

**Impacts de la tempête du 6 décembre 2010
sur les côtes du
Bas-Saint-Laurent et de la baie des Chaleurs**

Rapport d'analyse : volume I

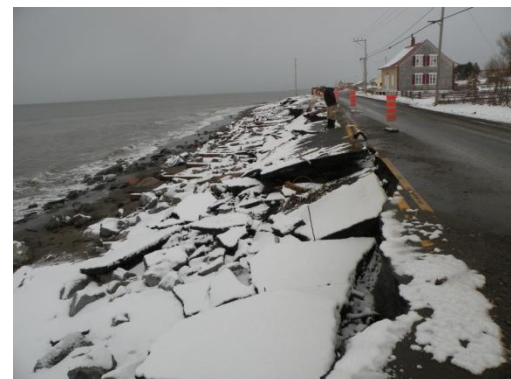
Présenté au ministère de la Sécurité publique du Québec

**CHAIRE DE RECHERCHE
EN GÉOSCIENCE CÔTIÈRE**



UQAR

Février 2013



Équipe de recherche

Bernatchez Pascal, Ph.D. Professeur-chercheur

Relevé hélicoptéré, analyse et rédaction

Didier David, Candidat à la maîtrise, Auxiliaire de recherche

Relevé sur le terrain, analyse de la submersion

Dugas Steeve, B.Sc, Professionnel de recherche

Numérisation, statistique et cartographie du déplacement de la ligne de rivage et du trait de côte (2009-2012)

Drejza Susan, M.Sc., Professionnelle de recherche

Relevé sur le terrain, analyse

Fraser Christian, M.Sc, Professionnel de recherche

Relevé sur le terrain

Guèvremont Roch, B.Sc, Professionnel de recherche

Relevé sur le terrain, analyse

Jolivet Yvon, M.Sc, Professionnel de recherche

Analyse des données climatiques, rédaction

Lacombe David, B.Sc, Assistant de recherche

Traitement des données LiDAR

Marie Guillaume, Ph.D. Professeur-chercheur

Numérisation de la ligne de rivage et du trait de côte de 2009

Quintin Chantal, M.Sc, Professionnelle de recherche

Relevé sur le terrain, analyse et rédaction

Roy Marie-Andrée, B.Sc, Technicienne en géomatique

Cartographie

Toubal Tarik, M.Sc, Professionnel de recherche

Relevé sur le terrain

Remerciements

Les auteurs désirent remercier les collaborateurs suivant : L'expertise de la Sécurité publique du Québec, la direction régionale de la Sécurité civile du Bas-Saint-Laurent, Gaspésie, Îles-de-la-Madeleine, le Centre d'expertise hydrique du Québec, les municipalités et MRC de la région du Bas-Saint-Laurent et de la Gaspésie-Îles-de-la-Madeleine.

Référence complète

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

Table des matières

Liste des figures	v
Liste des tableaux	vii
1. Introduction	1
2. Description de le tempête du 6 décembre 2010	2
2.1. Trajectoire	3
2.2. Analyse des paramètres météorologiques	6
2.3. Niveaux d'eau et surcotes	10
3. Méthodologie	12
3.1. Matériel et méthode	12
3.2. Cartographie et analyse des aléas	14
3.3. Évolution de la ligne de rivage et du trait de côte entre 2009 et 2012	21
4. Analyse de l'érosion et de la submersion côtière et de leurs impacts sur le cadre bâti	23
4.1. Érosion	23
4.2. Submersion	26
4.3. Impact des aléas sur le cadre bâti	29
5. Analyse du déplacement de la ligne de rivage et du trait de côte entre 2009 et 2012.....	36
6. Conclusion	40
7. Références.....	41

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Variation horaire de la pression atmosphérique et des niveaux d'eau à la station de Rimouski entre le 1 et le 31 décembre 2010.	2
Figure 2. Trajectoires normales des tempêtes en janvier. Dépressions des Grands Lacs (A), dépressions du Cap Hatteras (B), dépressions du golfe du Mexique (C).	3
Figure 3. Photographie satellitaire composite illustrant la trajectoire de la tempête du 6 décembre 2010.	4
Figure 4. Carte météorologique du continent nord-américain montrant les champs de basses et hautes pressions atmosphériques de surface le 6 décembre 2010 à 15 heures UTC.	4
Figure 5. Carte des pressions barométriques de la direction et force des vents en surface pour le 6 décembre 2010 à 18 heures UTC.	5
Figure 6. Variations de la température moyenne journalière et des précipitations totales du 1er au 10 décembre 2010 à trois stations du Québec maritime.	6
Figure 7. Pression barométrique de quatre stations de la rive sud du Saint-Laurent et de la baie des Chaleurs du 5 au 7 décembre 2010.	8
Figure 8. Vitesses horaires des vents pour quatre stations météorologiques de la rive sud du Saint-Laurent et de la baie des Chaleurs lors de la tempête du 6 décembre 2010.	9
Figure 9. Vitesses des rafales de vent pour quatre stations de la rive sud du Saint-Laurent et de la baie des Chaleurs lors de la tempête du 6 décembre 2010.	9
Figure 10. Directions horaires des vents de surface pour quatre stations de la rive sud du Saint-Laurent et de la baie des Chaleurs lors de la tempête du 6 décembre 2010.	10
Figure 11. Niveau d'eau observé et prédit à la station marégraphique de Rivière-au-Renard du 5 au 11 décembre 2010.	11
Figure 12. Niveau d'eau observé et prédit à la station marégraphique de Rimouski du 5 au 11 décembre 2010.	11
Figure 13. Niveau d'eau observé et prédit à la station marégraphique de Belledune (N-B) du 5 au 11 décembre 2010.	11
Figure 14. Relevé sur le terrain à l'aide des piquets repères du suivi de l'érosion côtière.	13
Figure 15. Relevé sur le terrain de niveaux d'eau atteints lors de la tempête du 6 décembre 2010.	13
Figure 16. Relevé sur le terrain afin de documenter les dommages sur le cadre bâti occasionnés par la tempête du 6 décembre 2010.	14
Figure 17. Limite de la cartographie de la surface inondée.	16
Figure 18. Secteur de déferlement sévère identifié par la présence de gros débris laissés par les vagues lors de la tempête du 6 décembre 2010.	16
Figure 19. Niveau d'impact des aléas sur les infrastructures routières. Impact faible à modéré (A) et impact sévère (B).	18
Figure 20. Niveau d'impact des aléas sur les propriétés. Impact faible à modéré (A) et impact sévère (B).	18

Figure 21. Reculs événementiels enregistrés sur les côtes étudiées de la région du Bas-Saint-Laurent et de la Gaspésie-Îles-de-la-Madeleine suite au passage de la tempête du 6 décembre 2010.	24
Figure 22. L'aléa érosion suite au passage de la tempête du 6 décembre 2010 sur les côtes artificielles. Effet de bout (A), abaissement de plage (B) et formation d'une microfalaise active (C).	26
Figure 23. Influence des structures de protection sur l'agitation marine. Vague de forte énergie devant muret (A) et devant un enrochement (B).	28
Figure 24. Impacts de la tempête du 6 décembre 2010 sur le cadre bâti.	30
Figure 25. Somme du nombre de propriétés vulnérables aux aléas côtiers (%) par municipalités selon le niveau d'impact associé au passage de la tempête du 6 décembre 2010.	32
Figure 26. Somme de la longueur de l'état de l'artificialité (en %) avant et après le passage de la tempête du 6 décembre 2010 pour l'ensemble des municipalités étudiées.....	35
Figure 27. Somme de la longueur de l'état de l'artificialité (en %) par municipalité avant (A) et après (B) le passage de la tempête du 6 décembre 2010.	35
Figure 28. Dommages observés aux structure de protection suite au passage de la tempête du 6 décembre 2010.	35
Figure 29. Proportion du nombre de mesures indiquant l'érosion, l'accumulation et aucun recul calculée entre 2009 et 2012 pour les secteurs mesurés sur le terrain suite au passage de la tempête du 6 décembre 2010.	37
Figure 30. Proportion du nombre de mesures indiquant l'érosion, l'accumulation et aucun recul de la ligne de rivage (A) et du trait de côte (B) calculé entre 2009 et 2012 pour l'ensemble du territoire entre rimouski et Sainte-Anne-des-Monts.	39
Figure 31. État de la falaise avant (A) et après (B) le passage de la tempête du 6 décembre 2010.	39

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Données météorologiques et de niveaux d'eau de la rive sud du Saint-Laurent et de la Baie des Chaleurs lors de la tempête du 6 décembre 2010.....	7
Tableau 2. Description des catégories des reculs événementiels enregistrés.....	15
Tableau 3. Catégorie des niveaux d'impact des aléas sur le cadre bâti.....	17
Tableau 4. Critères des catégories de l'état des structures de protection.....	20
Tableau 5. Reculs enregistrés selon les municipalités de la région du Bas-Saint-Laurent et de la Gaspésie-Îles-de-la-Madeleine.....	24
Tableau 6. Recul enregistré selon la présence et l'absence de structure de protection.....	25
Tableau 7. Niveau d'eau atteint lors du passage de la tempête du 6 décembre 2010.....	27
Tableau 8. Niveau d'eau atteint en présence et absence de structure de protection.....	28
Tableau 9. Longueur totale de tronçons routiers vulnérables aux aléas côtiers (%) par municipalités selon le niveau d'impact suite au passage de la tempête du 6 décembre 2010.....	31
Tableau 10. Propriétés vulnérables aux aléas côtiers ayant eu un impact lors de la tempête du 6 décembre 2010.....	32
Tableau 11. Somme de la longueur de l'état de l'artificialité (en %) avant et après le passage de la tempête du 6 décembre 2010 par municipalité.....	34
Tableau 12. Déplacement de la ligne de rivage et nombre de mesures indiquant l'érosion, l'accumulation et aucun recul entre 2009 et 2012 pour les secteurs mesurés sur le terrain suite au passage de la tempête du 6 décembre 2010.....	36
Tableau 13. Déplacement de la ligne de rivage et du trait de côte calculé entre 2009 et 2012 pour l'ensemble du territoire entre Rimouski et Saint-Anne-des-monts.....	38
Tableau 14. Nombre de mesures indiquant l'érosion, l'accumulation et à aucun recul de la ligne de rivage et du trait de côte calculé entre 2009 et 2012 pour l'ensemble du territoire entre Rimouski et Sainte-Anne-des-Monts.....	38

1. INTRODUCTION

Le 6 décembre 2010, une tempête a provoqué des dommages majeurs aux infrastructures côtières. Plus précisément ces dommages ont été relevés dans les régions situées sur la rive sud de l'estuaire maritime du Saint-Laurent et la rive nord de la baie des Chaleurs. Suite à cet événement, l'équipe de la Chaire de recherche en géoscience côtière et du Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières (LDGIZC) de l'Université du Québec à Rimouski (UQAR), s'est mobilisée pour évaluer l'état des secteurs de la zone côtière lourdement affectés. Rapidement les équipes de terrain ont pu constater l'ampleur des dégâts dans les zones habitées.

À la suite de ces constats, le ministère de la Sécurité publique du Québec a mandaté l'Université du Québec à Rimouski afin de mettre à jour le trait de côte pour les côtes de dépôts meubles du Bas-Saint-Laurent (à l'est de Rimouski) et de la Gaspésie. Ce mandat a permis à l'équipe de procéder à une analyse des impacts de la tempête sur les territoires les plus gravement affectés notamment la région du Bas-Saint-Laurent et la rive nord de la baie des Chaleurs.

Ce rapport présente dans un premier temps les conditions météorologiques synoptiques au moment de la tempête du 6 décembre 2010. Par la suite, une analyse des reculs de la côte et des niveaux d'eau réellement atteints par la submersion côtière mesurés immédiatement après la tempête est présentée. Les impacts de la conjugaison de l'érosion et de la submersion sur le cadre bâti sont ensuite évalués.

Enfin, une analyse du déplacement de la ligne de rivage et du trait de côte entre 2009 et 2012 permet d'évaluer le réajustement de la côte à la suite de la tempête du 6 décembre 2010. Ce rapport d'analyse (volume I) est accompagné d'un recueil cartographique (volume II) qui présente les principaux résultats de cette étude et permet d'illustrer la variabilité spatiale de l'intensité des aléas et de leurs impacts.

2. DESCRIPTION DE LE TEMPÊTE DU 6 DÉCEMBRE 2010

La tempête du 6 décembre 2010 a été particulièrement dévastatrice pour les régions situées sur la rive sud de l'estuaire maritime du Saint-Laurent et la rive nord de la baie des Chaleurs. Sa trajectoire particulière nord-nord-ouest à partir de la Nouvelle-Écosse, une pression barométrique très basse jumelée à de forts vents de l'est en conjonction avec une marée haute a contribué à causer des dommages très importants le long du littoral.

Bien que trois systèmes dépressionnaires d'importance aient balayé l'est du Québec entre le 1er et le 31 décembre 2010, celui du 6 décembre présente la pression la plus basse, la surcote et le niveau d'eau mesuré les plus élevés (Figure 1). Sur la figure 1, les dépressions du 14 et 21 décembre sont visibles, mais n'ont pas engendré une surcote aussi importante ni de dommages côtiers aussi considérables que la tempête du 6 décembre pour les régions situées dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent. Mentionnons toutefois que la tempête du 21 décembre a tout de même eu des impacts importants aux Îles-de-la-Madeleine (Bernatchez *et al.*, 2012).

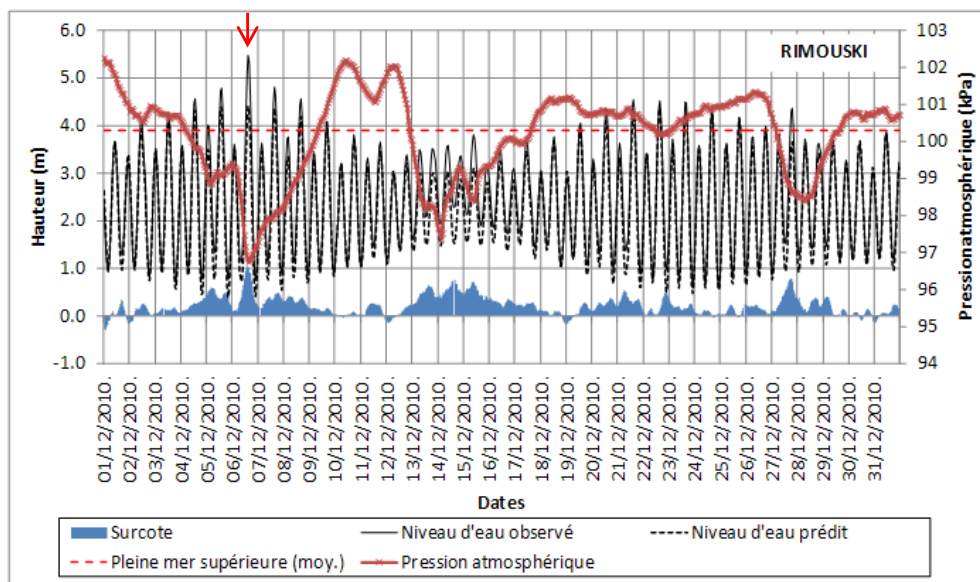


FIGURE 1. VARIATION HORAIRE DE LA PRESSION ATMOSPHÉRIQUE ET DES NIVEAUX D'EAU À LA STATION DE RIMOUSKI ENTRE LE 1 ET LE 31 DÉCEMBRE 2010.

