# EFFETS DES STRUCTURES RIGIDES DE PROTECTION SUR LA DYNAMIQUE DES RISQUES NATURELS CÔTIERS : ÉROSION ET SUBMERSION

Pascal Bernatchez
*Université du Québec à Rimouski, Rimouski, Québec, Canada, pascal_bernatchez@uqar.qc.ca*
Christian Fraser
*Université du Québec à Rimouski, Rimouski, Québec, Canada, christian_fraser@uqar.qc.ca*
Denis Lefaivre
*Service hydrographique du Canada, Institut Maurice-Lamontagne, Pêches et Océans Canada, Mont-Joli, Québec, Canada, lefaivred@dfo-mpo.gc.ca*

RÉSUMÉ

Le développement des côtes du Québec maritime s'est généralement réalisé sans égard à la dynamique et aux aléas côtiers. La lutte contre l'érosion côtière est ainsi devenue une nécessité et la mise en place de murets rigides et d'enrochements a jusqu'à maintenant été préconisée. Dans la baie des Chaleurs, les communautés côtières sont particulièrement vulnérables à l'érosion et à la submersion puisque plusieurs infrastructures résidentielles, commerciales et de transport ont été implantées sur des terrasses de plage et des flèches littorales. Les tempêtes récentes, dont celle du 2 décembre 2005, ont permis de mieux comprendre l'effet des structures rigides de protection dans l'amplification de l'effet des tempêtes par les ondes de tempête et les vagues. Ces ouvrages entraînent l'abaissement et voire même la disparition des plages situées devant, ce qui réduit la capacité naturelle des systèmes côtiers à absorber l'énergie des vagues de tempête et augmente les risques de submersion côtière.

ABSTRACT

Quebec's maritime coastline is usually developed without consideration for its dynamics and natural variability. As a result, actions to prevent coastal erosion become a necessity and the construction of rigid walls and encroachments has been the norm. Around the Chaleur Bay, coastal communities are quite vulnerable to erosion and flooding because considerable infrastructure development (residential, commercial and transportation) has occurred on beach terraces and sand spits. Recent storms, such the December 2nd, 2005 event, have provided a better understanding of the effect of rigid protection structures on the amplification of storm impacts through storm surges and waves. These structures drive the sand away from the coast, bringing the beach to a lower level or removing it entirely. The end result is a reduction in the natural capacity of these coastal systems to absorb the energy of the storm-induced waves and a greater risk of coastal flooding.

## 1. INTRODUCTION

La problématique de l'érosion côtière est grandissante dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent avec des taux de recul moyens variant généralement entre 0,5 et 2 m/an (Bernatchez et Dubois, 2004). Les observations compilées durant les dernières décennies sur l'évolution du littoral, associées à une littérature scientifique de plus en plus étoffée sur les changements climatiques, permettent d'anticiper une recrudescence de l'intensité de certains aléas côtiers à court et moyen terme (GIEC, 2001; Lozano *et al.*, 2004, Forbes *et al.*, 2004). Au Québec, les études sur les géorisques côtiers ont porté principalement sur l'érosion côtière (Bernatchez et Dubois, 2004; Dubois *et al.*, 2005) et les mouvements de masse (Allard, 1984, Lebuis, 1977). Malgré que plus de 35 % du littoral du Québec maritime laurentien est composé de côtes basses susceptibles d'être sensibles à la submersion (Bernatchez, 2006), aucune étude n'a encore porté sur les risques de submersion associés aux surcotes de tempête. Enfin, les données sur les niveaux d'eau et sur les surcotes sont rarement couplées avec la morphologie du littoral et les observations in situ de la submersion du territoire côtier, de sorte qu'il est difficile d'évaluer l'influence et le rôle du déferlement des vagues dans le phénomène de submersion.

L'artificialisation du littoral joue aussi un rôle déterminant sur la dynamique côtière. Bien qu'il semble évident que les structures rigides modifient les processus côtiers, réduisent les apports sédimentaires et amplifient l'érosion des plages, bien peu d'études ont documenté ce phénomène au Québec (Bernatchez et Dubois, 2004). Les structures de protection côtière sont de plus en plus nombreuses d'année en année, et ce, sans même que soit évalué leurs effets sur la résilience côtière.

La tempête du 2 décembre 2005 a sonné l'alarme en provoquant beaucoup de dégâts dans plusieurs localités du golfe du Saint-Laurent, notamment à Maria dans la baie des Chaleurs où plusieurs résidences du secteur de la pointe Verte ont été inondées (figure 1).

