

Bilan des connaissances sur l'érosion et la submersion côtière au Québec : enjeux, causes et perspectives



Pascal Bernatchez

Colloque sur la sécurité civile et incendie 2015

CHAIRE DE RECHERCHE
EN GÉOSCIENCE CÔTIÈRE

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

UQAR

CENTRE D'ÉTUDES NORDIQUES
CEN Centre for Northern Studies

BORÉAS
GROUPE DE RECHERCHE SUR LES
ENVIRONNEMENTS NORDIQUES

An aerial photograph showing a coastal town. A paved road runs along the left side of the frame, with several houses and buildings situated just inland. To the right of the road is a wide, sandy beach area. Further right, the ocean waves are breaking onto the shore. In the background, there are hills and a body of water under a cloudy sky.

Plan de la présentation

- 1) Principaux enjeux associés aux aléas côtiers
- 2) Bilan de l'érosion/submersion au Québec maritime
- 3) Causes des aléas côtiers
- 4) Perspectives: la recherche en soutien à la gestion et la prévention des risques côtiers



Plan de la présentation

- 1) Principaux enjeux associés aux aléas côtiers
- 2) Bilan de l'érosion/submersion au Québec maritime
- 3) Causes des aléas côtiers
- 4) Perspectives : la recherche en soutien à la gestion et la prévention des risques côtiers

Une grande diversité d'enjeux



Résidentiel



Transport

Qualité de vie

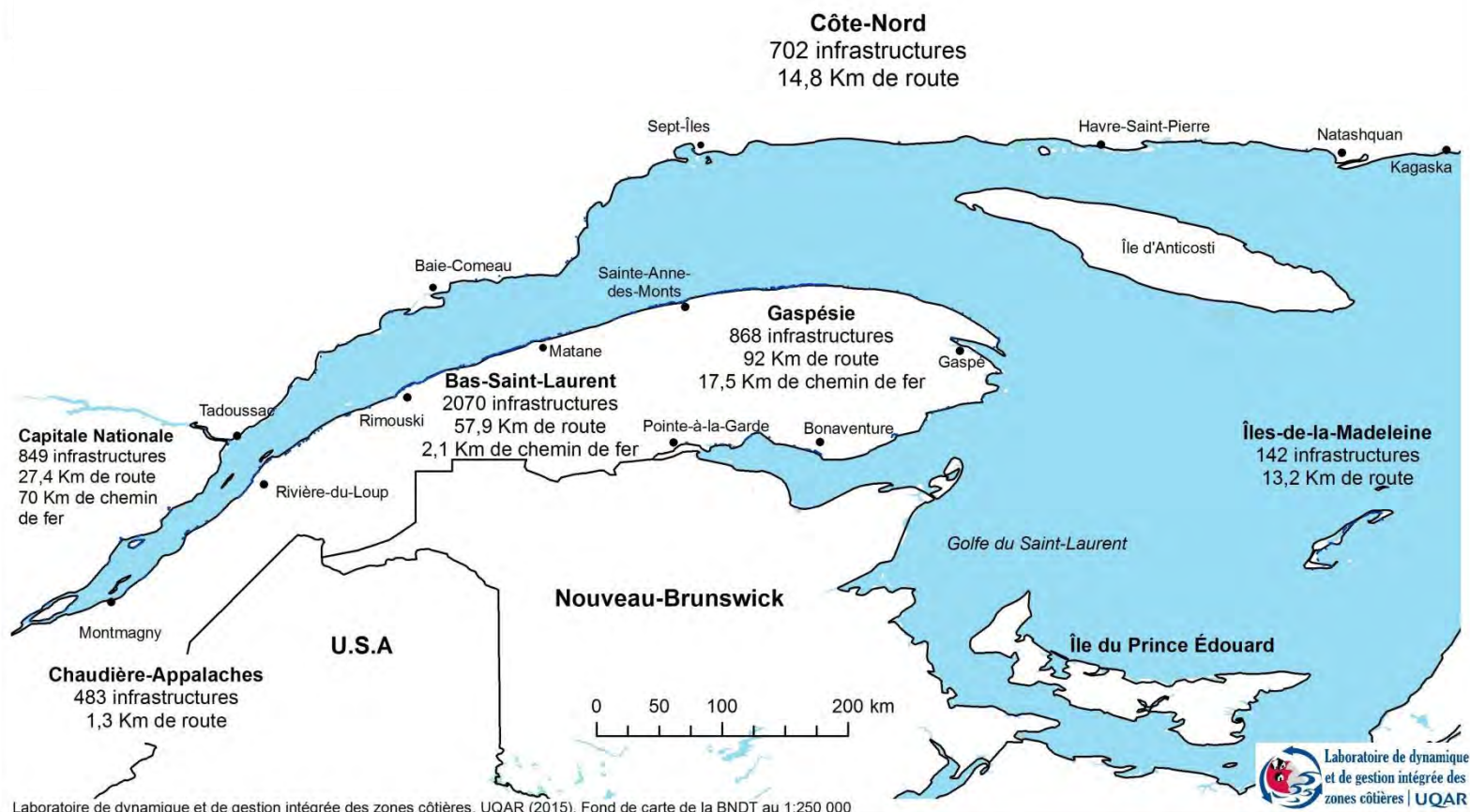
Commerce/motel

Patrimoine

Réseau de suivi des infrastructures potentiellement vulnérables aux aléas côtiers (2013)

**Bâtiments à moins de 15 m :
5114**

**Bas-Saint-Laurent: 40 %
Gaspésie: 17 %
Côte-Nord : 14 %**



Les infrastructures de transport... une diversité de services et d'enjeux !

*207 km de tronçons routiers (45 % en Gaspésie, 28 % Bas-Saint-Laurent)
dont 112 km de routes nationales (75 % en Gaspésie) et 90 km de segments ferroviaires
(78 % Capitale-Nationale) à moins de 15 m du trait de côte
102 km de segments routiers exposés à la submersion (77 % Bas-Saint-Laurent)
sans tenir compte de la hausse du niveau marin*



Conséquences des événements de tempête sur les infrastructures de transport

Route municipale, Sainte-Luce



Sécurité des usagers : vagues, débris



© Stéphane Montmagny



© LDGIZC-UQAR

Accès et évacuation de la population ?



© Municipalité de Maria



© Municipalité de Maria

Les enjeux écologiques : Pertes ou modification des habitats côtiers

Île aux Grues



Érosion des marais = perte d'habitat

Le déficit sédimentaire affecte certains habitats comme les myes



Conséquence écologique

Conséquence socio-économique

Conséquence sur les mœurs de la communauté régionale, car c'est une activité culturelle importante



Cartographie des activités et infrastructures affectées par les changements environnementaux

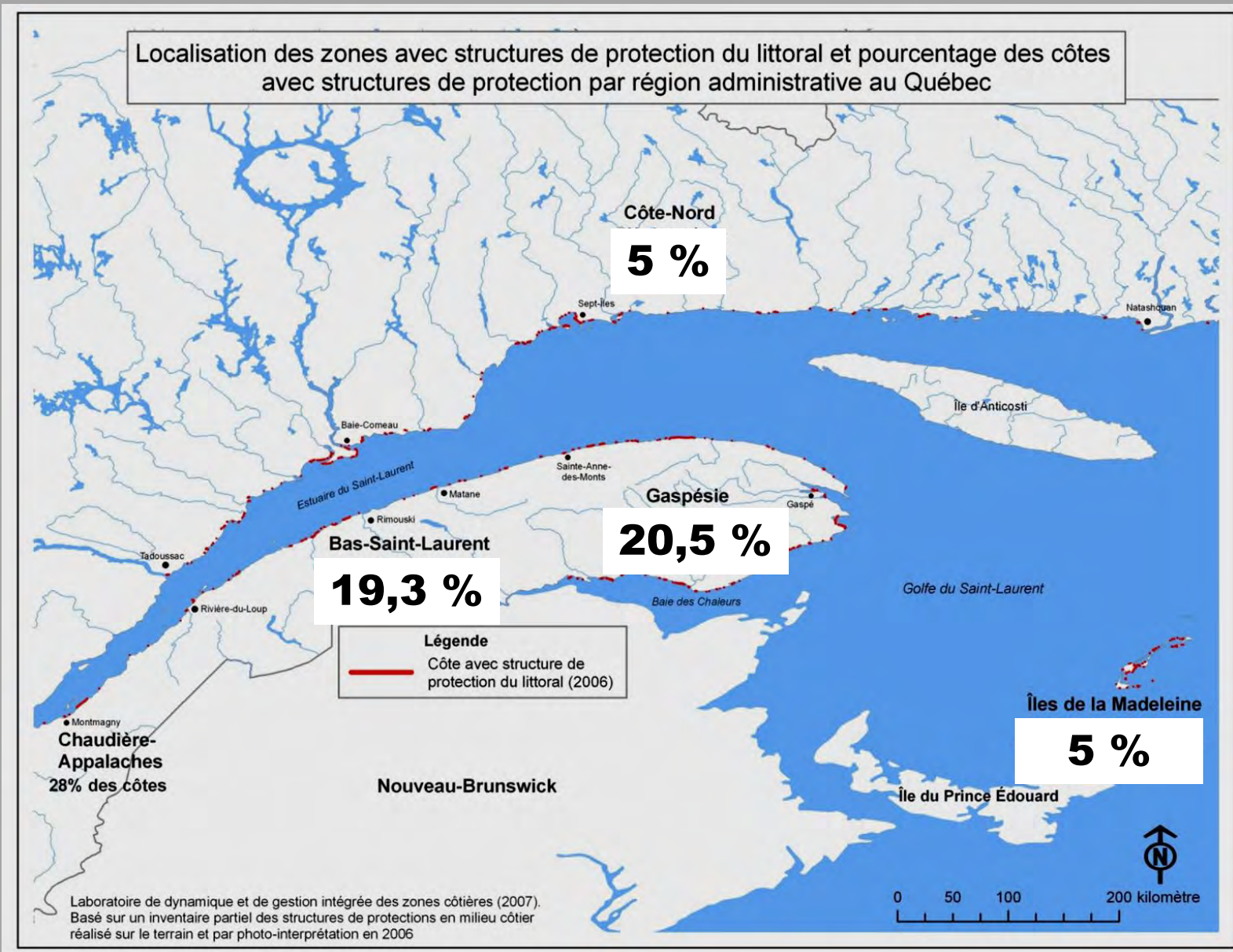
Collectivité Innue de Pessamit, Côte-Nord

Légende des infrastructures et activités vulnérables aux aléas côtiers

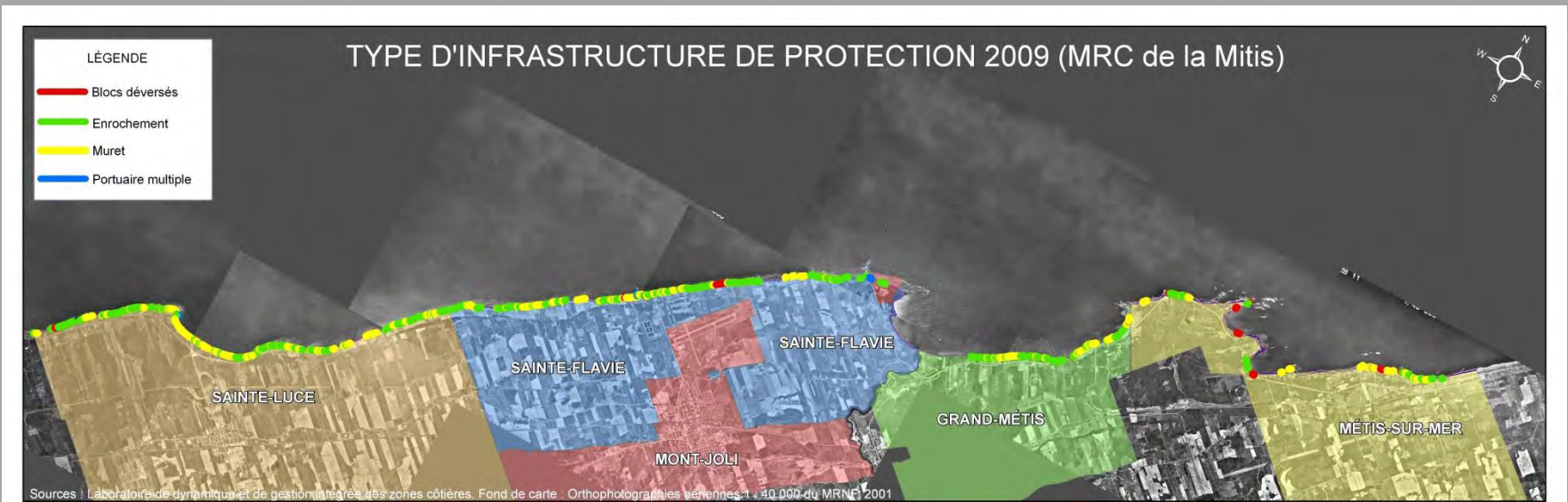
Activités affectées par les aléas côtiers et les changements environnementaux	Niveau de vulnérabilité des activités (contour uniquement)	Type de propriété affectée
Accès au littoral	Très élevé	Résidence
Baignade, détente et pique-nique	Élevé	Bâtiment secondaire
Campement	Modéré +	Bâtiment secondaire ayant été submergé
Chasse aux oiseaux migrateurs	Modéré	Chalet
Chasse aux phoques	Modéré	
Cueillette de petits fruits	Faible	Niveau de vulnérabilité des propriétés
Cueillette de plantes médicinales	Très faible	Très élevé
Cueillette de mye	Nul	Élevé
Déplacement en bateau		Modéré +
Déplacement en motoneige		Modéré
Jeux d'hiver	Activité non affectée présentement	Faible
Marche	Activité affectée	Très faible
Pêche	Activité cessée	
Pêche sur la glace		
Rampe de mise à l'eau		
Services publics		
Site de rassemblement		
Site patrimonial		
Véhicule tout-terrain		
		Type d'infrastructure linéaire affectée
		Route nationale
		Route non pavée
		Chemin non pavé
		Sentier de vtt
		Chemin d'accès
		Niveau de vulnérabilité des infrastructures linéaires
		Très élevé
		Élevé
		Modéré +
		Modéré
		Faible
		Très faible
		Données topographiques
		Réseau routier
		Cours d'eau
		Bâtiments
		Limites administratives de la réserve
		Végétation
		Milieux humides
		Étendue d'eau
		Dépôts alluviaux
		Île



10,5 % du littoral du Québec maritime présente des ouvrages de protection (2010)