L'analyse qui suit s'intéresse donc essentiellement à la tempête du 6 décembre 2010. Pour ce faire, des images satellitaires ainsi que des cartes synoptiques ont été répertoriées afin d'illustrer de façon globale l'évènement. Aussi, des données météorologiques enregistrées à quatre stations climatiques d'Environnement Canada (Mont-Joli, Cap-Chat, Gaspé et New Carlisle), permettent de rendre compte des variations de certains paramètres météorologiques durant l'évènement de tempête.

Les données de niveau d'eau proviennent de la station marégraphique de Rimouski au Bas-Saint-Laurent et de Rivière-au-Renard en Gaspésie. Puisqu'il n'existe pas de données de niveau d'eau pour la rive nord de la baie des Chaleurs, les données à la station marégraphique de Belledune au Nouveau-Brunswick ont été utilisées afin d'illustrer l'amplitude de la surcote pour cette région.

2.1. Trajectoire

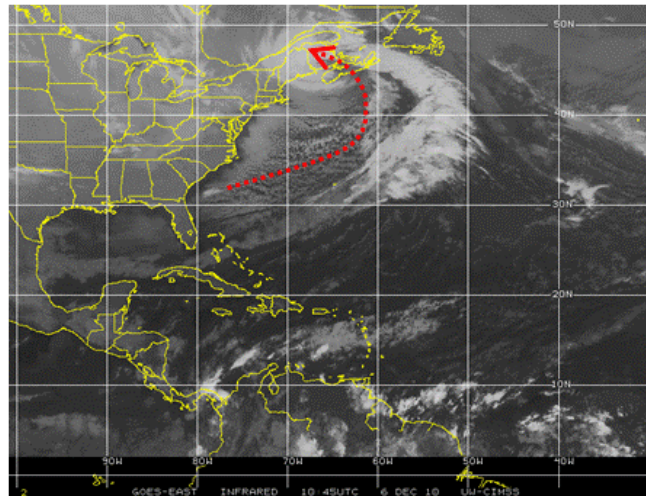
Le système dépressionnaire du 6 décembre a pris naissance près de la côte est Américaine. Ces dépressions dites de Cap Hatteras se développent entre le New Jersey et la Georgie et se manifestent surtout durant la période de septembre à mai alors que le front polaire, en provenance du centre du Canada, apporte de l'air froid sur les eaux chaudes du Golfe Stream (NOAA, 2012a). La formation de ce type de système météorologique résulte du contraste thermique élevé entre le continent et la surface d'eau libre qui génère une forte instabilité de la masse d'air par sa base. La trajectoire de ce type de dépression suit normalement une direction nord-est (Figure 2). Elle gagne souvent en force à l'approche des provinces maritimes pour finalement se désorganiser sur les eaux froides de l'Atlantique Nord. Les dépressions originaires de Cap Hatteras ne deviennent pas nécessairement des tempêtes majeures, mais selon la conjoncture climatique prévalant sur l'Atlantique Nord, elles ont parfois un potentiel élevé en force de vent et en précipitation.



Source : Robichaud, 2001.

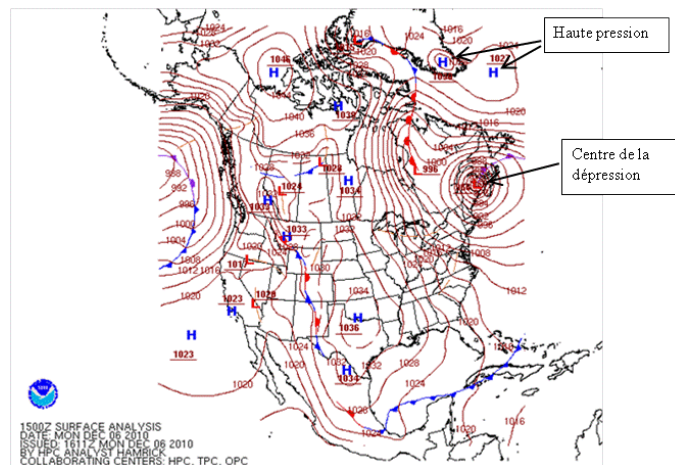
FIGURE 2. TRAJECTOIRES NORMALES DES TEMPÊTES EN JANVIER. DÉPRESSIONS DES GRANDS LACS (A), DÉPRESSIONS DU CAP HATTERAS (B), DÉPRESSIONS DU GOLFE DU MEXIQUE (C).

La photographie satellitaire de la figure 3 montre la trajectoire suivie par la dépression du 6 décembre 2010. La situation de blocage atmosphérique engendré par une série de hautes pressions (marquée d'un H sur la figure 4) prévalant sur l'Atlantique Nord a probablement contribué à la faire bifurquer de sa trajectoire usuelle nord-est lui permettant de s'engager par le sud de la Nouvelle-Écosse et finalement, se diriger vers le centre du Québec sur un nouvel azimut nord-nord-ouest.



Source : NOAA, 2012

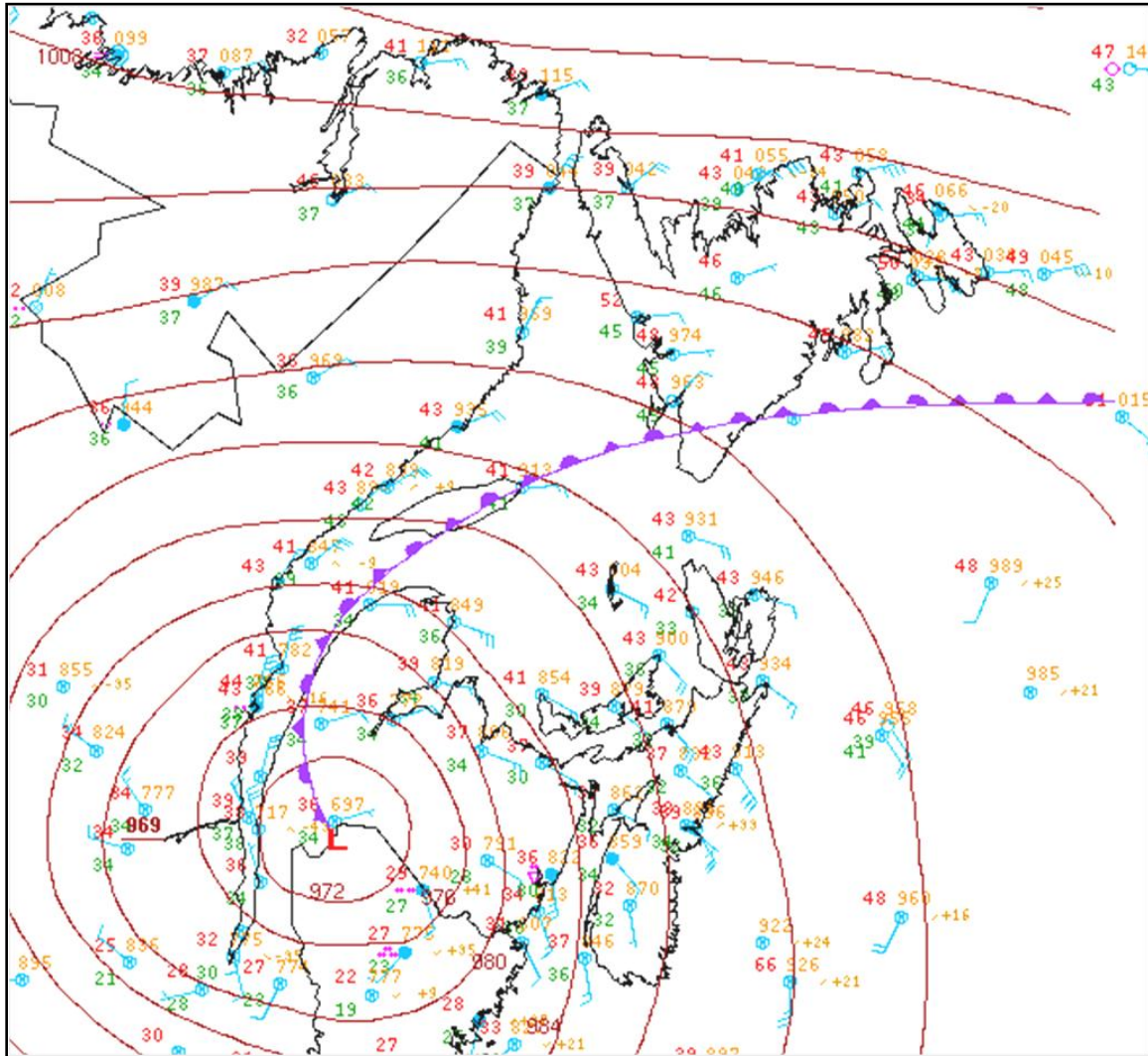
FIGURE 3. PHOTOGRAPHIE SATELLITAIRE COMPOSITE ILLUSTRANT LA TRAJECTOIRE DE LA TEMPÊTE DU 6 DÉCEMBRE 2010.



Source : NOAA, 2012

FIGURE 4. CARTE MÉTÉOROLOGIQUE DU CONTINENT NORD-AMÉRICAIN MONTRANT LES CHAMPS DE BASSES ET HAUTES PRESSIONS ATMOSPHÉRIQUES DE SURFACE LE 6 DÉCEMBRE 2010 À 15 HEURES UTC.

La carte synoptique de la figure 5 montre la direction et la force des vents de surface pour le Québec à 18 heures UTC (13 heures HNE). Le positionnement du centre de la dépression près du Témiscouata engendre donc une orientation globale des vents venant surtout du secteur est sur l'ensemble du Québec maritime. Dans l'estuaire du Saint-Laurent les vents s'alignent plutôt sur l'axe du fleuve et proviennent d'un azimuth nord-est et nord-nord-est pour rejoindre progressivement le centre de la dépression.



Source : Centre météo UQAM, 2012

FIGURE 5. CARTE DES PRESSIONS BAROMÉTRIQUES DE LA DIRECTION ET FORCE DES VENTS EN SURFACE POUR LE 6 DÉCEMBRE 2010 À 18 HEURES UTC.

2.2. Analyse des paramètres météorologiques

Les températures relativement chaudes en début de décembre ont été apportées par un creux barométrique qui s'étend des maritimes jusqu'à la Baie-James. À l'est de ce creux, des vents de forts à violents du secteur est apportent beaucoup d'humidité de l'Atlantique, générant des quantités significatives de pluie particulièrement sur la Gaspésie (Climat-Québec, 2012) (Figure 6).

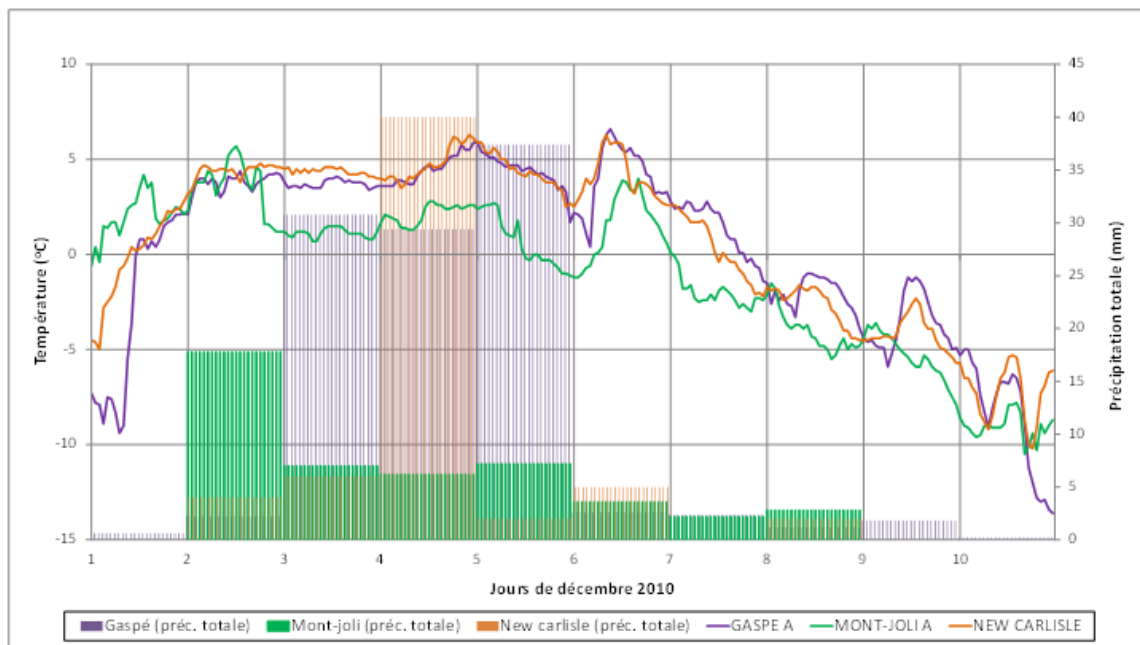


FIGURE 6. VARIATIONS DE LA TEMPÉRATURE MOYENNE JOURNALIÈRE ET DES PRÉCIPITATIONS TOTALES DU 1ER AU 10 DÉCEMBRE 2010 À TROIS STATIONS DU QUÉBEC MARITIME.

Le tableau 1 affiche les relevés météorologiques enregistrés aux quatre stations climatiques étudiées durant l'événement du 6 décembre. Les paramètres de vitesse et direction moyennes de vent ainsi que de pression barométrique minimum atteinte montrent très peu d'écart entre les quatre stations et dénotent ainsi que l'ensemble des régions de la rive sud du Saint-Laurent et de la baie des Chaleurs est soumis à des conditions météorologiques quasi similaires durant l'évènement de tempête. Seules les conditions de surcote maximum qui affichent une différence notable entre la station de Rimouski (1,05 m) et de Rivière-au-Renard (0,547 m) peuvent expliquer un impact différentiel sur les côtes. À cet effet, le secteur de Rimouski à Matane a subi des dommages plus importants aux infrastructures côtières que la région gaspésienne. La forte surcote enregistrée à Belledune (0,971 m) jumelé à la plus forte rafale de vent donne aussi à croire que ces effets conjugués ont été responsables des dégâts répertoriés dans la baie des Chaleurs.

TABEAU 1. DONNÉES MÉTÉOROLOGIQUES ET DE NIVEAUX D'EAU DE LA RIVE SUD DU SAINT-LAURENT ET DE LA BAIE DES CHALEURS LORS DE LA TEMPÊTE DU 6 DÉCEMBRE 2010.

	Stations météorologiques			
	Mont-Joli A	Cap-Chat	Gaspé	New Carlisle
Rafales de vent maximum (km/h)	67	< 31 (estimation)	65	72
Vitesse horaire moyenne des vents (km/h)	31	22,3	24	25,8
Vitesse horaire maximum des vents	48	43	44	41
Direction moyenne du vent horaire (degré)	89 (est)	77 (est)	120 (est-sud-est)	94 (est)
Pression barométrique minimum (kPa)	96,75 (15 heures)	97,57 (14 heures)*	97,98 (14 heures)	97,14 (12 heures)
Précipitation (mm)	3,6	manquant	2,6	5,0
Niveau d'eau mesuré maximal	5,47 (14 heures) (Rimouski)	nil	2,62 (14 heures) (Rivière-au-Renard)	3,23 (16 heures)** (Belledune, N-B)
Surcote maximum (m)	1,05 (14 heures) (Rimouski)	nil	0,547 (14 heures) (Rivière-au-Renard)	0,971 (12 heures)** (Belledune, N-B)
Pleine mer supérieure de marée moyenne (m)	3,9 (Rimouski)	nil	1,8 (Rivière-au-Renard)	nil

*Données manquantes de 15 et 16 heures.