*In : J. Locat, D. Perret, D. Turmel, D. Demers et S. Leroueil, (2008).*
*Comptes rendus de la 4e Conférence canadienne sur les géorisques: des causes à la gestion.*
*Proceedings of the 4th Canadian Conference on Geohazards : From Causes to Management. Presse de l'Université Laval, Québec, 594 p.*

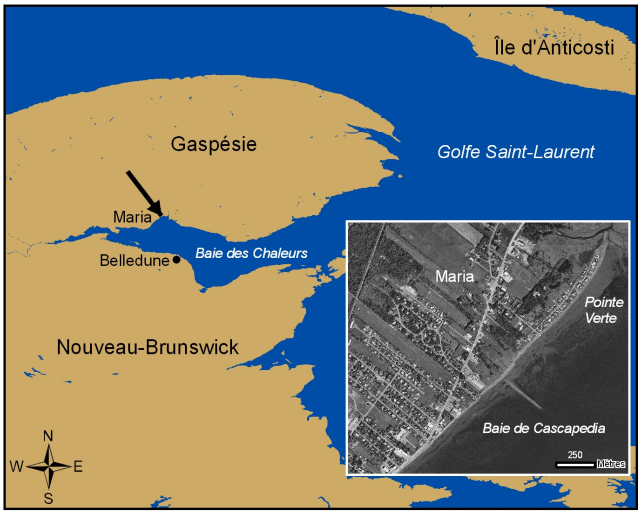



Figure 1. Localisation du site d'étude

L'objectif de cette étude est de documenter les effets des ouvrages de protection sur la dynamique côtière et leur efficacité à contrer les événements de tempête.

## 2. MÉTHODOLOGIE

Le type de côte, l'état actuel de la côte et les niveaux altimétriques ont été décrits et analysés selon une segmentation côtière réalisée sur le terrain à l'été 2005 et 2006. Au total, 27 segments homogènes ont été identifiés et cartographiés sur une longueur totale de côte de 1 800 m. De plus, afin d'évaluer l'effet des structures côtières sur le profil de la plage, 44 profils de haut estran (147 points) ont été mesurés à l'aide d'un système D-GPS Thales, modèle ProMark 3. Ce système rend des données avec une précision de 1 cm en x, y et z. Plus de 130 points altimétriques ont aussi été mesurés à l'aide du système D-GPS dans le but de déterminer les niveaux d'eau atteints lors de l'événement extrême du 2 décembre 2005. Ces mesures font référence au zéro géodésique (niveau moyen des mers).

Il n'y a pas d'enregistrement de niveau d'eau à la municipalité de Maria. Le marégraphe le plus proche est celui situé à Belledune, N.-B. sur la rive sud de la baie des Chaleurs. Il représente bien les niveaux d'eau observés dans la baie des Chaleurs. Les surcotes ou ondes de tempête sont des ondes à grande échelle. Par exemple, les événements observés dans la baie des Chaleurs sont cohérents avec ceux observés à Rivière-au-Renard en amplitude et en phase.

La prédiction a été calculée selon la méthode Foreman (1978). Il est possible de calculer l'amplitude de la surcote en soustrayant la prédiction de la marée des niveaux observés. Les niveaux d'eau rapportés ici ont comme référence le zéro de la carte hydrographique de la région. La correspondance avec le niveau de référence terrestre est le suivant. Le niveau moyen des mers à la station de Belledune d'après le Système canadien de référence altimétrique (CGVD28) est à 1,18 m au-dessus du zéro de la carte hydrographique de la région. Par exemple, le niveau observé de 3,18 m au-dessus du zéro de la carte hydrographique se converti en 2,00 m au-dessus du niveau moyen des mers tel que défini par Ressources Naturelles Canada.

L'évolution historique a été réalisée par l'analyse des photographies aériennes de 1934, 1992, 2001, 2005 et 2006. Le géopositionnement a été fait à l'aide du logiciel ArcView 9.0 sur la base de l'orthophotographie de 2001 et avec une validation sur le terrain à l'aide du D-GPS.

Un indice de déficit sédimentaire (Ids) a aussi été développé et s'exprime par l'équation 1 :

$$Ids = \frac{H * L}{2} \qquad [1]$$

où H correspond à la hauteur de la plage à la limite supérieur du haut estran et L à la largeur du haut estran.

## 3. DESCRIPTION DU MILIEU

### 3.1 Conditions hydrodynamiques

La baie des Chaleurs, étant relativement étroite et échancrée, limite la propagation des fortes houles du golfe du Saint-Laurent. Le régime des houles à l'entrée de la baie des Chaleurs est caractérisé par des houles significatives moyennes de 2,1 m et de 9 secondes de période (Long, 2006). Par diffraction, elles peuvent pénétrer dans la baie mais sont atténuées en arrivant à Maria.

Le littoral de Maria n'est cependant pas à l'abri des vagues de tempête du sud-est qui, avec un fetch de 65 km, peuvent atteindre 1,5 m de hauteur et de 5 à 6 secondes de période (Long, 2006). Les vents dominants sont de l'ouest et exercent une influence sur le régime des vagues qui frappent le littoral de Maria et sur les courants tels que la dérive littorale dominante, qui va du sud-ouest vers le nord-est.