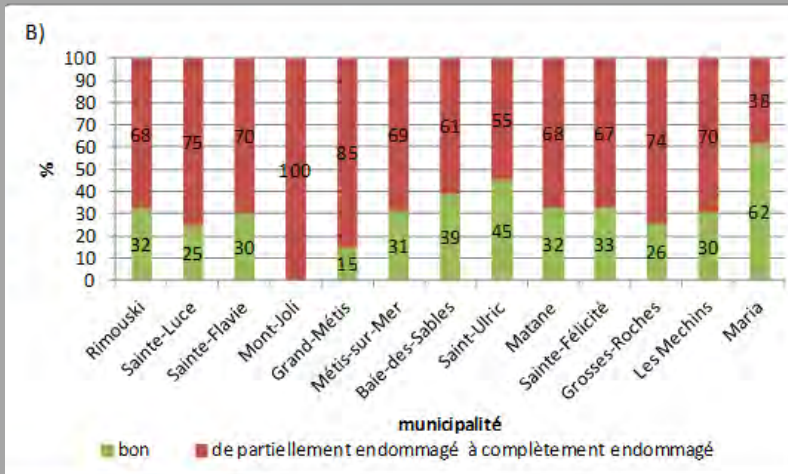
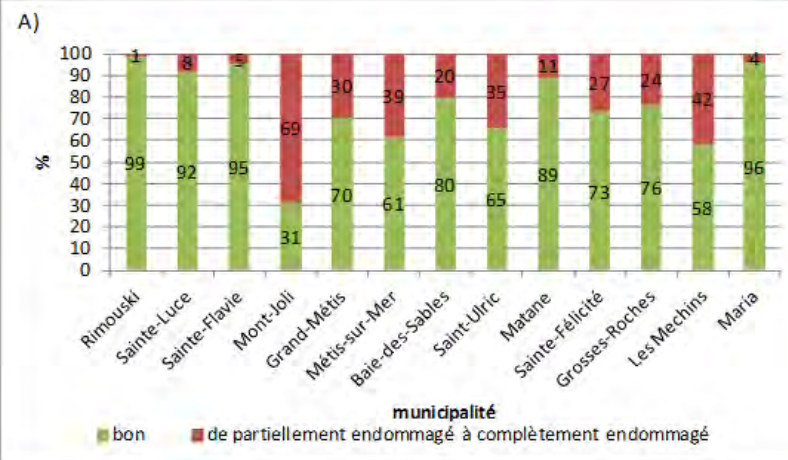
Mais le littoral de certaines municipalités est fortement artificiel



	Sainte-Luce (%)	Sainte-Flavie (%)	Grand-Métis (%)	Métis-sur-Mer (%)	MRC Mitis (m)	MRC Mitis (%)
Côtes naturelles vs côtes artificielles						
Côtes sans infrastructure de protection	34	48	71	87	33073	62
Côtes avec infratrstructure de protection	66	52	29	13	20095	38

Conséquences de la tempête du 6 décembre 2010 sur les ouvrages de protection de la côte

Proportion des infrastructures selon leur état* avant (A) et après (B) le passage de la tempête du 6 décembre 2010



* l'état des ouvrages est uniquement une appréciation visuelle

Infrastructures privées



Infrastructures MTQ





Plan de la présentation

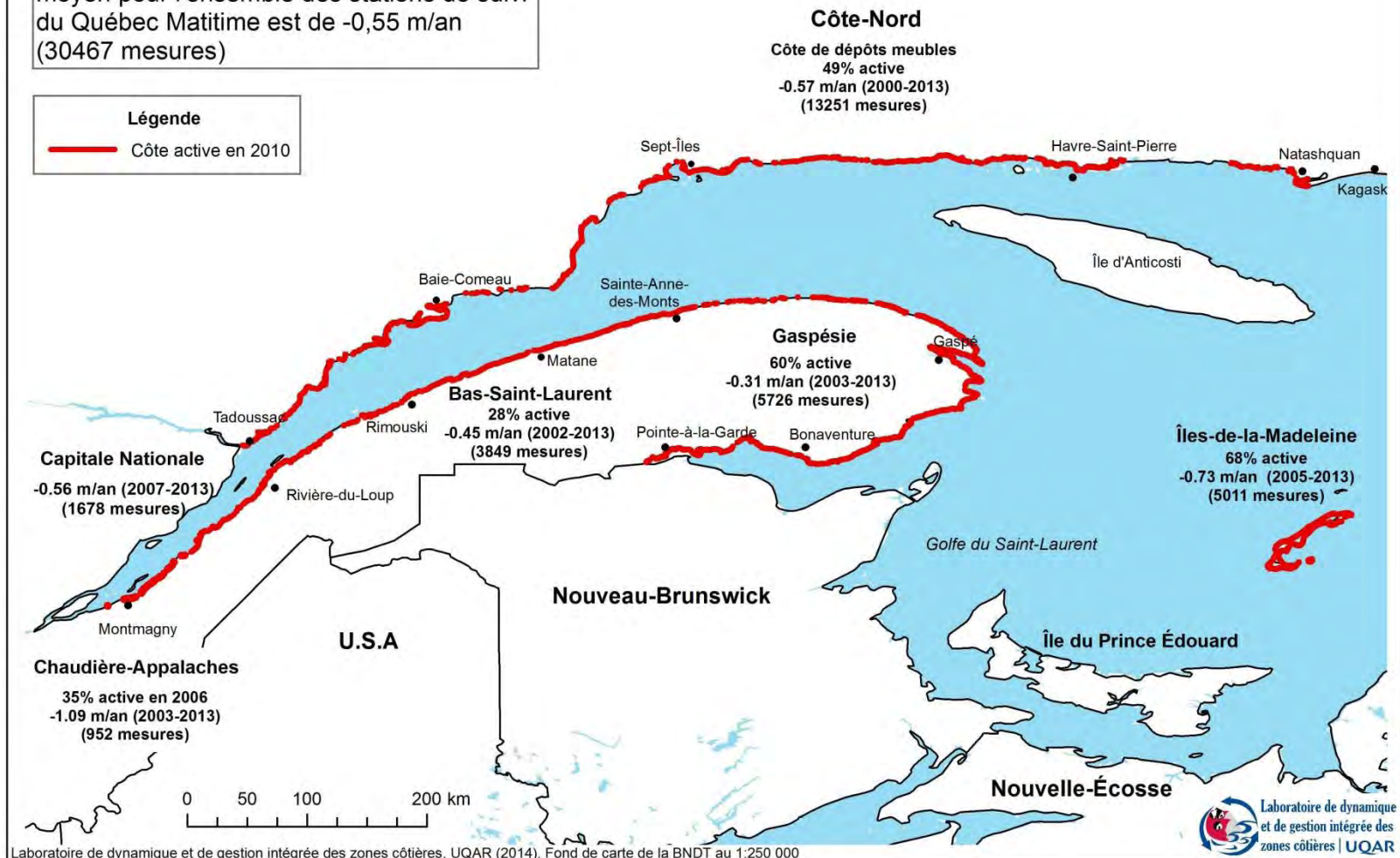
- 1) Principaux enjeux associés aux aléas côtiers
- 2) Bilan de l'érosion/submersion au Québec maritime
- 3) Causes des aléas côtiers
- 4) Perspectives: la recherche en soutien à la gestion et la prévention des risques côtiers

Réseau de suivi de l'érosion côtière du Québec maritime (2000-2013): 5000 stations

50 % du littoral du Québec maritime est composé de côte en érosion
2 100 km de côtes sensibles à l'érosion, dont 60 % des côtes basses

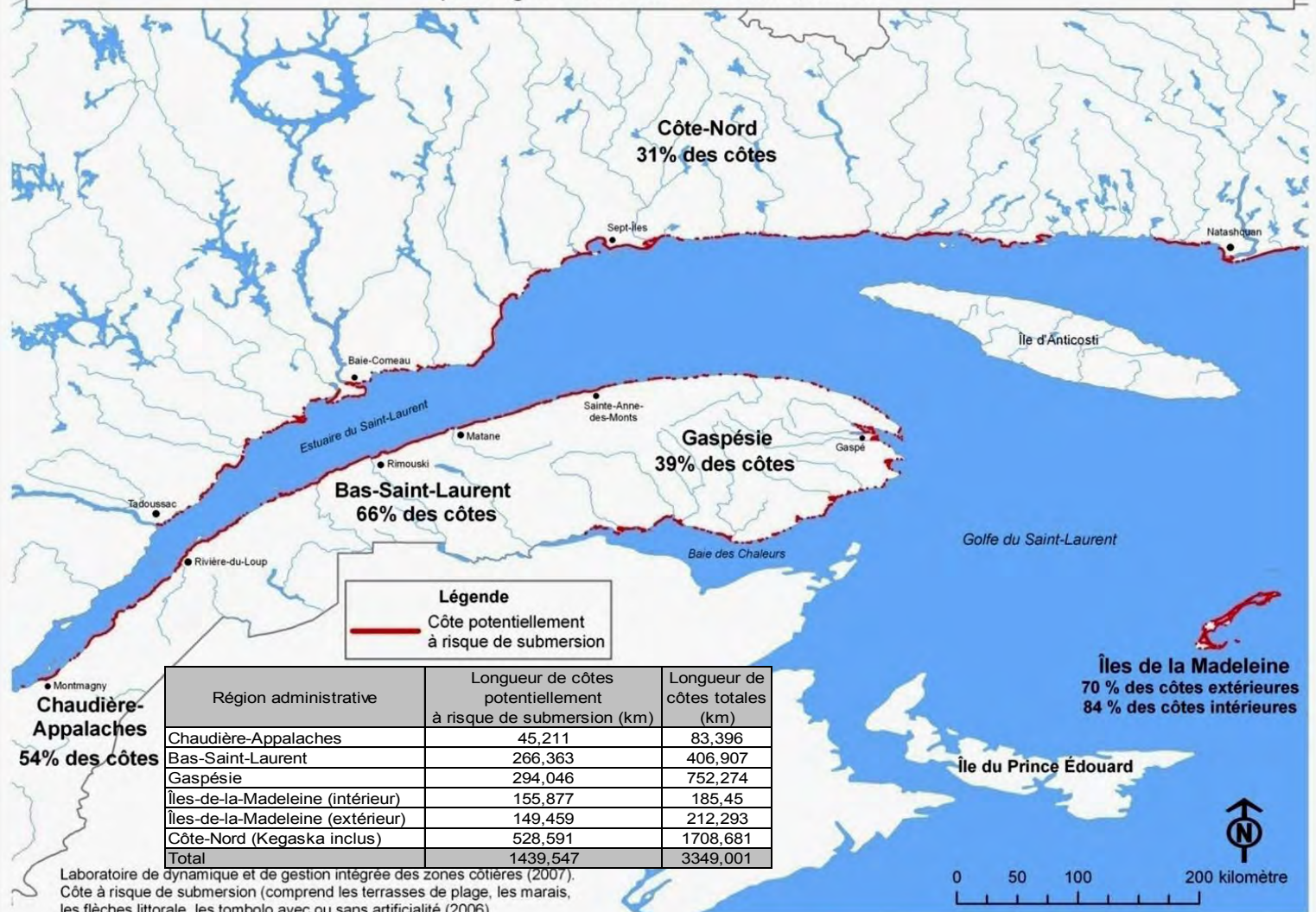
Entre 2000 et 2013, le taux de déplacement moyen pour l'ensemble des stations de suivi du Québec Maritime est de $-0,55$ m/an (30467 mesures)

Légende
— Côte active en 2010



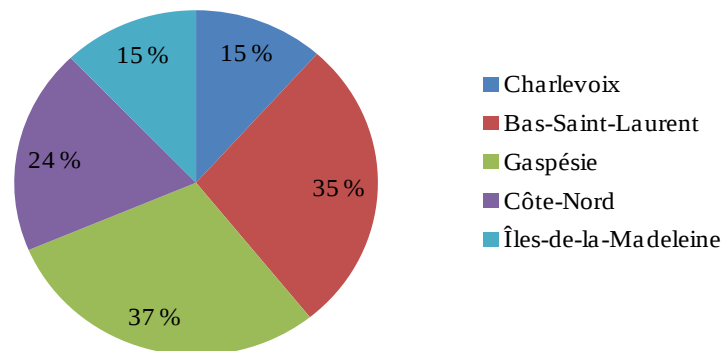
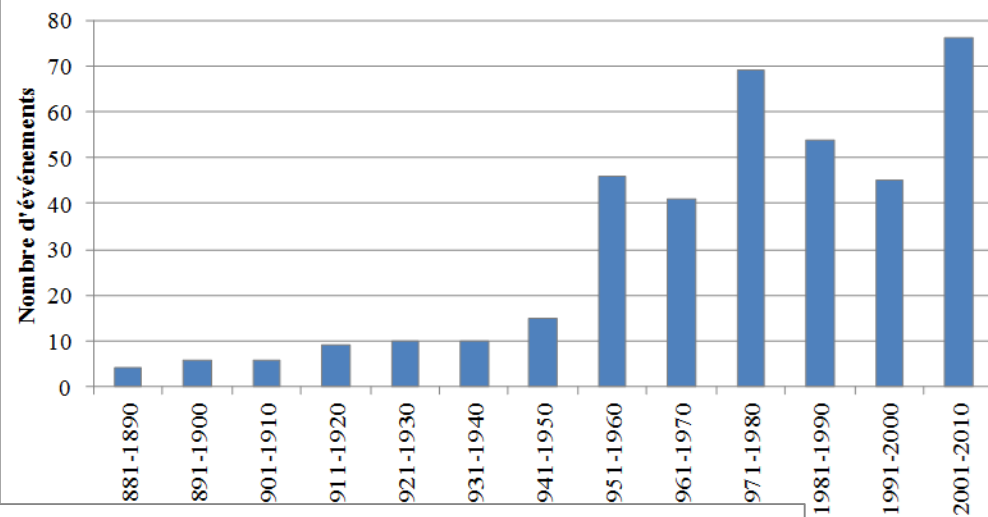
43 % du littoral du Québec maritime est potentiellement à risque de submersion

Localisation des zones potentiellement à risque de submersion et pourcentage des côtes submersibles par région administrative au Québec



Nombre d'événements météorologiques et géologiques par décennie qui ont provoqué des dommages à la côte entre 1880 et 2010 basé sur des archives

392 événements recensés entre 1880 et 2010
292 événements recensés entre 1960 et 2010



Proportion d'événements par région (1960-2010)

Nombre d'événements de vagues de tempête et de submersion côtière par décennie qui ont provoqué des dommages à la côte

