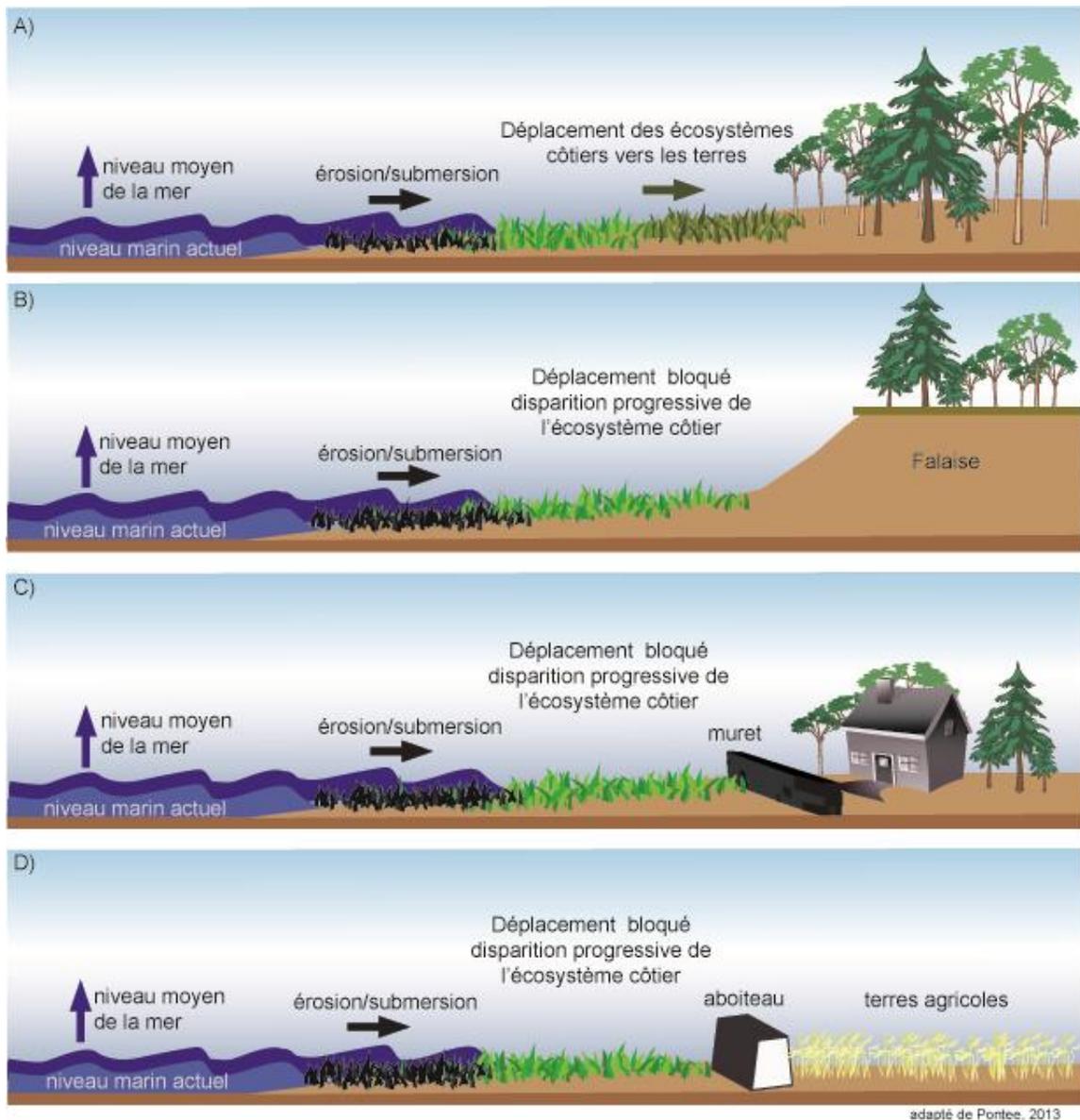
Les lectures réalisées ont également mis en lumière la considération de l'effet du batillage dans ce secteur. La capacité des vagues générées par les navires à éroder le rivage est fonction de la vitesse des embarcations, de leur tonnage, de la forme de leur coque et de la fréquence des vagues générées (Villeneuve, 2001). Le type de côte et les propriétés de l'estran vont également influencer l'impact des vagues de batillage. La distance entre le passage du navire, soit le chenal de navigation, et la berge est également un facteur important puisque l'énergie des vagues initiée par le déplacement des navires diminue au fur et à mesure que la distance de propagation augmente. Selon Villeneuve (2001), l'érosion serait potentiellement associée au batillage à des distances inférieures à 610 m, mais principalement liée à l'action des vents au-delà de cette distance. À notre connaissance, cette problématique est surtout documentée pour la portion amont du fleuve, notamment près des îles de Sorel, où l'érosion observée y est principalement associée. Comme il est difficile de discriminer les effets du batillage de l'hydrodynamisme local sur les berges sans instrument de mesure et que la majeure partie des berges sujettes à cet agent d'érosion sont protégées, cette problématique est peu abordée pour le territoire de la TCR-Québec dans la littérature consultée.

#### 4.1.4. Le coincement côtier (*coastal squeeze*)

Les différentes études réalisées sur les marais maritimes du territoire de la TCR-Québec depuis les années 80 démontrent que ces écosystèmes côtiers, plus spécifiquement le schorre

supérieur, sont menacés par des taux d'érosion accrus (tableau 1). En plus de l'érosion qui semble induire une perte des marais maritimes, il y aurait les menaces associées à la submersion. Des transformations internes de groupements végétaux dans les marais maritimes associées à un taux de submersion plus élevé ont été notamment observées sur le territoire à l'étude (Bhiry *et al.*, 2013; Jean et Létourneau, 2011; Allard *et al.*, 2012).

Dans le contexte de rehaussement du niveau marin appréhendé et du contexte des changements climatiques (voir section 4.2), la capacité de résilience des marais maritimes face à cette hausse sera grandement influencée par la présence d'obstacles susceptibles de freiner leur déplacement vers l'intérieur des terres. En effet, la présence de contraintes physiques, telles qu'une falaise, des infrastructures (routières ou résidentielles) sur l'arrière-côte et des ouvrages rigides de protection côtière, constitue un obstacle à la migration naturelle des écosystèmes côtiers vers les terres, ce processus est nommé coincement côtier (*coastal squeeze* en anglais) (Doody, 2004, 2013). Il peut entraîner la dégradation et dans certains cas la disparition de ces écosystèmes côtiers (figure 19). Les répercussions du coincement côtier constituent un enjeu écologique, mais aussi socio-économique puisqu'ils assurent une grande diversité de services écologiques.



