# Exposition des infrastructures routières de l'Est du Québec à l'érosion et à la submersion côtière dans un contexte de changements climatiques

Susan Drejza, Stéphanie Friesinger, Pascal Bernatchez
Laboratoire de dynamique et gestion intégrée des zones côtières, Chaire de recherche en géoscience côtière, Université du Québec à Rimouski, Rimouski, Québec, Canada
courriel : susan_drejza@uqar.ca , 418-723-1986 poste 1206

Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières | UQAR

CHAIRE DE RECHERCHE EN GÉOSCIENCE CÔTIÈRE

Québec

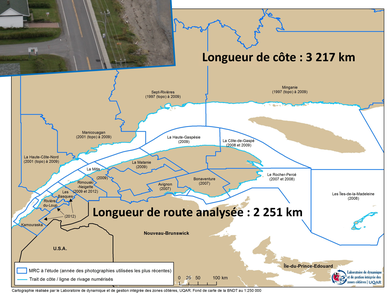
Fondsvert

## Introduction

Les observations compilées durant les dernières décennies sur l'évolution du littoral, associées à une littérature scientifique de plus en plus étoffée sur les changements climatiques, permettent d'anticiper une recrudescence de certains aléas côtiers à court et moyen termes ainsi qu'une augmentation de leur intensité (GIEC, 2007 et 2013; Lozano *et al.*, 2004). La hausse accélérée du niveau moyen des mers et les nouvelles projections (Cazenave *et al.*, 2008; Pfeffer *et al.*, 2008; Allison *et al.*, 2009; Vermeer et Rahmstorf, 2009; GIEC, 2013) permettent d'anticiper des modifications dans le rythme d'érosion et la fréquence de submersion des côtes basses. Certains bâtiments et infrastructures routières sont déjà affectés par ces phénomènes et le seront encore plus dans le futur. Cette recherche vise à mieux connaître, à comprendre et à quantifier la vulnérabilité des infrastructures routières de l'Est du Québec à l'érosion et à la submersion côtière dans un contexte de changements climatiques. Elle comprend quatre objectifs, soit :

**Objectif 1.** Cartographier le trait de côte actualisé des régions de l'Est du Québec (Côte-Nord, Bas-Saint-Laurent, Gaspésie, Îles-de-la-Madeleine) et déterminer la distance qui le sépare du réseau routier national.
**Objectif 2.** Bonifier et appliquer une approche de gestion côtière basée sur les unités et les cellules hydrosédimentaires dans les secteurs où les aléas côtiers sont susceptibles de présenter un risque pour les infrastructures routières des régions de l'Est du Québec. Pour les objectifs 1 et 2 consulter Drejza *et al.* (2014a) pour plus d'informations.
**Objectif 3.** Développer une approche et un indice pour quantifier la vulnérabilité des infrastructures routières à l'érosion et à la submersion côtière dans un contexte de changements climatiques. Cet objectif n'est pas traité ici. Se référer à Drejza *et al.* (2014b) pour informations.
**Objectif 4.** Faire une analyse et une synthèse des stratégies d'adaptation des infrastructures routières aux risques naturels côtiers en Europe, dans l'Est du Canada et pour le Nord-est américain et formuler des recommandations sur les stratégies d'adaptation, les mesures et les solutions d'adaptation potentielles pour les régions côtières de l'Est du Québec. Cet objectif n'est pas traité ici. Se référer à Boyer-Villemaire *et al.* (2014) pour informations.

## 1- Cartographie du trait de côte actualisé de l'Est du Québec




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

**Territoire à l'étude**

Un total de **3 217 km de côtes** a été numérisé dans l'Est du Québec sur les photographies aériennes les plus récentes disponibles.

**Échelles de numérisation :**

- 1 : 600 (photographies à haute résolution entre 2007 et 2012)
- 1 : 1 500 (orthophotographies de 2001 et 2005)
- 1 : 20 000 (cartes topographiques)

**Type de ligne numérisée :**

- Ligne de rivage --> côtes basses à la limite de la végétation dense
- Trait de côte --> côtes à falaises au sommet de celles-ci
  --> côtes artificialisées au sommet de l'ouvrage de protection