Les marées moyennes ont un marnage de 1,7 m. Durant les grandes marées, la hauteur de marée peut atteindre jusqu'à 2,8 m, ce qui submerge partiellement les côtes basses du territoire.

### 3.2 Type de côte et dynamique côtière

L'ensemble de la zone côtière du secteur d'étude offre un relief très plat et ne présente aucune falaise littorale. En partant du sud-ouest, les premiers 1 235 m (69 %) présentent une côte à terrasse de plage et les derniers 565 m (31 %) constituent la flèche littorale de la pointe Verte.

La forme et l'extension de la flèche de la pointe Verte indiquent clairement une dérive littorale vers le nord-est. Les structures perpendiculaires à la côte (épis et drains en béton) accumulent des sédiments en amont de la structure et créent un déficit en aval, vers le nord-est. La dérive est parfois inversée de façon saisonnière sur de courtes distances. Le transit sédimentaire est considérable.

Bien que l'érosion des caps de Maria au sud-ouest fournisse une quantité non négligeable de sédiments au système côtier, Long (2006) ainsi que Morneau *et al.* (2001) affirment que la source principale du secteur de Maria serait sous-marine. Les analyses des images couleurs à haute résolution spatiale de 2005 montrent effectivement la présence de rides et de dunes de sable dans la zone prélittorale et intertidale qui migrent vers la côte impliquant un apport de sédiments provenant du large.

### 3.3. Artificialisation de la côte

Le cadre bâti dans la zone côtière de Maria n'a cessé d'augmenter durant les dernières décennies. On compte au total 40 résidences sur la zone d'étude ainsi que quelques commerces d'importance. Cette urbanisation combinée au recul de la côte a entraîné la multiplication des ouvrages de défense côtière qui occupent aujourd'hui 59 % de la longueur du littoral à l'étude (figure 2). Ces ouvrages sont principalement constitués de murs verticaux (51 %) et d'enrochement (7 %). La portion sud-ouest de la zone d'étude est artificialisée depuis plusieurs décennies tandis que les défenses côtières sont apparues au début des années 1990 dans le secteur de la pointe Verte.



Figure 2. Mur de protection, secteur de la pointe Verte.

## 4. CARACTÉRISTIQUES DE LA TEMPÊTE DU 2 DÉCEMBRE 2005

La figure 3 illustre l'évolution des niveaux d'eau observés à Belledune et la prédiction des niveaux induits par la marée seulement (Foreman, 1978). La surcote du 2 décembre 2005 a atteint 0,50 m. C'est une surcote moyenne, puisqu'elle peut atteindre 1,00 m (tableau 1). Les surcotes sont produites par une combinaison de phénomènes météorologiques, soit la pression atmosphérique et le stress du vent, associés au passage d'une tempête. Le niveau maximum observé au cours de la période est de 3,18 m par rapport au zéro des cartes marines. Dans cette région, où la marée de vive-eau atteint 2,80 m, il arrive en moyenne une fois par année que le niveau soit supérieur à 3,00 m. L'événement du 2 décembre 2005 est dans la moyenne des extrêmes annuels. Il y a eu trois événements où le niveau observé lui était supérieur au cours de la période de 1999 à 2006.

Les dommages importants observés à Maria le 2 décembre 2005 sont dus à l'effet combiné de l'amplitude des vagues et des niveaux d'eau élevés, supérieurs à 3,00 m.

Tableau 1. Liste des événements de niveau d'eau supérieur à 3,00 m pour la période de 2000 à 2006 à Belledune, N.-B.

| Belledune | 2145 | | TU | Niveau | Surcote |
|---|---|---|---|---|---|
| Jour | Mois | Année | Heure | (m) | (m) |
| 21 | 1 | 2000 | 20:00:00 | 3,64 | 1 |
| 12 | 12 | 2000 | 20:00:00 | 3,40 | 0.8 |
| 6 | 2 | 2001 | 18:00:00 | 3,23 | 0.9 |
| 11 | 12 | 2004 | 19:00:00 | 3,13 | 0.2 |
| 29 | 4 | 2005 | 11:00:00 | 3,01 | 0.6 |
| 2 | 12 | 2005 | 20:00:00 | 3,18 | 0.5 |
| 2 | 12 | 2006 | 17:00:00 | 3,01 | 0.6 |