**Figure 19. Schéma illustrant les facteurs qui influencent le coincement côtier. Déplacement de l'écosystème côtier en absence de contraintes (a). Déplacement de l'écosystème côtier bloqué par une contrainte naturelle (b). Déplacement de l'écosystème côtier bloqué par une contrainte anthropique (c et d) (Bernatchez et Quintin, 2016).**

Les marais maritimes du territoire de la TCR-Québec, ne feront pas exception à cette tendance. L'historique de l'occupation du territoire sur la Côte-de-Beaupré indique un empiètement par l'homme sur les marais maritimes suite au développement des moyens de transport (chemin de fer et boulevard Sainte-Anne) et de l'urbanisation (Andrews, 2000; Harnois, 2005). Sur une période de cent ans (1889-1990), plus de 300 hectares de littoral ont été remblayés sur la Côte-de-Beaupré (entre la rivière Montmorency et la rivière Sainte-Anne), cela équivaut à une bande de terre de 114 mètres de large s'étendant sur 26,4 km de long (Andrews, 2000). Ainsi, sur le

territoire de la TCR-Québec, les marais maritimes de la Côte-de-Beaupré semblent être les plus sensibles au coincement côtier (figure 20). Leur dégradation et leur possible disparition due au coincement côtier auront des impacts écologiques d'importance, car ils abritent une biodiversité exceptionnelle, en l'occurrence plusieurs espèces floristiques menacées ou vulnérables, dont la gentiane de Victorin (*Gentianopsis virgata* subsp. *Victorinii*) une espèce endémique à l'estuaire du Saint-Laurent spécifique aux marais maritimes d'eau douce et saumâtre, entre Deschambault-Grondines et Saint-Roch-des-Aulnaies (Bhiry *et al.*, 2013). De plus, ils jouent un rôle de premier plan en protégeant naturellement la côte des impacts de l'érosion et de la submersion côtière (EEM, 2005).



**Figure 20. Cadre bâti et infrastructures de transport susceptibles d'entraîner un coincement côtier sur les marais maritimes, Sainte-Anne-de-Beaupré. Crédit photos : Lahoud.**

#### **4.2. Les effets des changements climatiques**

À ces pressions que subit actuellement le milieu côtier, les effets des changements climatiques viendront exacerber les aléas. Parmi les effets les plus connus, la hausse du niveau marin relatif pourrait se faire ressentir jusqu'à la hauteur de Québec bien que plusieurs études révèlent une baisse des niveaux d'eau du Saint-Laurent en amont de Québec. Les tendances historiques de la hausse du niveau marin sont variables spatialement au Québec allant généralement d'une baisse du niveau marin relatif en raison du relèvement isostatique à une légère hausse, voire une stabilité relative dans certains secteurs (Koozhare *et al.*, 2008; Han *et al.*, 2014). Toutefois, tel qu'observé sur la côte Est du Canada et des États-Unis, il y a une accélération de la hausse du niveau marin relatif depuis la fin des années 80 (Bernatchez *et al.*, 2012a; Boon, 2012) qui peut même se traduire par une inversion de tendance au Québec lorsque la hausse eustatique vient

complètement compenser le relèvement isostatique. La hausse du niveau marin appréhendée pourrait se traduire par un ennoisement progressif des zones littorales, des événements de débordements côtiers plus fréquents ainsi qu’une augmentation de la fréquence des tempêtes affectant les côtes.

Les changements climatiques sont aussi susceptibles d’engendrer la fonte prématurée du couvert de glace hivernal du Saint-Laurent et une modification des régimes de précipitation qui sont à l’origine des périodes de crues. L’un comme l’autre pourrait également entraîner des épisodes de débordements côtiers plus fréquents.

Dans le climat futur, on appréhende aussi une hausse de la fréquence et de l’intensité des tempêtes qui sont, elles aussi, responsables d’événement de submersion. Les tempêtes peuvent aussi accentuer momentanément les processus d’érosion ce qui favorise le recul des côtes surtout non protégées.

Dans un contexte de changements climatiques, la hausse des précipitations attendues et l’augmentation des cycles de gel et dégel (Ouranos, 2015) seraient susceptibles d’activer les processus de mouvements de terrain et de ruissellements sur les falaises meubles (Bernatchez *et al.*, 2014; Corriveau, 2010) et pourrait également se traduire par une météorisation accrue des falaises et des côtes rocheuses (Daigneault, 2001).

### 4.3. Des enjeux actuels et à venir

Les enjeux associés à la problématique de l’érosion et de la submersion sont d’ordre socio-économique et environnemental (par ex. infrastructures et cadre bâti, qualité de vie des communautés, perte ou modification des milieux naturels, activités économiques). Sur l’ensemble du territoire de la TCR-Québec, deux enjeux ressortent de l’analyse de la caractérisation côtière, soit celui associé au cadre bâti et aux infrastructures ainsi qu’aux écosystèmes plus particulièrement les marais maritimes (tableau 9)

**Tableau 9. Principaux enjeux identifiés sur le territoire de la TCR-Québec.**

Enjeux	Constats observés
<b>Infrastructures et cadre bâti</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Épisodes de débordements côtiers sur des tronçons routiers et des propriétés privées</li> <li>• Dégradation des structures de protection côtière</li> <li>• Érosion derrière les structures de protection</li> <li>• Cadre bâti localisé sur des terrasses de plage étroites au pied de falaise l’exposant aux risques côtiers et de versants</li> </ul>
<b>Marais maritime</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Érosion sévère des schorres supérieurs</li> <li>• Ensablement des marais (lobes transgressifs)</li> <li>• Transformation interne (diminution de leur superficie, de leur diversité végétale et de la qualité de l’habitat faunique qu’ils procurent)</li> <li>• Faible potentiel de migration (coincement côtier)</li> </ul>

#### 4.4. Des pistes d'actions pour mener à des mesures d'adaptation appropriées

Face aux constats observés, il convient d'agir de façon préventive et de trouver des solutions adaptées avant que la nature décide du moment de l'action. Dans ce contexte, le portrait de la côte du territoire de la TCR-Québec réalisé dans le cadre de ce mandat est un premier pas vers la sélection de mesures d'adaptation appropriées (figure 21). Bien que certains segments de la caractérisation côtière restent à valider, notamment à l'aide de relevés sur le terrain, il n'en demeure pas moins qu'un portrait d'ensemble a pu être réalisé.