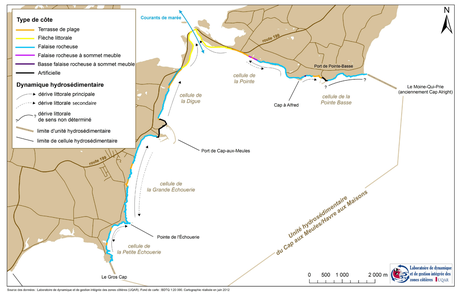
| Région | Route étudiée (km) | Côte étudiée (km) |
|---|---|---|
| Îles-de-la-Madeleine | 107,6 | 235,1 |
| Côte-Nord | 880,6 | 1711,0 |
| Gaspésie | 621,2 | 775,6 |
| Bas-Saint-Laurent | 641,4 | 495,4 |
| **Est du Québec** | **2250,8** | **3217,1** |

## 2 - Caractérisation côtière et dynamique hydrosédimentaire

La **caractérisation côtière** (principaux types de côtes, état de la côte, artificialité) et la **dynamique hydrosédimentaire** (unité et cellules hydrosédimentaires, courants de dérives littorales,...) a été réalisée sur l'ensemble des 3 217 km de côtes de l'Est du Québec.

Les côtes ont été caractérisées à l'aide des photographies obliques héliportées de septembre 2010 réalisées par notre laboratoire et des données terrain lorsque disponibles.

| Région | Nombre d'unités | Nombre de cellules |
|---|---|---|
| Îles-de-la-Madeleine | 10 | 34 |
| Côte-Nord | 126 | 242 |
| Gaspésie | 29 | 90 |
| Bas-Saint-Laurent | 16 | 43 |
| **Est du Québec** | **181** | **409** |

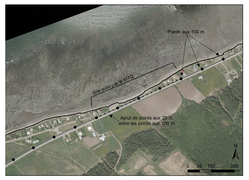



**Exemple de carte : type de côte et dynamique hydrosédimentaire**

## 3 - Base de Données du réseau routier

### A) Points de mesure de la route

Chacune des voies routières (si terre-plein central), des bretelles d'accès et des haltes routières des routes sous la responsabilité du MTQ ont été analysées. Cela représente un total de **2 250,8 km** de chaussée. La bordure de l'infrastructure routière qui a été numérisée est la **ligne blanche latérale** située du côté de la côte.




- **22 508 points à intervalle de 100 m** : ensemble de l'Est du Québec
- **11 271 points à intervalle de 20 m** (entre les points aux 100 m) :
  --> sites faisant l'objet d'un suivi par le MTQ pour leur vulnérabilité à l'érosion côtière
  --> tombolos / cordons littoraux des îles de la Madeleine

### B) Distance de la route à la côte

La distance entre la route et le tracé de la côte le plus récent a été calculé avec l'outil « *Near analysis* » de ArcGIS jusqu'à concurrence de 500 m. Toutes les mesures ont été validées manuellement. Voir le tableau ci-dessous pour les résultats.

| | Longueur de route (km) à moins de... | | | | Proportion de route (%) à moins de ... | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Région | 500 m | 100 m | 50 m | 15 m | 500 m | 100 m | 50 m | 15 m |
| Gaspésie | 496,2 | 244,6 | 155,3 | 83,8 | 79,9 | 39,4 | 25,0 | 13,5 |
| Bas-St-Laurent | 273,1 | 110,0 | 66,4 | 15,3 | 42,6 | 17,1 | 10,4 | 2,4 |
| Côte-Nord | 412,7 | 109,0 | 43,3 | 10,9 | 46,9 | 12,4 | 4,9 | 1,2 |
| Îles-de-la-Madeleine | 62,5 | 16,9 | 9,8 | 2,4 | 58,1 | 15.7 | 9,1 | 2,2 |
| Est du Québec | 1244,5 | 480,5 | 274,8 | 112,4 | 55,3 | 21,3 | 12,2 | 5,0 |

### C) Altitude des routes

L'information d'altitude provient si possible des données LiDAR (77 % des routes à moins de 500 m de la côte), sinon d'un modèle numérique d'élévation basé sur les courbes de niveau au 10 m de la BDTQ. L'outil « *Add surface information* » de ArcGIS a été utilisé pour jumeler l'information topographique aux points de routes.