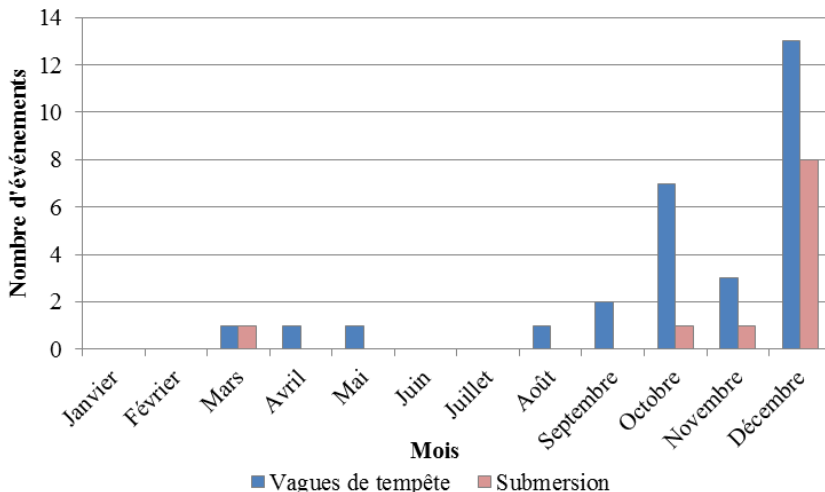
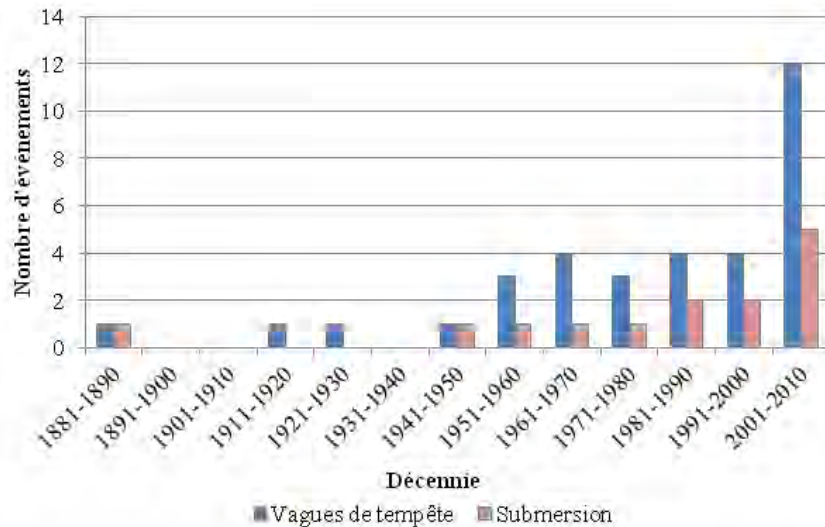
Total de 158 événements de vagues de tempête (1880-2010)

Total de 43 événements de submersion (1880-2010)

Événement ayant affecté plus d'une région

*34 événements de vagues de tempête
14 événements de submersion*

Répartition mensuelle des événements

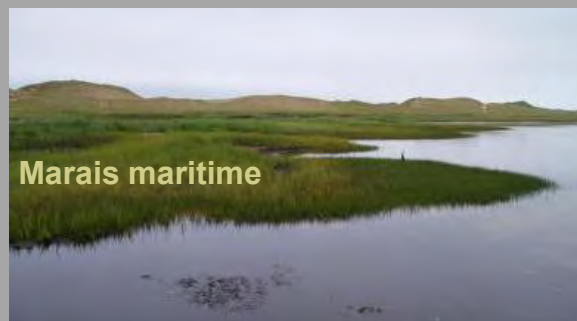
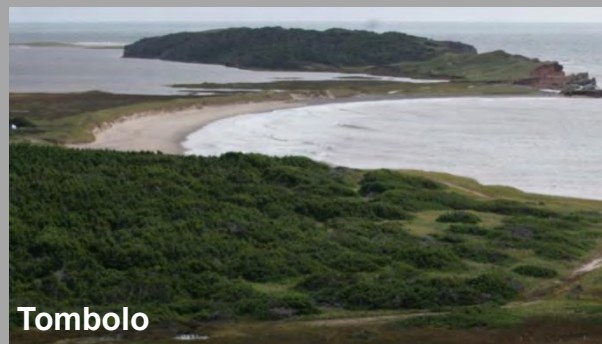




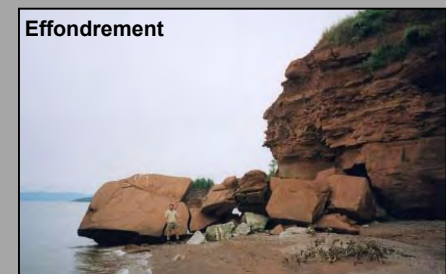
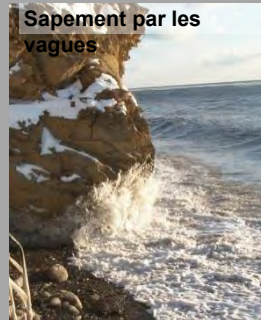
Plan de la présentation

- 1) Principaux enjeux associés aux aléas côtiers
- 2) Bilan de l'érosion/submersion au Québec maritime
- 3) Causes des aléas côtiers
- 4) Perspectives: la recherche en soutien à la gestion et la prévention des risques côtiers

Une grande diversité de types de côte



Une grande diversité de types de processus



	Sapement par les vagues		Glissement de terrain
	Submersion/surcote		Glissement en plan
	Poussée glacielle		Ravinement/suffosion
	Processus cryogéniques		Effondrement-écroulement
	Coulée boueuse liée au dégel		Éboulement-éboulis
	Coulée argileuse		Avancée dunaire

Approches et outils pour l'analyse des aléas côtiers et de la vulnérabilité

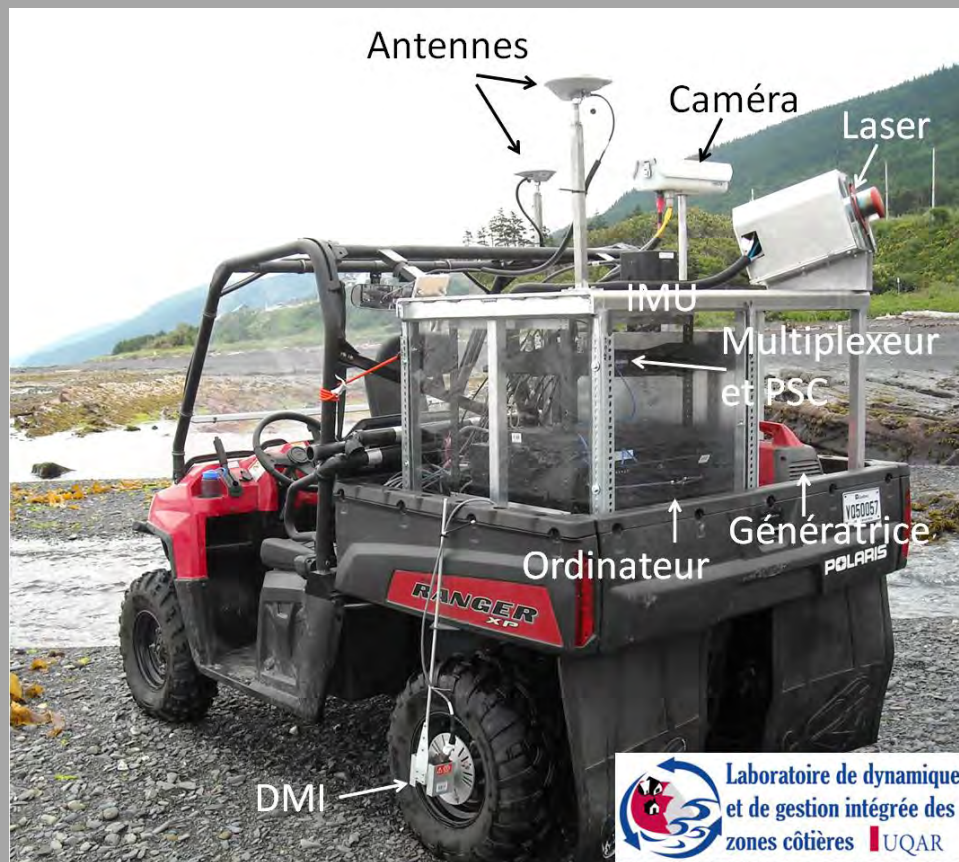


- 1) Réseau de suivi de l'érosion côtière
- 2) Réseau de suivi des infrastructures
- 3) Réseau de suivi des paramètres climatiques
- 4) Réseau de suivi de tiges thermiques
- 5) Réseau de caméras de surveillance des côtes
- 6) Instrumentations océanographiques



Système mobile de LiDAR terrestre

SAIGA-3D terrestre



Suivi de solutions d'adaptation,
Recharge en sédiments à Sainte-Luce



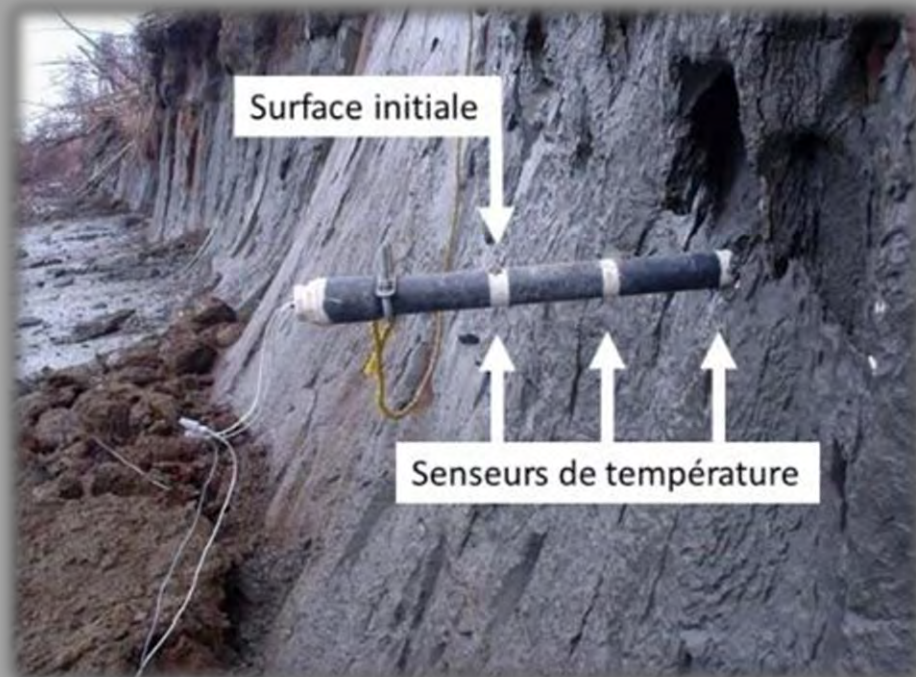
Approche pour quantifier l'érosion

Caméras de surveillance

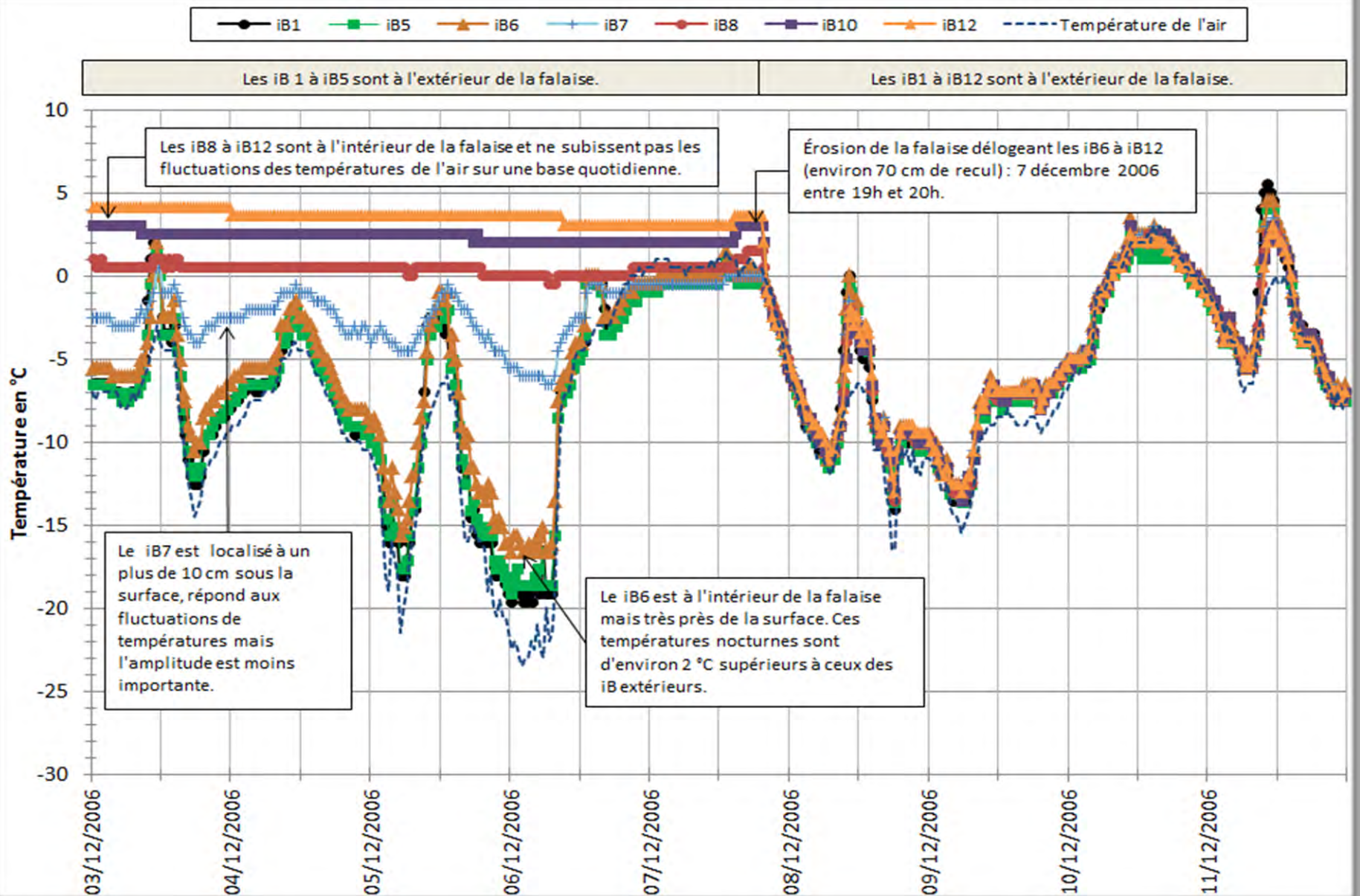
- A. Détermination des moments d'érosion
- B. Conditions hivernales
- C. Conditions hydrogéologiques
- D. Processus et érosion par unité litho-stratigraphique
- E. Facteurs environnementaux



