

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

Pascal Bernatchez et Chantal Quintin

Volume 140, numéro 2, été 2016

Le Saint-Laurent

URI : <https://id.erudit.org/iderudit/1036507ar>

DOI : <https://doi.org/10.7202/1036507ar>

[Aller au sommaire du numéro](#)

Éditeur(s)

La Société Provancher d'histoire naturelle du Canada

ISSN

0028-0798 (imprimé)

1929-3208 (numérique)

[Découvrir la revue](#)

Citer cet article

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*, 140(2), 91–104. <https://doi.org/10.7202/1036507ar>

Résumé de l'article

Les écosystèmes côtiers s'ajustent à la hausse du niveau de la mer en migrant vers les terres. Or, dans les zones sujettes à une accélération de la montée du niveau de la mer et à un déficit sédimentaire, des contraintes naturelles (p. ex. falaises) ou artificielles (p. ex. routes, structures de protection) présentes sur la côte, peuvent freiner cette dynamique naturelle et entraîner une perte de superficie de l'écosystème, processus nommé *coincement côtier* (*coastal squeeze* en anglais). Afin de savoir si les écosystèmes côtiers de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent (EGSL) ont l'espace nécessaire pour se déplacer vers les terres dans un contexte de hausse du niveau de la mer, leur distance de migration potentielle a été évaluée. Les résultats révèlent que 57 % des écosystèmes formés de sédiments meubles ont un potentiel de migration inférieur à 30 m. Les contraintes artificielles sont susceptibles de freiner leur déplacement dans plus de 50 % des cas et plus des 3/4 des contraintes artificielles sont situées à moins de 30 m de leur limite supérieure. L'impact du coincement côtier devient préoccupant tant pour les milieux sableux que pour les marais maritimes qui occupent, respectivement, 74 % et 26 % de la superficie du territoire. L'amorce d'une réflexion sur la conservation d'espaces de migration des écosystèmes côtiers de l'EGSL est essentielle afin d'augmenter leur résilience face aux changements environnementaux.

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

Pascal Bernatchez et Chantal Quintin

Résumé

Les écosystèmes côtiers s'ajustent à la hausse du niveau de la mer en migrant vers les terres. Or, dans les zones sujettes à une accélération de la montée du niveau de la mer et à un déficit sédimentaire, des contraintes naturelles (p. ex. falaises) ou artificielles (p. ex. routes, structures de protection) présentes sur la côte, peuvent freiner cette dynamique naturelle et entraîner une perte de superficie de l'écosystème, processus nommé coincement côtier (*coastal squeeze* en anglais). Afin de savoir si les écosystèmes côtiers de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent (EGSL) ont l'espace nécessaire pour se déplacer vers les terres dans un contexte de hausse du niveau de la mer, leur distance de migration potentielle a été évaluée. Les résultats révèlent que 57 % des écosystèmes formés de sédiments meubles ont un potentiel de migration inférieur à 30 m. Les contraintes artificielles sont susceptibles de freiner leur déplacement dans plus de 50 % des cas et plus des 3/4 des contraintes artificielles sont situées à moins de 30 m de leur limite supérieure. L'impact du coincement côtier devient préoccupant tant pour les milieux sableux que pour les marais maritimes qui occupent, respectivement, 74 % et 26 % de la superficie du territoire. L'amorce d'une réflexion sur la conservation d'espaces de migration des écosystèmes côtiers de l'EGSL est essentielle afin d'augmenter leur résilience face aux changements environnementaux.

MOTS CLÉS : coincement côtier, conservation, écosystème sableux, érosion côtière, marais maritime

Abstract

Coastal ecosystems naturally adjust to rising sea level by migrating landward. However, in areas subject to accelerating sea level rise and sedimentary deficits, natural (e.g., cliffs) or artificial constraints (e.g., roads or defense structures) along coastlines can limit this mitigation. This process, known as 'coastal squeeze' can lead to a reduction in the surface area of a given ecosystem. The present study evaluated the potential migration distance of coastal ecosystems in the St. Lawrence Estuary and Gulf (Canada), to determine whether they have the space to move landward with sea level rise. The results revealed that 57% of sandy and salt marsh environments, have a migration potential of less than 30 m. In over 50% of cases, artificial constraints are likely to limit this movement, and more than 75% of these constraints are located within less than 30 m of the upper limit for migration. The impact of coastal squeeze is of concern for both sandy and salt marsh ecosystems, which occupy 74% and 26% of the coastal area, respectively. To enhance the resilience of coastal ecosystems in the St. Lawrence Estuary and Gulf to environmental change, it will be important to start addressing the conservation of sufficient accommodation space for their landward migration.

KEYWORDS: beaches, coastal erosion, coastal squeeze, conservation, dunes, salt marsh

Introduction

Les écosystèmes côtiers font partie des écosystèmes les plus vulnérables aux changements climatiques (Wong et collab., 2014). Leur résilience face à ces changements constitue non seulement un enjeu écologique, mais aussi socio-économique (ÉÉM, 2005) puisqu'ils assurent une grande diversité de services écologiques (Barbier et collab., 2011; Bernhardt et Leslie, 2013; UICN France, 2013). Les écosystèmes côtiers meubles, c'est-à-dire les marais maritimes et les côtes basses sablonneuses, s'ajustent normalement à la hausse du niveau de la mer, soit verticalement si les apports sédimentaires ou en matières organiques sont suffisants, soit qu'ils migrent latéralement lorsqu'un espace est disponible (Davidson-Arnott, 2005; Schile et collab., 2014). La présence de contraintes physiques en bordure des écosystèmes côtiers,

qu'elles soient naturelles (p. ex. falaises mortes, pentes prononcées, versants) ou artificielles (p. ex. infrastructures résidentielles ou routières, ouvrages de protection côtière) peut limiter la migration naturelle des écosystèmes côtiers vers les terres, processus nommé coincement côtier (*coastal*

Pascal Bernatchez est professeur et titulaire de la Chaire de recherche en géoscience côtière à l'Université du Québec à Rimouski. Il dirige aussi le Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières (LDGIZC) et est membre du Centre d'études nordiques et du Groupe de recherche sur les environnements nordiques BORÉAS. Chantal Quintin est professionnelle de recherche au LDGIZC et possède une maîtrise en gestion de la faune et de ses habitats de l'Université du Québec à Rimouski.

Pascal_Bernatchez@uqar.ca

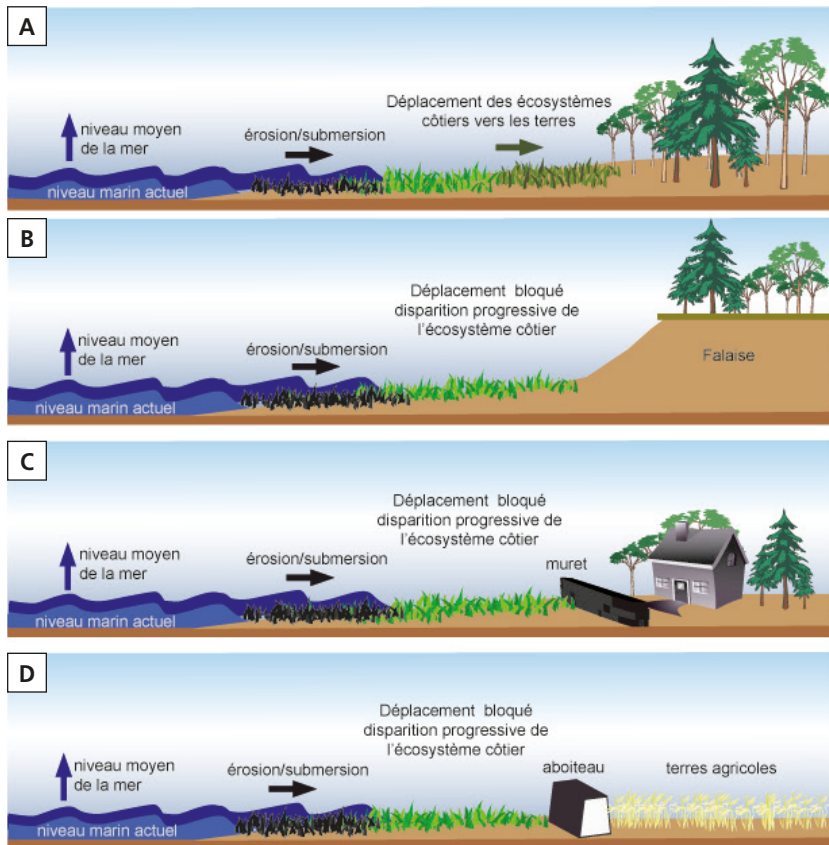


Figure 1. Schéma illustrant les facteurs qui influencent le coincement côtier. Déplacement de l'écosystème côtier en absence de contraintes (a). Déplacement de l'écosystème côtier bloqué par une contrainte naturelle (b). Déplacement de l'écosystème côtier bloqué par une contrainte anthropique (c et d) (modifié de Pontee, 2013).

squeeze en anglais) (Doody, 2004; 2013; figure 1). La distance du premier obstacle en périphérie de la limite supérieure d'un écosystème côtier est donc un élément important à considérer pour évaluer sa vulnérabilité au coincement côtier. De plus, dans le contexte de l'accélération de la hausse du niveau marin mondial (Cazenave et collab., 2014; Jevrejeva et collab., 2014) et de l'accroissement de l'urbanisation des zones côtières (Nicholls et collab., 2008), la problématique du coincement côtier pourrait prendre de l'ampleur, particulièrement dans les zones bâties (Linhoss et collab., 2015).