** Heure Normale de l'Atlantique (HNA)

Aussi, les variations horaires de la pression barométrique relevées aux quatre stations météorologiques situées sur la rive sud du Saint-Laurent et dans la baie des Chaleurs (Figure 7) affichent clairement une diminution importante atteignant un minimum de 96,75 kPa enregistrée à la station de Mont-Joli à 15 heures (HNE). On remarquera que la pression barométrique enregistrée au sol diminue en fonction de l'éloignement des stations du centre de la dépression qui se situe alors sur le Témiscouata.

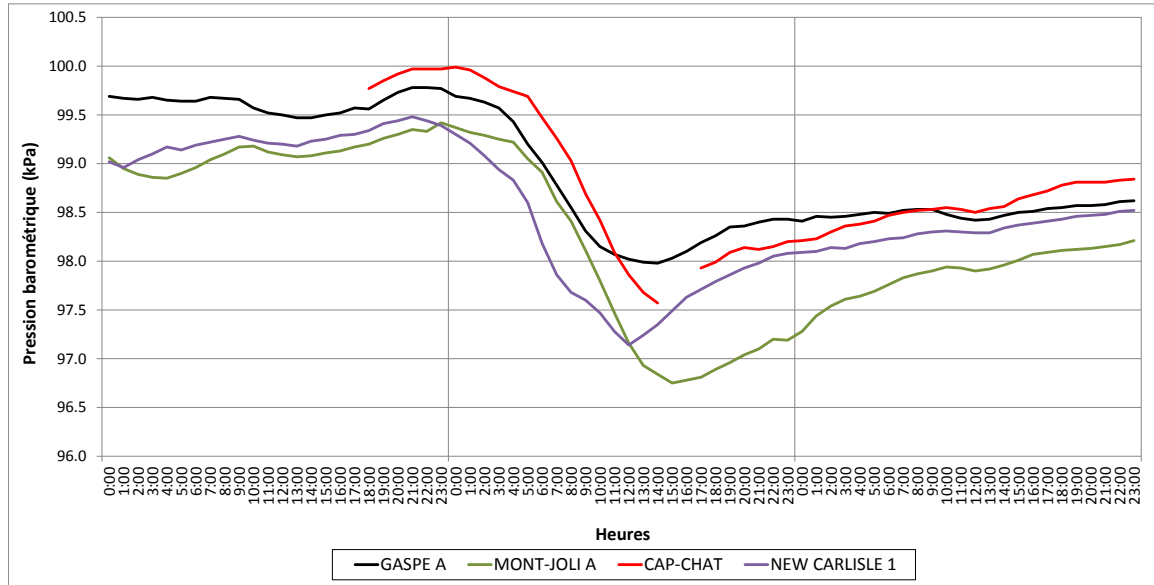


FIGURE 7. PRESSION BAROMÉTRIQUE DE QUATRE STATIONS DE LA RIVE SUD DU SAINT-LAURENT ET DE LA BAIE DES CHALEURS DU 5 AU 7 DÉCEMBRE 2010.

À l'approche de la tempête, l'intensité des vents augmente rapidement entre 5 à 9 heures pour atteindre des vitesses moyennes horaires variant de 40 à 50 km/h (Figure 8). Cette intensité est assez brièvement maintenue et décroît progressivement par la suite à des vitesses se situant entre 10 et 30 km/h en fin de journée du 6 décembre. Les rafales de vent, qui représentent une valeur ponctuelle maximum relevée par l'anémomètre (moyenne sur 2 à 5 secondes), affichent aussi des valeurs comparables aux quatre stations soit une vitesse de près de 70 km/h (Figure 9).

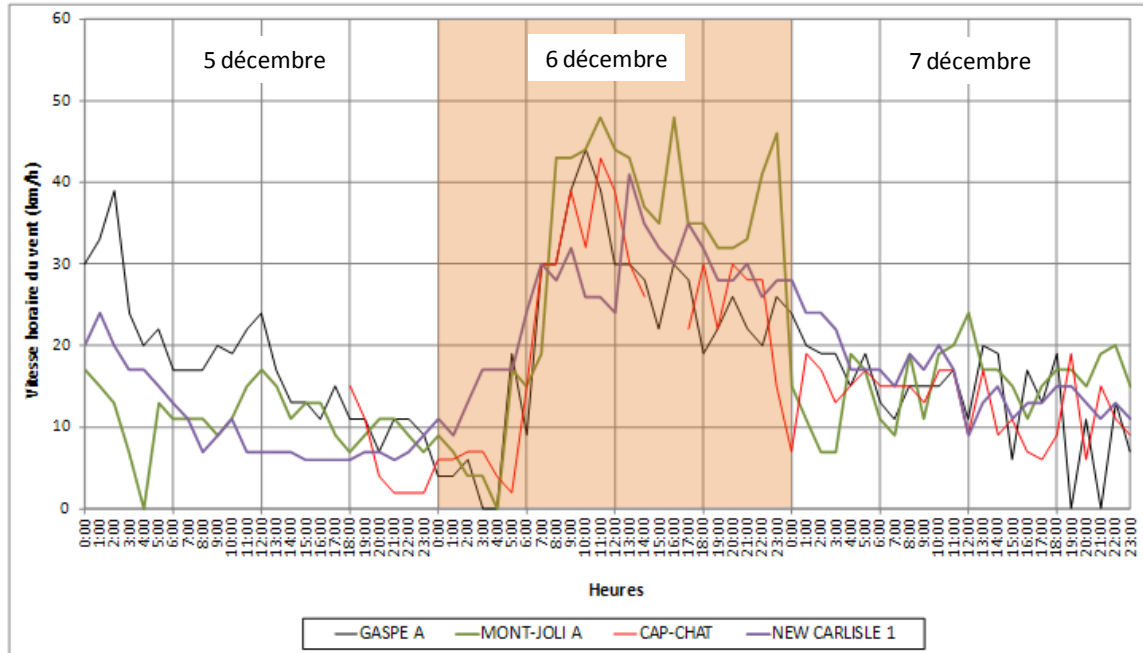
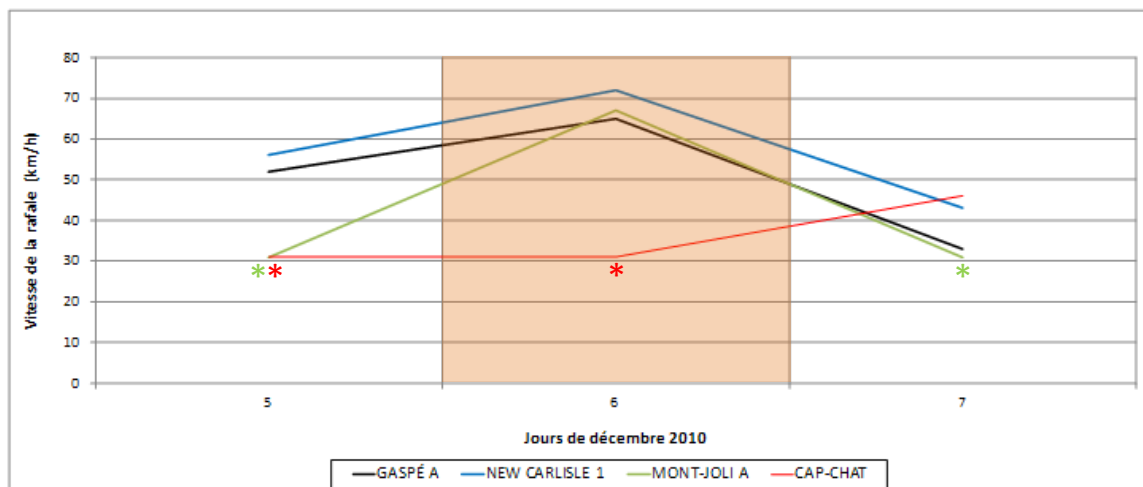


FIGURE 8. VITESSES HORAIRES DES VENTS POUR QUATRE STATIONS MÉTÉOROLOGIQUES DE LA RIVE SUD DU SAINT-LAURENT ET DE LA BAIE DES CHALEURS LORS DE LA TEMPÊTE DU 6 DÉCEMBRE 2010.



* = données estimées; * = vitesse inférieure à 31 km/h

FIGURE 9. VITESSES DES RAFALES DE VENT POUR QUATRE STATIONS DE LA RIVE SUD DU SAINT-LAURENT ET DE LA BAIE DES CHALEURS LORS DE LA TEMPÊTE DU 6 DÉCEMBRE 2010.

Les directions horaires des vents changent très rapidement à l'approche de la dépression aux stations de Mont-Joli et de Cap-Chat passant de l'ouest au nord-est en moins de deux heures (Figure 10). L'orientation générale des vents provient en début de tempête du nord-nord-est

pour s'établir progressivement vers l'est au fur et à mesure que la dépression s'établit plus profondément à l'intérieur du Québec.

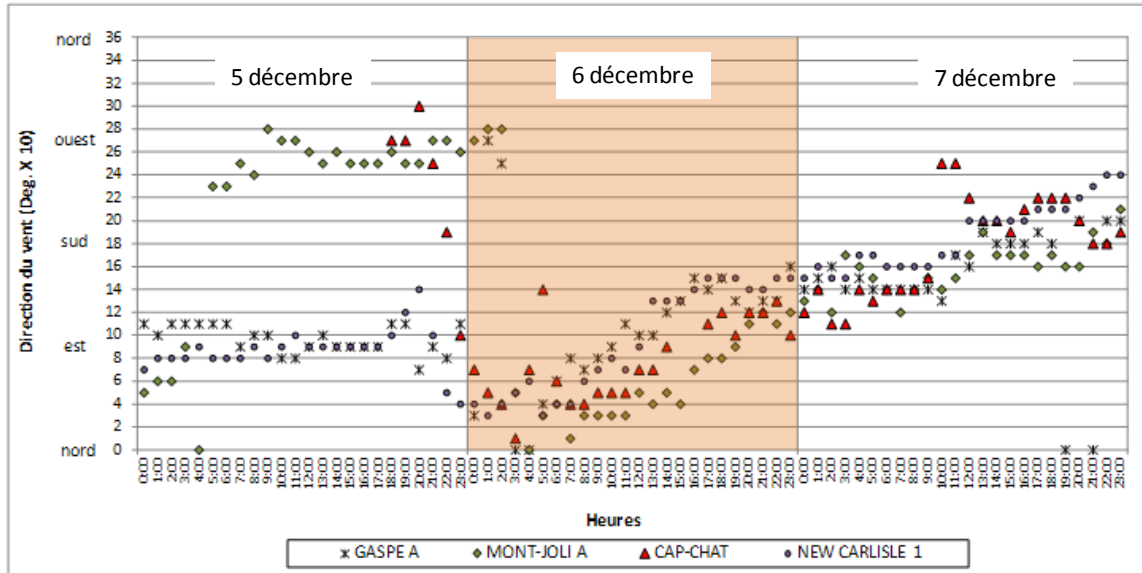


FIGURE 10. DIRECTIONS HORAIRES DES VENTS DE SURFACE POUR QUATRE STATIONS DE LA RIVE SUD DU SAINT-LAURENT ET DE LA BAYE DES CHALEURS LORS DE LA TEMPÊTE DU 6 DÉCEMBRE 2010.

2.3. Niveaux d'eau et surcotes

Les figures 11 à 13 montrent les variations des niveaux d'eau observés et prédits lors de la période du 5 au 12 décembre 2010. La différence entre le niveau d'eau prédit et le niveau d'eau observé correspond à la surcote (barres bleues) qui, sous l'effet des conditions météo-marines en place (pression barométrique, vent) ainsi que de facteurs astronomiques (lune et soleil), représente le dépassement anormal du niveau d'eau prédit. Le trait rouge à l'intérieur des figures correspond au niveau de la pleine mer supérieure de marée moyenne calculée sur 19 années de mesure.

Les figures montrent que les surcotes ont été très fortes aux trois stations et les niveaux d'eau mesurés ont dépassé largement le niveau de la pleine mer supérieure de marée moyenne. Le niveau d'eau maximal mesuré lors de la tempête du 6 décembre a été particulièrement exceptionnel pour la région de Rimouski puisque ce niveau est le plus élevé mesuré depuis au moins 1914 et correspond à un temps de retour de 149 ans (Bernatchez *et al.*, 2012). À Rivière-au-Renard, malgré une surcote de 0,55 m, le temps de retour du niveau d'eau mesuré est à peine de 7 ans. Cet écart de niveau d'eau observé à Rivière-au-Renard et à Rimouski explique en partie les dommages particulièrement sévères survenus sur le littoral de la région du Bas-Saint-Laurent.

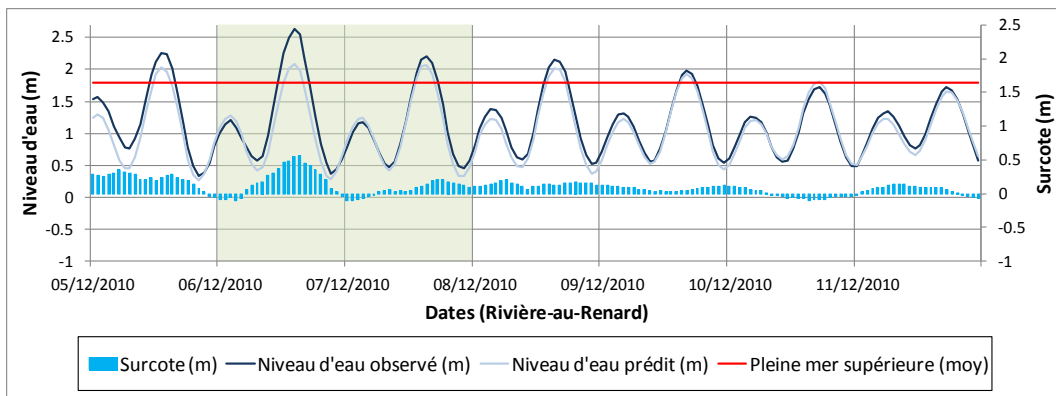


FIGURE 11. NIVEAU D'EAU OBSERVÉ ET PRÉDIT À LA STATION MARÉGRAPHIQUE DE RIVIÈRE-AU-RENARD DU 5 AU 11 DÉCEMBRE 2010.

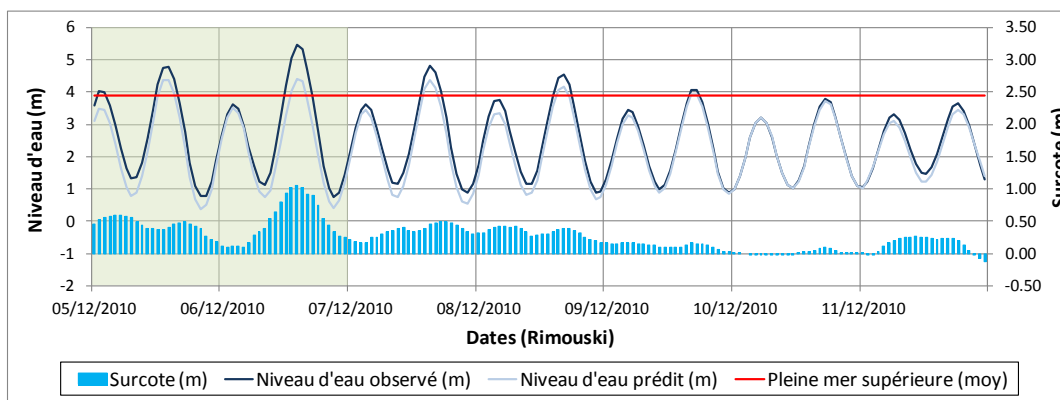


FIGURE 12. NIVEAU D'EAU OBSERVÉ ET PRÉDIT À LA STATION MARÉGRAPHIQUE DE RIMOUSKI DU 5 AU 11 DÉCEMBRE 2010.