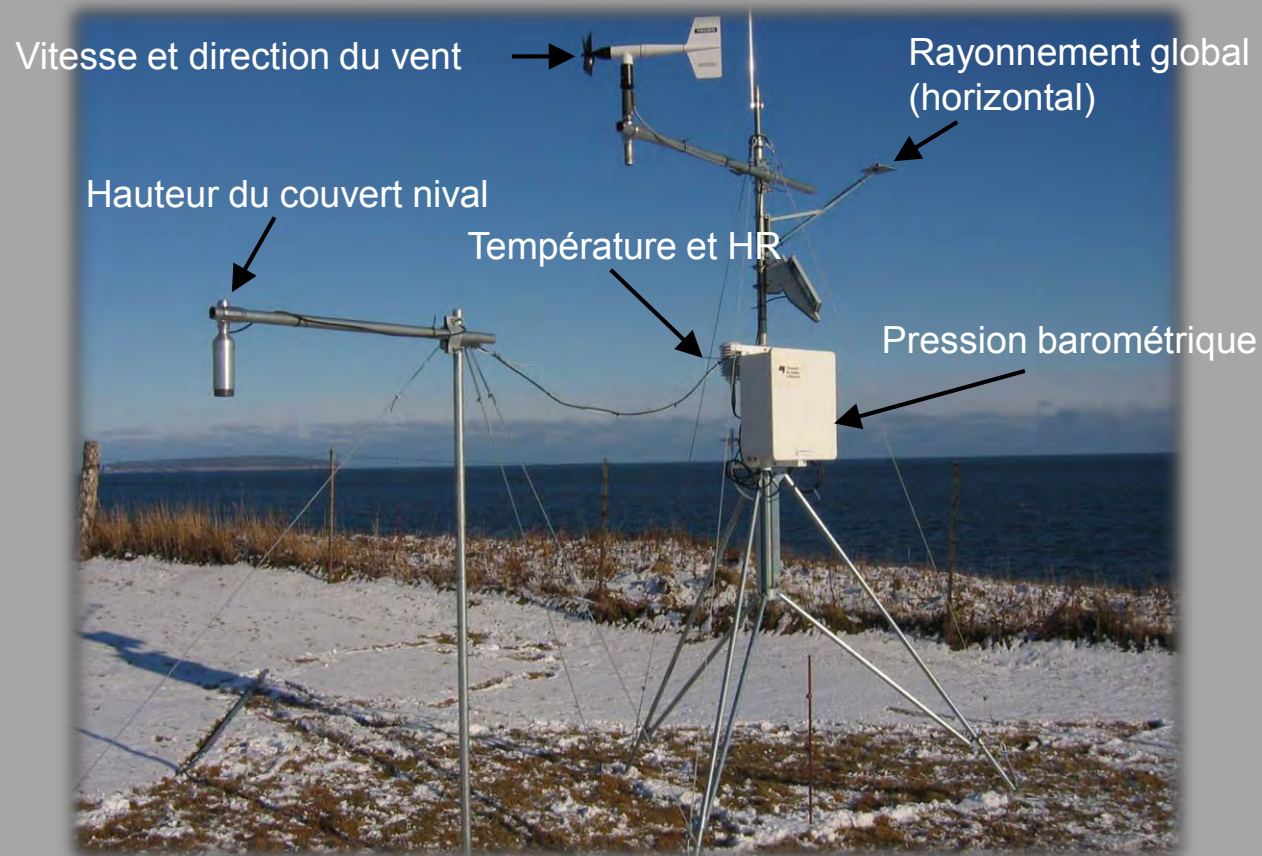
Réseau de tiges thermiques permettant de mesurer l'érosion en continue



Détermination des moments de recul à partir du régime thermique



Stations météorologiques, pyranomètres (4) et marégraphes (11)



Principales causes des aléas côtiers

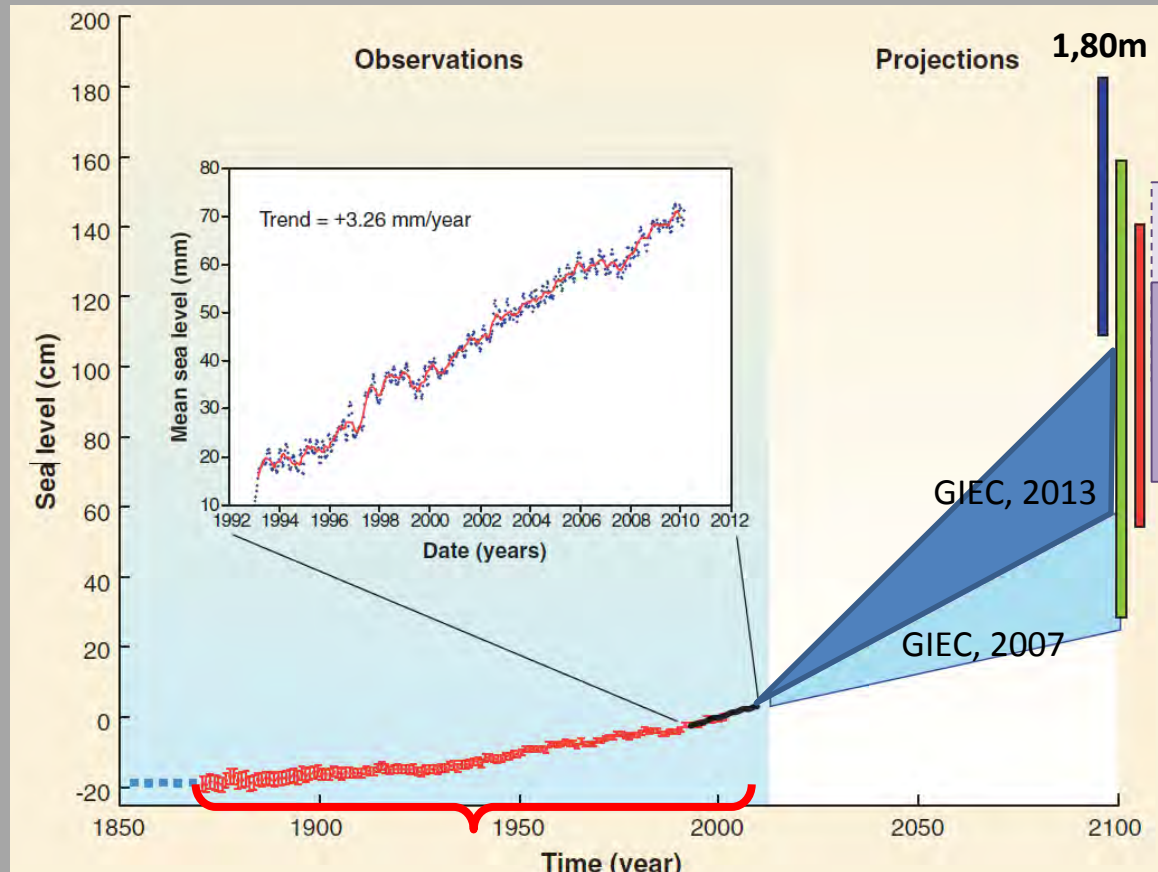
- 1) Hausse du niveau marin relatif
- 2) Hausse des températures hivernales
 - 2a. Augmentation des processus d'érosion liés au gel-dégel et redoux hivernaux
 - 2b. Réduction du couvert de glace
- 3) Augmentation des conséquences des tempêtes hivernales

Modification des paramètres climatiques

- 4) Interventions humaines et déficit sédimentaire des plages



1) Observation historique et projections de hausse du niveau de la mer



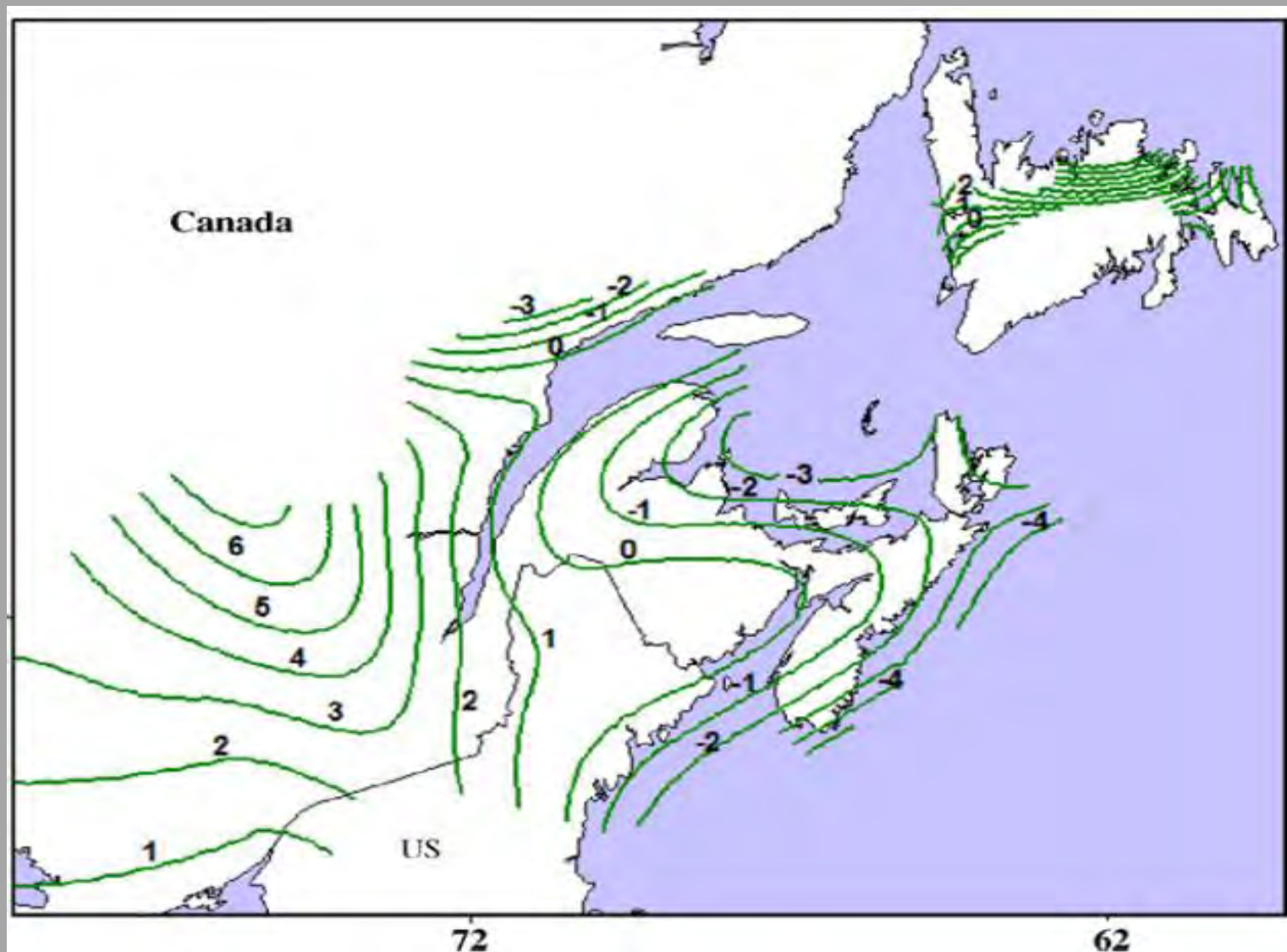
$1.7 \pm 0.2 \text{ mm/y}$ entre 1900 and 2009
(Church et White, 2011)

Modifié de Nicholls et Cazenave, 2010

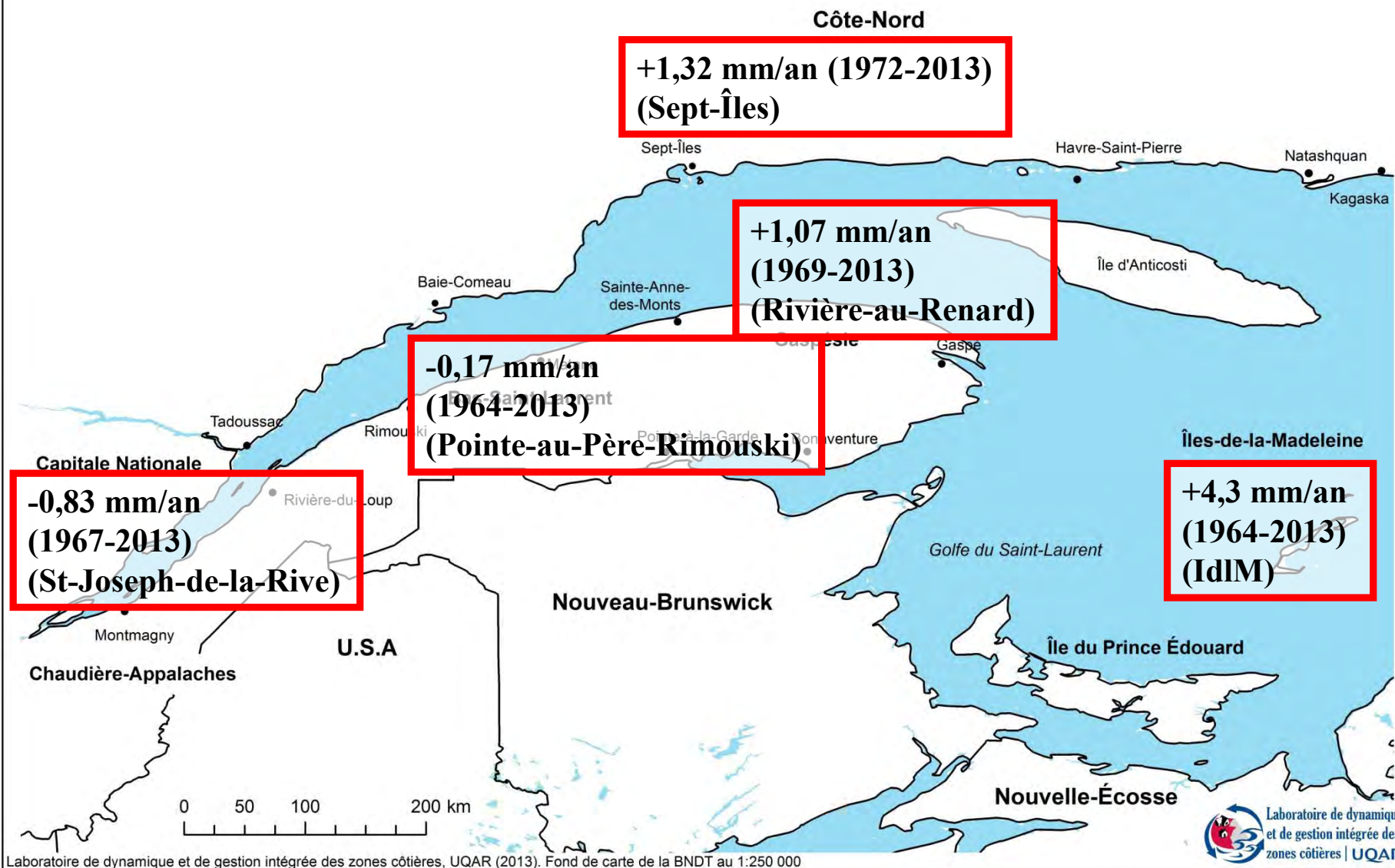
20^e siècle : 1 à 2 mm/an
Dernière décennie : 3 à 3,5 mm/an
Prévisions pour 2100 : 6 à 18 mm/an → soit 0,6 à 1,8 m

À NOTER : Localement
variations croute terrestre !