## 4- Exposition des routes du ministères des Transports du Québec aux aléas côtiers

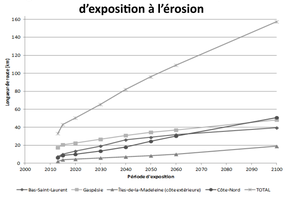
### A) Exposition des routes à l'érosion

Afin d'identifier les secteurs **exposés de manière imminente à l'érosion**, le recul maximum mesuré durant un seul évènement (selon le type de côte et la région) a été soustrait à la distance entre l'infrastructure et la côte. Puis, pour obtenir l'**exposition à l'érosion**, soit le nombre potentiel d'années avant que la route ne soit affectée, le résultat a été divisé par le taux de migration annuel.

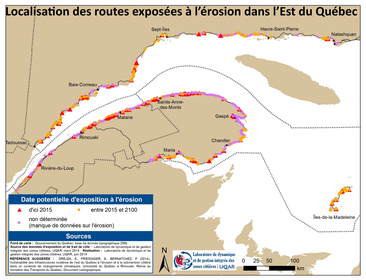
Niveau d'exposition d'une route à l'érosion = Nombre d'années avant que la route soit potentiellement affectée par l'érosion = [Distance entre la route et la côte - Recul événementiel maximal] / Taux de migration annuel

| | Région | | | | Est du Québec |
|---|---|---|---|---|---|
| | Bas-Saint-Laurent Km (%) | Gaspésie Km (%) | Îles-de-la-Madeleine Km (%) | Côte-Nord Km (%) | Km (%) |
| **Imminent** | 7,3 (1,1) | 18,0 (2,9) | 2,1 (2,0) | 6,6 (0,7) | 34,0 (1,5) |
| **Exposé à l'érosion d'ici 2100** | 31,4 (4,9) | 30,4 (4,9) | 16,8 (15,6) | 44,8 (5,1) | 123,4 (5,5) |
| **Non exposé à l'érosion** | 62,7 (9,8) | 195,7 (31,5) | 43,2 (40,1) | 292,0 (33,2) | 593,6 (26,4) |
| **Non déterminé** (manque de données d'érosion) | 171,7 (26,8) | 252,1 (40,6) | 0,4 (0,4) | 69,3 (7,9) | 493,5 (21,9) |
| **Non étudié** (à plus de 500 m) | 367,1 (57,2) | 122,1 (19,7) | 44,9 (41,7) | 464,4 (52,7) | 998,5 (44,4) |
| **Pont** | 1,2 (0,2) | 2,9 (0,5) | 0,2 (0,2) | 3,5 (0,4) | 7,8 (0,3) |
| **TOTAL** | **641,4 (28,5)** | **621,2 (27,6)** | **107,6 (4,8)** | **880,6 (39,1)** | **2250,8 (100)** |

**Longueur de routes selon leur période potentielle d'exposition à l'érosion**




**Localisation des routes exposées à l'érosion dans l'Est du Québec**




Les **RÉSULTATS** indiquent que 34 km de routes (1,5 %) sont actuellement exposés de manière imminente à l'érosion (tableau ci-dessus), c'est-à-dire qu'un seul évènement important pourrait les affecter. D'ici 2100, plus de 123 km supplémentaires seront exposés à l'érosion, soit un total de 157,4 km de routes (12,6 % des routes situées à moins de 500 m de la côte ou 7 % de toutes les routes). Il est important de noter que pour 493,5 km de routes, l'exposition à l'érosion n'a pas pu être calculée faute de données sur la sensibilité des côtes à l'érosion. D'autres études sont nécessaires dans ces secteurs pour déterminer l'exposition des infrastructures routières. Ceci est particulièrement le cas pour la Gaspésie et le Bas-Saint-Laurent (respectivement 40,7 et 26,9 % de routes pour lesquelles il manque des données d'érosion).

### B) Exposition des routes à la submersion

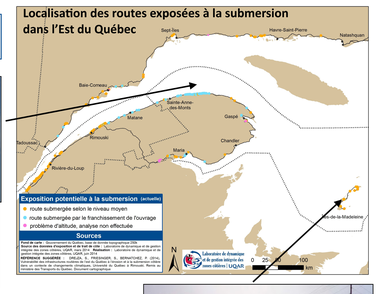
L'**exposition de la route à la submersion**, soit l'épaisseur d'eau sur la route, découle de la soustraction de l'altitude géodésique de la route à la cote de submersion. Cette dernière est déterminée selon le niveau moyen de l'eau atteint sur le terrain durant des tempêtes importantes (décembre 2010, 2005 ou 1983 selon les secteurs) et le niveau des pleines mers supérieures de grande marée.