La hausse moyenne du niveau marin mondial, qui a été de 1,7 mm/an pour le dernier siècle (1900-2009), est passée de 1,9 mm/an à 3,2 mm/an entre les périodes de 1961-1993 et de 1993-2011 (Church et White, 2011; Rahmstorf et collab., 2012). Dans les régions côtières qui ont été englacées, comme c'est le cas du Canada, la composante isostatique influence considérablement les variations du niveau marin (Koohzare et collab., 2008). Ainsi, dans le sud du golfe du Saint-Laurent, en raison de l'enfoncement glacio-isostatique de la croûte terrestre, les tendances historiques du niveau marin mesurées à partir des stations marégraphiques ont été plus importantes

que la moyenne mondiale (Han et collab., 2015). Au Québec, le long de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent (EGSL), les tendances historiques varient spatialement, allant généralement d'une baisse du niveau marin relatif en raison du relèvement isostatique à une légère augmentation, voire une stabilité relative dans certains secteurs (tableau 1). Toutefois, tel qu'observé sur la côte est du Canada et des États-Unis, il y a une accélération dans le taux de hausse du niveau marin relatif depuis la fin des années 1980 (Boon, 2012; Han et collab., 2014) qui peut même se traduire par une inversion de tendance au Québec lorsque la hausse eustatique vient compenser le relèvement isostatique. Les valeurs de la hausse du niveau marin relatif entre 2000 et 2014 ont été aussi rapides que 6,9 mm/an dans la baie des Chaleurs (Didier et collab., 2015) et de 6,7 mm/an aux Îles-de-la-Madeleine (Barnett et collab., 2015). Les nouvelles projections du GIEC (Groupe intergouvernemental d'experts sur l'évolution du climat) indiquent une hausse pouvant varier selon le scénario le plus probable entre 0,26 et 0,81 m d'ici 2100 (Church et collab., 2013). D'autres études montrent cependant que l'amplitude pourrait plutôt varier entre 0,7 m et 1,8 m d'ici 2100 (Vermeer et Rahmstorf, 2009; Horton et collab., 2014). Les modèles récents de prévision de l'augmentation du niveau marin à l'échelle mondiale montrent aussi que les côtes du Québec et de l'est du Canada font partie des

régions où la hausse future du niveau marin sera parmi les plus élevées (Slangen et collab., 2012; Han et collab., 2015).

À l'international, bien que quelques études sur le coincement côtier aient été réalisées sur des côtes sablonneuses (Schleupner, 2008) et sur des côtes rocheuses (Jackson et McIlvenny, 2011), la plupart ont porté sur les marais côtiers (Cooper et collab., 2001; Doody, 2004; Torio et Chmura, 2013). Au Québec, il n'existe encore aucun portrait d'ensemble de la répartition des écosystèmes côtiers de l'EGSL. La cartographie des écosystèmes côtiers a surtout porté sur les milieux humides (Dryade, 1980, 1981; Mousseau et collab., 1997), principalement dans le haut et le moyen estuaire (Létourneau et Jean, 2005; Jean et Létourneau, 2011) ou encore dans les barachois du sud de la Gaspésie (Gagnon, 2002). Une seule étude a traité spécifiquement du coincement côtier au Québec sur un territoire restreint de la région de Kamouraska (Mathieu, 2008). Or, l'analyse du coincement côtier permet notamment d'orienter les décisions des acteurs du milieu sur des mesures d'atténuation qui pourraient être prises pour augmenter la capacité de résilience des écosystèmes côtiers face aux changements climatiques (Doody, 2013; Martinez et collab., 2014).

Tableau 1. Tendance (mm/an) de l'évolution du niveau marin relatif pour l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent.

Lieu des stations marégraphiques	Période	Tendance linéaire du niveau marin	Références
Québec	1911-2011	-0,3±0,4	Han et collab., 2015
Saint-Joseph-de-la-Rive	1967-2011	-1,05±0,42	Bernatchez et collab., 2012a
Tadoussac	1966-1995	-1,21±0,21	Koohzare et collab., 2008
Rimouski	1985-2011	0,3±1,9	Han et collab., 2015
Pointe-au-Père	1900-2003	-0,31±0,07	Koohzare et collab., 2008
Sept-Îles	1972-2003	0,19±0,11	Koohzare et collab., 2008
Sept-Îles	1973-2011	0,9±0,8	Han et collab., 2015
Rivière-au-Renard	1969-2003	-0,32 ±0,15	Koohzare et collab., 2008
Rivière-au-Renard	1969-2012	0,99±0,37	Bernatchez et collab., 2013
Harrington Harbour	1940-1988	-0,6±0,4	Han et collab., 2015
Cap-aux-Meules (Îles-de-la-Madeleine)	1964-2011	4,3±0,08	Bernatchez et collab., 2012a

Cette étude vise d'abord à dresser un premier portrait des écosystèmes côtiers meubles présents le long de l'EGSL pour ensuite évaluer leur potentiel de migration vers l'intérieur des terres dans le contexte de la hausse appréhendée du niveau marin. Le type de contraintes qui pourraient freiner leur déplacement naturel vers les terres est aussi identifié. Les résultats permettent enfin d'amorcer une réflexion sur les mesures de gestion et de conservation nécessaires afin d'augmenter la capacité de résilience de ces écosystèmes aux impacts du coinement côtier.

Localisation de l'aire d'étude

L'aire d'étude s'étend sur 3 306 km linéaires de côtes, de Berthier-sur-Mer sur la rive sud du Saint-Laurent à Pointe-à-la-Croix dans la baie des Chaleurs, et de Tadoussac à Natashquan sur la rive nord du Saint-Laurent ainsi qu'aux Îles-de-la-Madeleine (figure 2). Faute de données de base à jour, il n'a pas été possible de couvrir pour l'instant la rive nord de l'estuaire moyen et la partie nord-est du golfe du Saint-Laurent, soit entre Natashquan et Blanc-Sablon.

Méthodologie

Numérisation des limites des écosystèmes côtiers meubles

L'identification des écosystèmes côtiers meubles susceptibles d'être vulnérables au coinement côtier, c'est-

à-dire les plages, les terrasses de plage, les flèches littorales, les tombolos, les cordons littoraux et les marais maritimes (tableau 2), a été réalisée à l'aide d'une segmentation côtière effectuée à partir d'images obliques héliportées acquises par le Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières de l'Université du Québec à Rimouski, en septembre 2010 (Drejza et collab., 2014). À partir de cette identification, une numérisation des contours de ces écosystèmes a été réalisée sur des orthophotographies aériennes acquises entre 2001 et 2012 (tableau 3) permettant d'obtenir leur superficie. La résolution spatiale des orthophotographies varie entre 15 cm et 1 m. La limite des formations végétales littorales a été utilisée comme niveau de référence pour circonscrire les écosystèmes sur les orthophotographies aériennes (figure 3). Pour les marais maritimes, seulement le schorre supérieur a été cartographié, sa limite inférieure correspondant généralement au niveau moyen des hautes mers ainsi qu'à une microfalaise lorsque le marais est en érosion (Dionne, 2004). Quant à la limite inférieure de la plage, elle correspond à la flexure, soit une rupture de pente qui délimite le haut du bas estran.

Distance de migration potentielle des écosystèmes côtiers meubles

La distance de migration potentielle (DMP) correspond à la distance entre la limite supérieure des écosystèmes côtiers et la première contrainte rencontrée vers les terres. La DMP a été calculée sur des segments de 100 m à l'aide d'un système d'information géographique (SIG). Les contraintes ont été classées en 2 catégories, soit naturelles ou artificielles (tableau 4). Le type de contrainte a été par la suite associé au type d'écosystème côtier pour chacun des segments. La DMP a été classée en 5 catégories: nulle (0-5 m), faible (6-29 m), modérée (30-69 m), élevée (70-94 m) et très élevée (95 m et plus). Notez que l'étendue de chaque classe n'est pas homogène, ce qui permet d'identifier et de représenter plus facilement les écosystèmes qui sont dans une situation critique.

Résultats

Portrait des écosystèmes côtiers meubles de l'EGSL

Les écosystèmes côtiers meubles représentent près de 55 % des 3 306 km linéaires de côtes analysés. Cela correspond à une superficie de 11 364 ha répartie dans 5 types d'écosystèmes (figure 4): les plages (3 039 ha (27 %)), les marais maritimes (2 956 ha (26 %)), les flèches littorales (2 310 ha (20 %)), les cordons-tombolos (2 140 ha (19 %)) et les terrasses de plage (918 ha (8 %)). Les écosystèmes côtiers à prédominance sableuse occupent ainsi une superficie de 74 % des écosystèmes meubles. Bien que les terrasses de plage ne représentent que 8 % de la superficie totale, elles font partie, avec les plages, des écosystèmes les plus fréquents (tableau 5). Ces écosystèmes sont tout aussi importants, car ils jouent un rôle écologique majeur pour de nombreuses espèces, dont des plantes, des mollusques, des crustacés et des oiseaux (Barbier et collab., 2011), bien qu'ils couvrent généralement des bandes



Figure 2. Localisation de l'aire d'étude.

très étroites comparativement aux marais maritimes qui constituent de vastes étendues.