Variation verticale de la croûte terrestre (mm/an)



Tendances historiques des niveaux d'eau mesurés



1) Hausse du niveau de la mer

Observations



Accélération du niveau marin
dans le sud
du golfe du Saint-Laurent

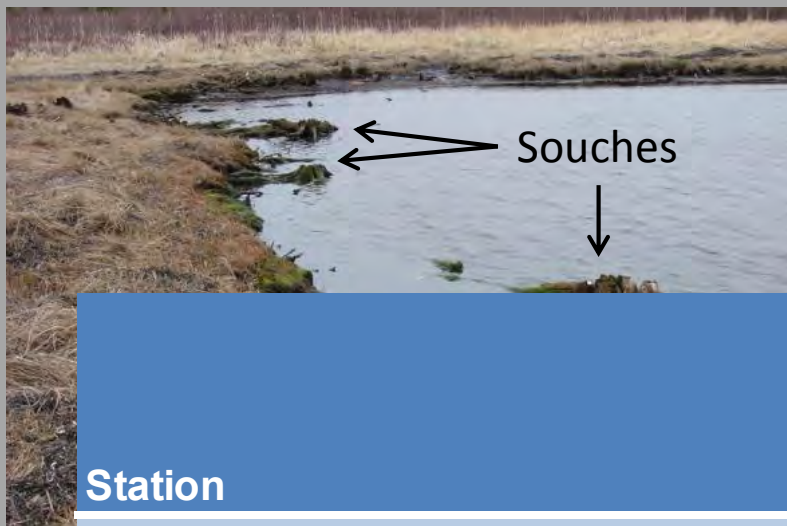
Îles de la Madeleine

- ➡ +16 cm/siècle, dernier 600 ans
- ➡ +35 cm/siècle, dernier siècle
- ➡ +4,3 mm/an
(1964-2013, marégraphe)

Modifié de Juneau, 2012

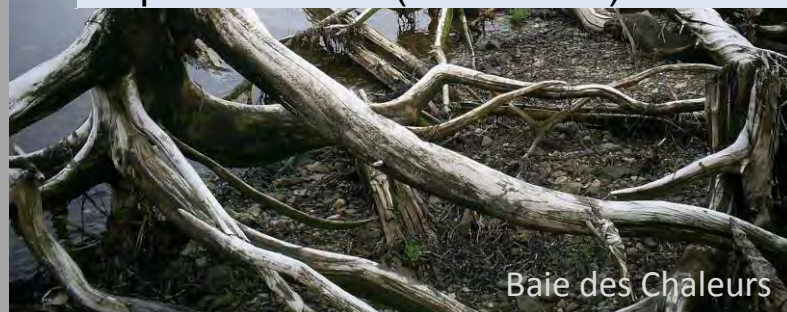
1) Hausse du niveau de la mer

Observations

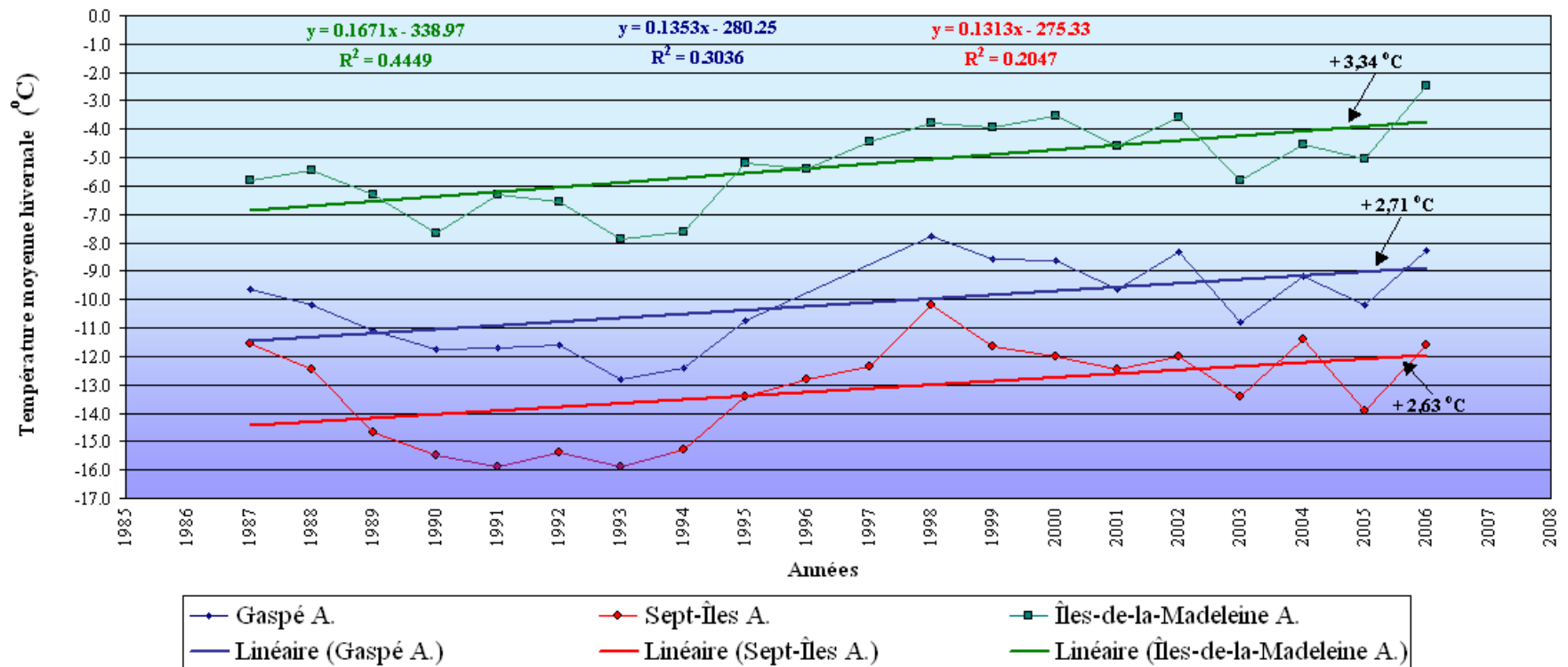


Accélération du niveau marin

Station	Variation du niveau marin (mm/an) historique	Variation du niveau marin (mm/an) 2000-2013
St-Joseph-de-la-Rive (1967-2013)	-0.828	3.96
Sept-Iles (1972-2013)	1.32	1.8
Rimouski/Pointe-au-Père (1964-2013)	-0.168	4.2
Rivière-au-Renard (1969-2013)	1.068	5.64
Belledune (1964-2013)	4.32	6.96
Cap-aux-Meules (1964-2013)	4.32	6.72



2) Hausse des températures hivernales dans l'Est du Québec



2a. Augmentation des processus d'érosion liés au gel-dégel et redoux hivernaux



Formation de coulées boueuses lors de redoux dans les falaises



Gélifraction dans les roches consolidées



2008-12-11 10:00:00 AM T

Influence des redoux hivernaux et rayonnement solaire

-12,5° C



2008-12-11 11:00:00 AM T

-12,2° C



2008-12-11 12:00:00 PM T

-11,9° C



2008-12-11 1:00:00 PM T

-12,2° C



2008-12-11 2:00:00 PM T

-12,8° C



2008-12-11 3:00:00 PM T

-13,5° C



Quantification des processus d'érosion

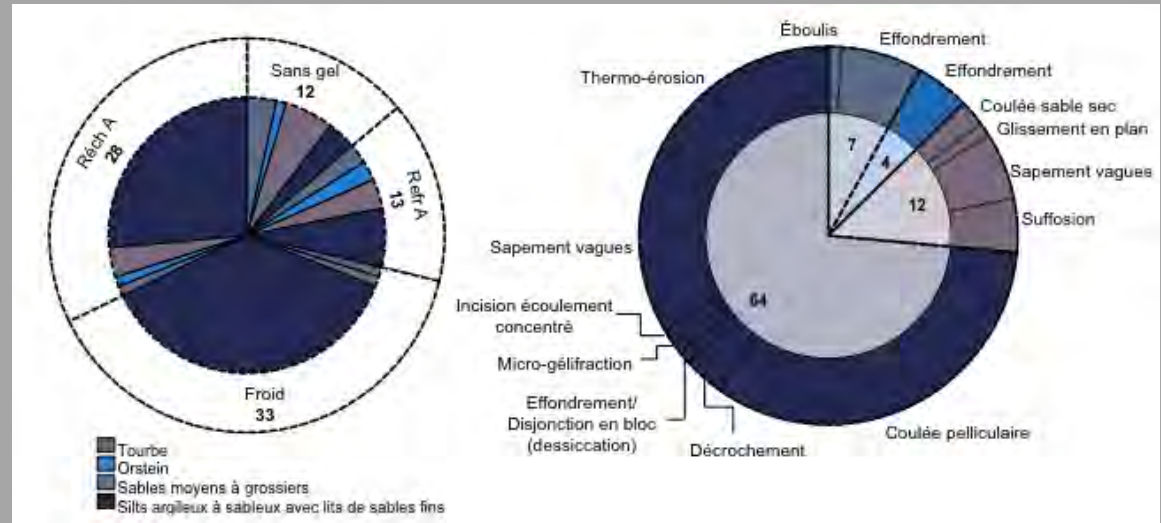
Régimes thermiques/Dynamique saisonnière



Coulées Boueuses
Rivière-Saint-Jean,
14 avril 2007



Gélifraction, dessiccation
Rivière-Saint-Jean,
14 avril 2007



43 à 73 % du recul annuel des falaises de sédiments fins est attribuable aux processus cryogéniques

Vitesse moyenne du recul de la falaise de Rivière-Saint-Jean en hiver (15 décembre-20 avril)

Hiver chaud

Hiver 2006-2007

Hiver normal

Hiver 2007-2008

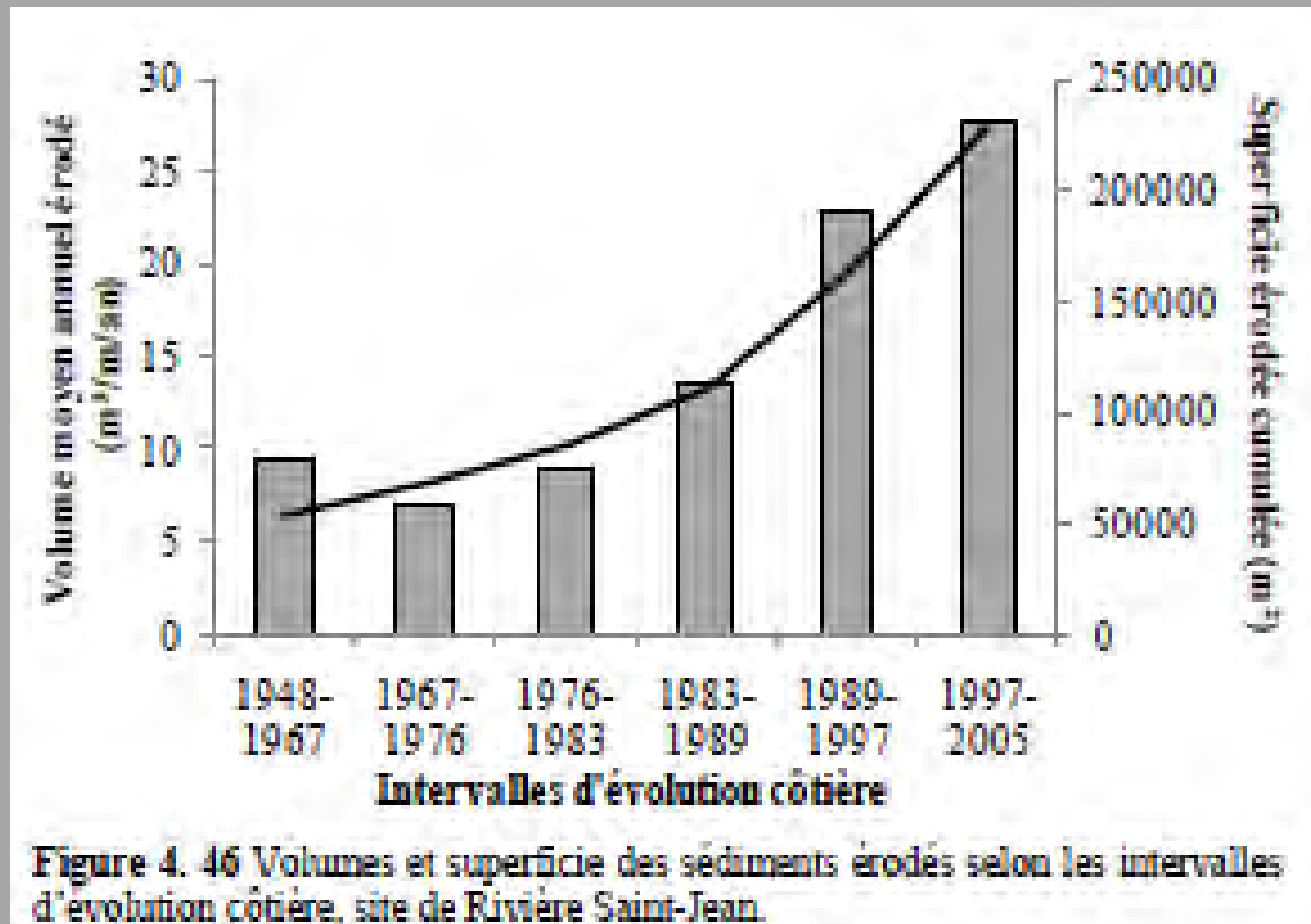
Ensemble des falaises	Min :	0,0 m	0,0 m
	Max :	9,4 m	4,4 m
	Moy.:	3,1 m	1,2 m