Épaisseur d'eau sur la route = Niveau de submersion - Altitude de la route

Les secteurs artificialisés peuvent être submergés entre 0,50 et 0,96 m plus haut que les secteurs naturels (Quintin *et al.*, 2013 ; Bernatchez *et al.*, 2011). C'est pourquoi, dans les secteurs où la structure de protection était à moins de 10 m de la route et que son altitude ne dépassait pas de plus de 1 m la cote de submersion, elle a été identifiée comme pouvant être submergée par le franchissement de l'ouvrage par les vagues de tempête.

Nord de la Gaspésie- septembre 2010 © LDGIZC

**Localisation des routes exposées à la submersion dans l'Est du Québec**

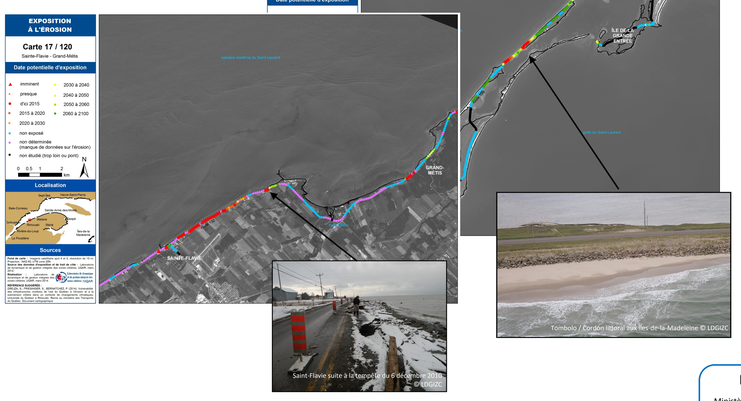



| Région | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Bas-Saint-Laurent Km (%) | Gaspésie Km (%) | Îles-de-la-Madeleine Km (%) | Côte-Nord Km (%) | Est du Québec Km (%) |
| **Oui - exposé à la submersion** | 78,5 (12,2) | 5,8 (0,9) | 6,5 (6,0) | 11,3 (1,3) | 102,1 (4,5) |
| **Par franchissement de l'ouvrage** | 1,8 (0,3) | 24,6 (4,0) | 0,1 (0,1) | 0,3 (0,03) | 26,8 (1,2) |
| **Non exposé à la submersion** | 559,1 (87,2) | 576,9 (92,9) | 100,8 (93,7) | 864,6 (98,2) | 2101,4 (93,4) |
| **Non déterminé (erreur altitude)** | 0,0 (0,0) | 10,9 (1,8) | 0,0 (0,0) | 1,0 (0,1) | 11,9 (0,5) |
| **Pont** | 2,0 (0,3) | 3,0 (0,5) | 0,2 (0,2) | 3,4 (0,4) | 8,6 (0,4) |
| **TOTAL** | **641,4 (28,4)** | **621,2 (27,6)** | **107,6 (4,8)** | **880,6 (39,1)** | **2250,8 (100)** |

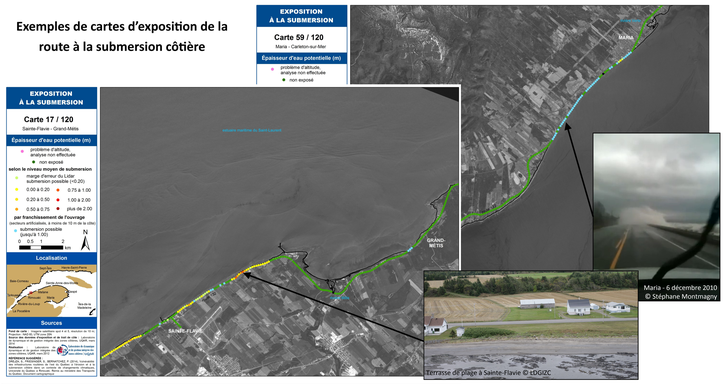
RÉSULTATS : Concernant la submersion, 102 km sont actuellement potentiellement submersibles durant les tempêtes, soit 4,5 % des routes de l'Est du Québec (tableau ci-dessus). La submersion de la route survient surtout dans le Bas-Saint-Laurent où les routes se trouvent souvent bâties sur des côtes basses. Cependant, les ¾ des routes exposées à la submersion par franchissement de l'ouvrage se situent en Haute-Gaspésie (19,9 km). Ceci est dû au fait que la route a été construite sur de longues sections de remblai au pied de falaises rocheuses (photo ci-dessus).