En fonction des divisions du Saint-Laurent, les marais maritimes sont particulièrement prédominants dans l'estuaire moyen (tableau 5). Cette partie du Saint-Laurent est caractérisée par la rencontre et le mélange des eaux douces et salines et par une charge sédimentaire en suspension importante, formant une zone de turbidité maximale (Silverberg et Sundby, 1979; Lucotte et d'Anglejan, 1986). Les marais se sont développés sur d'anciennes surfaces d'érosion taillées dans les argiles de la Mer de Goldthwait et, dans de rares cas, sur des plateformes rocheuses ou des alluvions silto-sableuses (Dionne, 2004). Les marais maritimes sont aussi fortement présents sur la rive nord de l'estuaire maritime. Les nombreuses baies échancrées et les longues flèches littorales forment des milieux abrités propices à la sédimentation fine. Sur la rive nord du golfe du Saint-Laurent, la forte proportion de plages et de terrasses de plage sablonneuses s'explique par les apports sédimentaires des rivières qui se sont encaissées dans les dépôts quaternaires en raison du relèvement isostatique postglaciaire (Dubois, 1979) et par l'érosion des falaises sableuses. Dans la baie des Chaleurs, les nombreuses flèches littorales qui barrent partiellement des baies fortement échancrées ont aussi favorisé le développement des marais maritimes (tableau 5). La présence de deltas fluvio-glaciaires dans la zone côtière actuelle et l'érosion des falaises de grès et de conglomérats expliquent la longueur importante

des plages dans la baie des Chaleurs. Enfin, les Îles-de-la-Madeleine est la région qui présente la plus grande superficie des écosystèmes côtiers cartographiés avec une proportion de 39 %. Ce chiffre élevé s'explique par la configuration des côtes et la présence de grands systèmes de tombolos dunifiés et de flèches littorales encore à l'état naturel.

Distance de migration potentielle des écosystèmes côtiers meubles de l'EGSL

L'analyse de la distance entre la limite supérieure des écosystèmes et la première contrainte rencontrée vers l'intérieur des terres indique que 43 % des écosystèmes côtiers ont une migration potentielle nulle, 14 % faible, 12,5 % modérée, 4 % élevée et 26,5 % très élevée (figures 5 et 6). La forte proportion d'écosystèmes côtiers avec une capacité de migration nulle est directement liée aux plages localisées en pied de falaise (476 km) ainsi qu'aux plages en bordure de côtes basses (235 km). On constate aussi que 50 % des terrasses de plage et 43 % des marais maritimes ont un potentiel de migration inférieur à 30 m. Actuellement, les flèches littorales, les systèmes de tombolos et de cordons littoraux et, dans une moindre mesure, les marais maritimes présentent un potentiel de migration élevé à très élevé, soit respectivement 70 %, 63 % et 41 %.

Les types de contraintes susceptibles de freiner la migration des écosystèmes côtiers ont été analysés lorsqu'elles étaient situées à moins de 95 m de leur limite supérieure.

Tableau 2. Définition et illustration des types d'écosystèmes côtiers meubles cartographiés.






Type d'écosystème	Exemple photographique	Définition
Marais maritime		Les marais maritimes, situés dans la zone intertidale (ou estran), sont des zones d'accumulation de sédiments fins colonisées par de la végétation herbacée.
Terrasse de plage		Accumulation de sable ou de gravier littoral formée d'un replat généralement végétalisé qui est très rarement submergé par les marées. Le replat est parfois bordé dans sa partie inférieure par un talus d'érosion (microfalaise) de moins de 2 m de hauteur et sa surface est parfois affectée par l'activité éolienne. Dans ce cas, il se forme alors des dunes bordières, ce qui est fréquent sur la Côte-Nord. La terrasse de plage peut être suivie à l'arrière-plage ou l'arrière-côte d'une falaise morte ou d'une surface plane.
Tombolo et cordon littoral		Accumulation basse de sable ou de gravier qui relie la côte à un îlot souvent rocheux ou deux îlots rocheux entre eux. Ce type de côte est souvent bordé d'une lagune. Le cordon littoral peut ne pas être attaché à la côte et est souvent parallèle à celle-ci. Ces systèmes sont généralement dunifiés, notamment aux Îles-de-la-Madeleine.
Flèche littorale		Accumulation de sable ou de gravier qui s'attache d'un côté à la côte et qui s'étire généralement parallèlement à celle-ci; l'extrémité est libre.
Plage (au pied de falaises ou le long de côtes basses)		Accumulation de sable ou de gravier littoral située entre la flexure et la ligne de rivage. Les plages peuvent être localisées au pied d'une falaise ou le long de côtes basses.

Tableau 3. Imagerie utilisée pour la numérisation des écosystèmes côtiers du territoire à l'étude.

Zone couverte	Année	Résolution	Imagerie
Berthier-sur-Mer à La Pocatière	2001	1 m	Orthophotographie noir et blanc
La Pocatière à Sainte-Anne-des-Monts	2012	15 cm	Orthophotographie couleur
Sainte-Anne-des-Monts à Cap-des-Rosiers	2009	15 cm	Orthophotographie couleur
Cap-des-Rosiers à Port-Daniel	2008	15 cm	Orthophotographie infrarouge
Port-Daniel à Escuminac	2007	15 cm	Orthophotographie infrarouge
Escuminac à Pointe-à-la-Croix	2001	1 m	Orthophotographie noir et blanc
Tadoussac à Natashquan	2001	1 m	Orthophotographie noir et blanc
Îles-de-la-Madeleine	2008	15 cm	Orthophotographie infrarouge

Tableau 4. Description des éléments considérés pour le calcul de la distance de migration potentielle (DMP) des écosystèmes côtiers.

Type de contraintes	Éléments de contraintes	Source
Naturelle	Falaise morte	LDGIZC-UQAR (de 2001 à 2012, selon le secteur, voir tableau 3)
	Embouchure de cours d'eau	BDTQ 20K, MRNF, 1999
	Courbe de niveau 10 m	BDTQ 20K, MRNF, 1999
Artificielle	Ouvrage de défense côtière	LDGIZC-UQAR (de 2001 à 2012, selon le secteur, voir tableau 3)
	Bâtiment	BDTQ 20K, MRNF, 1999
	Route et voie ferrée	BDTQ 20K, MRNF, 1999

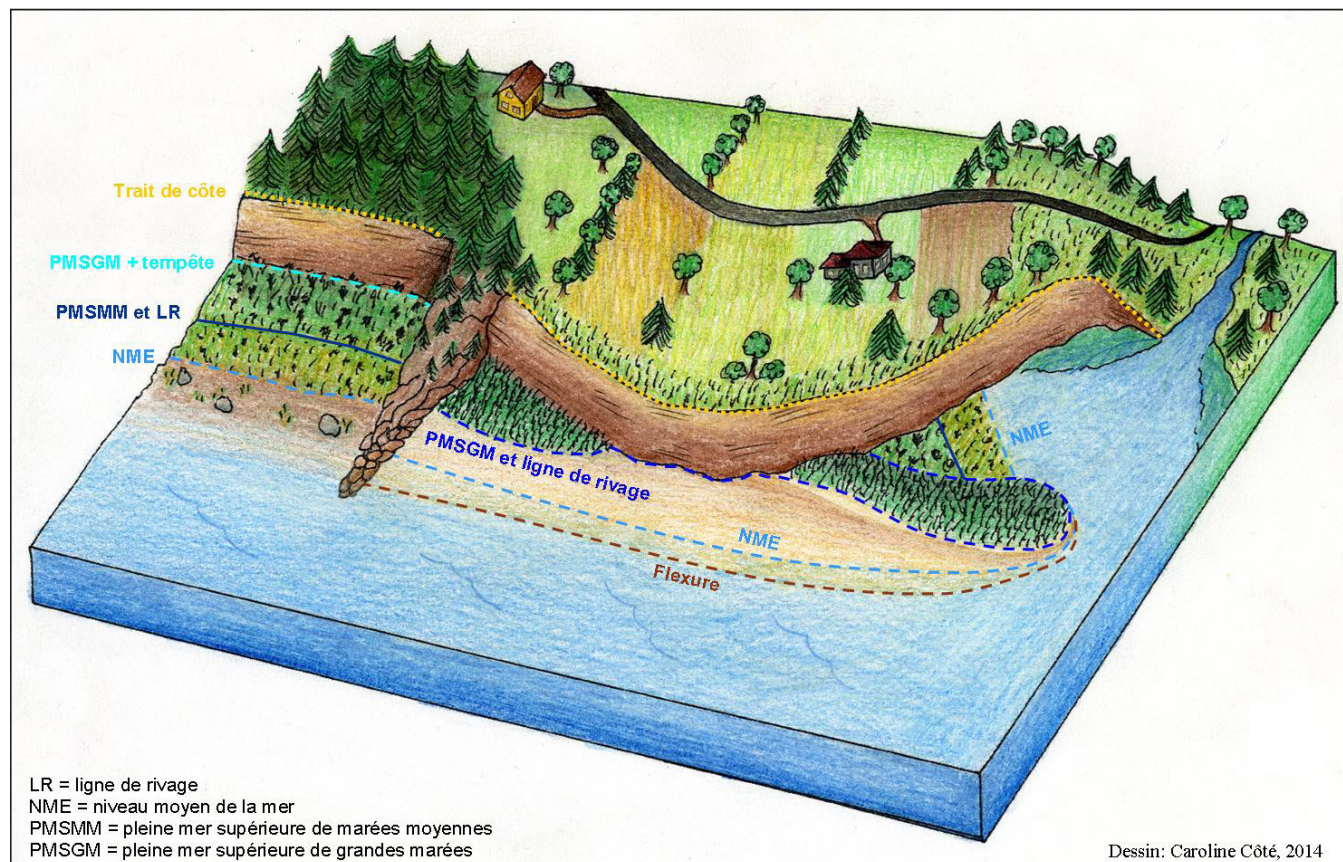


Figure 3. Limite des formations végétales utilisée pour la numérisation de la surface des écosystèmes côtiers du territoire à l'étude.