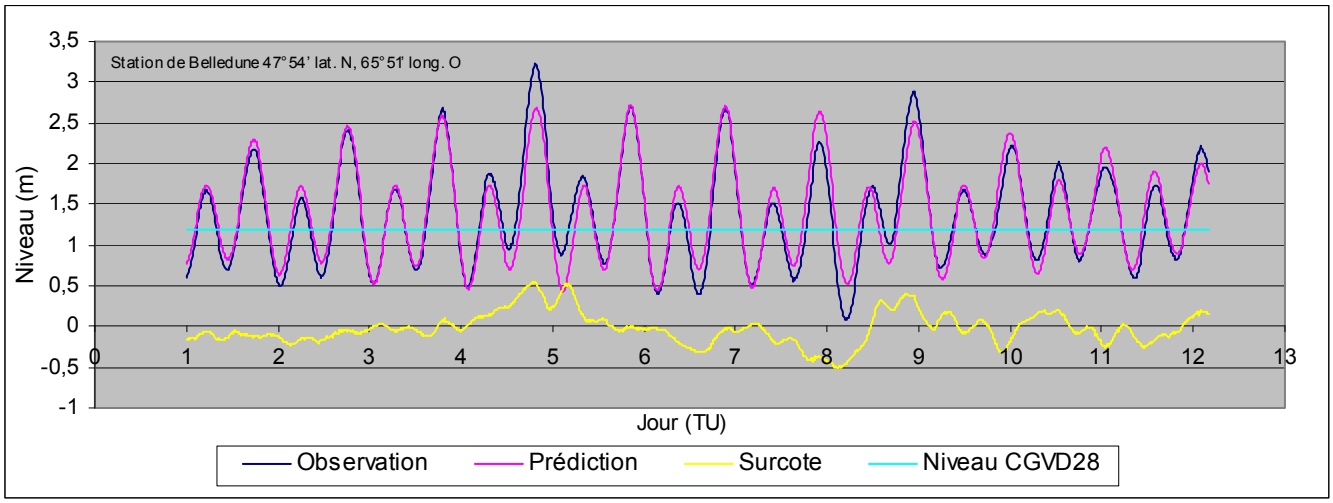



Figure 3. Niveau d'eau observé, prédiction de la marée, amplitude de la surcote et niveau moyen des mers de 1,18 m (CGVD28) à Belledune, N.-B. Le maximum de 3,18 m a été atteint le 2 décembre 2005 à 20h00 TU, soit à 15h00

## 5. ARTIFICIALITÉ ET RÉSILIENCE CÔTIÈRE FACE AUX ALÉAS CÔTIERS

### 5.1 Érosion côtière et bilan sédimentaire

Le secteur à l'étude s'est grandement transformé depuis 1934 (figure 4). Les taux de recul sont plutôt faibles dans la partie sud-ouest (moyenne de -0,2 m/an pour la période 1934-1992), mais forts dans la partie centrale (moyenne de -0,7 m/an pour la période 1934-1992). Le recul de la côte a atteint 50 m dans ce secteur depuis 1934. Quant à l'extrémité nord-est qui est formée d'une flèche littorale, il y a eu accumulation à un rythme de 0,4 à 2,5 m/an.

La période 1992-2006 présente en général des taux d'érosion inférieurs dus à l'artificialisation récente. Cependant devant la principale zone naturelle, située au milieu du site d'étude (figure 5), le trait de côte a reculé de 24 mètres (0,41 m/an) entre 1934 et 1992 et de 9 mètres (0,64 m/an) entre 1992 et 2006. Le taux d'érosion a donc augmenté de 50 % durant les 14 dernières années en comparaison avec les 58 années précédentes.

Le secteur à l'étude offre une corrélation directe entre la présence d'un ouvrage de protection et le volume de sédiments sur le haut estran. On remarque, de manière générale, que les hauteurs et les largeurs les plus fortes correspondent aux côtes naturelles et que les données les plus faibles sont reliées aux côtes artificielles (tableau 2). L'indice de déficit sédimentaire permet de montrer clairement cette relation (figure 5). Les mesures prises devant les structures de protection indiquent un indice de déficit de élevé à très élevé, tandis que les zones naturelles ont un indice de moyen à faible. La forte artificialisation du littoral de Maria contribue donc, de façon importante, au déséquilibre sédimentaire des plages.

Dans le secteur où le recul de la ligne de rivage est le plus important pour la période récente, l'indice de déficit est faible. Ainsi, le recul de la ligne de rivage maintient l'équilibre hydrosédimentaire de la plage.

Tableau 2. Comparaison entre la largeur et la hauteur absolue moyenne du haut estran pour les côtes naturelles et artificielles du site à l'étude.

| État de la côte | Largeur moyenne (m) (min - max) | Hauteur moyenne (m) (min - max) |
|---|---|---|
| Naturelle | 18,45 (14,20 - 21,70) | 2,30 (1,23 - 2,92) |
| Artificielle | 12,86 (4,20 - 18,30) | 1,70 (0,55 - 2,47) |