**Figure 21. Processus d'aide à la décision menant à des mesures d'adaptation aux changements climatiques en milieu côtier.**

Dans un premier temps, il est proposé de compléter les éléments de la caractérisation côtière qui n'ont pu être déterminés, car ils nécessitent une validation sur le terrain. La finalité de la caractérisation côtière pourrait mener par la suite à la deuxième étape du processus d'aide à la décision menant à des mesures d'adaptation soit celle d'une évaluation de la vulnérabilité. Dans cette perspective, des pistes d'actions associées aux deux principaux enjeux identifiés sont suggérées :

Pistes d'actions liées aux infrastructures et cadre bâti :

- Évaluer le nombre d'infrastructures à risque d'érosion et de submersion côtière;
- Documenter et effectuer un suivi des infrastructures à risque d'érosion et de submersion côtière;
- Documenter l'état des structures de protection.

Pistes d'actions liées aux marais maritimes

- Dresser un bilan de leur superficie (gain/perte) au cours des 50 dernières et prochaines années;
- Effectuer un suivi éco-géomorphologique (pour certains secteurs);
- Évaluer leur sensibilité au coincement côtier.

Des pistes d'actions afin de combler les lacunes des connaissances sur les processus et particularités observés sont également proposées :

- Évaluer les effets du batillage et de l'entretien de la voie navigable;
- Évaluer l'évolution historique de la ligne de rivage afin de mieux comprendre les particularités du territoire de la TCR-Québec;
- Inventorier et documenter les paramètres des événements de tempête ayant eu ou pas un impact sur le cadre bâti et les infrastructures;
- Évaluer la dynamique des glaces côtières et leur impact sur la côte;
- Documenter les blocs glaciels (préciser leur nature et leur origine, le mode de transport et de mise en place) plus particulièrement à Saint-Augustin-de-Desmaures.

## 5. Conclusion

La caractérisation des zones côtières effectuée pour le territoire de la TCR-Québec est donc un premier pas dans un processus d'aide à la décision en matière de gestion intégrée des zones côtières. L'identification des types de côtes ainsi que la description de leur état et de leur artificialité auront permis de mieux connaître les processus d'érosion actifs sur les côtes de ce segment du Saint-Laurent et de quantifier le déplacement de la côte dans les marais situés sur la Côte de Beaupré et de la rive nord de l'Île-d'Orléans. Cet exercice a permis d'identifier deux grandes classes d'enjeux, soit la pérennité du cadre bâti et des infrastructures le long des côtes de même que l'intégrité écologique des marais maritimes. Dans une optique d'adaptation aux changements climatiques, il est souhaitable que les connaissances sur les zones côtières du territoire de la TRC-Québec continuent à se développer. Ceci dans le but de minimiser les effets négatifs liés à l'érosion et la submersion côtière qui peuvent compromettre la sécurité des citoyens, la survie des milieux humides côtiers et qui peuvent engendrer des coûts importants.

## Références

- Allaire, J.-F., & Parent, I. (2004). Plan de restauration des habitats du Saint-Laurent en Chaudière-Appalaches : Caractérisation et propositions de restauration du milieu riverain. Lévis. Conseil régional de l'environnement Chaudière-Appalaches. 180.
- Allard, M. (1981). L'anse aux Canards, île d'Orléans, Québec : évolution holocène et dynamique actuelle. *Géographie physique et Quaternaire*, 35(2), 133-154.
- Allard, M., Fournier, R., Grenier, M., Lefebvre, J. et Giroux, J-F. (2012). Forty Years of Change in the Bulrush Marshes of the St. Lawrence Estuary and The Impact of the Greater Snow Goose. *Wetlands*, 32:1175–1188.
- Andrews, B. (2000). Les empiétements du littoral sur la côte de Beaupré: évolution du problème et propositions de solutions. (mémoire de maîtrise ), Université Laval, Québec.
- Argus. (2001). Mise en valeur du littoral de l'agglomération de la capitale nationale; Élaboration d'un cadre d'analyse régional. Commission de la Capitale Nationale juillet 2001. 54 p. + annexes.
- Bernatchez, P., Boucher-Brossard, G., Corriveau, M., & Jolivet, Y. (2014). Impacts des changements climatiques sur l'érosion des falaises de l'estuaire maritime et du golfe du Saint-Laurent. Université du Québec à Rimouski. Chaire de recherche en géoscience côtière, Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières, . 166.
- Bernatchez, P., Brossard-Boucher, G., & Sigouin-Cantin, M. (2012a). Contribution des archives à l'étude des événements météorologiques et géomorphologiques causant des dommages aux côtes du Québec maritime et analyse des tendances, des fréquences et des temps de retour des conditions météo-marines extrêmes. Rapport remis au ministère de la Sécurité publique du Québec. Chaire de recherche en géoscience côtière, Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières, Université du Québec à Rimouski. Septembre 2012. 140.
- Bernatchez P. & Drejza, S. (2015). Réseau de suivi de l'érosion côtière du Québec maritime - Guide pour les utilisateurs. Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières et Chaire de recherche en géoscience côtière. Université du Québec à Rimouski, octobre 2015, 52 p.

- Bernatchez, P., Drejza, S., & Dugas, S. (2012b). Marges de sécurité en érosion côtière : évolution historique et future du littoral des îles de la Madeleine. Université du Québec à Rimouski. Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières; . Juillet 2012. 71 et annexe +100 cartes.
- Bernatchez, P., & Dubois, J.-M. M. (2004). Bilan des connaissances de la dynamique de l'érosion des côtes du Québec maritime laurentien. *Géographie physique et Quaternaire*, 58(1), 45-71.
- Bernatchez, P., Fraser, C., Drejza, S., & Dugas, S. (2012c). Marges de sécurité en érosion côtière : évolution historique et future du littoral de la MRC d'Avignon. Université du Québec à Rimouski. Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières; . Juillet 2012. 49 et annexes.
- 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. 256.
- Bernatchez, P., & 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 (à paraître)*.
- Bernier, C.-É., Kish, A., Menin, C., Pagola, M.-C., Prud'Homme, C., & Simard, F. (2015). Portrait : Le Saint-Laurent, au milieu de nous. Table de concertation régionale de Québec.
- Bhiry, N., Cloutier, D., Couillard, L., Gervais, A., Lamarre, P., Normandeau, M., & Ousmane Dia, A. (2013). Évolution des hauts marais de l'estuaire d'eau douce du Saint-Laurent et stratégies de protection des espèces en situation précaire dans une perspective de changements climatiques. Université Laval, Faculté de foresterie, de géographie et de géomatique et Faculté de sciences et génie, Département de géographie et Ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs. Octobre 2013.
- Boon, J. D. (2012). Evidence of Sea Level Acceleration at U.S. and Canadian Tide Stations, Atlantic Coast, North America. *Journal of Coastal Research*, 285, 1437-1445.
- Corriveau, M. (2010). *Microclimatologie et quantification des processus d'érosion de falaises deltaïques en milieu tempéré froid, péninsule de Manicouagan, Québec*. (Mémoire de maîtrise), Université du Québec à Rimouski.