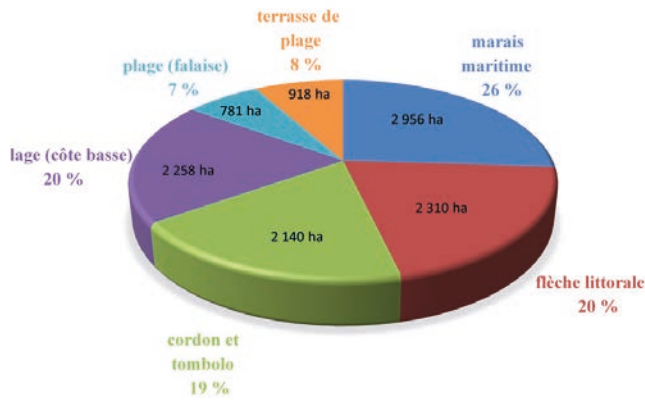


Figure 4. Répartition de la superficie des écosystèmes côtiers meubles de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent.

Les résultats indiquent que près de 52 % des contraintes sont artificielles et représentent 795 km linéaires de segments d'écosystèmes côtiers (tableau 5). Plus des 3/4 des contraintes artificielles sont situées à moins de 30 m de la limite supérieure des écosystèmes côtiers. Parmi ceux-ci, les ouvrages de défense côtière, les routes, les bâtiments et les aboiteaux sont les principales contraintes artificielles représentant des longueurs respectives de 266 km, 166 km, 96 km et 68 km (figure 7). Quant aux principales contraintes naturelles localisées à moins de 30 m de la limite supérieure des écosystèmes côtiers, les falaises mortes représentent à elles seules 83 % de la longueur totale des obstacles. Il s'agit d'ailleurs de la plus importante contrainte susceptible de freiner la migration des écosystèmes côtiers avec une longueur totale de 514 km, suivie des ouvrages de défense côtière et des infrastructures routières totalisant respectivement une longueur de 266 km et 250 km.

Discussion

Le coincement côtier, une problématique pour les écosystèmes côtiers de l'EGSL

Bien que le coincement côtier soit un processus complexe, cette étude montre que son impact est préoccupant dans le contexte de la hausse du niveau de la mer, surtout dans les secteurs où le cadre bâti est dense. Près de 57 % de la limite supérieure des écosystèmes côtiers meubles est située à moins de 30 m d'une contrainte et plus de la moitié des contraintes susceptibles de freiner la migration des écosystèmes côtiers sont d'origine anthropique. Les ouvrages de défense côtière mis en place pour contrer le recul du littoral sont la principale contrainte artificielle bien qu'à peine 11 % des côtes de l'Est du Québec fussent bordées par des ouvrages de protection en 2010 (Drejza et collab., 2014). C'est particulièrement sur la rive sud de l'estuaire maritime et du golfe du Saint-Laurent que l'artificialité du littoral est la plus élevée, pouvant atteindre respectivement 40 % et 45 % dans les MRC de La Mitis et de La Haute-Gaspésie (Drejza et collab., 2014). Or, la mise en place d'ouvrages de protection rigides le long des côtes basses sablonneuses engendre souvent une réduction de la largeur des plages (Bernatchez et Fraser, 2012) et un abaissement du profil

Tableau 5. Répartition des écosystèmes côtiers meubles de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent selon les divisions du Saint-Laurent.

Écosystème côtier	Rive sud						Rive nord						Îles-de-la-Madeleine						Total		
	Estuaire moyen			Estuaire maritime			Golfe du Saint-Laurent			Baie des Chaleurs			Estuaire maritime			Golfe du Saint-Laurent			Golfe du Saint-Laurent		
	(%)	(nb)	(km)	(%)	(nb)	(km)	(%)	(nb)	(km)	(%)	(nb)	(km)	(%)	(nb)	(km)	(%)	(nb)	(km)	(%)	(nb)	(km)
Marais maritime	97	77	1 101	97	22	353	3	1	7	435	23	26	58	58	44	52	249	1	3*	236	2 956
Plage	(2)	(3)	(0)	(11)	(10)	(4)	(13)	(13)	(4)	(2)	(7)	(3)	(7)	(7)	(15)	(14)	(8)	(7)	(4)	(57)	(27)
Terrasse de plage	42	85	49	213	264	404	268	347	489	170	144	173	160	173	325	377	978	153	100	1 516	3 040
	(1)	(3)	(0)	(4)	(9)	(1)	(2)	(4)	(1)	(0)	(1)	(1)	(1)	(2)	(8)	(10)	(6)	(0)	(1)	(30)	(8)
Flèche littorale	19	83	21	77	241	82	34	104	60	40	13	50	21	54	173	267	647	4	17	811	918
	–	–	–	(0)	(0)	(0)	(1)	(0)	(1)	(1)	(1)	(2)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(36)	(0)	(3)	(20)
Tombolo et cordon	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	(0)	(0)	(0)	(5)	(1)	(19)	2 310
Total	(8)	(9)	(10)	(15)	(20)	(7)	(15)	(17)	(6)	(7)	(9)	(9)	(12)	(11)	(13)	(27)	(17)	(14)	(100)	(100)	2 668
	159	245	1 171	319	533	844	317	459	663	12	257	195	258	302	1 426	555	716	1 982	296	4 466	11 364

*Excluant l'intérieur des lagunes.

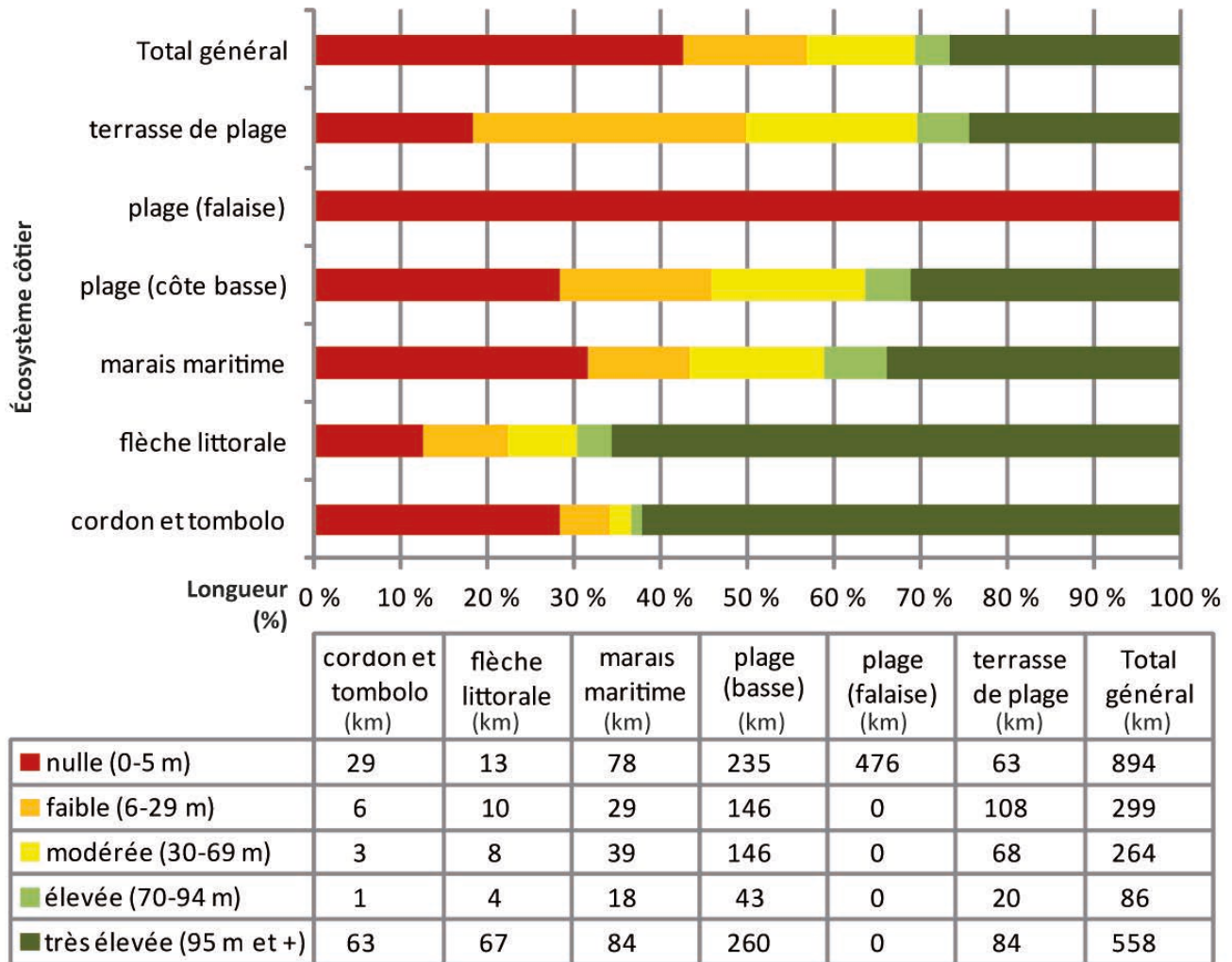
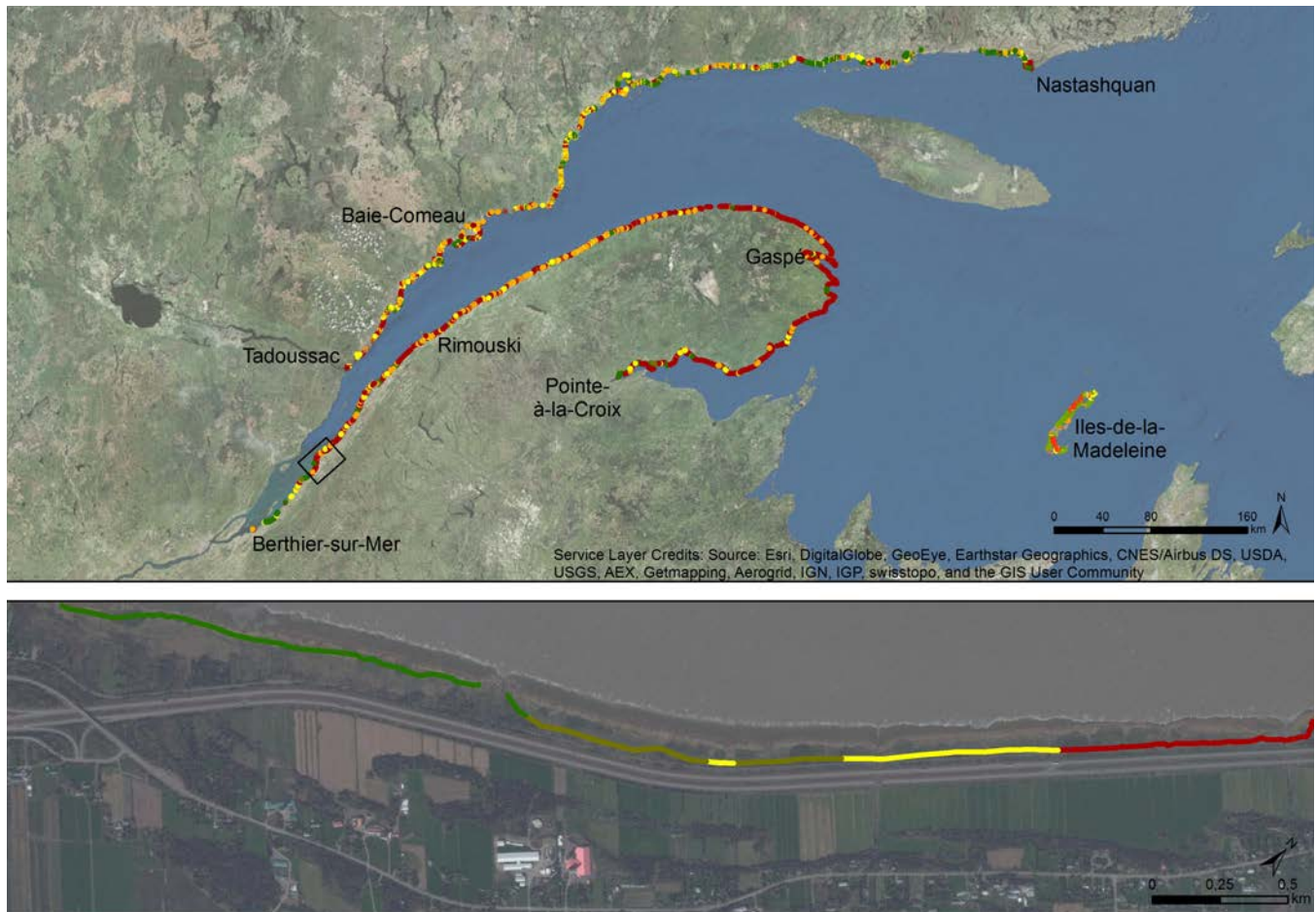