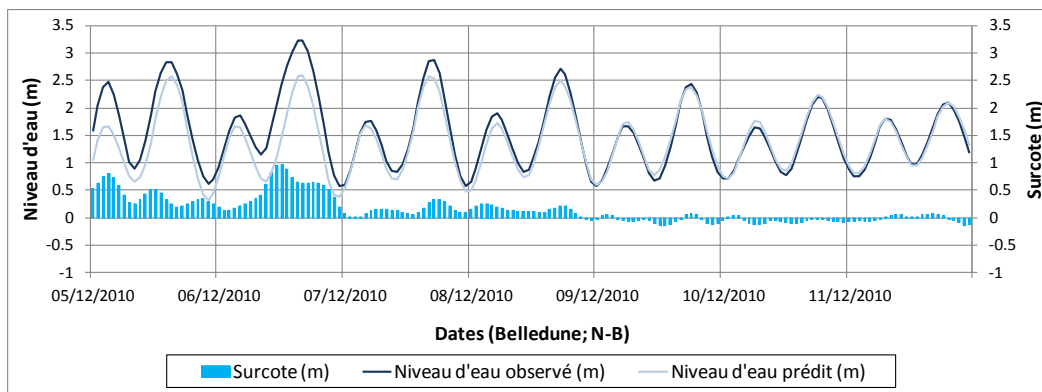


FIGURE 13. NIVEAU D'EAU OBSERVÉ ET PRÉDIT À LA STATION MARÉGRAPHIQUE DE BELLEDUNE (N-B) DU 5 AU 11 DÉCEMBRE 2010.

3. MÉTHODOLOGIE

3.1. Matériel et méthode

Trois équipes de la Chaire de recherche en géoscience côtière ont été mobilisées sur le terrain dans les régions les plus affectées afin de documenter les impacts de la tempête. Un relevé hélicoptéré a permis d'acquérir des images obliques à haute résolution sur le littoral couvrant le secteur entre la municipalité de Rimouski et celle de Cap-Chat. Au total, 4 034 photographies ont été prises sur environ 155 km de côte le 9 décembre 2010. Un partage d'informations entre les municipalités et les différents ministères provinciaux a permis de compléter les observations de terrain. Des ressources de différents ministères, notamment une équipe du Centre d'expertise hydrique du Québec, ont été mobilisées afin de compléter les observations de niveaux d'eau atteints lors de la tempête.

Des données acquises par la Chaire de recherche en géoscience côtière, et ce avant la tempête du 6 décembre 2010, ont aussi servi à l'analyse des impacts de la tempête :

- Orthophotographies aériennes (relevé de 2009 pour le secteur de Rimouski à Gaspé)
- Données LiDAR (relevé de 2009 pour le secteur de Rimouski à Gaspé et de 2007 pour la baie des Chaleurs)
- Relevé hélicoptéré d'images obliques à haute résolution de septembre 2010
- Caractérisation côtière (relevé de 2008 pour les MRC de La Mitis et de Matane et de la baie des Chaleurs)
- Suivi des stations de mesure de l'érosion des côtes (2004 à 2010)
- Suivi des infrastructures vulnérables (2005 à 2010)

Les relevés réalisés immédiatement après la tempête du 6 décembre 2010 ont été effectués entre l'est de la MRC de Rimouski-Neigette et la MRC de Matane. Dans la baie des Chaleurs, les relevés ont été concentrés dans le secteur de Carleton-Saint-Omer et de la Pointe-Verte à Maria.

Aléa érosion

Le recul des côtes a été mesuré à la suite du passage de la tempête du 6 décembre 2010. Ces relevés consistent à mesurer la distance entre un point de repère fixe sur le terrain (piquet repère ou bâtiment) et la ligne de rivage (Figure 14). Plus de 500 mesures sur le terrain ont été réalisées sur le territoire de la région du Bas-Saint-Laurent et de la Gaspésie. De ce nombre, plus de 125 mesures ont été réalisées à l'aide du réseau de suivi de l'érosion des côtes implanté depuis 2004. À ce réseau s'est ajouté des mesures effectuées dans le cadre des avis techniques réalisés pour le ministère de la Sécurité publique du Québec.



FIGURE 14. RELEVÉ SUR LE TERRAIN À L'AIDE DES PIQUETS REPÈRES DU SUIVI DE L'ÉROSION CÔTIÈRE.

Aléa submersion

Les limites atteintes lors de la submersion côtière ont été positionnées pour certains secteurs. Les relevés consistaient à localiser et à positionner à l'aide d'un D-GPS ou GPS les dépôts et les lignes de débris encore visibles laissés par les vagues quelques jours après l'événement (Figure 15) ou encore à l'aide d'observations faites au moment de la tempête par des membres de l'équipe de la Chaire de recherche en géoscience côtière. Un total de 765 relevés ont été réalisés sur le terrain. Ces relevés ont été réalisés avec un D-GPS ProMark3 de Thales dont la précision est de 1,2 cm à l'horizontale et de 1,5 cm à la verticale ou avec un GPS de type Garmin dont la précision est de 1 m à l'horizontale. L'altitude des points relevés avec le GPS Garmin a ensuite été déterminée à l'aide des données LiDAR aéroportées de 2009 dont la précision en Z est de 20 cm. Finalement, se sont ajoutés au printemps 2011 des relevés réalisés au D-GPS dans le secteur de Rimouski et de Sainte-Luce. Le positionnement des niveaux d'eau a été validé à l'aide des observations des résidents, de photographies sur le terrain prises lors de l'événement et des images acquises en haute résolution lors du relevé hélicoptère du 9 décembre 2010.



FIGURE 15. RELEVÉ SUR LE TERRAIN DE NIVEAUX D'EAU ATTEINTS LORS DE LA TEMPÊTE DU 6 DÉCEMBRE 2010.

Impact de la tempête sur le cadre bâti

Les observations liées à l'impact de la tempête sur le cadre bâti ont été effectuées dans les secteurs lourdement affectés. Notamment à l'est de la municipalité de Rimouski, à la municipalité de Sainte-Luce et de Sainte-Flavie, ainsi que dans les noyaux villageois des autres municipalités des MRC de La Mitis et de Matane. Des photographies et des points GPS ont été relevés sur le terrain afin d'illustrer et de localiser les secteurs les plus touchés (Figure 16). Des mesures ont été également réalisées à l'aide du réseau de suivi des infrastructures vulnérables implanté depuis 2005 par le LDGIZC-UQAR. De plus, des images héliportées du 9 décembre, des photographies prises par le personnel des municipalités, du ministère de la Sécurité publique et du ministère des Transports du Québec ont permis d'évaluer les dommages occasionnés par la tempête sur les infrastructures routières ainsi que sur les propriétés.



FIGURE 16. RELEVÉ SUR LE TERRAIN AFIN DE DOCUMENTER LES DOMMAGES SUR LE CADRE BÂTI OCCASIONNÉS PAR LA TEMPÊTE DU 6 DÉCEMBRE 2010.

3.2. Cartographie et analyse des aléas

Érosion

Les données de recul relevées sur le terrain ont été compilées dans un tableur à des fins statistiques. De là, quatre catégories ont été définies (Tableau 2). Ces catégories sont basées sur les reculs événementiels enregistrés variant entre aucun recul à des reculs très élevés supérieurs à 5,01 m. Ces informations ont été intégrées dans un SIG afin de visualiser la variabilité spatiale des reculs enregistrés suite au passage de la tempête du 6 décembre 2010 sur la rive sud de l'estuaire maritime et dans la baie des Chaleurs (recueil cartographique volume II). Enfin, des analyses statistiques, telles que le recul maximal et la moyenne, ont été effectuées par municipalité et MRC.

TABLEAU 2. DESCRIPTION DES CATÉGORIES DES RECLS ÉVÉNEMENTIELS ENREGISTRÉS.

Catégorie	Recul événementiel (m)
Faible	0,1 à 1,00
Modéré	1,01 à 2,00
Élevé	2,01 à 5,00
Très élevé	Supérieur à 5,01

Submersion

Les données de niveaux d'eau atteints relevés sur le terrain ont été intégrées dans un SIG. Les données GPS, qui ne contiennent pas de valeur précise en altitude ont été superposées aux données LiDAR de 2009 pour en extraire la valeur d'altitude. Dans les municipalités où la concentration des données était suffisante, une surface d'inondation a été cartographiée. Cette surface correspond à la moyenne du niveau d'eau atteint pour un secteur donné. Ainsi, la limite moyenne de niveau d'eau atteint a été tracée sur les courbes altimétriques générées par les données LiDAR du relevé de 2009. Cette méthode permet de cartographier rapidement une surface inondée. Toutefois, il existe certaines lacunes en ce qui a trait à la réalité terrain. En effet, pour un secteur la surface d'inondation cartographiée peut être sous ou surestimée en présence de données extrêmes (Figure 17). Ces valeurs extrêmes peuvent être liées à la connectivité entre la plage et l'arrière-plage, telles que des rampes de mise à l'eau ou des canaux de drainage. De plus, la présence et l'absence d'artificialité, la configuration côtière et la pente de la plage jouent un rôle important dans le patron de submersion de la côte et des niveaux d'eau maximums réellement atteints (Bernatchez *et al.*, 2011). La cartographie à l'aide de cette méthode offre cependant une meilleure représentation du niveau de submersion que la méthode classique qui consiste à utiliser le niveau d'eau observé à une station marégraphique puisqu'elle tient compte du déferlement des vagues et du jet de rive (Figure 18), deux facteurs essentiels dans la prévention et l'analyse du risque de submersion.

Finalement, les données LiDAR de 2009, bien qu'elles soient très précises, ne peuvent être utilisées dans certain cas où il y a eu une nouvelle construction domiciliaire changeant ainsi la topographie du terrain entre l'année d'acquisition de données et les relevés réalisés sur le terrain suite au passage de la tempête.

Une cartographie de l'aléa submersion se trouve dans le recueil cartographique (volume II).

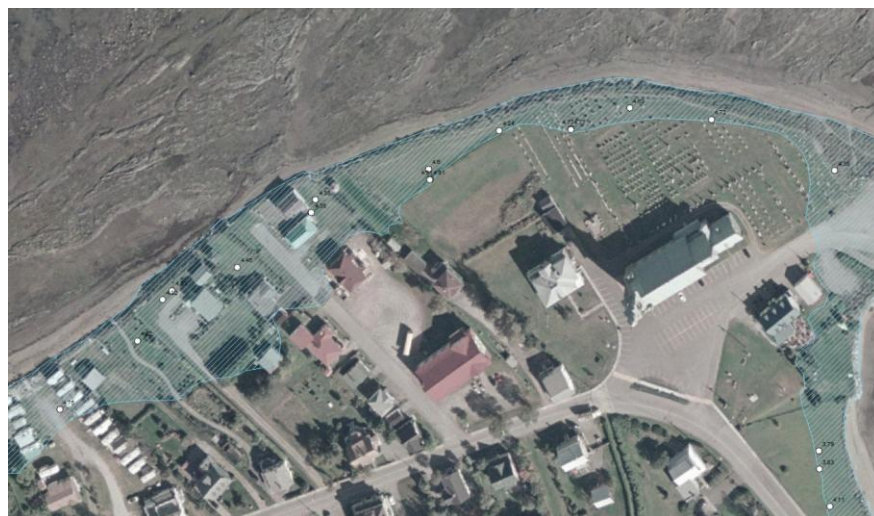


FIGURE 17. LIMITE DE LA CARTOGRAPHIE DE LA SURFACE INONDÉE.



FIGURE 18. SECTEUR DE DÉFERLEMENT SÉVÈRE IDENTIFIÉ PAR LA PRÉSENCE DE GROS DÉBRIS LAISSÉS PAR LES VAGUES LORS DE LA TEMPÊTE DU 6 DÉCEMBRE 2010.

Impact des aléas sur le cadre bâti

Les infrastructures routières et les propriétés ont été numérisées à l'aide des orthophotographies de 2009 pour les zones lourdement affectées, notamment l'est de la municipalité de Rimouski, la municipalité de Sainte-Luce, de Sainte-Flavie, de Matane ainsi que pour les noyaux villageois de Baie-des-Sables, Sainte-Félicité, Métis-sur-Mer et Saint-Ulric. Un total de 813 bâtiments et de 75 km de tronçons routiers ont été numérisés. Les propriétés qui ont été intégrées dans l'analyse correspondent aux bâtiments localisés sur les côtes basses en

bordure de mer et du côté mer de la route 132 ou d'une route municipale. Les infrastructures routières analysées correspondent au segment routier le plus près de la ligne de rivage, que ce soit la route 132 ou une route municipale. Pour chacun des bâtiments et tronçons routiers, le niveau d'impact a été réalisé à partir d'une classification élaborée à l'aide de critères spécifiques (Tableau 3).

TABLEAU 3. CATÉGORIE DES NIVEAUX D'IMPACT DES ALÉAS SUR LE CADRE BÂTI.

Cadre bâti et niveau d'impact	Infrastructure routière		Propriété			
	nationale	municipale	privée et secondaire	commerciale et industrielle	municipale	patrimoniaie
Aucun	=>Aucun dommage		=>Aucun dommage			
Faible à modéré	=>Perte de l'accotement de la route =>Structure de protection endommagée à partiellement endommagée		=>Présence de débris de taille moyenne à proximité des bâtiments =>Revêtement extérieur du bâtiment principal et secondaire endommagé =>Structure de protection endommagée à partiellement endommagée			
Sévère	=>Perte de plus de 50% de l'infrastructure =>Structure de protection très endommagée à complètement endommagée		=>Déplacement de bâtiments =>Fondation du bâtiment principal dénudée par l'érosion =>Fenêtre brisée =>Présence de troncs et de billots d'arbres ainsi que de pierres à proximité du bâtiment =>Structure de protection très endommagée à complètement endommagée			
Non disponible	=>Aucune information		=>Aucune information			

Les critères des catégories ont été développés à partir des impacts de l'érosion sur le cadre bâti, bien que la submersion ait occasionné dans certains cas des dommages tout aussi importants. En effet, les images acquises le lendemain ou plusieurs jours après le passage de la tempête ne permettent pas dans tous les cas de distinguer les traces engendrées par la submersion de celles liées à l'érosion. De plus, les tronçons routiers fortement touchés par la submersion ont été rapidement nettoyés de leur débris laissés par les vagues. Toutefois, lorsque des traces de submersion étaient visibles à proximité des bâtiments ou sur des tronçons routiers, telles que

des débris de taille moyenne ou grossière, la submersion était prise en compte dans l'évaluation du niveau d'impact. Selon les critères établis trois niveaux d'impact ont été identifiés variant entre aucun à sévère (Figures 19 et 20).