- Daigneault, M. (2001). *Processus d'altération/érosion à l'interface océan/continent/atmosphère : aspects quantitatifs et semi-quantitatifs*. (Doctorat), Université Jean Monnet.
- Dionne, J.-C. (1986). Érosion récente des marais intertidaux de l'estuaire du Saint-Laurent, Québec. *Géographie physique et Quaternaire*, 40(3), 307-323.
- Dionne, J.-C. (2000). Érosion récente du schorre supérieur à Sainte-Anne-de-Beaupré, Québec. *Géographie physique et Quaternaire*, 54(1), 69-89.
- Dionne, J.-C. (2001). Observations géomorphologiques sur les méga-blocs d'un schorre à *Spartina alterniflora*, estuaire maritime du Saint-Laurent, Québec/Geomorphic observations on the mega-boulders in a *Spartina alterniflora* tidal marsh, Lower St. Lawrence estuary, Québec. *Géomorphologie: relief, processus, environnement*, 7(4), 243-255.
- Dionne, J.-C. (2004). Les méga-blocs de la batture argileuse du secteur sud-ouest de la baie à l'Original (parc du Bic). *Le Naturaliste canadien*, 128(2), 99-105.
- Dionne, J.-C. (2011). Les méga-blocs de la batture entre Sainte-Luce-sur-Mer et Sainte-Flavie, estuaire du Saint-Laurent. *Le Naturaliste canadien*, 135(2), 12.
- Dionne, J.-C. et Poitras, S., 1996. Observations géomorphologiques sur la batture à méga-blocs, à Petite-Rivière, Charlevoix, Québec, *Géographie physique et Quaternaire*, vol. 50, n° 2, 1996, p. 221-232.
- Doody, J. P. (2004). Coastal squeeze, an historical perspective. *Journal of Coastal Conservation*, 10, 129-138.
- Doody, J. P. (2013). Coastal squeeze and management realignment in southeast England, does it tell us anything about the future? . *Ocean and coastal management*, 79 34-41.
- EEM. (2005). *Ecosystems and human well-being : current state and trend*.
- Fraser, C., Bernatchez, P., & Dugas, S. (2014a). Exposition potentielle des infrastructures à l'érosion côtière : développement d'un outil de planification de l'aménagement côtier; MRC d'Avignon et de Bonaventure. Université du Québec à Rimouski. Chaire de recherche en géoscience côtière, Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières. Juin 2014. 112 p. et annexes cartographiques.

- Fraser, C., Bernatchez, P., Dugas, S., & Drejza, S. (2012). Marges de sécurité en érosion côtière : évolution historique et future du littoral de MRC de Bonaventure. Université du Québec à Rimouski. Chaire de recherche en géoscience côtière, Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières. Août 2012. 50 pages et annexes.
- Fraser, C., Bernatchez, P., Dugas, S., & Drejza, S. (2014b). Exposition potentielle des infrastructures à l'érosion côtière : développement d'un outil de planification de l'aménagement côtier; Îles-de-la-Madeleine. Université du Québec à Rimouski. Chaire de recherche en géoscience côtière, Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières. Juin 2014. 55 p. et annexe cartographique.
- Grenier, A., & Dubois, J. (1992). L'évolution des côtes aux Îles-de-la-Madeleine. Info Géo Graphes, 1, 59-64.
- Génivar, (2009). Étude de préfaisabilité pour des travaux de restauration des berges le long du fleuve à Saint-Augustin-de-Desmaures. Rapport final de GENIVAR Société en commandite à la Fondation québécoise pour la protection du patrimoine naturel. 60 p. et annexes.
- Han G., Ma, Z., Bao, H. et Slangen, A. (2014). Regional differences of relative sea level changes in the northwest Atlantic: Historical trends and future projections. Journal of Geophysical Research: Oceans, 119 : 156-164.
- Harnois, S. (2005). Entre terre et mer»: Utilisations des perceptions environnementales des marais intertidaux de la Côte-de-Beaupré (Mémoire de maîtrise), Université Laval, Ste-Foy. 153 pages.
- Jean, M., & Létourneau, G. (2011). *Changements dans les milieux humides du fleuve Saint-Laurent de 1970 à 2002*: Direction générale des sciences et de la technologie, Environnement Canada.301 pages.
- Koohzare, A., P. Vaníček et M. Santos.(2008). Pattern of recent vertical crustal movements in Canada. Journal of Geodynamics, 45 : 133-145.
- Le Roux, A. (2012). *Origine et mobilité des méga-blocs glaciels entre Rimouski et Saint-Ulric, rive sud du Saint-Laurent (Québec)*. (Master), Université de Bretagne Occidentale

- Leclerc, & Dupuis. (2008). Recherche d'une solution économique et durable à la problématique d'érosion littorale à Pointe-aux-Outardes. INRS-ETE R990 et Aquapraxis Inc en collaboration avec OURANOS et divers partenaires. 220 pages + 9 annexes.
- Morneau, F., Bourque, A., Larrivée, C., & Audet, N. (2014). L'exposition des rives et des zones côtières du Saint-Laurent aux aléas hydroclimatiques. Consortium Ouranos. 12 novembre 2014 57 pages.
- Nicholls, R. J., & Cazenave, A. (2010). Sea-level rise and its impact on coastal zones. *Science*, 328(5985), 1517-20.
- Ouranos. (2015). Vers l'adaptation. Synthèse des connaissances sur les changements climatiques au Québec ; Partie 2 : Vulnérabilités, impacts et adaptation aux changements climatiques. Montréal, Québec. 115 pages.
- Quintin, C., Bernatchez, P. & Buffin-Bélanger, T. (2006). Géomorphologie et diversité végétale des marais du Cap Marteau et de L'Isle-Verte, estuaire du Saint-Laurent, Québec. *Géographie physique et Quaternaire*, vol. 60, n° 2, 2006, p. 149-164.
- SHC (2016, 5 février 2016). [Demande d'information sur les niveaux d'eau].
- Tecsult. (2008). Analyse coûts-avantages de solutions d'adaptation à l'érosion côtière pour la Ville de Sept-Îles. 90 pages.
- Troude, J. & Sérodes, J. (1985). *Régime morpho-sédimentologique d'un estran à forte sédimentation dans l'estuaire du Saint-Laurent*. Communication présentée à la Proc. Canadian Coastal Conf.
- Villeneuve, S. (2001). Les répercussions environnementales de la navigation commerciale sur le Saint-Laurent. *Le Naturaliste canadien*, 125(2), 49-67.
- Whitman, T., & MacLennan, A. (Producteur). (2015, janvier 2016). Healthy Beaches for People & Fish Sea Level Rise Adaptation Tools for San Juan County, WA. December 10, 2015

## Annexe 1. Description des données numériques

Les données numériques générées dans le cadre du projet « **Caractérisation côtière du territoire de la Table de concertation régionale, zone de Québec** » pour la région de la TCR-Québec ont été remises à la CMQ sous forme de fichiers de forme (*shapefiles*), conçues dans le logiciel ArcGIS 10.2.