Figure 5. Répartition de la longueur des segments des écosystèmes côtiers selon leur distance de migration potentielle.

des plages, entraînant une augmentation du franchissement des vagues et du risque de submersion lors de tempêtes (Dawson et collab., 2009; Bernatchez et collab., 2011; Chini et Stansby, 2014; Didier et collab., 2015). De plus, ces modifications anthropiques réduisent les fonctions de services écologiques qui étaient offertes par les écosystèmes sableux, notamment celles d'atténuer les risques naturels côtiers (Barbier et collab., 2011; Barbier, 2012; Bernhardt et Leslie, 2013). Sachant que les plages et les terrasses de plage présentent un potentiel de migration plus faible que les autres écosystèmes côtiers (figure 5) et qu'elles ont été beaucoup moins étudiées au Québec comparativement aux milieux humides, il devient urgent de leur accorder une plus grande importance. Ces écosystèmes sableux offrent en effet divers services écologiques. Notamment ils constituent des aquifères pour les collectivités côtières, ils servent à de nombreuses espèces animales et végétales, ils sont bénéfiques pour l'industrie écotouristique ainsi que pour les activités récréatives et ils assurent la connectivité entre les habitats intertidaux et supratidaux (Schleupner, 2008; Barbier et collab., 2011; Bhiry et collab., 2013).

L'analyse de l'évolution historique des terrasses de plage montre qu'elles évoluent selon des cycles d'érosion et d'accumulation. Malgré de forts reculs qui peuvent atteindre 10 à 15 m lors des événements de tempête, le bilan du déplacement de la ligne de rivage des terrasses de plage au cours des 50 dernières années a été légèrement positif sur la rive nord de l'estuaire maritime et du golfe du Saint-Laurent (Bernatchez et collab., 2012b, c, d), à l'exception de la région de Pessamit et de la péninsule de Manicouagan où le bilan a été négatif (Bernatchez, 2003; Bernatchez et collab., 2012e). Sur la rive sud de l'estuaire maritime et du golfe du Saint-Laurent, les mesures d'évolution des côtes réalisées entre 1992-1993 et 2012 entre Rimouski et Sainte-Anne-des-Monts montrent un bilan légèrement négatif (Marie et collab., 2014) alors que le bilan a été stable à négatif dans la baie des Chaleurs entre 1934 et 2007 (Bernatchez et collab., 2012f; Fraser et collab., 2012), et légèrement positif aux Îles-de-la-Madeleine entre 1963 et 2008 (Bernatchez et collab., 2012g). Quant à l'évolution des plages dans le golfe du Saint-Laurent, les données sont très fragmentaires et pointent vers un bilan sédimentaire plutôt



Légende

Distance de migration potentielle — nulle (0-5 m) — faible (6-29 m) — modérée (30-69 m) — élevée (70-94 m) — très élevée (95 m et plus

Figure 6. Cartographie du potentiel de migration des écosystèmes côtiers à l'échelle de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent (en haut) et à une échelle plus fine, secteur de la MRC de Kamouraska et de L'Islet (en bas).

déficitaire (Bernatchez et Fraser, 2012; Bernatchez et collab., 2008).

Les marais maritimes, qui occupent 1/4 de la superficie totale des écosystèmes côtiers meubles analysés présentent, sur une longueur de 146 km, un potentiel de migration modéré à nul. Les aboiteaux, les falaises et les infrastructures routières constituent les principaux obstacles à leur migration. En plus de ces contraintes et malgré des taux moyens d'accrétion verticale à long terme variant autour de 1 à 3 mm/an (Dionne, 2004), la vitesse moyenne d'érosion du schorre supérieur varie entre -0,4 et -2 m/an sur les rives nord et sud de l'estuaire moyen du Saint-Laurent (Troude et Sérodes, 1985; Dionne, 1986; Dionne, 2000; Dionne et Bouchard, 2000; Allard et collab., 2012). Le recul du schorre supérieur laisse généralement place à un accroissement de la superficie du schorre inférieur ou à des surfaces d'érosion dénudées de végétation (Allard et collab., 2012; Dionne, 1986). Néanmoins, dans certains secteurs, les superficies des schorres supérieurs et inférieurs sont à la baisse, notamment à

L'Isle-aux-Grues (Bhury et collab., 2013) et à Rivière-du-Loup (Dionne, 1986). Ces changements dans la structure des marais auront sans doute des effets sur les services écosystémiques qu'ils rendent. Sur la rive nord de l'estuaire maritime, le recul du schorre supérieur est tout aussi important, avec des vitesses variant entre -0,8 et -1,4 m/an (Bernatchez et Dubois, 2004; Morissette, 2007), sauf dans certains secteurs abrités où les marais se sont développés derrière les flèches littorales et ont gagné en superficie à mesure que ces dernières s'allongeaient latéralement (Morissette, 2007). Sur la rive sud de l'estuaire maritime, le recul du schorre supérieur a été moins important, avec des valeurs inférieures à -0,5 m/an (Dionne, 1999). Bien que, sur la côte nord du golfe, les données de l'évolution à long terme des marais soient limitées spatialement, les études révèlent un bilan plutôt stable avec des cycles d'accumulation-érosion (Bernatchez et collab., 2012c,d). Dans la baie des Chaleurs, les taux de migration historique du schorre supérieur depuis 1934 sont très variables, allant d'un recul moyen de -1,4 m/an dans la MRC de Bonaventure



Figure 7. Contraintes artificielles présentes le long du Saint-Laurent. Présence d'aboiteaux près de marais maritimes, Kamouraska (en haut à gauche), terrasses de plage et plages à proximité de bâtiments et de la route 132, Sainte-Flavie (en haut à droite), route 199 sur un cordon-tombolo, Îles-de-la-Madeleine (en bas à gauche) et autoroute 20 près du marais maritime, Rivière-du-Loup (en bas à droite).