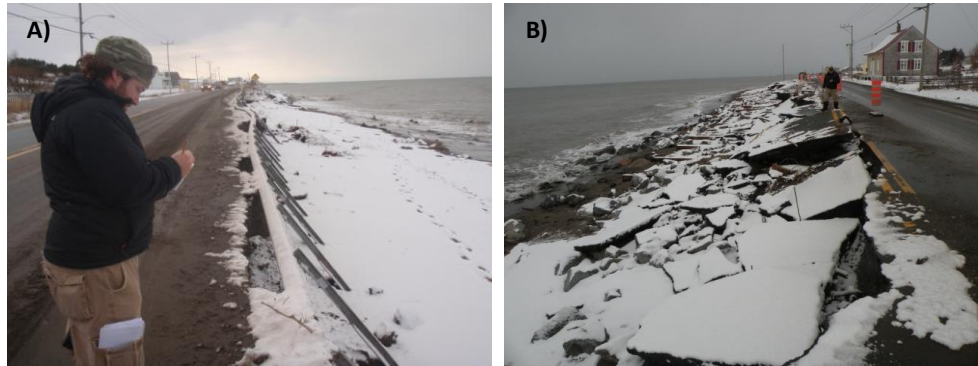


FIGURE 19. NIVEAU D'IMPACT DES ALÉAS SUR LES INFRASTRUCTURES ROUTIÈRES. IMPACT FAIBLE À MODÉRÉ (A) ET IMPACT SÉVÈRE (B).

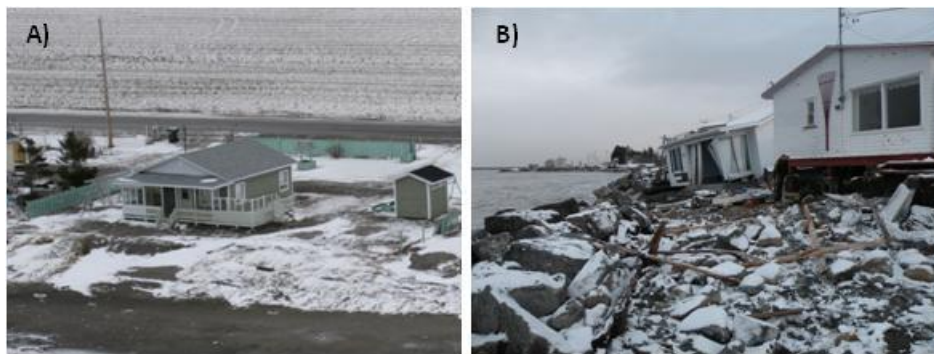


FIGURE 20. NIVEAU D'IMPACT DES ALÉAS SUR LES PROPRIÉTÉS. IMPACT FAIBLE À MODÉRÉ (A) ET IMPACT SÉVÈRE (B).






Des analyses statistiques ont été par la suite réalisées afin d'évaluer la longueur de tronçons routiers et le nombre de propriétés touchées par les aléas lors de la tempête du 6 décembre 2010 pour chacune des municipalités et MRC documentées.

Les enrochements et murets servant à protéger les propriétés et les infrastructures routières ont été dans certains cas lourdement endommagés par les vagues de tempête. Afin de quantifier et de spatialiser les dommages aux structures de protection, une analyse comparative à l'aide d'un SIG a été réalisée selon leur état avant et après la tempête. La caractérisation côtière du relevé de 2008 pour les MRC de La Mitis et de Matane et pour les municipalités de Rimouski et de Maria, ainsi que les relevés photographiques hélicoptérés réalisés en septembre

2010, ont servi à établir l'état des structures de protection avant la tempête. L'état des structures de protection après la tempête a été réalisé à partir des relevés photographiques héliportés du 9 décembre 2010 ainsi que par les relevés sur le terrain. Le tableau 4 montre les catégories de l'état des structures de protection. L'état des structures peut varier de bon à complètement endommagé selon les critères établis.

Les impacts des aléas sur le cadre bâti, c'est-à-dire les infrastructures routières, les propriétés et les structures de protection sont illustrés dans le recueil cartographique (volume II).

TABEAU 4. CRITÈRES DES CATÉGORIES DE L'ÉTAT DES STRUCTURES DE PROTECTION.

État de la structure de protection	Critères	Illustration
Bon	=>Aucun signe d'endommagement de la structure	
Partiellement endommagé	=>Ensevelis sous des dépôt sableux =>Endommagement ponctuel représentant 25% à 50 % de la structure	
Endommagé	=>Présence ponctuellement d'encoche d'érosion au sommet de la structure =>Endommagement ponctuel représentant 50% à 75% de la structure	
Très endommagé	=>Présence sur l'ensemble de la structure d'encoche d'érosion au sommet de la structure =>Endommagement représentant plus de 75 % de la structure	
Complètement endommagé	=>Structure affaissée au sol =>Terrain à l'arrière de la structure lessivé avec présence d'une microfalaise active	

3.3. Évolution de la ligne de rivage et du trait de côte entre 2009 et 2012

Numérisation de la ligne de rivage et du trait de côte

L'évolution de la ligne de rivage et du trait de côte a été réalisée à partir des photographies aériennes de 2009 acquise du 16 au 22 septembre et celles de 2012 acquise le 27 et 28 mai. Ces photographies aériennes ont été numérisées, géoréférencées et orthorectifiées. La dimension du pixel au sol est équivalente à 0,20 mètre.

La ligne de rivage et le trait de côte ont été tracés sur chacune des couvertures aériennes. Dans cette étude, la ligne de rivage correspond à la ligne du niveau supérieur des hautes eaux qui représente généralement la limite de la végétation stable ou la présence d'une microfalaise d'érosion. Cette limite est plutôt constante et stable et constitue la meilleure limite à utiliser pour les côtes sans falaise notamment pour les côtes à terrasse de plage dans une optique d'évolution côtière (Grenier et Dubois, 1992). Dans le cas de côte artificielle, la limite supérieure des ouvrages de protection est utilisée. En présence d'une falaise, la rupture de pente du haut du talus représente le trait de côte.

La haute résolution des images a permis d'effectuer le traçage à l'échelle du 1 : 600. Les données LiDAR de 2009 ont également été utilisées pour préciser la position de la rupture de pente dans le cas du traçage du trait de côte.

L'erreur maximale théorique entre deux photographies aériennes se calcule en additionnant trois sources d'erreur : a) une erreur reliée à la résolution des images, b) une erreur d'interprétation moyenne lors du traçage de la ligne de rivage et du trait de côte et c) une erreur moyenne de géoréférencement relative entre les deux couvertures aériennes. L'erreur maximale théorique sur la période de 2009 à 2012 calculée selon l'erreur de géoréférencement moyenne est la suivante :

$$0,2 + 0,2 + b) 0,15 + 0,15 + c) 0,34 = \mathbf{1,04\ m}$$

Calcul du déplacement et cartographie

Les valeurs de déplacement ont été obtenues à l'aide de l'extension DSAS 4.3 du logiciel ArcGIS (Thieler *et al.*, 2009). Ce module génère automatiquement des transects perpendiculaires aux lignes de rivage et aux traits de côte, à un intervalle régulier. Ces transects sont par la suite ajustés manuellement pour qu'ils recoupent de manière perpendiculaire tous les tracés (traits de côte ou lignes de rivage) de la période analysée. La distance entre chacun des tracés est ensuite calculée. Un total de 4 452 transects ont été générés à un intervalle de 50 m entre la municipalité de Rimouski (secteur de la Rivière-Hâtée) et de Saint-Anne-des-Monts inclusivement. De ce nombre, 476 ont été invalidés notamment où la position des tracés était incertaine dû à la présence d'ombrage sur les images de 2009, à la difficulté de tracer le haut du

talus dans les falaises densément végétalisées, dans les zones portuaires et dans certains secteurs de haute falaise, où l'imprécision est causée par l'effet de parallaxe.

Les données ont été par la suite intégrées dans une base de données. Des statistiques descriptives telles que le déplacement moyen, maximum et minimum ont été calculées par municipalité et MRC.

Les résultats ont été cartographiés selon les mêmes catégories de recul utilisé pour les reculs événementiels mesurés à la suite de la tempête (Tableau 2). Toutefois, deux catégories ont été ajoutées pour les secteurs en accumulation et ceux n'ayant eu aucun déplacement car cette analyse s'est effectuée sur l'ensemble de la côte. Les résultats sont présentés sous la forme d'un recueil de cartes (volume II).

4. ANALYSE DE L'ÉROSION ET DE LA SUBMERSION CÔTIÈRE ET DE LEURS IMPACTS SUR LE CADRE BÂTI

4.1. Érosion

Les résultats des relevés d'érosion sont présentés dans le tableau 5 et cartographiés à l'échelle du Québec maritime dans le recueil cartographique (volume II). La figure 21 illustre un exemple de carte. L'analyse des reculs mesurés immédiatement après le 6 décembre révèle la sévérité de la tempête sur les côtes du Québec maritime notamment pour la région du Bas-Saint-Laurent et de la Gaspésie. Le recul moyen estimé pour cet événement est de 3,89 m. L'analyse comparative des MRC montre que celles de La Mitis et d'Avignon ont enregistré des reculs moyens supérieurs à la moyenne globale. Les reculs moyens les plus élevés ont été observés dans les municipalités de Sainte-Luce et de Maria. De plus, quatre municipalités ont enregistré des reculs extrêmes, c'est-à-dire supérieurs à 10 m, pour cet événement. Dans l'ordre décroissant, les reculs maximum se répartissent comme suit : 15 m dans la municipalité de Métis-sur-Mer, 13 m dans la municipalité de Sainte-Luce, 12,8 m dans la municipalité de Maria et puis 12 m dans celle de Sainte-Flavie. L'analyse des différentes cartes (volume II) indique tout de même une grande variabilité dans les valeurs de recul pour un même segment côtier. Cette variabilité locale peut s'expliquer par la largeur et la géomorphologie de la plage, la présence ou non de structures de protection, la présence d'affleurement rocheux tant sur la plage, le haut de plage ou l'arrière-plage, la répartition de l'énergie des vagues et l'agitation des vagues. On constate aussi que certains segments côtiers n'ont pas reculé. Ces derniers étaient protégés des vagues de tempête par la présence dans la zone intertidale d'un îlot rocheux (ex. carte 02 de la série érosion) ou d'une barre rocheuse (ex. carte 09 de la série érosion). On constate cependant qu'il y a eu un recul du littoral même dans des secteurs moins exposés à l'action des vagues, notamment dans le fond de baies (cartes 01, 50, 51, 52 de la série érosion), d'anses (cartes 14, 48, 49 de la série érosion) ou à l'intérieur de barachois.

TABEAU 5. RECLUS ENREGISTRÉS SELON LES MUNICIPALITÉS DE LA RÉGION DU BAS-SAINT-LAURENT ET DE LA GASPÉSIE-ÎLES-DE-LA-MADELEINE.

Région	Recul moyen (m)	Recul maximum (m)	Nombre de relevés
Région du Bas-Saint-Laurent	3.67	15.00	477
MRC de Rimouski-Neigette	2.37	9.50	114
Rimouski	2.37	9.50	114
MRC de La Mitis	4.65	15.00	238
Sainte-Luce	5.34	13.00	69
Sainte-Flavie	4.36	12.00	136
Grand-Métis	5.10	9.20	3
Métis-sur-Mer	4.30	15.00	30
MRC de Matane	3.01	9.30	125
Baie-des-Sables	2.31	6.62	30
Saint-Ulric	3.07	9.30	29
Matane	3.48	8.40	38
Sainte-Félicité	3.08	8.40	28
Région de la Gaspésie-Îles-de-la-Madeleine	6.46	12.80	40
MRC d'Avignon	6.46	12.80	40
María	6.99	12.80	36
Carleton-sur-Mer	1.71	4.40	4
Total général	3.89	15.00	517

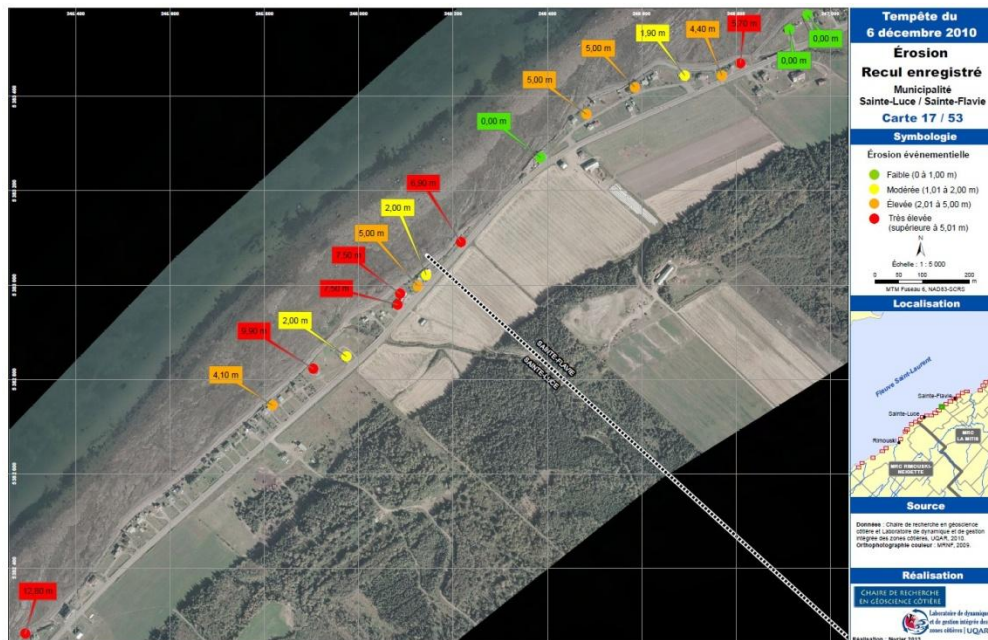


FIGURE 21. RECLUS ÉVÉNEMENTIELS ENREGISTRÉS SUR LES CÔTES ÉTUDIÉES DE LA RÉGION DU BAS-SAINT-LAURENT ET DE LA GASPÉSIE-ÎLES-DE-LA-MADELEINE SUITE AU PASSAGE DE LA TEMPÊTE DU 6 DÉCEMBRE 2010.

L'érosion a été relevée autant sur les côtes naturelles que sur les côtes artificielles, c'est-à-dire avec la présence d'une structure de protection rigide telle qu'un muret ou un enrochement. Le tableau 6 montre en effet que le recul moyen et maximum pour l'ensemble des côtes étudiées a été pratiquement semblable sur les deux types de côte. Le recul moyen a été estimé à 3,86 m sur les côtes sans structure de protection et de 3,91 m sur les côtes artificielles. De plus, des reculs maximums extrêmes, supérieurs à 10 m ont été enregistrés tant sur les côtes naturelles qu'artificielles. Cependant, dans certains secteurs la présence de structures de protection a limité le recul alors qu'elle a amplifié l'érosion sur les terrains adjacents où des effets de bout importants ont été observés (Figure 22a). Des abaissements de plage ont été observés le long de côtes artificielles (Figure 22b) et par endroits, une microfalaise de plus de 1 m de hauteur s'est formée à l'arrière de la structure (Figure 22c).

TABLEAU 6. REcul ENREGISTRÉ SELON LA PRÉSENCE ET L'ABSENCE DE STRUCTURE DE PROTECTION.