Les segments côtiers sont présentés dans un fichier de forme de polyligne : «**CARACTERISATION\_TCRQ\_2016\_UQAR** » (projection NAD\_1983\_MTM\_7). Les différents champs de la table d'attributs sont décrits au tableau ci-dessous.

**Tableau A : description des champs attributaire**

Champs	Description	Valeurs	Type de champ
Shape		Polyligne	Geometry
ID	Numéro unique du segment côtier dans la base de données	Numérique	Long
Type_Cote	Type de côte	Voir Tableau B, Type de côte	String (50)
Etat_Cote	État de la côte	Voir Tableau C État de la côte	String (50)
Artificiel	Présence ou absence de structure de protection côtière	Voir Tableau D, Artificialité	String (50)
Type_Artif	Type de structure de protection côtière sur la ligne de rivage ou le trait de côte	Voir Tableau E, Type d'artificialité	String (50)
Etat_Artif	État de la structure de protection côtière	Voir Tableau F, État de l'artificialité	String (50)
Commentair	Commentaire sur le segment côtier (au besoin)		String (50)
MRC	MRC dans laquelle se situe le segment côtier		String (50)
Longueur	Longueur du segment côtier (en mètre)	Numérique	Double
PhotoBorne	Photo terrain associée au segment côtier provenant du réseau de station de suivi de l'érosion côtière du LDGIZC-UQAR		String (50)
Photo_2015	Photo terrain associée au segment côtier provenant de la campagne terrain réalisée en novembre 2015		String (50)
Ligne_Ref	Type de ligne de référence numérisé	Voir G, Tableau Ligne de référence	
Source	Provenance de la donnée		String (50)
Imagerie	Orthophotographie ayant servi à la numérisation des segments côtiers		String (50)
Échelle	Échelle de numérisation des segments côtiers		String (50)
Référence	Rapport associé à la méthodologie du fichier numérique		String (200)

**Tableau B : Type de côte**

Type_Cote	Description	Exemple photographique
<b>Falaise meuble</b>	Escarpeement de dépôts non consolidés (argile, limon, sable, gravier, galet, blocs) de plus de 5 mètres de hauteur.	<p data-bbox="1029 289 1289 338">Saint-Augustin-de-Desmaures, Agglomération de Québec</p> 
<b>Falaise meuble (basse)</b>	Escarpeement de dépôts non consolidés (argile, limon, sable, gravier, galet, blocs) de moins de 5 mètres de hauteur.	<p data-bbox="1029 600 1300 653">Saint-Laurent-de-l'Île-d'Orléans, MRC de L'Île-d'Orléans</p> 
<b>Falaise meuble nd</b>	Escarpeement de dépôts non consolidés (argile, limon, sable, gravier, galet, blocs), hauteur non déterminée.	
<b>Falaise nd</b>	Escarpeement de dépôts non déterminés de plus de 5 mètres de hauteur.	
<b>Falaise nd (basse)</b>	Escarpeement de dépôts non déterminés de moins de 5 mètres de hauteur.	
<b>Falaise rocheuse</b>	Escarpeement de roche consolidée de plus de 5 mètres de hauteur.	<p data-bbox="1029 1247 1300 1268">Beaumont, MRC de Bellechasse</p> 
<b>Falaise rocheuse (basse)</b>	Escarpeement de roche consolidée de moins de 5 mètres de hauteur.	<p data-bbox="987 1491 1343 1512">Sainte-Pétronille, MRC de L'Île-d'Orléans</p> 
<b>Falaise rocheuse nd</b>	Escarpeement de roche consolidée, hauteur non déterminée.	

<p><b>Falaise intertidale (basse)</b></p>	<p><b>Escarpement de dépôts fins non consolidés de moins de 5 mètres de hauteur colonisé par de la végétation arbustive parfois inondée que lors de surcote durant la pleine mer supérieure de grande marée.</b></p>	<p>Sainte-Famille, MRC de l'Île-d'Orléans</p> 
<p><b>Marais maritime</b></p>	<p>Zone d'accumulation de sédiments fins colonisée par de la végétation herbacée inondée lors de la pleine mer supérieure de grande marée (limite entre schorre inférieur et supérieur).</p>	<p>Sainte-Anne-de-Beaupré, MRC La Côte-de-Beaupré</p> 
<p><b>Remblai</b></p>	<p>Dépôts non consolidés provenant d'une intervention anthropique sur le littoral.</p>	<p>Québec, Agglomération de Québec</p> 
<p><b>Rocheuse</b></p>	<p>Roche consolidée sans falaise/escarpement.</p>	<p>Beaumont, MRC de Bellechasse</p> 

<p><b>Terrasse de plage</b></p>	<p><b>Zone d'accumulation de dépôts non consolidés (sable et/ou de gravier littoral) formée d'un replat colonisé par de la végétation herbacée parfois inondée que lors de surcote durant la pleine mer supérieure de grande marée. Le replat est parfois bordé sur sa partie inférieure par un talus d'érosion (microfalaise) de moins de 2 m de hauteur et sur sa partie supérieure par une falaise morte ou d'un terrain plat.</b></p>	<p>Sainte-Pétronille, MRC de L'Île-d'Orléans</p> 
<p><b>Terrasse fluviale</b></p>	<p>Banc d'accumulation situé à l'embouchure d'une rivière composé de dépôts non consolidés colonisé par de la végétation.</p>	<p>Beaupré, MRC La Côte-de-Beaupré</p> 

<b>Type de côte des segments tracés, mais non inclus dans la caractérisation (trait potentiel)*</b>		
<b>Type_Cote</b>	<b>Description</b>	<b>Exemple photographique</b>
<b>Bas de falaise</b>	Segment tracé au bas des falaises ou des talus. Le type de côte a alors été caractérisé sur le segment supérieur.	
<b>Berge (rivière)</b>	Segment tracé dans les embouchures des principales rivières.	
<b>Traverse de cours d'eau</b>	Segment tracé de part et d'autre des cours d'eau (pour les rivières Chaudière, Etchemin, Saint-Charles, Cap-Rouge, Montmorency et Ste-Anne cette limite correspond approximativement à la limite d'influence de la marée.)	
<b>Transition</b>	Segment tracé entre les lignes de référence de type « ligne de rivage » (situées au bas du talus) et « trait de côte » (situés au sommet du talus ou des ouvrages de protection) dont l'altitude peut varier.	
<b>Autre (Accès)</b>	Segment tracé de part et d'autre d'accès privé au littoral afin de compléter la ligne de côte.	