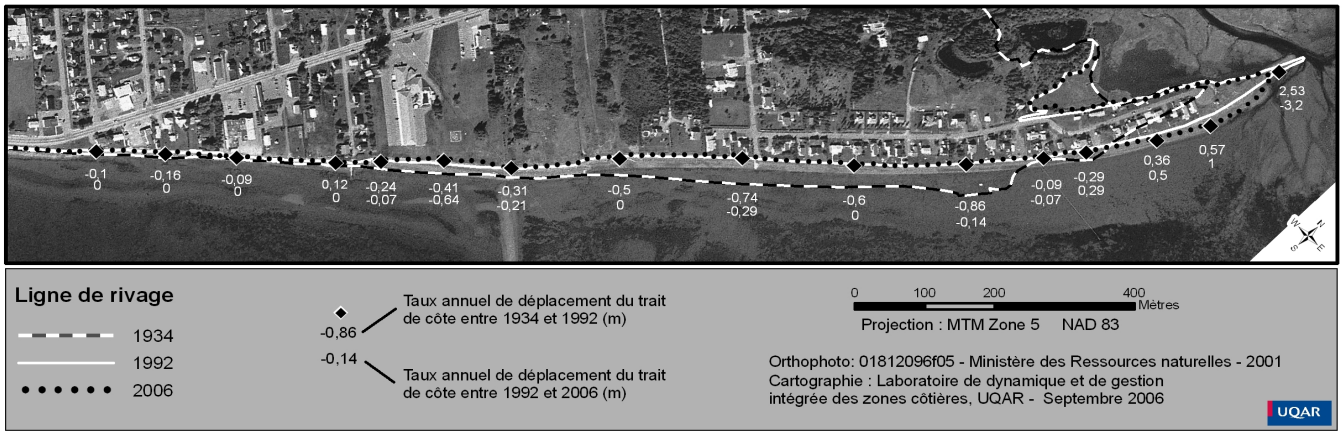



Figure 4. Évolution historique du trait de côte.

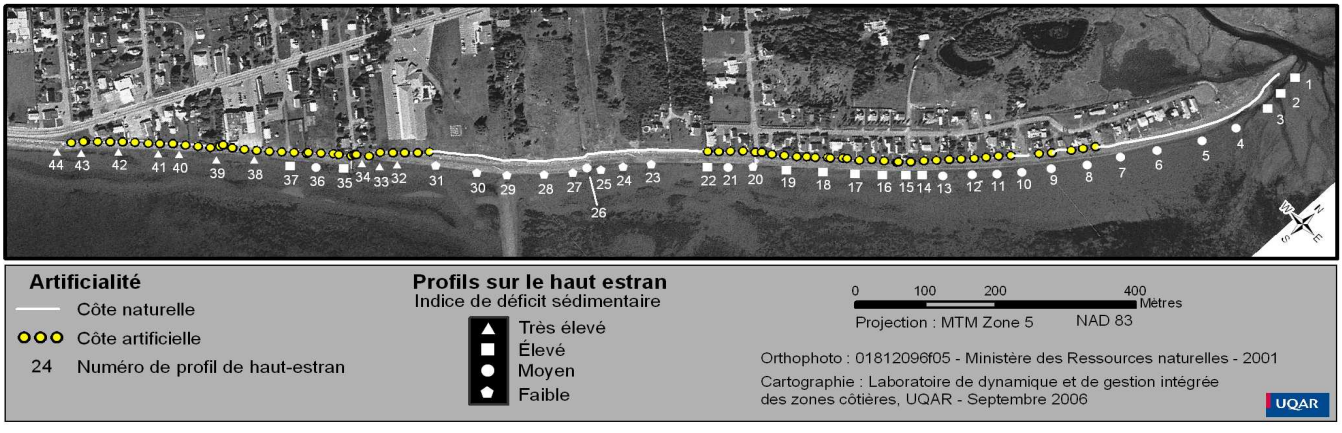



Figure 5. Relation entre l'artificialité et le déficit sédimentaire du haut estran selon un indice du déficit

Par contre, dans les zones artificielles, lorsque le trait de côte ne peut migrer latéralement vers les terres, c'est le haut estran qui s'érode verticalement et en largeur; il en résulte une perte nette de sédiments (figure 6). La verticalité des murs empêche l'énergie des vagues de se dissiper; les vagues sont ainsi fortement réfléchies et les sédiments sont déplacés vers le large où dans le sens de la dérive. De plus, si l'ouvrage est lisse, cela diminue la rugosité de la ligne de rivage et favorise les courants parallèles qui contribuent aussi à l'érosion du haut estran. Le prisme de sédiments du haut estran, illustré par une trame de points sur la figure 6, est ainsi réduit en hauteur et en largeur.

Bien que les structures de protection ont en général atténué le recul du trait de côte, le déficit sédimentaire des plages, qui est accentué immédiatement devant et en bordure de ces structures, augmente directement leur vulnérabilité aux événements de tempête. L'affouillement à la base des structures provoque l'affaissement et l'arrachement des matériaux (figure 7) ; ce qui amène tôt ou tard une augmentation des coûts d'entretien des structures de protection.