(Fraser et collab., 2012) à une stabilité relative dans la MRC d'Avignon (Bernatchez et collab., 2012f). Une variabilité des changements observés dans la superficie des marais maritimes a également été documentée au sein d'un même système. À l'intérieur du barachois de Nouvelle, Quintin (2010) montre qu'entre 1934 et 2007, le marais localisé à l'embouchure de la rivière a accusé un gain de superficie de près de 20 % alors que celui qui est localisé derrière la flèche littorale a subi une perte de 73 %. Aux Îles-de-la-Madeleine, malgré une hausse du niveau marin relatif de 35 cm au cours du 20^e siècle (Juneau, 2012), les marais en bordure des lagunes se sont maintenus en migrant vers les terres aux dépens de la bordure forestière dans les zones sans contrainte à leur déplacement (Juneau, 2012).

Conclusion

Vers des mesures écologiques pour atténuer l'impact du coincement côtier

Avec la hausse du niveau de la mer à l'échelle mondiale (Nicholls et Cazenave, 2010; Church et collab., 2013; Horton et collab., 2014), la réduction du couvert de glace de mer et côtière dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent (Senneville et collab., 2014) ainsi que l'augmentation de l'exposition des côtes aux événements de tempêtes, la capacité de résilience

des écosystèmes côtiers sera grandement influencée par la présence d'obstacles susceptibles de freiner leur migration vers l'intérieur des terres (Cooper et collab., 2001; Martinez et collab., 2014). Or, pour être en mesure d'offrir ses services écologiques, un écosystème doit être en bon état (UICN France, 2013).

Ces résultats soulèvent la nécessité d'amorcer une réflexion sur l'espace de migration ou de liberté accordé aux écosystèmes côtiers de l'EGSL. Considérant que le type d'utilisation du sol en bordure du littoral influence directement le potentiel de migration des écosystèmes, une partie de la solution doit résider dans la prise en compte de leur évolution dans la planification et l'aménagement du territoire côtier. Il est important de considérer la limite supérieure des écosystèmes non pas comme une limite statique, mais plutôt mobile qui peut subir des cycles d'avancée et de recul en fonction des conditions météo-marines à court et à long terme. Il conviendrait ainsi de délimiter des zones de conservation pour permettre aux responsables régionaux de la gestion du territoire d'appliquer cette notion d'espace de mobilité ou de liberté afin de maintenir les fonctions physiques et écologiques de ces écosystèmes (Hulme, 2005; Defeo et collab., 2009; Doody, 2013). Le gouvernement australien,

par exemple, intègre depuis 2009 dans ses documents officiels le terme *coastal squeeze* et la nécessité de prendre en compte la mobilité des écosystèmes dans la gestion côtière (Australian Government, 2010).

Les mesures écologiques telles que la conservation et la restauration s'avèrent une avenue à privilégier afin d'augmenter la résilience des écosystèmes côtiers et des communautés côtières (Nicholls et collab., 1999; Pethick, 2001; Arkema et collab., 2013; Martinez et collab., 2014). Les mesures écologiques sont intégrées dans les politiques de plusieurs pays côtiers. En Angleterre, la reconnaissance de la problématique liée au coincement côtier par le Gouvernement, a mené à des mesures pour compenser la perte de marais maritimes et, dans certains cas, à des incitatifs pour des propriétaires de terrain en bordure de marais afin de favoriser leur restauration, comme permettre la réouverture de digues et d'aboteaux (French, 2006; Doody, 2004; Defra Flood Management Division, 2005). En France, le Conservatoire du littoral acquiert des terrains pour la conservation de la zone côtière (Conservatoire du littoral, 2015). Aux États-Unis, à la suite du passage de l'ouragan Sandy en 2012, un vaste programme de financement *The Hurricane Sandy Coastal Resiliency Competitive Grant Program* a été lancé par le Gouvernement afin de soutenir des projets visant la diminution de la vulnérabilité des communautés côtières à travers le renforcement de la capacité de résilience des écosystèmes naturels (NFWF, 2015).

Au Québec, la complexité de la juridiction du Saint-Laurent et le manque de connaissance sur l'impact du coincement côtier limitent la mise en œuvre de telles mesures. Néanmoins, des initiatives effectuées par l'organisme Conservation de la nature Canada ont permis d'acheter des terrains côtiers en Gaspésie et dans l'estuaire moyen pour assurer la protection d'une partie du patrimoine naturel (Monticone, K., communication personnelle). De plus, la mise en place des tables de concertation régionales dans le cadre de la gestion intégrée du Saint-Laurent constitue aussi une avenue prometteuse (MDDEFP, 2012). Les résultats permettent d'établir un premier portrait des écosystèmes côtiers meubles de l'EGSL et de fournir une première évaluation plutôt préoccupante de leur vulnérabilité au phénomène de coincement côtier. La mise en place de mesures de gestion écologiques par les décideurs pourrait augmenter la capacité de résilience des écosystèmes côtiers face aux changements environnementaux. Le développement d'un outil de gestion pour les responsables de l'aménagement du territoire leur permettra ultérieurement de tenir compte du potentiel de migration des écosystèmes côtiers dans la planification territoriale en bordure du Saint-Laurent.

Remerciements

Nous tenons à remercier Michelle Garneau de l'Université du Québec à Montréal et Jean-Marie M. Dubois de l'Université de Sherbrooke ainsi que Michel Crête, rédacteur en chef de la revue, pour leurs commentaires constructifs qui ont permis d'améliorer la qualité de cet article. Nous tenons à

souligner la contribution financière du ministère des Ressources naturelles Canada et du consortium sur la climatologie régionale et l'adaptation aux changements climatiques, OURANOS, ainsi que le Gouvernement du Québec via le Cadre de prévention des principaux risques naturels (2006-2013). ◀

Références

- ALLARD, M., R.A. FOURNIER, M. GRENIER, J. LEFEBVRE et J.-F. GIROUX, 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.
- ARKEMA, K.K., G. GUANNEL, G. VERUTES, S.A. WOOD, A. GUERRY, M. RUCKELSHAUS, P. KAREIVA, M. LACAYO et J.M. SILVER, 2013. Coastal habitats shield people and property from sea-level rise and storms. *Nature Climate Change*, 14 : 1-6.
- AUSTRALIAN GOVERNMENT, 2010. Climate change risks to Australia's coast. Department of Climate Change, Canberra, 172 p.
- BARBIER, E.B., 2012. A spatial model of ecosystem services. *Ecological Economics*, 78 : 70-79.
- BARBIER, E.B., S.D. HACKER, C. KENNEDY, E.W. KOCH, A.C. STIER et B.R. SILLIMAN, 2011. The value of estuarine and coastal ecosystem services. *Ecological Monographs*, 81 : 169-193.
- BARNETT, R.L., P. BERNATCHEZ, M. GARNEAU et N. CAHILL, 2015. 500 years of sea level variability and acceleration at les Îles-de-la-Madeleine, Canada. Dans : XIXth INQUA Congress, Nagoya, Japon, 26 juillet-2 Août 2015. Science Council of Japan, Japan Association for Quaternary Research, International Union for Quaternary Research, Nagoya, p. 121.
- BERNATCHEZ, P., 2003. Évolution littorale holocène et actuelle des complexes deltaïques de Betsiamites et de Manicouagan-Outardes : synthèse, processus, causes et perspectives. Thèse de doctorat, Université Laval, Québec, 460 p.
- BERNATCHEZ, P. et J.-M. DUBOIS, 2004. Bilan des connaissances de la dynamique de l'érosion des côtes du Québec maritime laurentien. *Géographie physique et Quaternaire*, 58 : 45-71.
- BERNATCHEZ, P. et C. FRASER, 2012. Evolution of coastal defence structures and consequences for beach width trends, Québec, Canada. *Journal of Coastal Research*, 28 : 1550-1566.
- BERNATCHEZ, P., C. FRASER, S. FRIESINGER, Y. JOLIVET, S. DUGAS, S. DREJZA et A. MORISSETTE, 2008. Sensibilité des côtes et vulnérabilité des communautés du golfe du Saint-Laurent aux impacts des changements climatiques. Rapport de recherche remis au Consortium OURANOS et au FACC. Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières, Université du Québec à Rimouski, Rimouski, 256 p.
- BERNATCHEZ, P., C. FRASER, D. LEFAIVRE et S. DUGAS, 2011. Integrating anthropogenic factor, geomorphological indicators and local knowledge in the analysis of coastal flooding and erosion hazards. *Ocean & Coastal Management*, 54 : 621-632.
- BERNATCHEZ, P., G. BOUCHER-BROSSARD et M. SIGOUIN-CANTIN, 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, Rimouski, 140 p.
- BERNATCHEZ, P., S. FRIESINGER, C. DENIS et Y. JOLIVET, 2012b. Géorisques côtiers, vulnérabilité et adaptation de la communauté de Nutashkuan dans un contexte de changements climatiques. Rapport de recherche remis au Conseil tribal Mamuitun et au ministère des Affaires autochtones et Développement du Nord Canada. Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières, Université du Québec à Rimouski, Rimouski, 219 p.