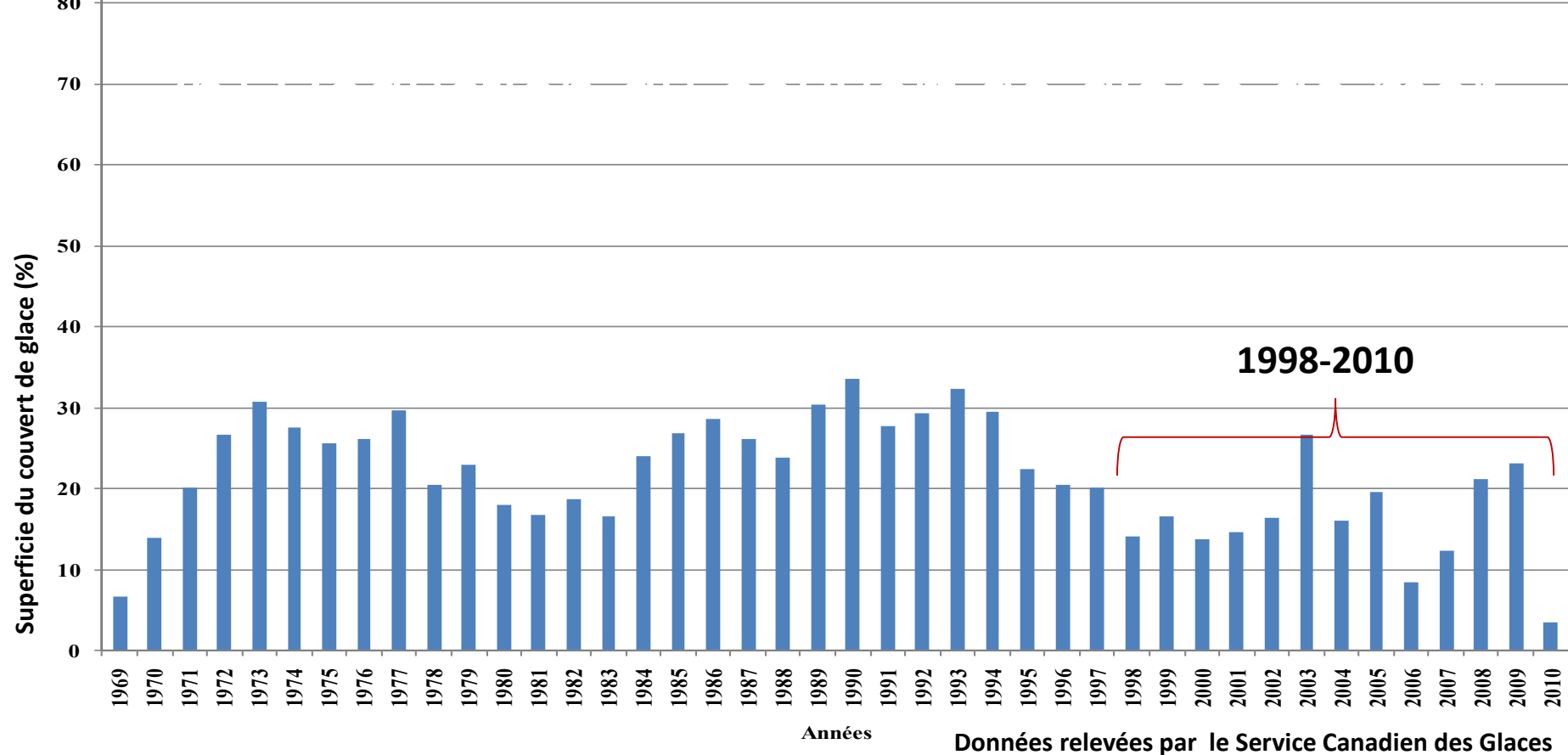
Falaise argileuse	Min :	0,0 m	0,0 m
	Max :	6,5 m	4,4 m
	Moy.:	3,1 m	1,8 m

Basse falaise Sable/argile	Min :	0,0 m	0,0 m
	Max :	9,4 m	1,2 m
	Moy.:	3,5 m	0,4 m

Taux de recul moyen annuel (2000-2007) : 3,7 m

Accélération de l'érosion d'une falaise sur la Côte-Nord





Réduction du nombre de jours avec glace côtière (1981-2010 vs 1941-1970)

Simulation 1981-2070	PDG		PDG COMPLET		PDG PARTIEL	
	Δ (jours)	taux (jours/année)	Δ (jours)	taux (jours/année)	Δ (jours)	taux (jours/année)
AHJ	-41,8	-0,75	-52,2	-0,91	10,4	0,15
AEV bTq	-51,3	-0,88	-53,3	-0,94	2,1	0,06
Moyenne	-46,5	-0,82	-52,8	-0,92	6,2	0,11

3) Augmentation des conséquences des tempêtes hivernales



Conséquences d'une tempête en l'absence de la glace côtière

15 février 2007
Sept-Îles (Val-Marguerite)



**La diminution de la largeur de la glace littorale depuis
au moins 15 ans favorise l'érosion des plages**



**Réflexion des vagues sur
le pied de glace provoquant l'abaissement des plages**

Cordon de poussées glacielles en bordure du littoral



Saint-Siméon, Baie des Chaleurs

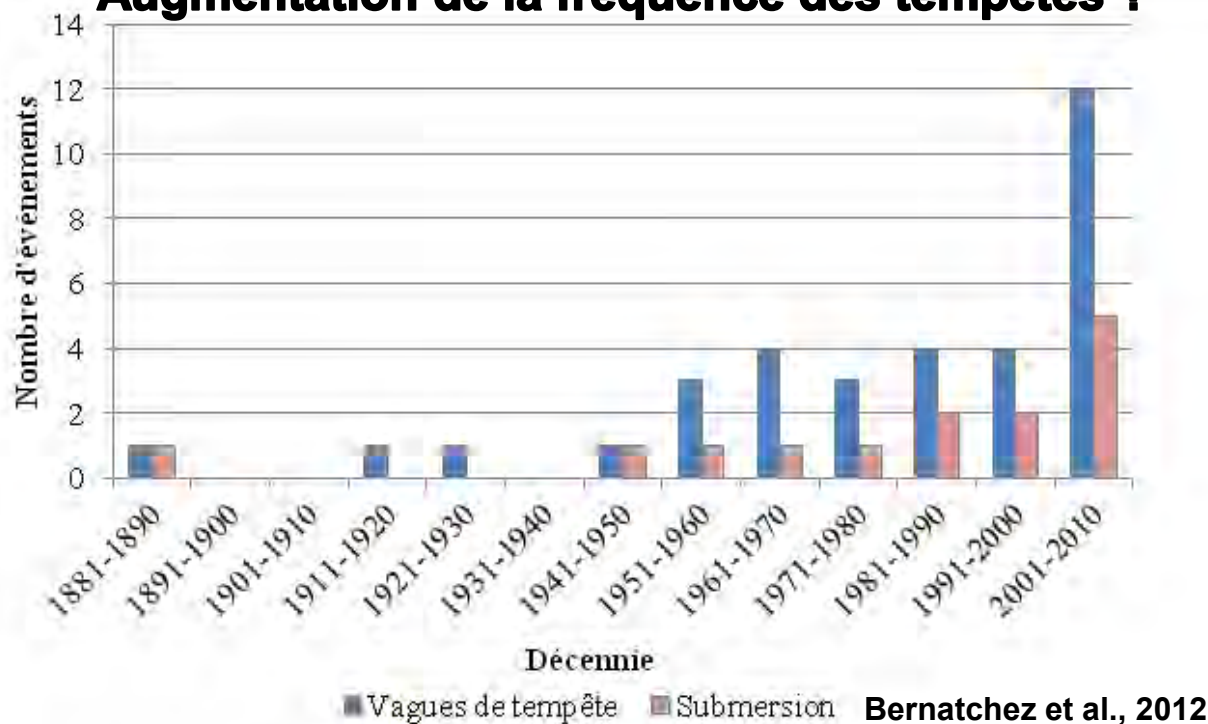


Sept-
Îles

Déferlement de blocs de glace

Nombre d'événements de vagues de tempête et de submersion côtière par décennie qui ont eu des conséquences sur la côte à l'échelle régionale basé sur des archives

Augmentation de la fréquence des tempêtes ?



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

Présenté au ministère de la Sécurité publique du Québec



Principales causes des aléas côtiers

- 1) Hausse du niveau marin relatif
- 2) Hausse des températures hivernales
 - 2a. Augmentation des processus d'érosion liés au gel-dégel et redoux hivernaux
 - 2b. Réduction du couvert de glace
- 3) Augmentation des conséquences des tempêtes hivernales

Modification des paramètres climatiques

- 4) Interventions humaines et déficit sédimentaire des plages



Péninsule de Manicouagan, Côte-Nord

Hausse de l'artificialité

Manicouagan

1931 : 1 %

1965 : 2 %

1996 : 19 %

2000 : 24 %

2003 : 27 %

2006 : 30 %

60 % des falaises enrochées sont entièrement composées de sable = soustraites à l'alimentation potentielle des plages.



Les conséquences : Abaissement et rétrécissement de la plage



Perturbations anthropiques :
ouvrages de protection = réduction importante de la largeur des plages



Réduction:

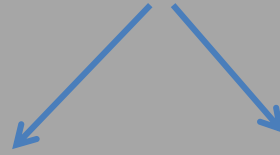
- 84 % (Région de Sept-Îles)
- 71 % (Région de Percé)
- 70 % (Région de Bonaventure - Saint-Siméon)
- 86 % (Îles de la Madeleine)



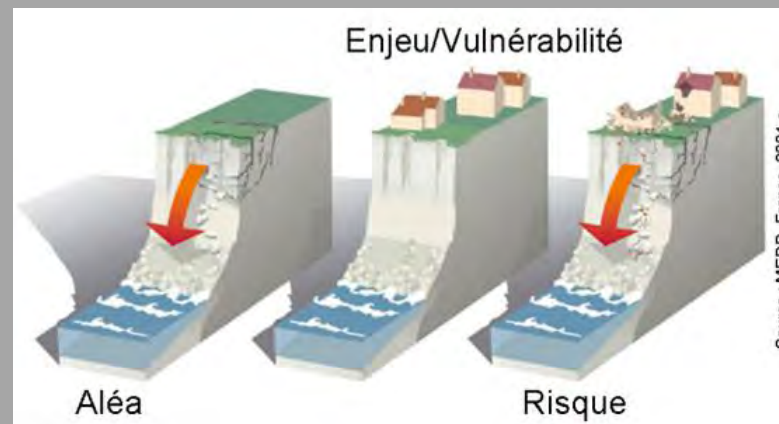
Plan de la présentation

- 1) Principaux enjeux associés aux aléas côtiers
- 2) Bilan de l'érosion/submersion au Québec maritime
- 3) Causes des aléas côtiers
- 4) Perspectives : la recherche en soutien à la gestion et la prévention des risques côtiers

Connaissance et cartographie des aléas côtiers



(A) ÉROSION (B) SUBMERSION



Base de données géoréférencées sur les côtes de l'est du Québec

Georeferenced database of eastern Quebec coastlines

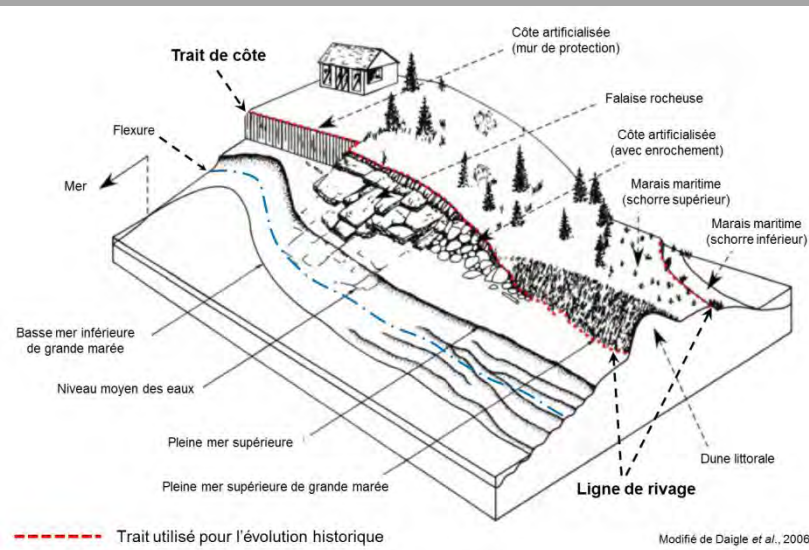
3217 km

- Numérisation de la ligne de rivage/trait de côte
- Caractérisation de la dynamique hydrosédimentaire
- Identification des types de côte, leur niveau d'érosion et localisation des ouvrages de protection defense structures (in 2010)



Connaissance de l'érosion

Stations de mesure de l'érosion du LDGIZC
(environ 5000 dans l'Est du Québec)



SIG (ArcGIS 10) - Lignes de rivage ou Traits de côte

Érosion :

- Bornes d'érosion du LDGIZC (2005-2014)
- Évolution historique (DSAS - Thieler et al., 2009)

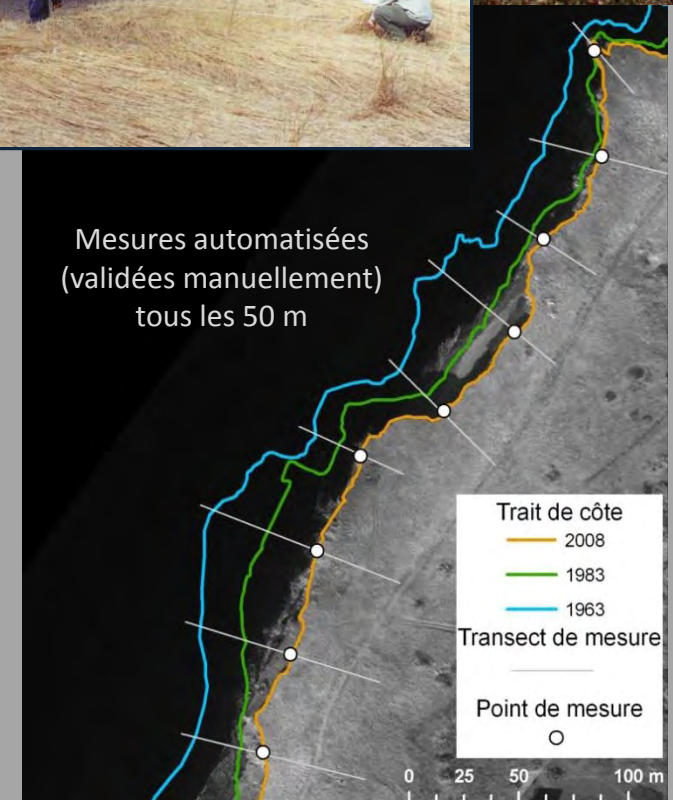
Zones homogènes selon :

- Dynamique hydrosédimentaire
- Type de côte
- Évolution côtière

mesurées
annuellement



Mesures automatisées
(validées manuellement)
tous les 50 m



Élaboration d'outils pour les municipalités et les MRC (cadre d'un processus de gestion des risques avec le ministère de la Sécurité publique du Québec)



Besoins exprimés par les responsables de l'aménagement du territoire lors d'entrevues (15 municipalités, 3 MRC, 2 ministères)