Figure 7. Muret brisé par les vagues de tempêtes du 2 décembre 2005, secteur de la pointe Verte.

5.2 Submersion côtière

Dans la baie des Chaleurs, le phénomène de submersion peut survenir ponctuellement lors d'événements de tempête, mais il est aussi graduel depuis plusieurs décennies en raison de la hausse du niveau marin. Une étude récente basée sur les données de la station marégraphique d'Escuminac dans la baie des Chaleurs indique une hausse du niveau marin de 1,98 mm/an (Koohzare *et al.*, 2006), ce qui correspond à la hausse moyenne du niveau de la mer de 1 à 2 mm/an depuis un siècle à l'échelle planétaire (Gornitz, 1995). Dans ce contexte, le secteur de la Pointe Verte à Maria sera de plus en plus vulnérable à la submersion côtière.

Les risques de submersion sont déjà évidents dans le secteur à l'étude. Les résidents parlent de multiples événements durant les dernières décennies et plus particulièrement depuis 8-9 ans. Chaque événement conduit à l'inondation des sous-sols des résidences et apporte de multiples débris de tempête sur les terrains. La tempête du 2 décembre 2005 n'a pas fait exception. Les trois rues qui longent et qui mènent au bord de mer ont été fermées en raison de leur submersion (figure 8).

La figure 9 donne la limite approximative de submersion atteinte lors de cet événement. La limite a été tracée selon les observations de six résidents qui étaient présents lors de l'événement. La figure indique aussi plusieurs points altimétriques qui permettent de déterminer les niveaux d'eau atteints. Bien que les données marégraphiques indiquent que le niveau d'eau amplifié par la surcote n'ait pas dépassé 2,00 m au-dessus du zéro géodésique, l'accumulation d'eau sur l'arrière plage issue du jet de rive a atteint généralement 2,30 m et jusqu'à 2,80 m par endroits. Cet écart est lié à la hauteur des vagues et à leur déferlement qui est lui-même fonction de la configuration topographique du littoral et de la présence ou non de structures de protection.

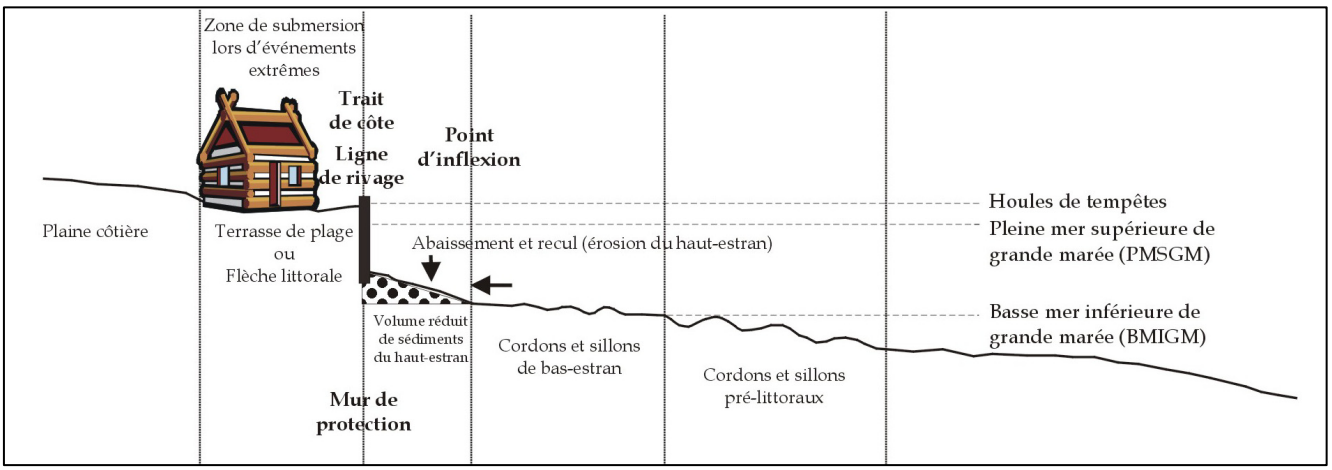



Figure 6. Effet d'un mur vertical sur le bilan sédimentaire de la plage.



Figure 8. Submersion du secteur de la pointe Verte lors de l'événement du 2 décembre 2005.