\*Voir section 2.1 et tableau lignes de référence

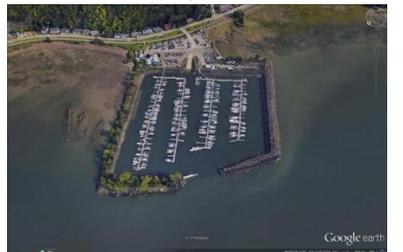
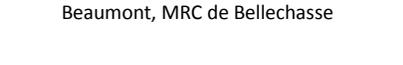
Tableau C : État de la côte

Etat_Cote	Description	Exemple photographique (Côte basse)	Exemple photographique (Falaise)
<b>actif</b>	Segment côtier pour lequel il y a des signes apparents de processus d'érosion et/ou pour lequel le couvert végétal représente moins de 25 % et/ou l'escarpement est vif.	<p>L'Ange-Gardien, MRC La Côte-de-Beaupré</p> 	<p>Saint-Augustin-de-Desmaures, Agglomération de Québec</p> 
<b>semi-végétalisé</b>	Segment côtier pour lequel il y a des signes apparents de processus d'érosion et le couvert végétal représente 25 à 75 %.	<p>Beaumont, MRC de Bellechasse</p> 	<p>Saint-Augustin-de-Desmaures, Agglomération de Québec</p> 
<b>stable ou végétalisé</b>	Segment côtier pour lequel il n'y a pas de signes apparents de processus d'érosion actifs. Le couvert végétal représente plus de 75 % ou il y a une structure de protection côtière.	<p>Saint-François-de-l'Île-d'Orléans, MRC de L'Île-d'Orléans</p> 	<p>Saint-Michel-de-Bellechasse, MRC de Bellechasse</p> 
<b>nd</b>	État de la côte non déterminé.		

**Tableau D : Artificialité**

<b>Artificiel</b>	<b>Description</b>
<b>oui</b>	Segment côtier pour lequel il y a présence d'une structure de protection côtière.
<b>non</b>	Segment côtier pour lequel il y a absence d'une structure de protection côtière.
<b>nd</b>	Segment côtier pour lequel la présence ou l'absence d'une structure de protection côtière est non déterminée.

**Tableau E : Type d'artificialité**

Type_Artif	Description	Exemple photographique
<b>accès</b>	Segment côtier pour lequel il y a présence d'un accès au littoral (rampe de mise à l'eau).	<p>Saint-Jean-de-l'Île-d'Orléans, MRC de L'Île-d'Orléans</p> 
<b>bloc déversé</b>	Segment côtier pour lequel il y a un amas de blocs de pierre déstructuré servant à protéger la côte.	<p>Saint-Laurent-de-l'Île-d'Orléans, MRC de l'Île-d'Orléans</p> 
<b>enrochement</b>	Segment côtier pour lequel il y a un amas de blocs de pierre.	<p>Saint-Vallier, MRC de Bellechasse</p> 
<b>marina</b>	Segment côtier pour lequel il y a présence d'une marina.	<p>Ville de Lévis, Communauté métropolitaine de Québec</p> 
<b>muret de blocs</b>	Segment côtier pour lequel il y a un muret composé de blocs de béton.	<p>Saint-Jean-de-l'Île-d'Orléans, MRC de l'Île-d'Orléans</p> 
<b>muret de bois</b>	Segment côtier pour lequel il y a un muret composé de bois.	<p>Beaumont, MRC de Bellechasse</p> 

		
<b>muret de béton</b>	Segment côtier pour lequel il y a un muret composé de béton.	<p>Saint-François-de-l'île-d'Orléans, MRC de l'île-d'Orléans</p> 
<b>muret de béton/bloc déversé</b>	Segment côtier pour lequel il y a un muret composé de béton et d'un amas de blocs de pierre déstructuré.	<p>Saint-Augustin-de-Desmaures, Agglomération de Québec</p> 
<b>muret de béton/enrochement</b>	Segment côtier pour lequel il y a un muret composé de béton et d'un amas de blocs de pierre.	<p>Saint-Vallier, MRC de Bellechasse</p> 
<b>muret de béton/pierres</b>	Segment côtier pour lequel il y a un muret composé de béton et d'un amas de pierres.	<p>Saint-Laurent-de-l'île-d'Orléans, MRC de l'île-d'Orléans</p> 
<b>muret de pierres</b>	Segment côtier pour lequel il y a un muret composé de pierres.	<p>Saint-Vallier, MRC de Bellechasse</p> 
<b>muret nd</b>	Segment côtier pour lequel il y a un muret dont la nature est non déterminée.	

<b>na</b>	Segment côtier pour lequel il y a absence d'une structure de protection côtière.	
<b>nd</b>	Segment côtier pour lequel il y a présence d'une structure de protection côtière, mais dont le type est non déterminé.	
<b>quai</b>	Segment côtier pour lequel il y a présence d'un quai et infrastructure portuaire.	<p>Québec, Agglomération de Québec</p> 
<b>remblai</b>	Segment côtier pour lequel il y a présence de dépôts non consolidés provenant d'une intervention anthropique sur le littoral (ex. épis, quai).	<p>Lévis, Communauté métropolitaine de Québec</p> 

**Tableau F : État de l'artificialité**

Artificiel	Description	Exemple photographique
<b>bon</b>	Segment côtier pour lequel la structure de protection côtière ne présente aucun signe d'endommagement sur 75 % et plus de sa longueur.	<p>Saint-Vallier, MRC de Bellechasse</p> 
<b>partiellement endommagé</b>	Segment côtier pour lequel la structure de protection côtière est ponctuellement altérée (affaissement) sur 25 à 50 % de sa longueur.	<p>Beaumont, MRC de Bellechasse</p> 
<b>endommagé</b>	Segment côtier pour lequel la structure de protection côtière est altérée sur 50 à 75 % de sa longueur et ne protège plus la côte.	<p>Saint-François-de-l'Île-d'Orléans, MRC de l'Île-d'Orléans</p> 
<b>complètement endommagé</b>	Segment côtier pour lequel la structure de protection côtière présente un endommagement sur plus de 75 % de sa longueur.	<p>Saint-Augustin-de-Desmaures, Agglomération de Québec</p> 
<b>na</b>	Segment côtier pour lequel il y a absence d'une structure de protection côtière.	