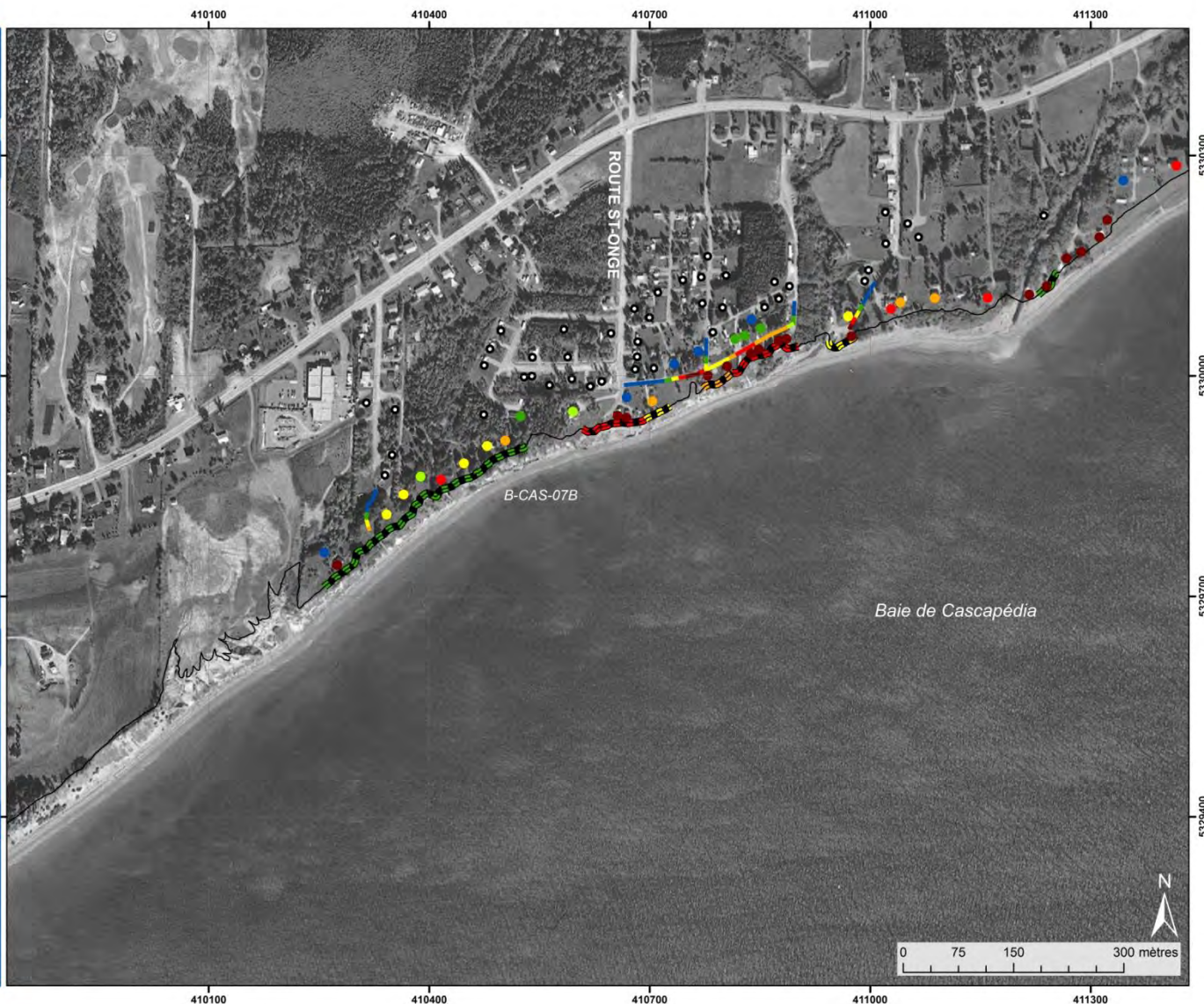
« De quel type d'outil auriez-vous besoin pour faciliter le choix des solutions d'adaptation à l'érosion et à la submersion côtières et pour améliorer la planification du développement du territoire? »

- 1) Outil de référence (cartographie précise de l'évolution de la côte, l'accès à une base de données côtières (sensibilité, vulnérabilité, risque, usages) et l'accès à des études scientifiques concrètes et adaptées au milieu local;
- 2) Outil réglementaire (zonage du risque d'érosion et de submersion);
- 3) Formation et sensibilisation aux intervenants et aux citoyens

Élaboration d'outils pour les municipalités et les MRC



Exemple de carte d'exposition à l'érosion



Exemple de fiche descriptive pour les secteurs problématiques

Secteur 11	À l'est de la plage du village	Caplan	Unité homogène BON-14	Cartes 17, 17-b, 18, 18-b et 19
Infrastructures potentiellement exposées : route 132, chemin de fer, commerce (épicerie), un logement et un cimetière				



Ce secteur comprend la totalité de l'unité homogène BON-14. La côte est constituée d'une falaise de grès friable et le taux probable est de -0,11 m/an. L'absence de plage à plusieurs endroits permet aux vagues d'attaquer le pied de la falaise et favorise la formation d'encoches d'érosion. L'effondrement des surplombs peut créer des reculs soudains. Les décrochements liés aux processus de gel et de dégel sont aussi responsables de l'évolution de cette falaise. La dérive littorale va de l'ouest vers l'est. Deux quais étaient présents entre les années 30 et 60 et ont eu pour effet de former d'étroites terrasses de plage du côté ouest de la structure et de freiner le recul de la falaise derrière. Les terrasses ont rapidement disparues suite au démantèlement des quais et l'érosion de la falaise se poursuit aujourd'hui. Un bâtiment du cimetière est exposé entre 2040 et 2050, mais le reste du cimetière n'est pas exposé d'ici 2100. L'épicerie de Caplan est pour sa part exposée entre 2060 et 2100. La route 132 est exposée à partir de 2020 et principalement entre 2040 et 2100. Toute la zone exposée est protégée par un enrochement en bon état à la base de la falaise et par un mur de soutien en bon état en haut de la falaise sur certaines portions. L'entretien des protections permettra de limiter l'exposition dans le futur. Le chemin de fer est exposé sur deux sections d'environ 500 m. Ces sections sont principalement exposées à partir de 2050. Seulement un tronçon de 30 m est exposé à partir de 2020 et quelques dizaines de mètres sont exposées entre 2020 et 2050.

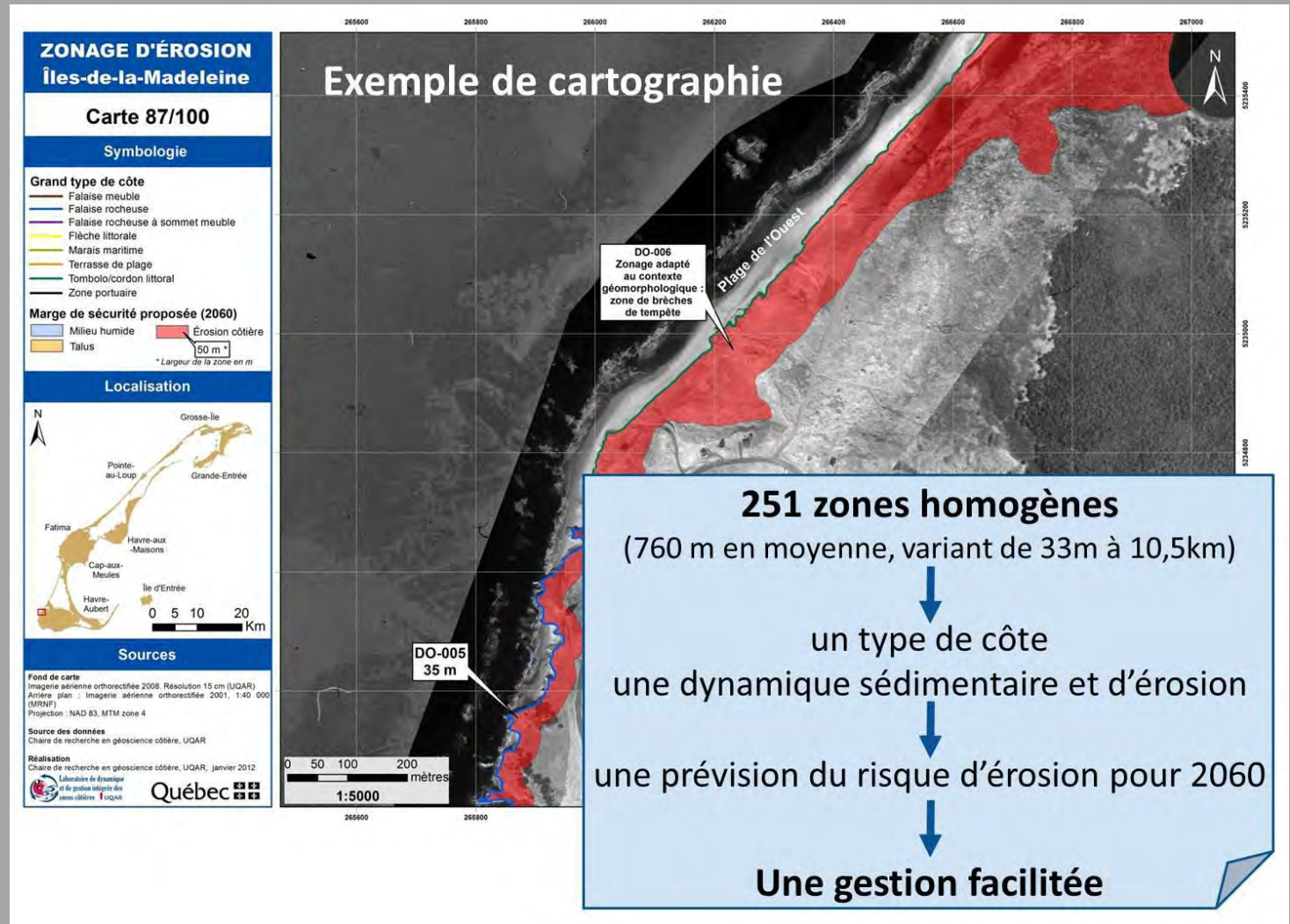


Besoins exprimés par les responsables de l'aménagement

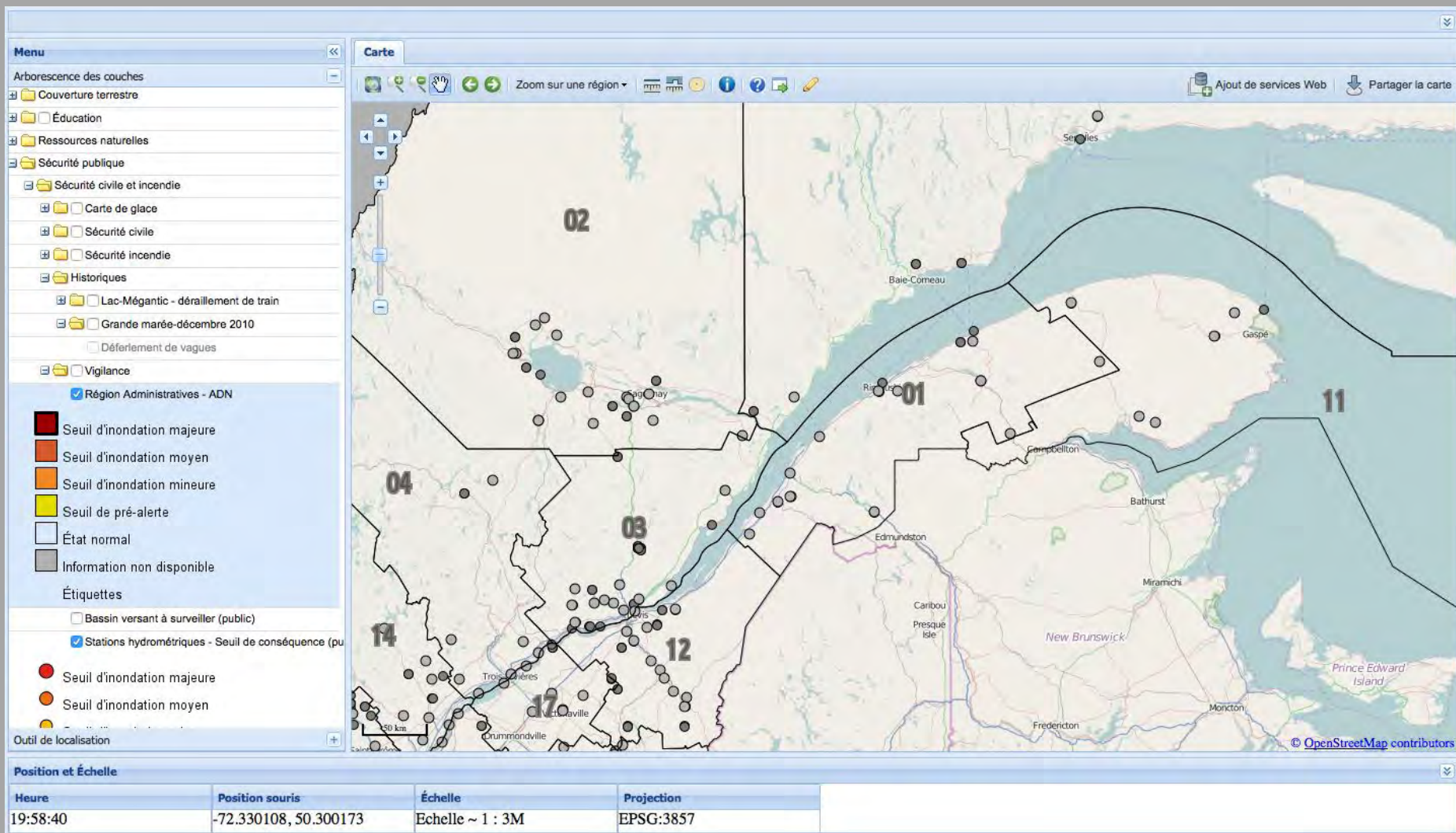
A quoi peut servir un outil sur l'exposition des infrastructures?

- 1) Planification du développement
- 2) Information et sensibilisation
- 3) Aide pour l'élaboration et l'application de la réglementation
- 4) Identification des secteurs prioritaires d'intervention = solutions d'adaptation

GESTION PRÉVENTIVE en collaboration avec le MSP



Intégration des connaissances dans le géoportail Web du ministère de la Sécurité publique du Québec



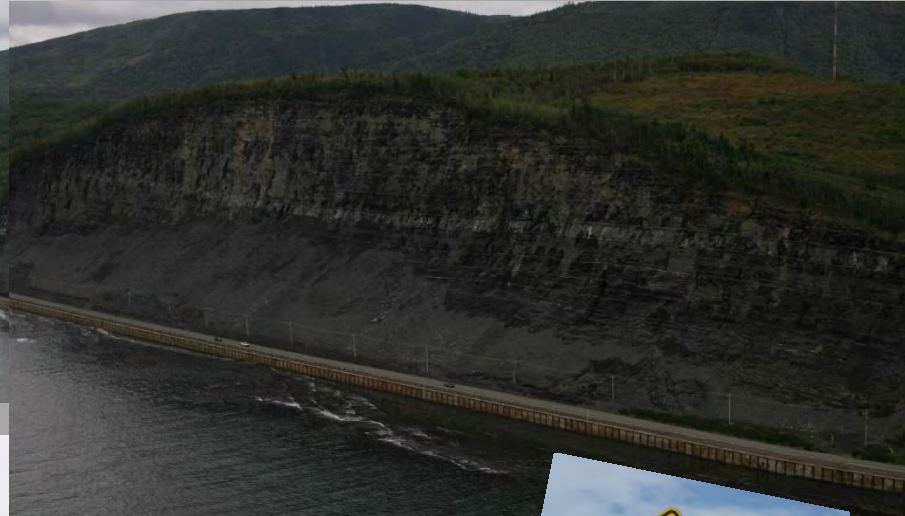
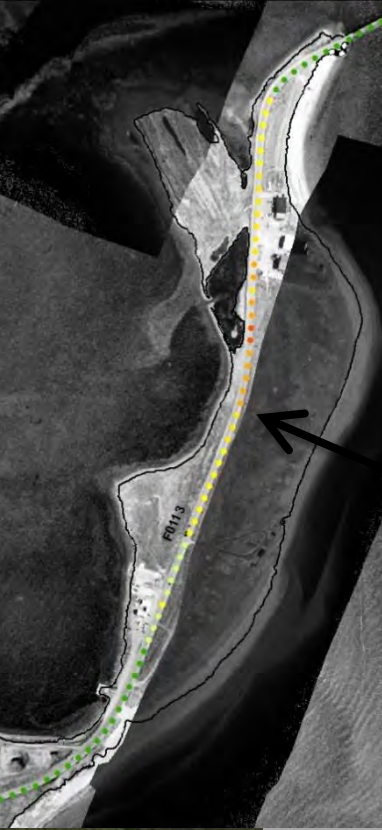