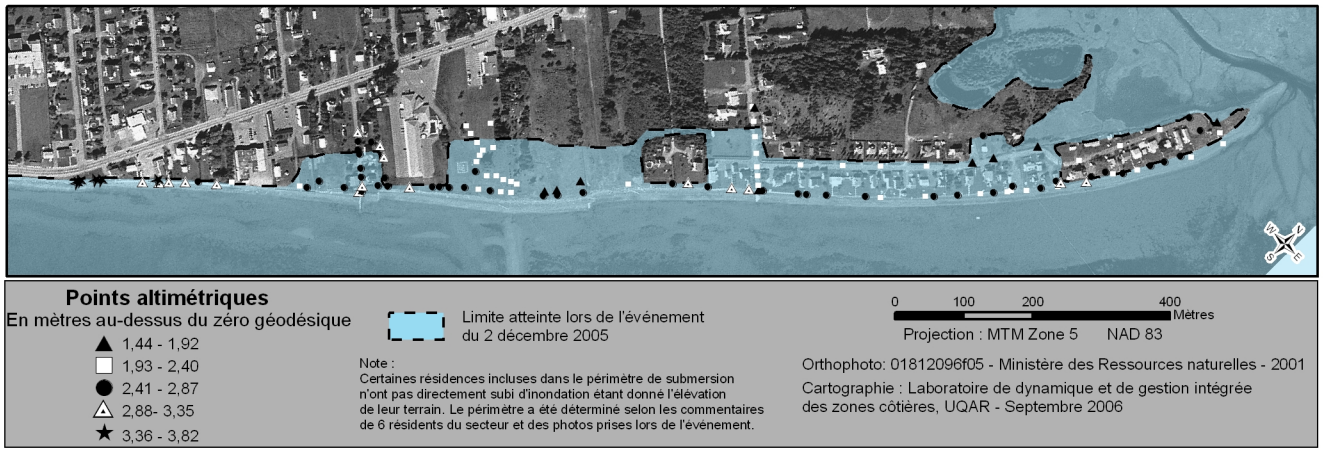



Figure 9. Submersion du 2 décembre 2005 et altitude de l'arrière plage.

Avec une altitude dépassant les 2,4 m, le secteur de la rue des Mouettes (secteur nord-ouest), qui est protégé par un important mur, a été submergé et plusieurs résidences ont subi des dommages. L'eau a pu atteindre les résidences par l'accumulation d'eau produite lors du déferlement des vagues sur le mur. La corrélation entre submersion et artificialité est encore plus grande dans le secteur de la pointe Verte. La submersion de l'arrière plage s'est produite principalement à partir de segments côtiers où l'indice de déficit sédimentaire était plus élevé. Il s'agit des points où la largeur et la hauteur du haut estran étaient plus faibles. Ces points de faiblesse correspondent aux segments bordés de structures verticales rigides. La figure 10 présente un site où les vagues ont franchi le mur lors du déferlement. La première photo montre le site par beau temps et la seconde montre l'ampleur du déferlement des vagues ainsi que le jet de rive lors de la tempête du 2 décembre 2005.

En contre partie, devant les segments de côtes naturelles situés vers l'extrémité de la pointe Verte, où la plage est plus élevée et plus large, l'énergie des vagues a été dissipée. L'arrière plage, qui est pourtant à la même altitude que les secteurs adjacents, n'a pas été submergée.

La submersion s'est aussi produite à partir du marais maritime derrière la flèche littorale où les niveaux topographiques sont moins élevés. L'eau a emprunté d'anciens chenaux de marée du marais ainsi que des canaux de drainage.

La variabilité des zones submergées en fonction d'un même niveau altimétrique implique donc une influence non négligeable du déficit sédimentaire des plages et de l'artificialité du littoral dans le patron de submersion des terres lors d'un événement de surcote. Dans une perspective de gestion et de prévention du risque de submersion, ceci implique donc qu'il n'est pas suffisant de faire une simple superposition des niveaux d'eau et d'un modèle numérique d'altitude (Bernier *et al.*, 2006; Webster *et al.*, 2006) et qu'il faudrait davantage tenir compte des facteurs d'amplification anthropique dans les modèles d'analyse du risque et dans la définition des critères de zonage.

Pour une surcote plutôt moyenne de 0,50 m, le niveau submergé a atteint presque un mètre au-dessus du niveau d'eau enregistré. Ceci permet d'établir une cote de sécurité minimale pour le zonage du risque de submersion pour la région de Maria.




Figure 10. Franchissement de l'eau lors du déferlement d'une vague de tempête, le 2 décembre 2005 à Maria.

## CONCLUSION

L'intervention afin de contrer l'érosion côtière peut entraîner une modification des processus côtiers et ainsi engendrer une augmentation de la sensibilité à la submersion côtière. L'exemple de Maria démontre bien que l'artificialisation du littoral a fortement diminué la résilience côtière en réduisant le volume de sédiments de la plage, ce qui en retour a fragilisé les structures et a favorisé le franchissement lors du déferlement des vagues de tempête. Dans le contexte du déficit sédimentaire et de la croissance de l'artificialité sur l'ensemble des côtes québécoises, il importe désormais de prendre en compte les effets des structures rigides sur les côtes meubles dans la gestion des géorisques côtiers.

Cette étude est l'une des premières du genre au Québec. D'autres sites de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent devront être étudiés utilisant la combinaison des outils altimétriques (D-GPS et LIDAR) avec la modélisation des ondes de tempêtes. Ces outils offrent la possibilité d'évaluer avec précision la vulnérabilité des côtes à la submersion côtière et permettent d'établir des comparaisons entre les côtes naturelles et artificielles.