**Tableau G : Description des lignes de référence**

Ligne_Ref	Description
<b>Ligne de rivage*</b>	Cette limite géomorphologique correspond à la limite de végétation herbacée dense, à la base d'un ouvrage de protection rigide ou à la base d'une falaise. Elle correspond approximativement à la limite des hautes mers maximales/pleines mers supérieures de grandes marées. Pour les marais maritimes, la ligne de rivage correspond à la limite entre le schorre supérieur et inférieur, soit approximativement le niveau moyen des hautes mers /pleines mers supérieures de marées moyennes.
<b>Trait de côte*</b>	Cette limite géomorphologique correspond au sommet du talus côtier. C'est la limite de la zone d'influence des processus côtiers, la limite entre la côte et l'arrière côte. Dans les marais maritimes, il s'agit de l'arrière du schorre supérieur, soit lorsque la végétation devient terrestre. Pour les besoins des mesures d'évolution et pour la caractérisation des côtes, cela correspond également au sommet d'un ouvrage de protection rigide, bien que dans ce dernier cas, les processus côtiers puissent affecter les terrains situés en arrière de l'ouvrage anthropique lors des tempêtes.
<b>Trait potentiel</b>	Trait non inclus dans la caractérisation côtière (voir section 2.1)
<b>Bas de talus</b>	Trait correspondant au bas de talus
<b>Haut de talus</b>	Trait correspondant au haut de talus
<b>Sommet de l'artificialité</b>	Trait correspondant au sommet de la structure de protection côtière

\*Bernatchez, P. et Drejza, S., 2015.

## Annexe 2. Description des processus et réponses morphologiques rencontrés sur le territoire de la TCR-Québec

Tableau A : Côte à marais maritime

<p><b>L'action des vagues</b></p> <p>Les vagues associées aux vents, aux courants de marée, aux tempêtes ou résultant du batillage, affectent petit à petit la cohésion du matériel meuble en place, ce qui entraîne des effondrements successifs formant des « encoches d'érosion » le long de la microfalaise.</p>	 <p>Cap-Tourmente; Photo : Google Earth (31-05-2013)</p>
<p><b>L'action des glaces</b></p> <p>Arrachement d'une parcelle de végétation par le déplacement des glaces lors de débâcles formant des mares ou des marelles ou une surface dénudée de végétation. La parcelle de végétation, communément appelé radeau de schorre, est transportée par les vagues et est éventuellement déposée sur le littoral.</p>	 <p>Gaspésie; Crédit photo : Jean-Marie Dubois</p>
<p><b>Le « picorage » par la faune aillée</b></p> <p>Le « picorage », notamment par les grandes oies des neiges et les autres oiseaux de rivage se nourrissant de végétaux littoraux, dénudent des parcelles de végétation de marais. Ces endroits sont alors exposés à l'action des vagues ou parfois des glaces pouvant accentuer l'érosion et/ou former des mares ou des marelles.</p>	 <p>Cap-Tourmente; Crédit photo : Reserve nationale de faune du Cap-Tourmente; TripAdvisor <a href="http://media-cdn.tripadvisor.com/media/photo-s/09/21/11/22/reserve-nationale-de.jpg">http://media-cdn.tripadvisor.com/media/photo-s/09/21/11/22/reserve-nationale-de.jpg</a></p>

### Submersion

L'élévation du niveau de l'eau lors des tempêtes, lors des crues printanières ou parfois estivales combinées parfois à de fortes vagues qui transportent une charge sédimentaire grossière. Ces dernières submergent les côtes basses favorisant ainsi le dépôt de sédiments meuble sur les parties supérieures du marais (communément appelé lobe transgressif).

Des épisodes fréquents de submersion peuvent entraîner des transformations internes du marais (étendue et diversité végétale), car la végétation est adaptée à une certaine durée et fréquence de submersion.



Marais de Saint-Augustin-de-Desmaures, 28-29 août 2011 (tempête Irène), Photo extraite de (Bhiry *et al.*, 2013)

### Coincement côtier

Certains marais ont été remblayés pour l'établissement d'infrastructures de transport ou résidentielles et commerciales. D'autres ont été asséchés par l'entremise de canaux de drainage ou endigués pour des fins agricoles et industrielles. Il en résulte une limitation de l'expansion ou de la migration des marais vers l'intérieur des terres, un phénomène nommé coincement côtier. Le coincement côtier entraîne une diminution de la superficie des marais et dans certains cas une disparition.



Sainte-Anne-de-Beaupré, Crédit photo Lahoud ; [http://theses.ulaval.ca/archimede/fichiers/25637/25637\\_46.png](http://theses.ulaval.ca/archimede/fichiers/25637/25637_46.png)

## Tableau B : Côte meuble basse (<2 m) Terrasse de plage

<p><b>L'action des vagues</b></p> <p>L'action des vagues, sur les côtes meubles basses, notamment les terrasses de plage, a pour effet de déstructurer les matériaux meuble en place et de briser, voir supprimer, la végétation en place. Ainsi les vagues sont susceptibles de provoquer la formation de microfalaise, de foyer d'érosion et, ultimement, de favoriser le recul du trait de côte.</p>	 <p>Saint-François-de-l'Île-d'Orléans; 12nov2015; Crédit photo : LDGIZC</p>
<p><b>L'action des glaces</b></p> <p>Les côtes meubles sont généralement protégées de l'action des glaces au cours de l'hiver à l'exception des périodes de mise en place et du morcellement du pied de glace protecteur. La côte est alors exposée à l'impact des glaces transportées par l'action des vagues lorsque le niveau de l'eau est suffisamment haut pour atteindre le talus côtier.</p>	 <p>Lévis, 31-05-2013 Image Google Earth</p>
<p><b>Submersion</b></p> <p>Les épisodes de submersion sur les côtes basses provoquent parfois la mise en place de lobes de sables ou de graviers, nommée transgressions, susceptibles d'affecter la végétation en place. Lorsque successives, celles-ci peuvent résulter en un déplacement du trait de côte vers les terres. La submersion des terres côtières peut également engendrer le ravinement ou la suffosion des côtes.</p>	 <p>Saint-Augustin-de-Desmaures, 15 novembre 2015, Crédit photo : LDGIZC</p>

### Tableau C : Falaise meuble (>2 m)

#### **Sapement par les vagues**

L'action des vagues à la base des falaises meubles a pour effet d'y retirer le matériel meuble créant ainsi des foyers d'érosion et affectant la stabilisation des talus par les végétaux.



Saint-Vallier, 13 novembre 2015, Crédit photo : LDGIZC

#### **Glissement de terrain (pelliculaire – gravitationnel) Ruissellement-Suffosion**

L'avènement de pluies importantes ou parfois le ruissellement des eaux de fontes printanières, combinés à la gravité provoque parfois, sur les pentes raides, des glissements de terrain pelliculaire ou gravitationnel, de petits ravins ou rigoles de ruissellement ou des trouées liées à la suffosion. Ces mouvements de masse emportent ainsi la végétation présente sur les parois laissant celles-ci à nu et exposées à de nouveaux agents érosifs.