Région	sans structure de protection		avec structure de protection	
	Recul moyen (m)	Recul maximum (m)	Recul moyen (m)	Recul maximum (m)
Région du Bas-Saint-Laurent	3.82	15.00	3.58	13.00
MRC de Rimouski-Neigette	1.92	9.50	2.46	9.25
Rimouski	1.92	9.50	2.46	9.25
MRC de La Mitis	4.82	15.00	4.55	13.00
Sainte-Luce	5.55	12.80	5.17	13.00
Sainte-Flavie	4.52	11.40	4.28	12.00
Grand-Métis	-	-	5.10	9.20
Métis-sur-Mer	3.89	15.00	4.47	11.50
MRC de Matane	3.06	9.30	2.80	8.00
Baie-des-Sables	2.71	6.50	1.64	3.65
Saint-Ulric	2.76	9.30	2.98	4.85
Matane	4.33	8.40	3.08	8.00
Sainte-Félicité	2.85	8.40	3.38	7.00
Région de Gaspésie-Îles-de-la-Madeleine	5.04	12.60	6.71	12.80
MRC d'Avignon	5.04	12.60	6.71	12.80
Maria	11.70	12.60	6.71	12.80
Carleton-sur-Mer	1.71	4.40	-	-
Total général	3.86	15.00	3.91	13.00



FIGURE 22. L'ALÉA ÉROSION SUITE AU PASSAGE DE LA TEMPÊTE DU 6 DÉCEMBRE 2010 SUR LES CÔTES ARTIFICIELLES. EFFET DE BOUT (A), ABAISSEMENT DE PLAGE (B) ET FORMATION D'UNE MICROFALAISE ACTIVE (C).

4.2. Submersion

La tempête du 6 décembre 2010 a mis en évidence que la submersion est un aléa majeur particulièrement sur la rive sud du Saint-Laurent ainsi que dans la baie des Chaleurs. Les résultats présentés sur les cartes (volume II) montrent que le niveau d'eau atteint a été exceptionnel, et ce même si les vents étaient de vitesse modérée (voir section 2 portant sur la description de la tempête). Le tableau 7 montre que les niveaux d'eau atteints dans la région du Bas-Saint-Laurent et plus particulièrement dans les municipalités de Rimouski, de Sainte-Luce, de Sainte-Flavie, de Saint-Ulric, de Grosses-Roches et de Sainte-Félicité ont été fort importants. Ils ont été en moyenne un peu plus de 2,0 m au-dessus du niveau de la pleine mer supérieure de grande marée. C'est dans la municipalité de Sainte-Luce et de Rimouski que les niveaux d'eau maximum ont été atteints avec une altitude supérieure à 6 m. Dans la baie des Chaleurs, la surcote maximale de 0,97 m coïncide avec le creux de la dépression atmosphérique, qui a été observé au tout début de la marée montante et non lors de la marée haute comme ce fut le cas dans le Bas-Saint-Laurent. Malgré cela, les niveaux atteints ont été en moyenne de 1,3 m au-dessus du niveau de la pleine mer supérieure de grande marée.

TABLEAU 7. NIVEAU D'EAU ATTEINT LORS DU PASSAGE DE LA TEMPÊTE DU 6 DÉCEMBRE 2010.

Région	Niveau d'eau atteint (m)*			Nombre de relevés
	moyen	maximum	minimum	
Région du Bas-Saint-Laurent	4.63	6.69	2.81	492
MRC de Rimouski-Neigette	5.08	6.47	3.85	67
Rimouski	5.08	6.47	3.85	67
MRC de La Mitis	4.63	6.69	3.60	348
Sainte-Luce	4.66	6.69	3.60	301
Sainte-Flavie	4.41	5.54	3.68	46
Grand-Métis	3.88	3.88	3.88	1
MRC de Matane	4.22	4.96	2.81	77
Saint-Ulric	4.54	4.91	3.92	17
Matane	3.95	4.89	2.81	38
Sainte-Félicité	4.56	4.96	4.03	14
Grosses-Roches	4.27	4.65	3.51	8
Région de Gaspésie-Îles-de-la-Madeleine	2.81	4.98	1.58	273
MRC d'Avignon	2.81	4.98	1.58	273
Maria	2.94	4.15	1.58	188
Carleton-sur-Mer	2.52	4.98	1.91	85

*Altitude du zéro géodésique

Lors du passage de la tempête du 6 décembre 2010, le niveau d'eau a atteint plusieurs infrastructures côtières, et ce tant sur les côtes naturelles que sur les côtes ayant une structure de protection telle que muret et enrochement. Le tableau 8 montre que le niveau d'eau atteint moyen et maximum pour l'ensemble des côtes étudiées est pratiquement semblable entre les côtes artificielles et naturelles. C'est dans le secteur de Maria où l'écart entre les deux types de côte est le plus important. En effet, les niveaux moyen et maximum atteints ont été supérieurs respectivement de près de 0,5 et 1 m pour les segments côtiers avec une structure de protection. De plus, pour la région du Bas-Saint-Laurent des niveaux d'eau extrêmes, supérieurs à 6 m d'altitude ont été atteints sur les côtes avec ou sans structure de protection.

Dans certains secteurs, la présence de structure de protection a amplifié et modulé le patron de submersion (Figure 23). La nature réfléchissante des structures rigides particulièrement importante lors de hauts niveaux d'eau a augmenté de manière considérable l'agitation marine. Ce phénomène a permis le transport de débris de taille importante tel que des troncs et billots d'arbre et des roches (Figure 23b). De plus, l'analyse de plusieurs vidéographies prises lors de la tempête ainsi que des observations *in situ* ont permis d'identifier deux types de submersion soit par franchissement et par débordement. Le principal type de submersion a été une submersion par franchissement, c'est-à-dire que l'inondation côtière a été générée par les vagues. L'élévation du jet de rive au-dessus des ouvrages de protection ou des côtes basses naturelles a provoqué une accumulation importante d'eau sur l'arrière-plage. Dans une moindre mesure, sur

les côtes les plus basses, il y a eu localement, lorsque la mer a atteint son niveau maximal lors de l'événement, une submersion par débordement. Dans ce cas, le patron de submersion a été contrôlé par la marée et la surcote. Ce phénomène s'est principalement produit dans les secteurs situés entre Rimouski et Sainte-Flavie où le niveau d'eau observé a été exceptionnellement élevé, en raison d'une conjoncture entre la surcote, la marée haute et le creux de la basse pression atmosphérique. La submersion par débordement a aussi été observée sur les côtes basses de la région de Maria et de Saint-Omer, et ce même dans les milieux abrités, notamment à l'intérieur des barachois et derrière les flèches littorales.

TABEAU 8. NIVEAU D'EAU ATTEINT EN PRÉSENCE ET ABSENCE DE STRUCTURE DE PROTECTION.

Région	sans structure de protection			avec structure de protection		
	Niveau moyen (m)	Niveau maximum (m)	Niveau minimum (m)	Niveau moyen (m)	Niveau maximum (m)	Niveau minimum (m)
Région du Bas-Saint-Laurent	4.60	6.69	2.81	4.69	6.21	3.01
MRC de Rimouski-Neigette	5.02	6.47	3.85	5.22	5.77	4.70
Rimouski	5.02	6.47	3.85	5.22	5.77	4.70
MRC de La Mitis	4.59	6.69	3.60	4.71	6.21	3.65
Sainte-Luce	4.62	6.69	3.60	4.76	6.21	3.65
Sainte-Flavie	4.43	5.54	3.82	4.31	4.70	3.68
Grand-Métis	-	-	-	3.88	3.88	3.88
MRC de Matane	4.28	4.96	2.81	4.03	4.82	3.01
Saint-Ulric	4.51	4.91	3.92	4.63	4.78	4.43
Matane	4.05	4.89	2.81	3.65	4.53	3.01
Sainte-Félicité	4.54	4.96	4.03	4.68	4.82	4.53
Grosses-Roches	4.39	4.65	4.18	4.07	4.42	3.51
Région de Gaspésie-Îles-de-la-Madeleine	2.55	4.98	1.91	3.06	4.15	1.58
MRC d'Avignon	2.56	4.98	1.91	3.06	4.15	1.58
Maria	2.60	3.19	1.97	3.06	4.15	1.58
Carleton-sur-Mer	2.52	4.98	1.91	-	-	-

*Altitude du zéro géodésique



FIGURE 23. INFLUENCE DES STRUCTURES DE PROTECTION SUR L'AGITATION MARINE. VAGUE DE FORTE ÉNERGIE DEVANT MURET (A) ET DEVANT UN ENROCHEMENT (B).

L'analyse des cartes des niveaux d'eau réellement atteints par le jet de rive indique une très grande variabilité spatiale et montre la complexité du patron de submersion et la difficulté d'établir une seule cote pour la cartographie de l'aléa submersion (volume II). De plus, l'écart entre le niveau d'eau extrême observé au marégraphe et les niveaux réellement atteints sur le terrain est très important puisqu'il a été en moyenne de 1,5 m pour le Bas-Saint-Laurent, mais il a atteint localement une valeur maximale de 3,5 m dans la municipalité de Sainte-Luce. Ces résultats indiquent clairement que l'approche traditionnelle utilisée pour cartographier le risque de submersion qui implique de superposer sur un modèle numérique d'élévation le niveau d'eau extrême observé à un marégraphe donné n'est pas adéquate. Des constats similaires ont été observés ailleurs lors de tempêtes récentes (FEMA, 2006, FEMA, 2007; Cariolet, 2010; Cariolet *et al.*, 2012). Il est donc primordial de tenir compte non seulement d'une analyse statistique des niveaux d'eau extrêmes pour établir un temps de retour, mais aussi de développer des modèles qui tiennent compte du déferlement des vagues et du calcul du jet de rive, qui eux sont directement liés aux conditions météo-marines et à la géomorphologie de la zone côtière (Ruggiero *et al.*, 2001; Stockdon *et al.*, 2006). Ces modèles devraient aussi intégrer les facteurs anthropiques aggravant le phénomène de submersion, notamment les structures de protection rigides et les interventions humaines qui modifient la topographie du littoral (ex. accès à la plage, canaux de drainage) (Bernatchez *et al.*, 2011).

4.3. Impact des aléas sur le cadre bâti

L'analyse des impacts permet d'améliorer les connaissances sur la vulnérabilité des infrastructures côtières face aux deux principaux aléas côtiers générés par les tempêtes, c'est-à-dire l'érosion et la submersion. Les observations réalisées à la suite du passage de la tempête du 6 décembre 2010 montrent clairement que ces deux aléas peuvent se combiner et que l'érosion de la côte entraîne non seulement des dommages, mais peut amplifier la submersion qui elle-même engendre à son tour d'autres dommages. Les infrastructures côtières telles que les routes et les propriétés ont subi des dommages irréversibles dans certains cas nécessitant des travaux majeurs. Le recueil de cartes présenté dans le volume II montre la répartition spatiale des niveaux d'impacts sur les infrastructures routières et les propriétés. La figure 24 montre un exemple de carte représentant le niveau d'impacts sur le cadre bâti.



FIGURE 24. IMPACTS DE LA TEMPÊTE DU 6 DÉCEMBRE 2010 SUR LE CADRE BÂTI.

Infrastructures routières vulnérables aux aléas côtiers

Le tableau 9 montre les résultats de l'impact des aléas sur les infrastructures routières pour trois MRC de la région du Bas-Saint-Laurent. Sur un total de 72,3 km de routes analysées, 90,6 % n'ont subi aucun dommage. L'impact a été de faible à modéré pour 7,6 % du réseau routier et 1,8 % a été qualifié de sévère. C'est donc pas moins de 1 259 m de tronçons routiers qui ont subi des dommages sévères. C'est dans la MRC de La Mitis et plus précisément dans la municipalité de Sainte-Flavie que le réseau routier a subi l'impact le plus sévère (8%). Bien que les réseaux routiers des MRC de Rimouski-Neigette et de Matane ont eu peu de dommages sévères, il n'en demeure pas moins que 12,6 % (MRC de Rimouski-Neigette) et près de 8 % (MRC de Matane) des routes analysées ont subi un impact de niveau faible à modéré.

TABEAU 9. LONGUEUR TOTALE DE TRONÇONS ROUTIERS VULNÉRABLES AUX ALÉAS CÔTIERS (%) PAR MUNICIPALITÉS SELON LE NIVEAU D'IMPACT SUITE AU PASSAGE DE LA TEMPÊTE DU 6 DÉCEMBRE 2010.

Municipalité	Niveau d'impact (en %)			
	sévère	faible à modéré	aucun	non disponible
MRC de Rimouski-Neigette	-	12,6 (997)	87,4 (6901)	13,3 (1212)
Rimouski	-	12,6 (997)	87,4 (6901)	13,3 (1212)
MRC de La Mitis	4,5 (1220)	5,8 (1577)	89,7 (24507)	3,4 (963)
Sainte-Luce	2,3 (271)	3,5 (410)	94,2 (10965)	7,6 (963)
Sainte-Flavie	8 (949)	5,3 (628)	86,7 (10299)	-
Grand-Métis	-	21,6 (539)	78,4 (1960)	-
Métis-sur-Mer	-	-	100 (1283)	-
MRC de Matane	0,1 (39)	7,9 (2949)	92 (34156)	2,9 (1089)
Baie-des-Sables	-	4,2 (416)	95,8 (9413)	-
Saint-Ulric	-	7,4 (1005)	92,6 (12545)	7,4 (1089)
Matane	-	5,3 (432)	94,7 (7725)	-
Sainte-Félicité	-	-	100 (3341)	-
Grosses-Roches	3,5 (39)	96,5 (1096)	-	-
Les Mechins	-	-	100 (1132)	-
Total général	1,8 (1259)	7,6 (5523)	90,6 (65564)	4,3 (3264)

* chiffre entre parenthèse correspond à la longueur en mètre

Propriétés vulnérables aux aléas côtiers

Le tableau 10 et la figure 25 montrent les résultats du niveau d'impact de la tempête du 6 décembre 2010 sur les propriétés en bordure de mer analysées pour les MRC de Rimouski-Neigette, de La Mitis et de Matane. Près de 55 % des propriétés comprises dans l'analyse ont subi des dommages, ce qui correspond à 430 propriétés. Le niveau d'impact a été sévère pour 33,7 % des cas et de faible à modéré pour 20,8 % des propriétés. L'impact a été plus marqué dans la MRC de La Mitis et plus particulièrement pour les municipalités de Sainte-Luce et de Sainte-Flavie où respectivement 72 % et 76 % des propriétés ont été touchées. Dans la municipalité de Sainte-Luce près de 58 % des propriétés ont eu des dommages qualifiés d'impacts sévères alors qu'il a été de 47 % dans celle de Sainte-Flavie.

TABEAU 10. PROPRIÉTÉS VULNÉRABLES AUX ALÉAS CÔTIERS AYANT EU UN IMPACT LORS DE LA TEMPÊTE DU 6 DÉCEMBRE 2010.