- BERNATCHEZ, P., S. FRIESINGER, C. DENIS et Y. JOLIVET, 2012c. Géorisques côtiers, vulnérabilité et adaptation de la communauté d'Ekuanitshit dans un contexte de changements climatiques. Rapport de recherche remis au Conseil tribal Mamuitun et au ministère des Affaires autochtones et Développement du Nord Canada. Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières, Université du Québec à Rimouski, Rimouski, 220 p.
- BERNATCHEZ, P., S. FRIESINGER, C. DENIS et Y. JOLIVET, 2012d. Géorisques côtiers, vulnérabilité et adaptation de la communauté de Uashat mak Mani-Utenam dans un contexte de changements climatiques. Rapport de recherche remis au Conseil tribal Mamuitun et au ministère des Affaires autochtones et Développement du Nord Canada. Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières, Université du Québec à Rimouski, Rimouski, 239 p.
- BERNATCHEZ, P., S. FRIESINGER, C. DENIS et Y. JOLIVET, 2012e. Géorisques côtiers, vulnérabilité et adaptation de la communauté de Pessamit dans un contexte de changements climatiques. Rapport de recherche remis au Conseil tribal Mamuitun et au ministère des Affaires autochtones et Développement du Nord Canada. Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières, Université du Québec à Rimouski, Rimouski, 240 p.
- BERNATCHEZ, P., C. FRASER, S. DUGAS et S. DREJZA, 2012f. Marges de sécurité en érosion côtière : évolution historique et future du littoral de la MRC d'Avignon. 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, Rimouski, 49 p. + annexes.
- BERNATCHEZ, P., S. DREJZA et S. DUGAS, 2012g. Marges de sécurité en érosion côtière : évolution historique et future du littoral des Îles-de-la-Madeleine. 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, Rimouski, 71 p. + annexes + 100 cartes.
- BERNATCHEZ, P., C. QUINTIN, C. FRASER, U. NEUMEIER, Y. JOLIVET, M. HOUDE-POIRIER, B. HÉTU, C. GIBEULT, G. BOUCHER-BROSSARD, et G. MARIE, 2013. Dynamique de l'écosystème côtier de la péninsule de Penouille dans un contexte de changements climatiques, Parc national du Canada Forillon : Rapport final. Rapport remis au Parc national du Canada Forillon. Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières, Université du Québec à Rimouski, Rimouski, 410 p.
- BERNHARDT, J.R. et H.M. LESLIE, 2013. Resilience to climate change in coastal marine ecosystems. *Annual Review of Marine Science*, 5 : 371-392.
- BHIRY, N., D. CLOUTIER, L. COUILLARD, A. GERVAIS, P. LAMARRE, M. NORMANDEAU et A.D. OUSMANE, 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. Rapport de recherche remis au Consortium OURANOS. 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, Québec, 134 p. + annexes.
- BOON, J. D., 2012. Evidence of sea level acceleration at U.S. and Canadian tide stations, Atlantic coast, North America. *Journal of Coastal Research*, 28 : 1437-1445.
- CAZENAVE, A., H.B. DIENG, B. MEYSSIGNAC, K. VON SCHUCKMANN, B. DECHARME et E. BERTHIER, 2014. The rate of sea-level rise. *Nature Climate Change*, 4 : 358-361.
- CHINI, N. et P.K. STANSBY, 2014. Coupling TOMAWAC and EurOtop for uncertainty estimation in wave overtopping predictions. Dans : GOURBESVILLE, P., J. CUNGE, et G. CAIGNAERT (édit.). *Advances in hydroinformatics*. Springer Singapore, Singapore, p. 117-127.
- CHURCH, J.A. et N.J. WHITE, 2011. Sea-level from the late 19th to the early 21st century. *Surveys in Geophysics*, 32 : 585-602.
- CHURCH, J.A., P.U. CLARK, A. CAZENAVE, J.M. GREGORY, S. JEVREJEVA, A. LEVERMANN, M.A. MERRIFIELD, G.A. MILNE, R.S. NEREM, P.D. NUNN, A.J. PAYNE, W.T. PFEFFER, D. STAMMER et A.S. UNNIKRISSNAN, 2013. Sea level change. Dans : STOCKER, T.F., D. QIN, G.-K. PLATTNER, M. TIGNOR, S.K. ALLEN, J. BOSCHUNG, A. NAUELS, Y. XIA, V. BEX et P.M. MIDGLEY (édit.). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge et New York, p. 1137-1206.
- CONSERVATOIRE DU LITTORAL, 2015. Disponible en ligne à : <http://www.conservatoire-du-littoral.fr/>. [Visité le 15-12-01].
- COOPER, N.J., T. COOPER et F. BURD, 2001. 25 years of salt marsh erosion in Essex: Implications for coastal defence and nature conservation. *Journal of Coastal Conservation*, 7 : 31-40.
- DAVIDSON-ARNOTT, R.G.D., 2005. Conceptual model of the effects of sea level rise on sandy coasts. *Journal of Coastal Research*, 21 : 1166-1172.
- DAWSON, R.J., M.E. DICKSON, R.J. NICHOLLS, J.W. HALL, M.J.A. WALKDEN, P.K. STANSBY, M. MOKRECH, J. RICHARDS, J. ZHOU, J. MILLIGAN, A. JORDAN, S. PEARSON, J. REES, P.D. BATES, S. KOUKOULAS et A.R. WATKINSON, 2009. Integrated analysis of risks of coastal flooding and cliff erosion under scenarios of long term change. *Climatic Change*, 95 : 249-288.
- DEFEO, O., A. MCLACHLAN, D.S. SCHOEMAN, T.A. SCHLACHER, J. DUGAN, A. JONES, M. LASTRA et F. SCAPINI, 2009. Threats to sandy beach ecosystems: A review. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 81 : 1-12.
- DEFRA FLOOD MANAGEMENT DIVISION, 2005. Coastal squeeze implications for flood management, the requirements of the European Birds and Habitats Directives. Disponible en ligne à : https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/181444/coastalsqueeze.pdf. [Visité le 15-12-01].
- DIDIER, D., P. BERNATCHEZ, G. BOUCHER-BROSSARD, A. LAMBERT, C. FRASER, R.L. BARNETT et S. VAN-WIERTS, 2015. Coastal flood assessment based on field debris measurements and wave runup empirical model. *Journal of Marine Science and Engineering*, 3 : 560-590.
- DIONNE, J.-C., 1986. Érosion récente des marais intertidaux de l'estuaire du Saint-Laurent. *Géographie physique et Quaternaire*, 40 : 307-323.
- DIONNE, J.-C., 1999. L'érosion des rives du Saint-Laurent : vue d'ensemble et état de la question. Dans : Actes : Colloque régional sur l'érosion des berges : vers une gestion intégrée des interventions en milieu marin (Baie-Comeau, 19 au 21 février 1999). Municipalité régionale de comté (MRC) de Manicouagan et Comité de la Zone d'intervention prioritaire (ZIP) de la rive nord de l'estuaire, Baie-Comeau, p. 2-19.
- DIONNE, J.-C., 2000. Érosion récente du schorre supérieur à Sainte-Anne-de-Beaupré, Québec. *Géographie physique et Quaternaire*, 54 : 69-89.
- DIONNE, J.-C., 2004. Âge et taux moyen d'accrétion verticale des schorres du Saint-Laurent estuarien, en particulier ceux de Montmagny et de Sainte-Anne-de-Beaupré, Québec. *Géographie physique et Quaternaire*, 58 : 73-108.
- DIONNE, J.-C. et M.-C. BOUCHARD, 2000. Nouvelles données sur l'érosion du schorre supérieur à Montmagny, moyen estuaire du Saint-Laurent. *Géographie physique et Quaternaire*, 54 : 219-230.
- 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.
- DREJZA, S., S. FRIESINGER et P. BERNATCHEZ, 2014. Vulnérabilité des infrastructures routières de l'Est du Québec à l'érosion et à la submersion côtière dans un contexte de changements climatiques : caractérisation des côtes, dynamique hydrosédimentaire et exposition des infrastructures routières à l'érosion et à la submersion, Est du Québec, Volume I, Projet X008.1. Rapport remis au ministère des Transports du Québec. Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières, Université du Québec à Rimouski, Rimouski, 225 p. + annexes