## REMERCIEMENTS

Cette recherche a été réalisée grâce au soutien financier du ministère de la Sécurité publique du Québec. L'ensemble des figures a été amélioré par Steeve Dugas du Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières de l'UQAR. Merci à Michel Chouinard, Mathieu Caissy, Gaston Chouinard, Liliane Poirier, Rémi Arbour, Monique Cyr et France Dugas pour les informations fournies à propos de l'événement du 2 décembre 2005.

Cet article a bénéficié des conseils de Jean-Marie Dubois de l'Université de Sherbrooke ainsi que Donald L. Forbes de la Commission géologique du Canada qui ont évalué l'article.

## RÉFÉRENCES

Allard, J.D., 1984. Zone exposée aux mouvements de terrain dans la région de Chute-aux-Outardes. Ministère de l'Énergie et des Ressources, Direction générale de l'exploitation et du développement, Qc, DV-83-01, 42 p.

Bernatchez, P. 2006. Implantation d'un réseau de suivi de l'érosion côtière et bilan de l'érosion pour le Bas-Saint-Laurent, la Gaspésie et les Îles-de-la-Madeleine, Québec. Rapport de recherche remis au Ministère des affaires municipales et des régions, Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières, UQAR, 59 p.

Bernatchez, P. et Dubois, J.-M.M. (2004). Bilan des connaissances de la dynamique de l'érosion des côtes du Québec maritime laurentien. *Géographie physique et Quaternaire*, Vol. 58, no 1, pp. 45-71.

Bernier, N., MacDonald, J., Ou, J., Ritchie, H. et Thompson, K., 2006. Modélisation des ondes de tempête et des conditions météorologiques. pp. 275-314. *Dans* : Impacts de l'élévation du niveau de la mer et du changement climatique sur la zone côtière du sud-est du Nouveau-Brunswick, Environnement Canada, 644 p.

Dubois, J.-M.M., Bernatchez, P., Bouchard, J.-D., Daigneault, B., Cayer, D. et Dugas, S., 2005. Évaluation du risque d'érosion du littoral de la Côte-Nord du Saint-Laurent pour la période de 1996-2003. Conférence régionale des élus de la Côte-Nord, 291 p. + annexes.

Forbes, D.L., Parkes, G.S., Manson, G.K. et Ketch, L.A., 2004. Storms and shoreline retreat in the southern Gulf of St. Lawrence. Marine Geology, 210 : pp. 169-204.

Foreman, M.G.G., 1978. Manual for Tidal Currents Analysis and Prediction. *Pacific Marine Science Report* 78-6, Institute of Ocean Sciences, Patricia Bay, Sidney, B.C. Canada, 57 p.

Gornitz, V. 1995. Sea-level rise : a review of recent past and near-future trends. *Earth Surface Processes sand Landforms*, 20, p. 7-20.

Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. 2001. Bilan 2001 des changements climatiques : Les éléments scientifiques. *Contribution du Groupe de travail 1 au troisième rapport d'évaluation du GIEC*. 90 p.

Koohzare, A., Vanícek P., and Santos M., 2006. Compilation of the map of recent vertical crustal movements in eastern Canada using GIS, *Journal of Surveying Engineering, ASCE,* Vol.132, No.4, pp.160-167.

Lebuis, J., 1977. Évaluation des risques de coulées argileuses et de glissements de terrain dans la région de la Rivière Saint-Jean. Service de la géotechnique, Ministère des Richesses Naturelles.

Long, B., 2006. Étude hydrodynamique, sédimentologique et biologique des sites de Maria, Saint-Siméon, Bonaventure, Newport et Cap d'Espoir dans la baie des Chaleurs, Québec, Canada. Ministère des Transports du Québec. Contrat 3100-00-QH02. 121 p.

Lozano, I., Devoy, R.J.N., May, W. et Anderson, U., 2004. Storminess and vulnerability along the Atlantic coastlines of Europe : Analysis of storm records and of a greenhouse gases induced climate scenario. *Marine geology*, 210, pp. 205-225.

Morneau, F., Michaud, M., Lecours, F., Côté, L. et ROY, D., 2001. Étude d'impact sur l'environnement : reconstruction d'un mur le long de la route 132 municipalité de Maria, baie de Cascapédia. Gouvernement du Québec, ministère des Transports du Québec, 36 p. + annexes

Webster, T.L., Forbes, D.L., MacKinnon, E., et Roberts, D., 2006. Modèle altimétrique numérique LiDAR et cartographie des risques d'inondation. P.315-341. *Dans* : Impacts de l'élévation du niveau de la mer et du changement climatique sur la zone côtière du sud-est du Nouveau-Brunswick, Environnement Canada, 644 p.