Municipalité	Niveau d'impact (en %)			
	sévère	faible à modéré	aucun	non disponible (longueur en m)
MRC de Rimouski-Neigette	26,2 (16)	6,6 (4)	67,2(41)	11
Rimouski	26,2 (16)	6,6 (4)	67,2 (41)	11
MRC de La Mitis	50,2 (230)	20,8 (95)	29 (133)	12
Sainte-Luce	57,7 (124)	13,9 (30)	28,4 (61)	12
Sainte-Flavie	46,9 (98)	28,7 (60)	24,4 (51)	-
Métis-sur-Mer	23,5 (8)	14,7 (5)	61,8 (21)	-
MRC de Matane	7,4 (20)	24,1 (65)	68,5 (185)	1
Baie-des-Sables	14,3 (5)	-	85,7 (30)	-
Saint-Ulric	4,1 (2)	18,4 (9)	77,5 (38)	-
Matane	6,3 (11)	30,1 (53)	63,6 (112)	1
Sainte-Félicité	20 (2)	30 (3)	50 (5)	-
Total général	33,7 (266)	20,8 (164)	45,5 (359)	24

* chiffre entre parenthèse correspond au nombre de bâtiment

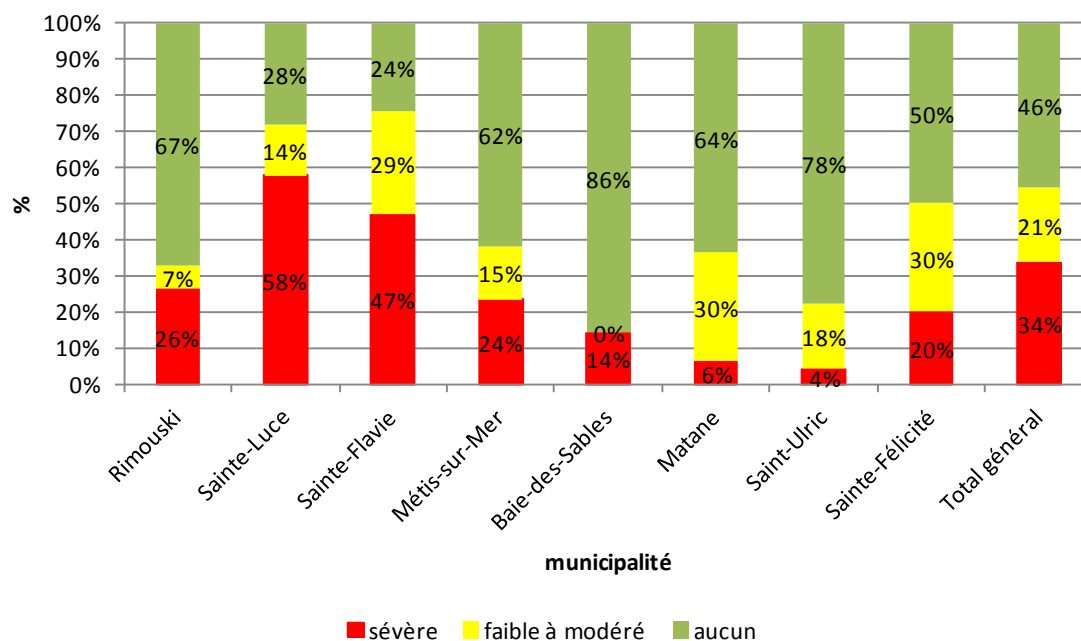


FIGURE 25. SOMME DU NOMBRE DE PROPRIÉTÉS VULNÉRABLES AUX ALÉAS CÔTIERS (%) PAR MUNICIPALITÉS SELON LE NIVEAU D'IMPACT ASSOCIÉ AU PASSAGE DE LA TEMPÊTE DU 6 DÉCEMBRE 2010.

Artificialité

Le tableau 11 montre les résultats de l'état de l'artificialité avant et après le passage de la tempête du 6 décembre 2010 pour les différentes municipalités étudiées. Avant la tempête les structures de protection pour l'ensemble des municipalités étudiées étaient à plus de 80% en bon état (Figure 26). Les structures de protection très endommagées ou complètement endommagées représentaient moins de 5 %. À la suite du passage de la tempête, ce pourcentage s'est élevé à plus de 30% si bien que le pourcentage de longueur de structure de protection en bon état a chuté de plus de 50 % (Figure 27). Les structures de protection dans la région du Bas-Saint-Laurent ont été lourdement affectées, notamment dans la MRC de La Mitis où plus de 25% des structures ont été complètement endommagées. L'état de l'artificialité après la tempête est représenté sur les cartes dans le volume II.

Les dommages observés aux structures de protection suite au passage de la tempête sont multiples. Dans certains cas, les vagues de tempête ont provoqué un fort affouillement à la base des ouvrages de protection rigides. La submersion par franchissement a engendré une infiltration derrière les ouvrages, une évacuation des sédiments, la fissuration des ouvrages et l'effondrement de plusieurs structures (Figure 28a). Les pierres et les blocs de béton de plus faible calibre provenant des enrochements et des murets ont même constitué des projectiles qui ont contribué aux dommages des infrastructures (Figure 28b). Comme les terrasses de plage sont le principal type de côte dans les régions touchées, il est permis de se questionner, à la lumière des résultats, sur l'efficacité des murets et des enrochements à protéger ce type de côte.

TABLEAU 11. SOMME DE LA LONGUEUR DE L'ÉTAT DE L'ARTIFICIALITÉ (EN %) AVANT ET APRÈS LE PASSAGE DE LA TEMPÊTE DU 6 DÉCEMBRE 2010 PAR MUNICIPALITÉ.

Municipalité	bon		partiellement		endommagé		très endommagé		complètement		non disponible	
	avant	après	avant	après	avant	après	avant	après	avant	après	avant	après
Région du Bas-Saint-Laurent	82.9	30.6	11.9	31.1	0.2	4.2	2.5	12.4	2.6	21.6	2,9	7,3
MRC de Rimouski-Neigette	99.0	32.1		30.0		14.6	1.0	13.6		9.7	19,2	26,3
Rimouski	99.0	32.1		30.0		14.6	1.0	13.6		9.7	19,2	26,3
MRC de La Mitis	85.9	25.8	11.0	29.1	0.3	4.4	2.3	13.3	0.4	27.4	2,9	7
Sainte-Luce	91.9	24.5	5.2	32.8		6.8	2.6	13.8	0.2	22.1	6,4	8
Sainte-Flavie	95.2	30.1	3.7	24.0	1.1	4.0		10.7		31.1		
Mont-Joli	31.3		33.5				35.3	48.7		51.3		31,3
Grand-Métis	70.2	14.8	23.3	38.0			4.1	13.9	2.4	33.3		19,3
Métis-sur-Mer	61.1	31.2	36.5	21.1			2.4	16.9		30.8		19,4
MRC de Matane	77.9	34.7	14.2	33.0		2.8	2.9	11.5	5.0	17.9	0,3	3
Baie-des-Sables	79.6	39.0	18.1	37.9				11.3	2.3	11.8	1,4	2,5
Saint-Ulric	65.3	45.2	22.3	12.7			8.0	20.0	4.4	22.2		2,8
Matane	89.0	32.4	5.8	41.3		4.8	0.5	9.2	4.7	12.3	0,4	3,4
Sainte-Félicité	73.0	32.7	22.5	22.9		7.8	1.5	2.6	2.9	34.0		
Grosses-Roches	76.4	25.6	2.9	44.7			20.7	0.8		28.9		
Les Mechins	58.1	30.3	29.0	29.0				19.0	12.9	21.7		5,8
Région de la Gaspésie-Îles-de-la-Madeleine	95.5	61.6	4.5	7.4				14.0		16.9		
MRC d'Avignon	95.5	61.6	4.5	7.4				14.0		16.9		
Maria	95.5	61.6	4.5	7.4				14.0		16.9		
Total général	83.6	32.3	11.5	29.8	0.1	4.0	2.4	12.5	2.5	21.3	2,7	6,9

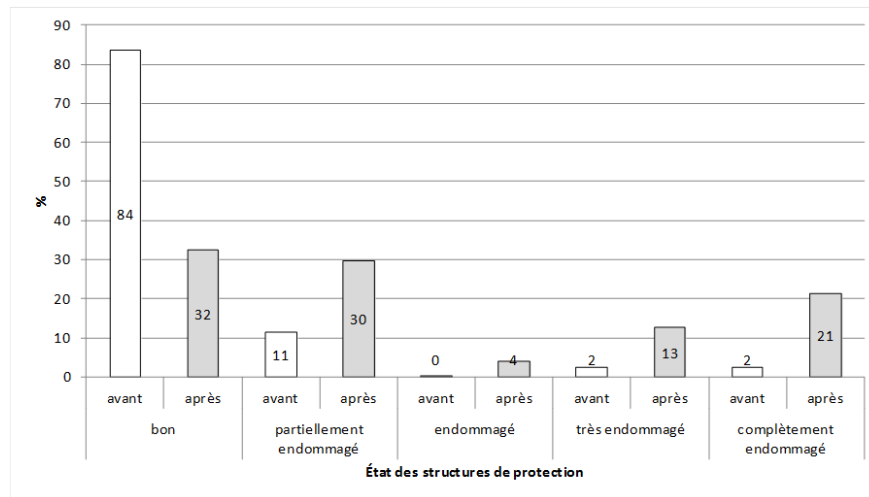


FIGURE 26. SOMME DE LA LONGUEUR DE L'ÉTAT DE L'ARTIFICIALITÉ (EN %) AVANT ET APRÈS LE PASSAGE DE LA TEMPÊTE DU 6 DÉCEMBRE 2010 POUR L'ENSEMBLE DES MUNICIPALITÉS ÉTUDIÉES.

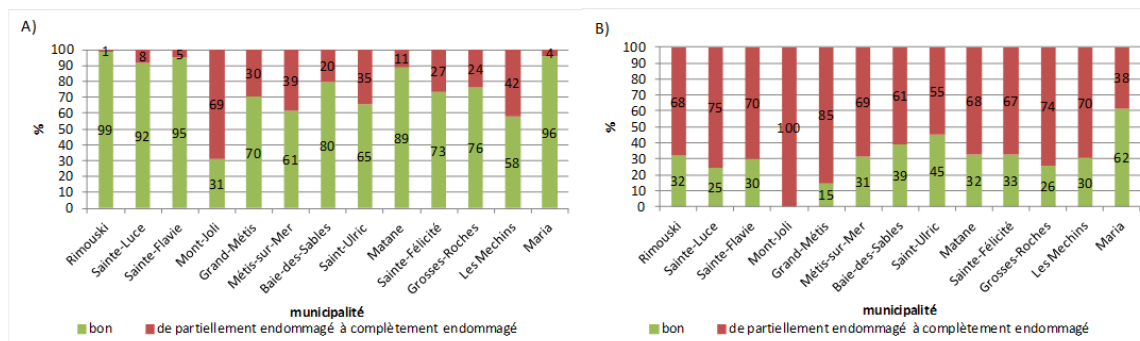


FIGURE 27. SOMME DE LA LONGUEUR DE L'ÉTAT DE L'ARTIFICIALITÉ (EN %) PAR MUNICIPALITÉ AVANT (A) ET APRÈS (B) LE PASSAGE DE LA TEMPÊTE DU 6 DÉCEMBRE 2010.



FIGURE 28. DOMMAGES OBSERVÉS AUX STRUCTURE DE PROTECTION SUITE AU PASSAGE DE LA TEMPÊTE DU 6 DÉCEMBRE 2010.

5. ANALYSE DU DÉPLACEMENT DE LA LIGNE DE RIVAGE ET DU TRAIT DE CÔTE ENTRE 2009 ET 2012

Une analyse du déplacement de la ligne de rivage entre 2009 et 2012 a été réalisée pour les mêmes secteurs mesurés immédiatement à la suite de la tempête de décembre 2010. On constate que les reculs maximums mesurés entre les deux périodes sont plutôt similaires (Tableaux 5 et 12). Cependant, à la suite de la tempête seulement des reculs avaient été mesurés alors que pour les mêmes secteurs mesurés entre 2009 et 2012, 55 % des mesures n'indiquent aucun recul et 7 % montrent même une avancée de la côte (Figure 29). On observe donc une réduction pour les valeurs de déplacement moyen pour la période de 2009 à 2012, ce qui indique un réajustement du système côtier et une légère progradation de la côte à la suite de la tempête de décembre 2010. Dans les secteurs densément urbanisés, cette avancée du littoral s'explique en bonne partie par le remblai des terrains jusqu'à la limite pré-tempête et même parfois au-delà. Dans la majorité des cas, les enrochements et les murets endommagés lors de la tempête ont aussi été reconstruits. Ces résultats montrent l'importance d'effectuer des mesures immédiatement après une tempête si l'on veut y mesurer ses impacts.

TABLEAU 12. DÉPLACEMENT DE LA LIGNE DE RIVAGE ET NOMBRE DE MESURES INDIQUANT L'ÉROSION, L'ACCUMULATION ET AUCUN REcul ENTRE 2009 ET 2012 POUR LES SECTEURS MESURÉS SUR LE TERRAIN SUITE AU PASSAGE DE LA TEMPÊTE DU 6 DÉCEMBRE 2010.

Région	Déplacement moyen (m)	Recul maximum (m)	Accumulation maximum (m)	Nombre de mesures	Accumulation	Érosion	Aucun recul
					Nombre de mesures	Nombre de mesures	Nombre de mesures
MRC Rimouski-Neigette	-1.38	-8.19	2.22	87	4	45	38
Rimouski	-1.38	-8.19	2.22	87	4	45	38
MRC de La Mitis	-2.47	-13.44	2.88	188	15	59	114
Ste-Luce	-2.95	-13.41		64	0	23	41
Ste-Flavie	-2.31	-13.44	2.88	97	14	26	57
Grand-Métis	-0.04	-0.12		3	0	2	1
Métis-sur-Mer	-2.11	-7.89	0.27	24	1	8	15
MRC de Matane	-1.94	-11.1	4.86	114	8	43	63
Baie-des-Sables	-1.39	-6.42	0.03	29	1	13	15
St-Ulric	-3.00	-11.1	4.86	28	3	3	22
Matane	-1.87	-10.35	0.24	35	1	20	14
Ste-Félicité	-1.43	-6.6	2.73	22	3	7	12
Total	-2.07	-13.44	4.86	389	27	147	215

Les mesures effectuées au 50 m pour l'ensemble du territoire entre Rimouski et Sainte-Anne-des-Monts permettent de dégager un autre niveau d'interprétation (Tableaux 13 et 14). On constate d'abord pour les côtes basses (terrasse de plage, flèche littorale) qu'elles sont toujours en cours de réajustement à la suite de la tempête de décembre 2010 et que le littoral sur la majorité de sa longueur n'a pas encore rejoint la limite de 2009. Certains secteurs ont connu localement une avancée assez importante. Ils sont répartis de manière plutôt épars le long du littoral. Au total, c'est 11 % du littoral qui a connu une avancée entre 2009 et 2012. Même si les

valeurs de déplacement moyen mesurées entre 2009 et 2012 sont nettement inférieures à celles mesurées immédiatement après la tempête, elles demeurent encore nettement supérieures aux valeurs annuelles inférieures à -20cm généralement mesurées entre 2004 et 2010 à partir du réseau de suivi de l'érosion côtière.

Par ailleurs, l'analyse des mesures effectuées dans les falaises indique que le recul a été plutôt négligeable entre 2009 et 2012 (Tableaux 13 et 14, Figure 30). L'impact de la tempête de décembre 2010 a donc été faible pour ce type de côte. Les images obliques prises le 9 décembre 2010 montrent tout de même que les vagues ont déstabilisé la base de la falaise à plusieurs endroits sans toutefois provoquer le recul du sommet de la falaise (Figure 31). C'est dans la municipalité de Matane que les reculs moyen et maximum ont été les plus importants.