- DRYADE (Groupe), 1980. Habitats propices aux oiseaux migrateurs le long des rives de la rivière Richelieu, de la rivière Outaouais, du fleuve Saint-Laurent, de l'estuaire du Saint-Laurent, de la côte nord du golfe du Saint-Laurent, de la péninsule gaspésienne et des Îles-de-la-Madeleine. Environnement Canada, Service canadien de la faune, région de Québec, Québec, 65 p. + cartes.
- DRYADE (GROUPE), 1981. Analyse des pertes de végétation riveraine le long du Saint-Laurent de Cornwall à Matane (1945-1976). Environnement Canada, Service canadien de la faune, région de Québec, Rapport n° 3683, Québec, 28 p.
- DUBOIS, J.-M.M., 1979. Environnement quaternaire et évolution postglaciaire d'une zone côtière en émergence en bordure sud du Bouclier Canadien : la Moyenne Côte-Nord du Saint-Laurent, Québec. Thèse de doctorat, Université d'Ottawa, Ottawa, 754 p.
- ÉÉM (Évaluation des écosystèmes pour le millénaire), 2005. Ecosystems and human well-being: Current state and trend. Island Press, Washington, 917 p.
- FRASER, C., P. BERNATCHEZ, S. DUGAS et S. DREJZA, 2012. Marges de sécurité en érosion côtière : évolution historique et future du littoral de la MRC de Bonaventure. 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, Rimouski, 50 p. + annexes.
- FRENCH, P.W., 2006. Managed realignment – the developing story of a comparatively new approach to soft engineering. *Journal of Environmental Management*, 67 : 409-423.
- GAGNON, M., 2002. Étude des caractéristiques biophysiques, des usages et du potentiel myicole de six barachois du sud de la Gaspésie. Rapport remis à la Société de Développement de l'Industrie maricole (SODIM). Biorex, Québec, 150 p.
- HAN, G., Z. MA, N. CHEN, R. THOMSON et A. SLANGEN, 2015. Changes in mean relative sea level around Canada in the twentieth and twenty-first centuries. *Atmosphere-Ocean*, 53 : 452-463.
- HORTON, B.P., S. RAHMSTORF, S.E. ENGELHART et A.C. KEMP, 2014. Expert assessment of sea-level rise by AD 2100 and AD 2300. *Quaternary Science Reviews*, 84 : 1-6.
- HULME, P.E., 2005. Adapting to climate change: Is there scope for ecological management in the face of a global threat? *Journal of Applied Ecology*, 42 : 784-794.
- JACKSON, A.C. et J. MCILVENNY, 2011. Coastal squeeze on rocky shores in northern Scotland and some possible ecological impacts. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 400 : 314-321.
- JEAN, M. et G. LÉTOURNEAU, 2011. Changements dans les milieux humides du fleuve Saint-Laurent de 1970 à 2002. Environnement Canada, Direction générale des sciences et de la technologie, Monitoring et surveillance de la qualité de l'eau au Québec, Rapport technique n° 511, Montréal, 302 p.
- JEVREJEVA, S., J.C. MOORE, A. GRINSTED, A.P. MATTHEWS et G. SPADA, 2014. Trends and acceleration in global and regional sea levels since 1807. *Global and Planetary Change*, 113 : 11-22.
- JUNEAU, M.-N., 2012. Hausse récente du niveau marin relative aux Îles-de-la-Madeleine. Mémoire de maîtrise, Université du Québec à Rimouski, Rimouski, 160 p.
- KOOHZARE, A., P. VANÍ EK et M. SANTOS, 2008. Pattern of recent vertical crustal movements in Canada. *Journal of Geodynamics*, 45 : 133-145.
- LÉTOURNEAU, G. et M. JEAN, 2005. Cartographie par télédétection des milieux humides du Saint-Laurent (1990-1991). Environnement Canada, Région du Québec, Conservation de l'environnement, Centre Saint-Laurent, Rapport scientifique et technique ST-232, Montréal, 99 p.
- LINHOSS, A.C., G. KIKER, M. SHIRLEY et K. FRANK, 2015. Sea-level rise, inundation, and marsh migration: Simulating impacts on developed lands and environmental systems. *Journal of Coastal Research*, 31 : 36-46.
- LUCOTTE, M. et B. D'ANGLEJAN, 1986. Seasonal control of the St. Lawrence maximum turbidity zone by tidal-flat sedimentation. *Estuaries*, 9 : 84-94.
- MARIE, G., P. BERNATCHEZ, S. DUGAS, C. FRASER et S. DREJZA, 2014. Marges de sécurité en érosion côtière : évolution historique et future du littoral des MRC de La Mitis et de La Matanie et des municipalités de Cap-Chat et Sainte-Anne-des-Monts. 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, Rimouski, 73 p.
- MARTINEZ, L., G. MENDOZA-GONZÁLEZ, R. SILVA-CASARÍN et E. MENDOZA-BALDWIN, 2014. Land use changes and sea level rise may induce a "coastal squeeze" on the coasts of Veracruz, Mexico. *Global Environmental Change*, 29 : 180-188.
- MATHIEU, K., 2008. Évolution du marais de la baie de Kamouraska : l'effet de coïncidence. Essai de maîtrise professionnelle en biogéosciences de l'environnement, Université Laval, Québec, 51 p.
- MDDEFP (Ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs), 2012. Gestion intégrée des ressources en eau : cadre de référence. Ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs, Québec, 36 p.
- MORISSETTE, A., 2007. Évolution côtière haute résolution de la région de Longue-Rive-Forestville, Côte Nord de l'estuaire maritime du Saint-Laurent, Québec. Mémoire de maîtrise, Université du Québec à Rimouski, Institut des sciences de la mer de Rimouski, Rimouski, 303 p.
- MOUSSEAU, P., M. GAGNON, P. BERGERON, J. LEBLANC et R. SIRON, 1997. Synthèse des connaissances sur les communautés biologiques du golfe du Saint-Laurent et de la baie des Chaleurs. Ministère des Pêches et des Océans – Région Laurentienne, Division des sciences de l'environnement marin, Institut Maurice-Lamontagne et Environnement Canada, Région du Québec, Conservation de l'environnement, Centre Saint-Laurent, Rapport technique, Zones d'intervention prioritaires 19, 20 et 21, Montréal, 437 p.
- NFWF (National Fish and Wildlife Foundation), 2015. Hurricane Sandy Coastal Resiliency Competitive Grant Program. Disponible en ligne à : <http://www.nfwf.org/hurricanesandy/Pages/home.aspx#.VNkAZmiG98E>. [Visité le 15-12-01].
- NICHOLLS, R.J. et A. CAZENAVE, 2010. Sea-level rise and its impact on coastal zones. *Science*, 328 : 1517-1520.
- NICHOLLS, R.J., F.M.J. HOOZEMANS et M. MARCHAND, 1999. Increasing flood risk and wetland losses due to global sea-level rise: Regional and global analyses. *Global Environmental Change*, 9 : 69-87.
- NICHOLLS, R. J., S. HANSON, C. HERWEIJER, N. PATMORE, S. HALLEGATTE, J. CORFEE-MORLOT, J. CHATEAU et R. MUIR-WOOD, 2008. Ranking port cities with high exposure and vulnerability to climate extremes: Exposure estimates. *OECD Environment Working Papers*, No. 1, OECD Publishing, Paris. doi:10.1787/011766
- PETHICK, J., 2001. Coastal management and sea-level rise. *Catena*, 42 : 307-322.
- PONTEE, N., 2013. Defining coastal squeeze: A discussion. *Ocean & Coastal Management*, 84 : 204-207.
- QUINTIN, C. 2010. Effets des facteurs environnementaux dans l'évolution des marais intertidaux du barachois de la rivière Nouvelle, baie des Chaleurs, Québec. Mémoire de maîtrise, Université du Québec à Rimouski, Rimouski, 103 p.
- RAHMSTORF, S., G. FOSTER et A. CAZENAVE, 2012. Comparing climate projections to observations up to 2011. *Environmental Research Letters*, 7 : 1-5.
- SCHILE, L.M., J.C. CALLAWAY, J.T. MORRIS, D. STRALBERG, V.T. PARKER et M. KELLY, 2014. Modeling tidal marsh distribution with sea-level rise: Evaluating the role of vegetation, sediment, and upland habitat in marsh resiliency. *PLoS ONE* 9(2): e88760. doi:10.1371/journal.pone.0088760.
- SCHLEUPNER, C., 2008. Evaluation of coastal squeeze and its consequences for the Caribbean island Martinique. *Ocean & Coastal Management*, 51 : 383-390.

- SENNEVILLE, S., S. ST-ONGE DROUIN, D. DUMONT, A.-C. BIHAN-POUDEEC, Z. BELEMALEM, M. CORRIVEAU, P. BERNATCHEZ, S. BÉLANGER, S. TOLSZCZUK-LECLERC et R. VILLENEUVE, 2014. Modélisation des glaces dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent dans la perspective des changements climatiques. Rapport final présenté au ministère des Transports du Québec, ISMER-UQAR, Rimouski, 384 p.
- SILVERBERG, N. et B. SUNDBY, 1979. Observations in the turbidity maximum of the St. Lawrence estuary. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 16: 939-950.
- SLANGEN, A.B.A., C.A. KATSMAN, R.S.W. VAN DE WAL, L.L.A. VERMEERSEN et R.E.M. RIVA, 2012. Towards regional projections of twenty-first century sea-level change based on IPCC SRES scenarios. *Climate Dynamics*, 38: 1191-1209.
- TORIO, D.D. et G.L. CHMURA, 2013. Assessing coastal squeeze of tidal wetlands. *Journal of Coastal Research*, 29: 1049-1061.
- TROUDE, J.P. et J.B. SÉRODES, 1985. Régime morpho-sédimentologique d'un estran à forte sédimentation dans l'estuaire du Saint-Laurent. *Proceedings of the Canadian Coastal Conference 1985*, National Research Council, Ottawa, p. 105-119.
- UICN FRANCE (Union internationale pour la conservation de la nature), 2013. Panorama des services écologiques fournis par les milieux naturels en France - volume 2.2 : les écosystèmes marins et côtiers. UICN, Paris, 28 p.
- VERMEER, M. et S. RAHMSTORF, 2009. Global sea level linked to global temperature. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 106: 21527-21532.
- WONG, P.P., I.J. LOSADA, J.-P. GATTUSO, J. HINKEL, A. KHATTABI, K.L. MCINNES, Y. SAITO et A. SALLENGER, 2014. Coastal systems and low-lying areas. Dans : FIELD, C.B., V.R. BARROS, D.J. DOKKEN, K.J. MACH, M.D. MASTRANDREA, T.E. BILIR, M. CHATTERJEE, K.L. EBI, Y.O. ESTRADA, R.C. GENOVA, B. GIRMA, E.S. KISSEL, A.N. LEVY, S. MACCRACKEN, P.R. MASTRANDREA, et L.L. WHITE (édit.). *Climate change 2014: Impacts, adaptation, and vulnerability. Part A: Global and sectoral aspects. Contribution of Working Group II to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge et New York, p. 361-409.

La faune, notre mission, notre passion.

Depuis 1987, la Fondation de la faune a soutenu plus de **5 000 projets** visant à protéger, améliorer et valoriser des milieux naturels essentiels à la faune dans toutes les régions du Québec : un investissement de **70 millions de dollars** pour la biodiversité du Québec !

> Consultez nos programmes d'aide : fondationdelafaune.qc.ca



Fondation
de la faune
du Québec