Îles-de-la-Madeleine- octobre 2000 © MTQ

**Exemples de cartes d'exposition de la route à l'érosion côtière**




**Exemples de cartes d'exposition de la route à la submersion côtière**

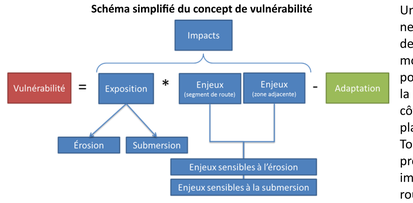



## 5- L'exposition, la première étape du calcul de vulnérabilité

Première étape pour déterminer la vulnérabilité d'une route = connaître son exposition à l'érosion et à la submersion.

- EXPOSITION = potentialité qu'une d'infrastructure soit affecté par l'aléa et l'intensité avec laquelle l'élément sera affecté.
- VULNÉRABILITÉ = incapacité d'une infrastructure/ d'un système à faire face aux effets défavorables des aléas.
  --> Les différents enjeux qui peuvent être affectés doivent également être recensés et pris en compte dans le calcul.
  --> Est fonction du **niveau d'exposition** et de **sensibilité de ce système aux aléas** (ou perturbations) et **de leurs conséquences sur les enjeux présents**, mais aussi de sa **capacité d'adaptation** (Adger, 2006 ; Smit et Wandel, 2006; Fontaine et Steinemann, 2009).

**Schéma simplifié du concept de vulnérabilité**




Un **Indice de Vulnérabilité du réseau Routier aux Aléas Côtiers (IVRAC)** est en cours de finalisation pour neuf sites témoins dans l'Est du Québec (Drejza *et al.*, 2014b). Il sera basé sur une analyse du milieu et des entrevues avec des gestionnaires du MTQ. Ainsi il inclura, en plus de l'exposition, le débit journalier moyen, la présence ou non de voie de contournement en cas de rupture de service, leur longueur, la population résidant sur le segment de route affecté, la présence d'autre réseaux sous le tracé de la route, la facilité ou la difficulté à rétablir le service suite à un bris, la présence d'autres infrastructures entre la côte et la route, les structures de protection mises en place, leur entretien prévu, etc.

Tous ces éléments ne sont pas inclus dans l'exposition présentée ci-dessus, mais peuvent avoir une influence importante sur la vulnérabilité des différents segments de routes.



## Conclusion

Cette recherche a permis de documenter et de quantifier pour la première fois à l'échelle de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent le niveau d'exposition des infrastructures de transport nationales (routes 132, 138 et 199 et autoroute 20) aux aléas d'érosion et de submersion. En plus d'apporter des données aux gestionnaires, cette vue d'ensemble est un premier pas nécessaire vers la quantification du niveau de vulnérabilité des infrastructures routières aux aléas côtiers. De plus, cette recherche fait aussi ressortir les secteurs où les données sont insuffisantes pour évaluer l'exposition à l'érosion ou encore où les données ne sont pas assez précises pour évaluer l'exposition à la submersion (absence de données Lidar pour certains secteurs).

En outre, cette étude présente le premier portrait des caractéristiques physiques de l'ensemble des côtes de l'Est du Québec à une haute résolution spatiale. Ce portrait présente les types de côte, leur état de stabilité, un inventaire des ouvrages de protection et leur état ainsi qu'une toute première délimitation des unités et des cellules hydrosédimentaires.

Les différentes données générées ont été transmises aux gestionnaires du MTQ. Cela va permettre de gérer la côte et les prochaines interventions selon une approche par cellule hydrosédimentaire, en évaluant mieux les impacts potentiels des interventions sur l'ensemble de la cellule. Cela devrait ainsi limiter les impacts négatifs sur le littoral que pourraient avoir des actions non planifiées en fonction de la dynamique hydrosédimentaire. Les résultats vont également permettre aux gestionnaires de cibler les secteurs de routes problématiques, de planifier les solutions d'adaptation et de prioriser les interventions selon différents horizons de temps allant jusqu'en 2100 (pour l'exposition à l'érosion).

ÉGALEMENT DANS LE CADRE DE CE PROJET :

⇒ Le développement d'une approche méthodologique et d'un ***Indice de Vulnérabilité du réseau Routier aux Aléas Côtiers*** (IVRAC). Cet indice a été appliqué à neuf sites témoins dans l'Est du Québec (Drejza *et al.* 2014b).