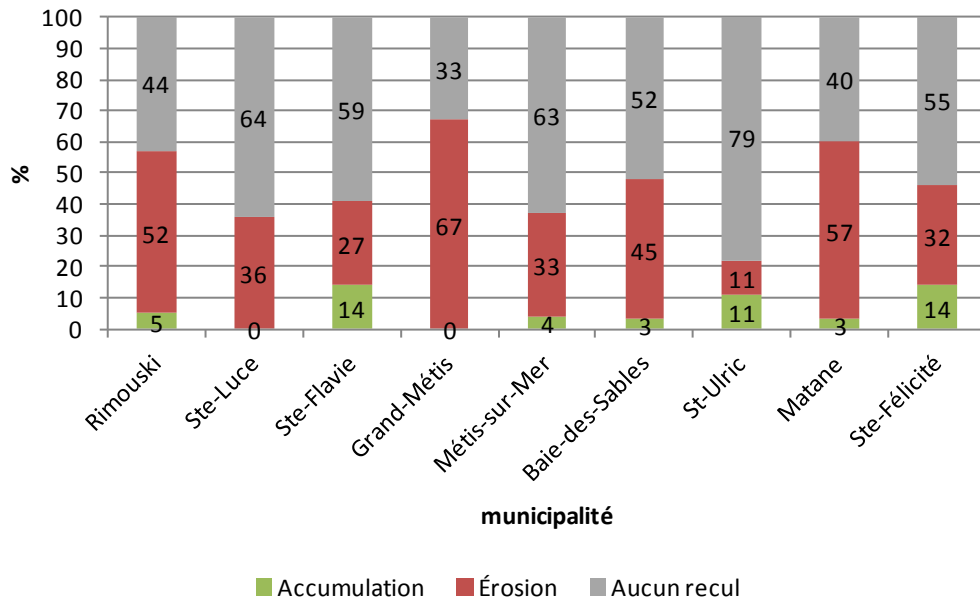


FIGURE 29. PROPORTION DU NOMBRE DE MESURES INDICANT L'ÉROSION, L'ACCUMULATION ET AUCUN REcul CALCULÉE ENTRE 2009 ET 2012 POUR LES SECTEURS MESURÉS SUR LE TERRAIN SUITE AU PASSAGE DE LA TEMPÊTE DU 6 DÉCEMBRE 2010.

TABEAU 13. DÉPLACEMENT DE LA LIGNE DE RIVAGE ET DU TRAIT DE CÔTE CALCULÉ ENTRE 2009 ET 2012 POUR L'ENSEMBLE DU TERRITOIRE ENTRE RIMOUSKI ET SAINT-ANNE-DES-MONTS.

Région	Côtes basses				Côtes à falaises			
	Déplacement moyen (m)	Recul maximum (m)	Accumulation maximum (m)	Nombre de mesures	Déplacement moyen (m)	Recul maximum (m)	Accumulation maximum (m)	Nombre de mesures
Région du Bas-Saint-Laurent	-1.79	-17.97	9.6	2649	-0.18	-10.59	0.00	388
MRC Rimouski-Neigette	-1.63	-14.22	8.31	487				0
Rimouski	-1.63	-14.22	8.31	487				0
MRC de La Mitis	-2.12	-13.44	2.88	826	-0.13	-4.05	0.00	76
Ste-Luce	-2.22	-13.41	1.86	249				0
Ste-Flavie	-2.23	-13.44	2.88	255	-0.19	-3.12	0.00	29
Mont-Joli	-1.67	-4.8		16				0
Grand-Métis	-1.98	-9.72	1.26	197	0.00	0.00	0.00	29
Métis-sur-Mer	-1.83	-9.72	1.26	215	-0.23	-4.05	0.00	18
MRC de Matane	-1.64	-17.97	9.6	1336	-0.19	-10.59	0.00	312
Baie-des-Sables	-1.61	-9.18	5.94	269				0
St-Ulric	-2.12	-11.1	9.6	289				0
Matane	-1.16	-17.97	5.19	234	-0.54	-10.59	0.00	109
Ste-Félicité	-2.20	-9.81	3.87	212	0.00	0.00	0.00	61
Grosses-Roches	-1.45	-8.79	4.38	132	0.00	0.00	0.00	56
Les Méchins	-1.10	-12.39	5.82	200	0.00	0.00	0.00	86
Région de la Gaspésie-Îles-de-la-Madeleine	-2.11	-19.11	9.09	788	-0.02	-1.14	0.00	151
MRC de la Haute Gaspésie	-2.11	-19.11	9.09	788	-0.02	-1.14	0.00	151
Cap-Chat	-2.25	-11.7	9.09	389	-0.02	-0.75	0.00	75
Ste-Anne-des-Monts	-1.98	-19.11	4.05	399	-0.03	-1.14	0.00	76
Total	-1.87	-19.11	9.6	3437	-0.13	-10.59	0.00	539

TABEAU 14. NOMBRE DE MESURES INDIQUANT L'ÉROSION, L'ACCUMULATION ET À AUCUN REcul DE LA LIGNE DE RIVAGE ET DU TRAIT DE CÔTE CALCULÉ ENTRE 2009 ET 2012 POUR L'ENSEMBLE DU TERRITOIRE ENTRE RIMOUSKI ET SAINT-ANNE-DES-MONTS.

Région	Côtes basses			Côtes à falaises	
	Accumulation	Aucun recul	Érosion	Aucun recul	Érosion
	Nombre de mesures	Nombre de mesures	Nombre de mesures	Nombre de mesures	Nombre de mesures
Région du Bas-Saint-Laurent	282	782	1585	369	19
MRC Rimouski-Neigette	31	202	254	72	4
Rimouski	31	202	254	0	0
MRC de La Mitis	51	247	528	72	4
Ste-Luce	4	97	148	0	0
Ste-Flavie	29	76	150	26	3
Mont-Joli	0	3	13	0	0
Grand-Métis	5	24	80	29	0
Métis-sur-Mer	13	47	137	17	1
MRC de Matane	200	333	803	297	15
Baie-des-Sables	44	51	174	0	0
St-Ulric	36	65	188	0	0
Matane	32	112	90	94	15
Ste-Félicité	25	33	154	61	0
Grosses-Roches	18	29	85	56	0
Les Méchins	45	43	112	86	0
Région de la Gaspésie-Îles-de-la-Madeleine	143	109	536	146	5
MRC de la Haute Gaspésie	143	109	536	146	5
Cap-Chat	68	36	285	73	2
Ste-Anne-des-Monts	75	73	251	73	3
Total	425	891	2121	515	24

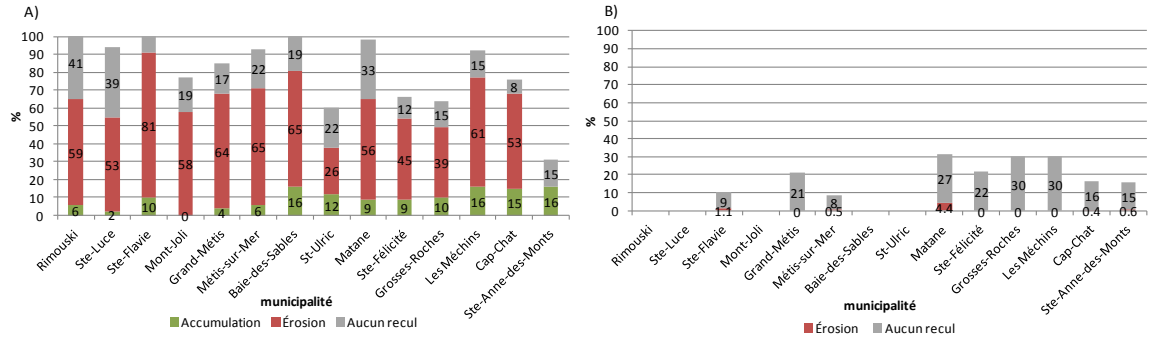


FIGURE 30. PROPORTION DU NOMBRE DE MESURES INDICANT L'ÉROSION, L'ACCUMULATION ET AUCUN REcul DE LA LIGNE DE RIVAGE (A) ET DU TRAIT DE CÔTE (B) CALCULÉ ENTRE 2009 ET 2012 POUR L'ENSEMBLE DU TERRITOIRE ENTRE RIMOUSKI ET SAINTE-ANNE-DES-MONTS.

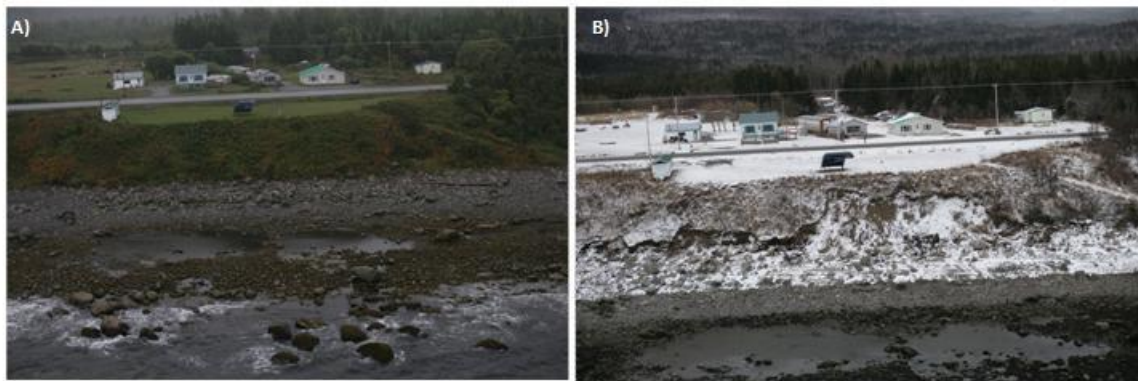


FIGURE 31. ÉTAT DE LA FALAISE AVANT (A) ET APRÈS (B) LE PASSAGE DE LA TEMPÊTE DU 6 DÉCEMBRE 2010.

6. CONCLUSION

Le littoral du Québec a été frappé le 6 décembre 2010 par une violente tempête. À la suite de cet événement, l'équipe de la Chaire de recherche en géoscience côtière s'est mobilisée pour établir un portrait de l'impact de la tempête pour les régions lourdement affectées.

Le centre du système dépressionnaire en provenance de la côte est américaine qui s'est positionné sur le Témiscouata a engendré des niveaux d'eau extrêmes exceptionnels dans le Bas-Saint-Laurent en raison d'une conjonction entre une marée haute de vive-eau, le creux de la basse pression et la surcote maximale. Pour les secteurs du Bas-Saint-Laurent et de la Gaspésie, le recul moyen mesuré pour cette tempête a été de près de 4 m alors que le taux moyen de déplacement de la ligne de rivage mesuré annuellement entre 2004 et 2010 a été généralement de moins de -0,2 m/an. Les reculs maximums mesurés pour les différentes municipalités pour cette tempête ont aussi été nettement supérieurs aux valeurs mesurées lors de tempêtes précédentes depuis 2004, notamment pour les MRC de Rimouski-Neigette et de La Mitis où les reculs maximums ont été en moyenne plus de 4 fois plus élevés. Les observations ont montré que les secteurs les plus touchés par la tempête sont les municipalités de Sainte-Luce et de Sainte-Flavie dans la région du Bas-Saint-Laurent et celle de Maria dans la baie des Chaleurs. Un total de 410 propriétés ont eu des dommages seulement pour les MRC de La Mitis et de Matane.

La tempête du 6 décembre a aussi montré que la submersion pouvait être un aléa important sur les côtes basses du Québec maritime. Cet événement a permis de constater les lacunes des outils existants pour cartographier cet aléa et que les niveaux d'eau utilisés pour l'aménagement du territoire issus notamment de la Politique de protection des rives, du littoral et des plaines inondables ne sont pas adéquats en milieu maritime. Dans la perspective des changements climatiques et de la hausse appréhendée du niveau marin, il est indispensable de continuer à acquérir de l'information non seulement sur l'érosion côtière, mais aussi d'obtenir une meilleure compréhension du phénomène de submersion côtière. Au même titre qu'il existe un réseau de suivi pour mesurer l'érosion côtière, un réseau devrait être implanté pour mesurer les niveaux d'eau atteints et les vagues sur la côte. Ces informations seront essentielles pour modéliser la submersion côtière et établir une approche de cartographique qui intègre les aléas érosion et submersion.

7. RÉFÉRENCES

Bernatchez, P. Boucher-Brossard, G., et Sigouin-Cantin, M., 2012. 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. Chaire de recherche en géoscience côtière, Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières, Université du Québec à Rimouski. Rapport remis au ministère de la Sécurité publique du Québec, 140 p.

Bernatchez, P., Fraser, C., Lefavre, D. et Dugas, S., 2011. Integrating anthropogenic factors, geomorphological indicators and local knowledge in the analysis of coastal flooding and erosion hazards. *Ocean & Coastal Management*, 54(8), 621-632.

Cariolet, J.-M., 2010. Use of high water marks and eyewitness accounts to delineate flooded coastal areas: the case of storm Johanna (10 March 2008) in Brittany, France. *Ocean & Coastal Management* 53, 679-690.

Cariolet, J.-M., Suanez, S., Annaïg, C. M.-F. et Postec, A., 2012. Cartographie de l'aléa de submersion marine et PPR: éléments de réflexion à partir de l'analyse de la commune de Guissény (Finistère, France). *Cybergeo: European Journal of Geography*, 586, 1-21.

CIMSS (Cooperative Institute for Meteorological Satellite Studies), 2012. Tropical Cyclones. Data Archive. Site internet consulté en mai 2012: <http://tropic.ssec.wisc.edu/>.

Centre météo UQAM, 2012. Archive : Analyse horaire de l'est du Canada et du nord-est des États-Unis. Site internet consulté en mai 2012 : <http://meteocentre.com/>

Climat-Québec, 2012. Bilan climatologiques décembre 2010. Site internet consulté en mai 2012: <http://www.climat-quebec.qc.ca/>.

Environnement Canada. Archives nationales d'information et de données climatologiques. Site internet consulté en mai 2012: <http://climate.weatheroffice.gc.ca/>.

FEMA, 2006. High water mark collection for Hurricane Katrina in Alabama. Hazard Mitigation Technical Assistance Program, Atlanta, 69p.

FEMA, 2007. Atlantic Ocean and Gulf of Mexico coastal guidelines update. Denton, 360p.

Grenier, A., Dubois, J.-M.M., 1992. Évolution littorale récente par télédétection: synthèse méthodologique. Photo-interprétation. n. 1990-6. p. 3-16.

NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration), 2012a. Know the Dangers of Nor'easters. Site internet consulté en mai 2012: <http://www.noaa.gov/>.

NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration), 2012b. National weather service, hydrométéorological prediction center. HPC's Surface Analysis Archive. Site web : <http://www.hpc.ncep.noaa.gov/>.

Observatoire global du Saint-Laurent (OGSL). Niveau d'eau prédit. Site internet consulté en mai 2012 : <http://ogsl.ca/fr.html>.

Pêche et océans Canada. Niveau d'eau mesuré. Archives. Site internet consulté en mai 2012: <http://www.dfo-mpo.gc.ca/>.

Le Système d'information sur les niveaux d'eaux côtières et océaniques (SINECO), 2012. Niveau d'eau prédit. Archives fournies par SINECO.

Robichaud, B. et Mullock, J., 2001. Le temps dans le Canada atlantique et l'Est-du-Québec; prévision de zone graphique 34 - région de l'Atlantique. Nav Canada. Gouvernement du Canada. 207 p.

Ruggiero, P., Komar, P. D., McDougal, W. G., Marra, J. J. et Reggie, A., 2001. Wave runup, extreme water levels and the erosion of properties backing beaches. *Journal of Coastal Research*, 17(2), 407-419.

Stockdon, H., Holman, R., Howd, P. et Sallenger, A., 2006. Empirical parameterization of setup, swash, and runup. *Coastal Engineering*, 53, 573 - 588.

Thieler, E.R., Himmelstoss, E.A., Zichichi, J.L. et Ergul A., 2009. Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 4.0- An ArcGIS extension for calculating shoreline change: U.S. Geological Survey Open-File Report 2008-1278. Update for version 4.3.