Utilisation des données des réseaux de suivi

- 1) Suivi des infrastructures par les conseillers en sécurité civile du MSP;
- 2) Élaboration des avis géomorphologiques (techniques, avis d'imminence) pour le MSP
- 3) Suivi des tronçons routiers pour le MTQ;
- 4) Analyse et mise en oeuvre de solutions (firmes privées, consultants, MTQ, MSP, comités ZIP, attention fragile, comités côtiers);
- 5) Évaluation environnementale et analyse de projets en zone côtière (MDDEFP)
- 6) Évaluation de la vulnérabilité des infrastructures (MSP, MTQ, Hydro-Québec, AADNC, Parcs Canada)

Évaluation de l'exposition et de la vulnérabilité des infrastructures routières : Élaboration d'outils de gestion

Transports
Québec



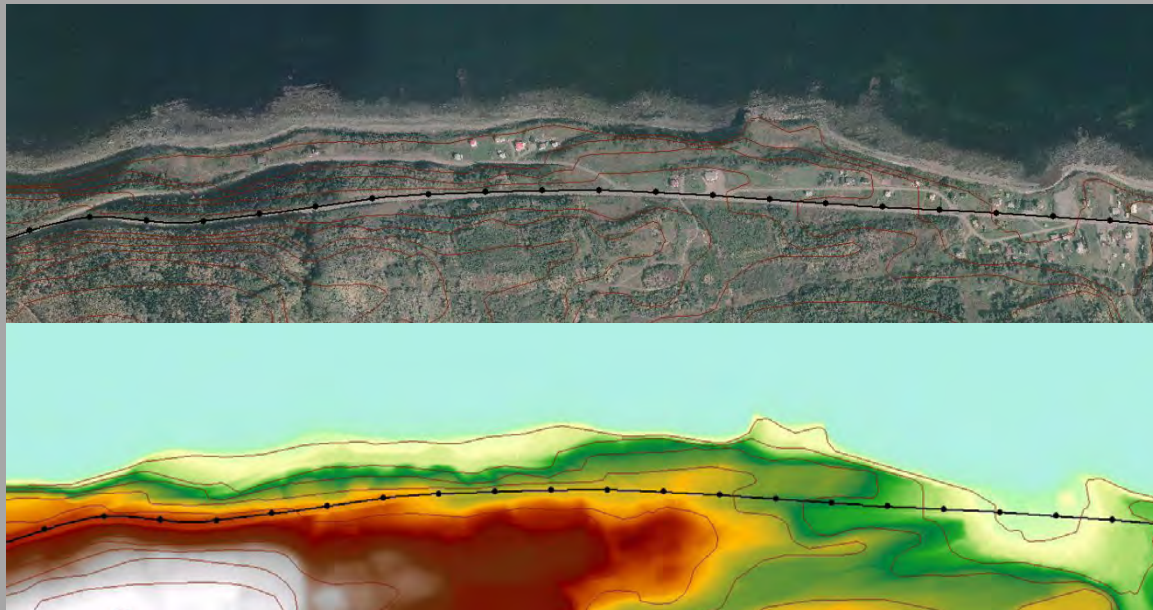
Base de données sur les routes

Distance entre la route et la côte :

- Avec l'outil « *Near analysis* » de ArcGIS
- Jusqu'à 500 m de la côte
- Validation manuelle

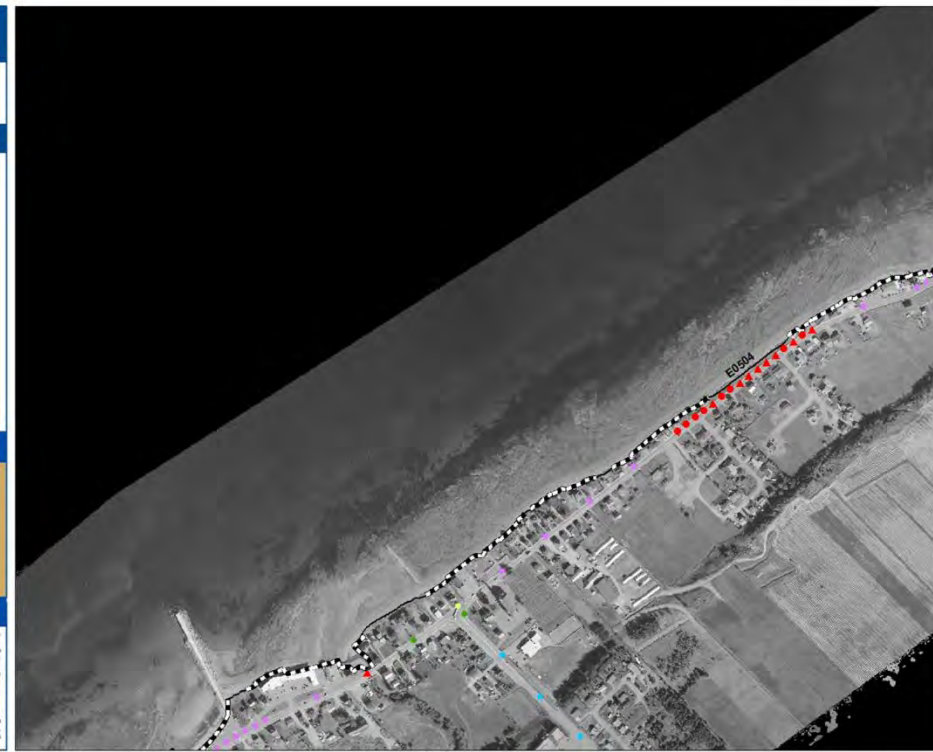
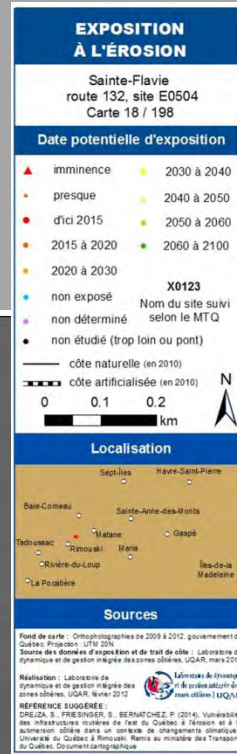
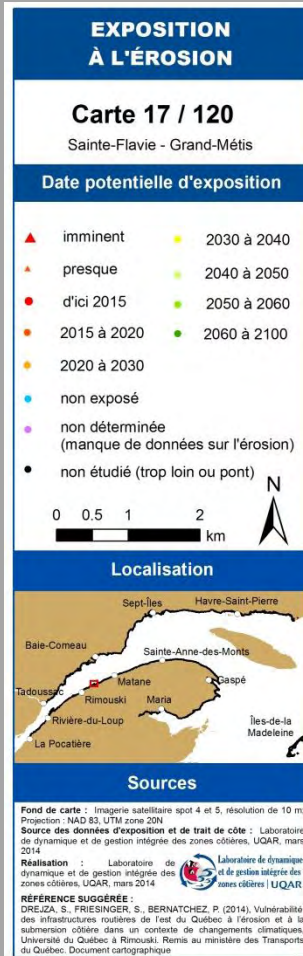
	Longueur des routes (km) à moins de... <i>Length of roads (km) at less than...</i>				Région	Nombre de points	
	500 m	100 m	50 m	15 m		100 m	20 m
Région					Îles-de-la-Madeleine	1076	1614
Gaspésie	496.0	244.6	155.3	83.8	Côte-Nord	8749	4222
Bas-Saint-Laurent	273.1	110.0	66.4	15.3	Gaspésie	6207	3924
Côte-Nord	410.7	108.3	43.0	10.9	Bas-Saint-Laurent	6414	1509
Îles-de-la-Madeleine	62.5	16.9	9.8	2.4	TOTAL Est du Québec	22446	11269
Est du Québec	1242.3	479.8	274.5	112.4		33715	

Élévation de la route à l'aide de LiDAR :



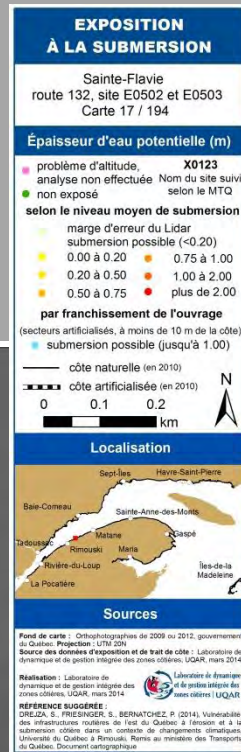
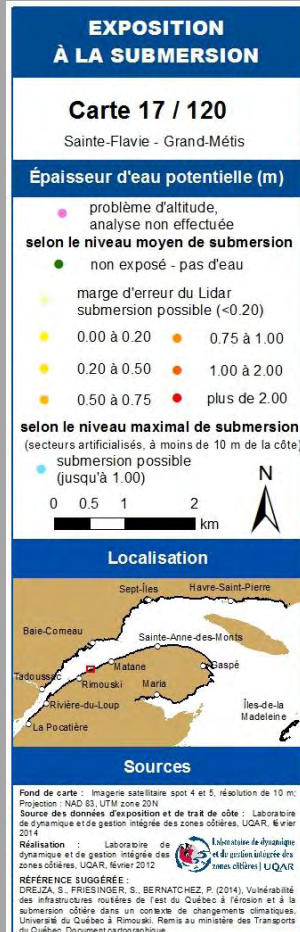
Exposition des routes à l'érosion

120 cartes générales
198 cartes détaillées
pour les secteurs
suivis



Exposition des routes à la submersion basée sur les cotes mesurées lors de la tempête de décembre 2010

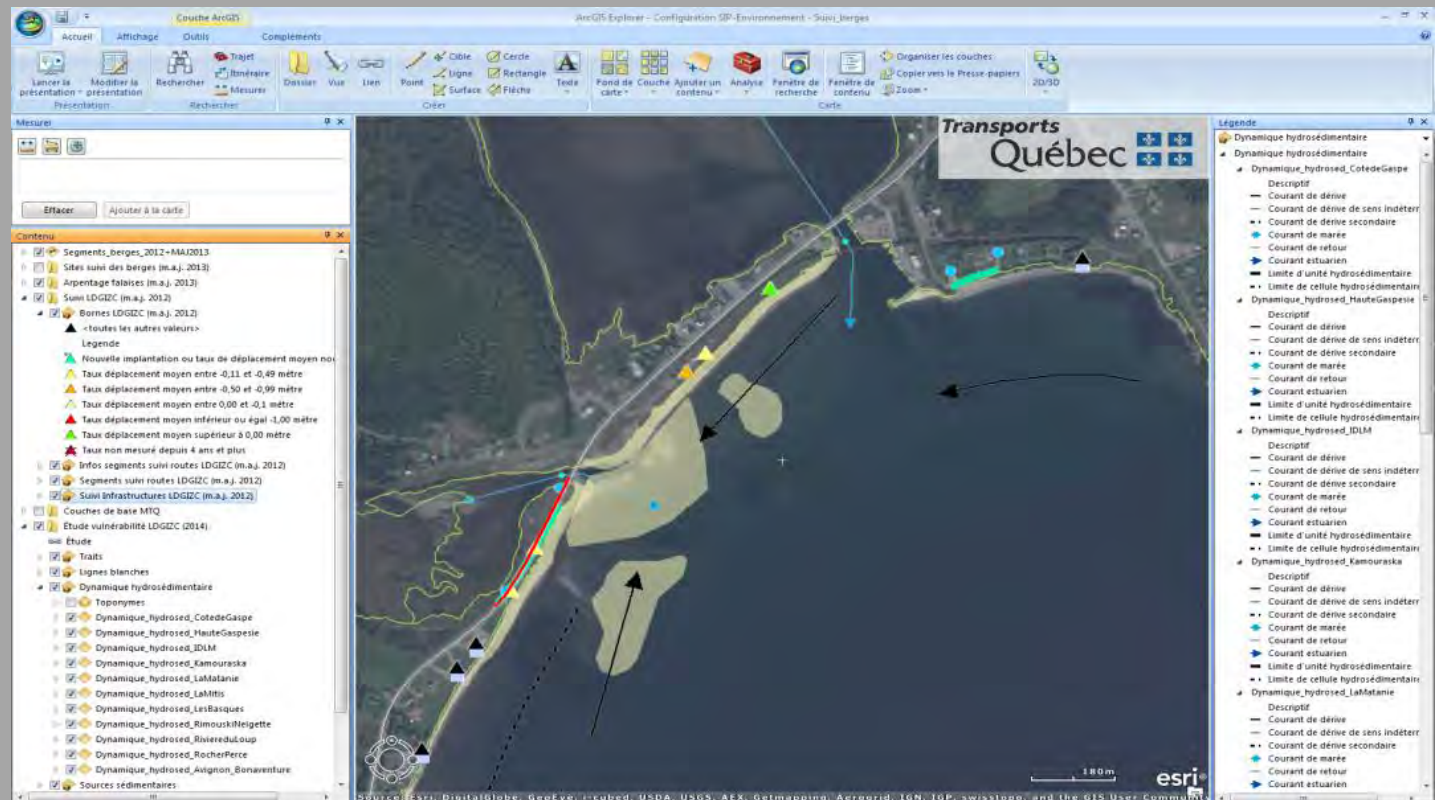
120 cartes générales
198 cartes détaillées
pour les secteurs
suivis



Maria - 6 Decembre 2010 - © Stephane Montmagny

Intégration des résultats dans le portail Web du MTQ

- Vue d'ensemble de la situation des routes de l'est du Québec vis-à-vis des risques côtiers d'érosion et de submersion
- Outil permettant d'évaluer la vulnérabilité selon différents horizons :
 - anticiper la gestion
 - prioriser les solutions d'adaptation



Conclusion à venir ...

1. Améliorer nos connaissances sur la submersion côtière



Mesurer le climat des vagues près de la côte avec
des instruments



Reconstituer les variations du niveau de la mer et
faire des projections de hausse à l'échelle
régionale



Mettre au point une approche pour modéliser et
cartographier le risque de submersion

Conclusion

à venir ...

2. Poursuivre la modélisation des effets des changements climatiques sur l'érosion des côtes

3. Mettre au point des approches pour évaluer la vulnérabilité des collectivités côtières aux aléas côtiers en concertation ;

Conclusion à venir ...

4. Contribuer à l'analyse de solutions d'adaptation = transfert des connaissances

5. Contribuer à la formation en gestion et prévention des risques naturels



MERCI !