⇒ Une analyse des stratégies d'adaptation des infrastructures routières aux risques naturels côtiers en Europe et aux États-Unis (Boyer-Villemaire *et al.*, 2014). Des recommandations sur les stratégies d'adaptation, les mesures et les solutions d'adaptation potentielles pour les régions côtières de l'Est du Québec ont été formulées.

## Références

ADGER, W. N., 2006. Vulnerability. Global Environmental Change, 16; 3; 268-281

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

BERNATCHEZ, P., FRASER, C., LEFAIVRE, D. et DUGAS, S. (2011). Integrating anthropogenic factor, geomorphological indicators and local knowledge in the analysis of coastal flooding and erosion hazards. Oceans and Coastal Management, 54: 621-632.

BOYER-VILLEMAIRE, U., MARIE, G., BERNATCHEZ, P. (2014) Vulnérabilité des infrastructures routières de l'Est du Québec à l'érosion et à la submersion côtière dans un contexte de changements climatiques : Analyse des stratégies internationales et recommandations en matière de réduction de la vulnérabilité des infrastructures de transport face aux risques naturels côtiers, Volume II, Projet X008.1. Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières, Université du Québec à Rimouski. Rapport de recherche remis au ministère des Transports du Québec, avril 2014. 161 p. + annexes.

CAZENAVE A., LOMBARD, A. et LLOVEL W. (2008), Present-day sea level rise: a synthesis. C.R. Geoscience, 340, p. 761–770.

DREJZA, S., FRIESINGER, S. et BERNATCHEZ, P. (2014a). Vulnérabilité des infrastructures routières de l'Est du Québec à l'érosion et à la submersion côtière dans un contexte de changements climatiques : Développement d'une approche et d'un indice pour quantifier la vulnérabilité des infrastructures routières à l'érosion et à la submersion côtière dans un contexte de changements climatiques. Volume III. Projet X008.1. Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières, Université du Québec à Rimouski. Remis au ministère des Transports du Québec, mars 2014, 187 p. + annexes.

DREJZA, S., FRIESINGER, S. et BERNATCHEZ, P. (2014b), Vulnérabilité des infrastructures routières de l'Est du Québec à l'érosion et à la submersion côtière dans un contexte de changements climatiques : Développement d'une approche et d'un indice pour quantifier la vulnérabilité des infrastructures routières à l'érosion et à la submersion côtière dans un contexte de changements climatiques. Volume III. Projet X008.1. Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières, Université du Québec à Rimouski. Remis au ministère des Transports du Québec, 2014, à venir, 154 p. + annexes

FONTAINE, M. et A.C. STEINEMANN, 2009. Assessing vulnerability to natural hazards: An impact-based method and application to drought in Washington State. Natural Hazards Review; 10, 1; 11-18

GIEC, (2007), Climate change 2007: The physical science basis. Cambridge University Press, Cambridge, 99 p.

GIEC, (2013), Climate change 2013: The physical science basis. Cambridge University Press, Cambridge, 36 p.

LOZANO, CEVOY, MAY., ANDERSON, (2004), Storminess and vulnerability along the Atlantic coastlines of Europe : analysis of storm records and of a greenhouse gases induced climate scenario. Marine Geology, 210 : 205-225

PFEFFER, W.T., HARPER, J.T., O'NEEL, S. (2008), Kinematic constraints on glacier contributions to 21st-century sea level rise. Science 321: 1340-1343.

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

SMIT B. et J. WANDELI, 2006. Adaptation, adaptive capacity and vulnerability. Global Environmental Change; 16; 3; 282-292

VERMEER, M. et RAHMSTORF, F. (2009), Global sea level linked to global temperature. PNAS, 106 : 21527-21532.

## Financement

Ministère des Transports du Québec dans le cadre du Plan d'action sur les changements climatique 2006-2012 du Gouvernement du Québec; action 23C - volet érosion côtière

## Remerciements

Les auteurs remercient tous les membres du Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières pour leurs contributions à la discussion et à la réflexion qui a accompagné cette étude. Nous tenons également à remercier le comité de suivi ainsi que les différents collaborateurs du MTQ.

Affiche réalisée pour le Colloque de l'Association des transports du Canada (ATC), 28 septembre au 1er octobre 2014, à Montréal