Saint-Nicolas, Image Google Earth 31-05-2013

## Tableau D : Falaise rocheuse (>2 m)

### Sapement par les vagues\*

Sur les falaises rocheuses, l'action des vagues peut participer à la météorisation de la roche au pied de la falaise lorsqu'elles sont particulièrement énergiques (vagues de tempête) ou lorsqu'elles transportent des débris ou des glaces qui accentuent leur impact.

\*Ce phénomène n'a pu être photographié et aucune image n'a été trouvée au cours de la réalisation de ce mandat pour imager le sapement par les vagues présent sur le territoire de la TCR-Québec.



Gaspésie; Crédit photo : Christian Fraser

### L'action du gel et du dégel

L'infiltration d'eau dans la roche et le gel de celle-ci par la suite, entraîne la météorisation des roches rendant celle-ci plus friable. Le gel-dégel peut également activer des plans de glissement parfois présents dans les roches sédimentaires.



Chutes Chaudière, Lévis, février 2007; Crédit photo : Michel Corboz; <http://www.pbase.com/zobroc/chaudiere>

### Action des glaces

L'infiltration d'eau dans la roche et le gel de celle-ci par la suite, entraîne la météorisation des roches. Ce matériel rocheux étant plus petit et détaché du socle rocheux peut alors être mobilisé par les vagues, les courants ou par les glaces sur la base des falaises.



Beaumont, 14 novembre 2015, Crédit photo : LDGIZC

### **Éboulement-Éboulis**

Lorsque la météorisation de la roche par l'action des vagues ou par le gel-dégel est suffisamment importante ou que des plans de glissement sont activés, des éboulements de graviers ou de blocs rocheux peuvent survenir.

Lorsque la base des falaises est érodée par l'action des vagues et /ou des glaces, la partie supérieure de la falaise peut se retrouver en porte à faux et ultimement s'effondrer sous l'effet de la gravité.



Beaumont, 15 novembre 2015, Crédit photo : LDGIZC

### Tableau E : Côte rocheuse (<2 m)

#### **Sapement/Abrasion par les vagues et les glaces**

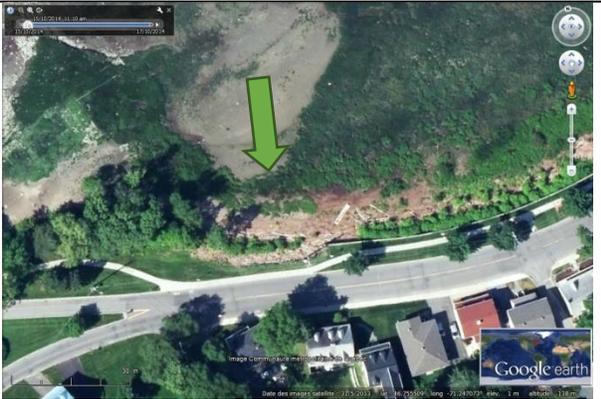
Sur les côtes rocheuses, l'action des vagues et des glaces peut participer à la météorisation de la roche sur les bases des falaises et sur les affleurements rocheux saillants de l'estran. Les vagues, les courants et le déplacement des glaces participent également au transport des particules de roches ainsi détachées du socle rocheux



Beaumont; Crédit photo : Panoramio Google Map : Elphidore

<http://www.panoramio.com/photo/66926773?source=wapi&referrer=kh.google.com>

## Tableau F : Côte artificialisée

<p><b>Action des vagues</b></p> <p>Les murs verticaux ont pour effet de réfléchir l'énergie des vagues lorsque celles-ci les frappent. En fonction de l'angle d'incidence des vagues, leur énergie est redirigée le long de la structure et/ou vers sa base, ce qui mobilise les matériaux meubles et engendre l'affouillement des ouvrages par endroit.</p>	 <p>Sainte-Pétronille, 10 novembre 2015, Crédit photo : LDGIZC</p>
<p><b>Effet de bout</b></p> <p>Des foyers d'érosion sont souvent remarqués aux extrémités des structures de protection rigides. Nommé « effet de bout », ce phénomène est associé au déficit sédimentaire engendré par la présence de la structure elle-même et à la réflexion et la diffraction des vagues.</p>	 <p>Lévis, Image Google Earth 31-05-2013</p>
<p><b>Aménagement humain</b></p> <p>Les vagues peuvent également accentuer les encoches dans le talus d'érosion formées par l'action humaine, notamment lorsque l'écoulement de l'eau est concentré à un même endroit via les travaux de drainages agricole ou routier (pluvial).</p>	 <p>Cap-Tourmente, Image Google Earth 31-05-2013</p>
<p><b>Action combinée des vagues et de la glace</b></p> <p>Lorsque des tempêtes hivernales surviennent au début ou à la fin de la période des glaces côtières, il est possible que les vagues qui frappent la côte soient chargées de glaçons rendant l'impact de celles-ci d'autant plus destructeur.</p>	 <p>Saint-Michel-de-Bellechasse; 16 avril 2007; Crédit photo : Lise Paquette</p>

**Action du gel-dégel**

L'eau qui s'infiltré entre les interstices des enrochements et des murets de béton et qui gèle par la suite est susceptible de déplacer les blocs rocheux ou de fissurer le béton et ainsi déstructurer la structure et provoquer leur affaissement.



CCAO-01BA\_23-06-2014\_A.JPG, Crédit photo : LDGIZC

**Submersion**

Les structures de protection peuvent également favoriser la submersion par franchissement, c'est-à-dire que même si le niveau d'eau n'atteint pas l'élévation de la côte, des inondations côtières peuvent se produire seulement par l'accumulation d'eau qui franchit le sommet des structures lors de l'impact des vagues.



Rue des remparts; Saint-Michel-de-Bellechasse, 26 mai 2013; Crédit photo : J. Lauzier [https://scontent-ord1-1.xx.fbcdn.net/hphotos-xfp1/v/t1.0-9/734533\\_10152034605498457\\_1544726062\\_n.jpg?oh=43d2e3d75940db6c211525678c6a9c59&oe=5738E88A](https://scontent-ord1-1.xx.fbcdn.net/hphotos-xfp1/v/t1.0-9/734533_10152034605498457_1544726062_n.jpg?oh=43d2e3d75940db6c211525678c6a9c59&oe=5738E88A)

Plusieurs infrastructures côtières sont construites sur des zones initialement occupées par le lit du fleuve. Lorsque le niveau monte durant les grandes marées, il n'est pas rare que ces endroits se trouvent submergés.



Québec, secteur Dalhousie;  
<http://images.lpcdn.ca/924x615/201305/26/694668-fleuve-saint-laurent-sorti-lit.jpg>