

LA ZONE CÔTIÈRE

Bulletin d'information
n° 4, hiver 2019

■ COMPRENDRE ■ PARTAGER ■ S'ADAPTER ■

CHAIRE DE RECHERCHE
EN GÉOSCIENCE CÔTIÈRE



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



Pascal Bernatchez, Ph. D.

Professeur et titulaire

Chaire de recherche en géoscience côtière

Université du Québec à Rimouski

Mot du directeur

Pour ce premier numéro de l'année 2019, on vous propose comme sujet spécial, les tempêtes ! La période hivernale est la saison où les tempêtes côtières sont les plus fréquentes et les plus intenses en énergie. Heureusement cet hiver le couvert de glace est bien développé permettant ainsi de limiter l'érosion et la submersion côtière. Au cours des dernières années, le mois de décembre a été particulièrement critique puisque les vagues de tempête ont provoqué des dommages importants aux infrastructures côtières. Rappelons-nous des tempêtes de décembre 2005, 2010, 2016 et même celle de 2018 qui a touché les Îles-de-la-Madeleine. D'ailleurs, 44 % des événements de submersion côtière et près du quart des événements de vagues de tempête que nous avons recensés dans les archives entre 1880 et 2010 et qui ont provoqué des dommages au littoral de l'Est du Québec se sont produits en décembre. Pour en savoir davantage, je vous invite à lire l'article sur la contribution des archives à l'étude des événements météo-marins. Denis Gilbert, chercheur en océanographie physique à l'Institut Maurice-Lamontagne, nous décortique la notion de tempête et revient sur celle de décembre 2010 à Rimouski. Nous vous proposons aussi un aperçu des travaux que notre laboratoire mène pour mieux comprendre les tempêtes et leurs effets sur le littoral. Ludovic Pascal, stagiaire postdoctoral, nous explique sa recherche pour évaluer la résilience des écosystèmes côtiers, particulièrement les herbiers de zostère marine. Finalement Laurie Desrosiers-Leblanc nous présente son projet de maîtrise sur les politiques publiques dans un contexte d'adaptation aux risques côtiers. La bédéiste Noémie Ross vient aussi illustrer les différents articles. Enfin, je veux souligner qu'en 2019 nous tiendrons le 2^e atelier dans les différentes MRC de l'Est du Québec dans le cadre du projet Résilience côtière où sera présenté l'outil que nous avons développé sur l'exposition des infrastructures côtières à l'érosion côtière ainsi que la plateforme WEB de diffusion et de cartographie interactive. Il sera aussi question de la vulnérabilité des écosystèmes côtiers et des communautés côtières et des solutions d'adaptation.

Je vous souhaite une bonne lecture !

Pascal



SOMMAIRE

4 - 15 **Cap sur : l'étude des tempêtes au laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières (LDGIZC)**

4-5 Introduction

6-8 Contribution des archives à l'étude des événements météorologiques et géomorphologiques causant des dommages aux côtes du Québec maritime

9-11 Article invité : Grandes marées observées à Rimouski, par Denis Gilbert

12-15 Nos équipes au cœur des tempêtes : relevés terrains et analyses

Comprendre

16-17 Comprendre et évaluer la résilience des écosystèmes à herbier

18-19 Adaptation aux risques côtiers : Politiques publiques et perception des communautés côtières

Nouvelles

19 Consultation menée auprès des entreprises en génie et en aménagement côtier
Ateliers Résilience côtière à venir dans l'Est du Québec

Cap sur : l'étude des tempêtes au laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières

La saison froide actuelle ne fait pas exception ; plusieurs tempêtes ont fait l'actualité ces derniers mois dans les régions côtières du Québec maritime. On retiendra en particulier les dommages importants sur les infrastructures de communication suite à une série de tempête en automne dernier aux Îles-de-la-Madeleine. Nous profitons de ce bulletin d'hiver afin de présenter le type de travaux que nous sommes amenés à effectuer sur les tempêtes. Quelles recherches ont été menées pour mieux comprendre ces phénomènes et prédire leur temps de retour? En quoi consistent nos interventions et mesures effectuées sur le terrain rapidement après un évènement de tempête? Quels types d'études et de documents sont réalisés à plus long terme? Plusieurs articles de ce dossier reviennent sur la tempête du 6 décembre 2010 qui a donné lieu à de nombreuses analyses permettant aux gestionnaires de mieux appréhender et prévenir les impacts de futurs évènements similaires. Le physicien de Pêche et Océans Canada, Denis Gilbert, nous explique aussi en détail (cf. page 9 à 11) les processus ayant conduit à cette tempête majeure, mais peut-être pas si exceptionnelle....

Au fait, c'est quoi une tempête ?

On entend en général par tempêtes des évènements naturels extrêmes caractérisés par des **vents rapides** et des **précipitations abondantes** qui peuvent avoir un **impact sur le milieu naturel et les communautés**.

En contexte côtier les processus de modifications géomorphologiques sont multiples. Les **vagues de tempête** peuvent provoquer non seulement un **recul du littoral**, mais aussi des épisodes de **submersion côtière** et d'**inondation** (photo 1 et 2). Les précipitations diluviennes peuvent causer des **mouvements de masse qui affectent les falaises littorales** (photo 3). L'action du **sapement basal des falaises** par les vagues de tempête est un processus qui intervient aussi dans le déclenchement de certains mouvements de masse (photo 4).

Pourquoi étudier les tempêtes ?

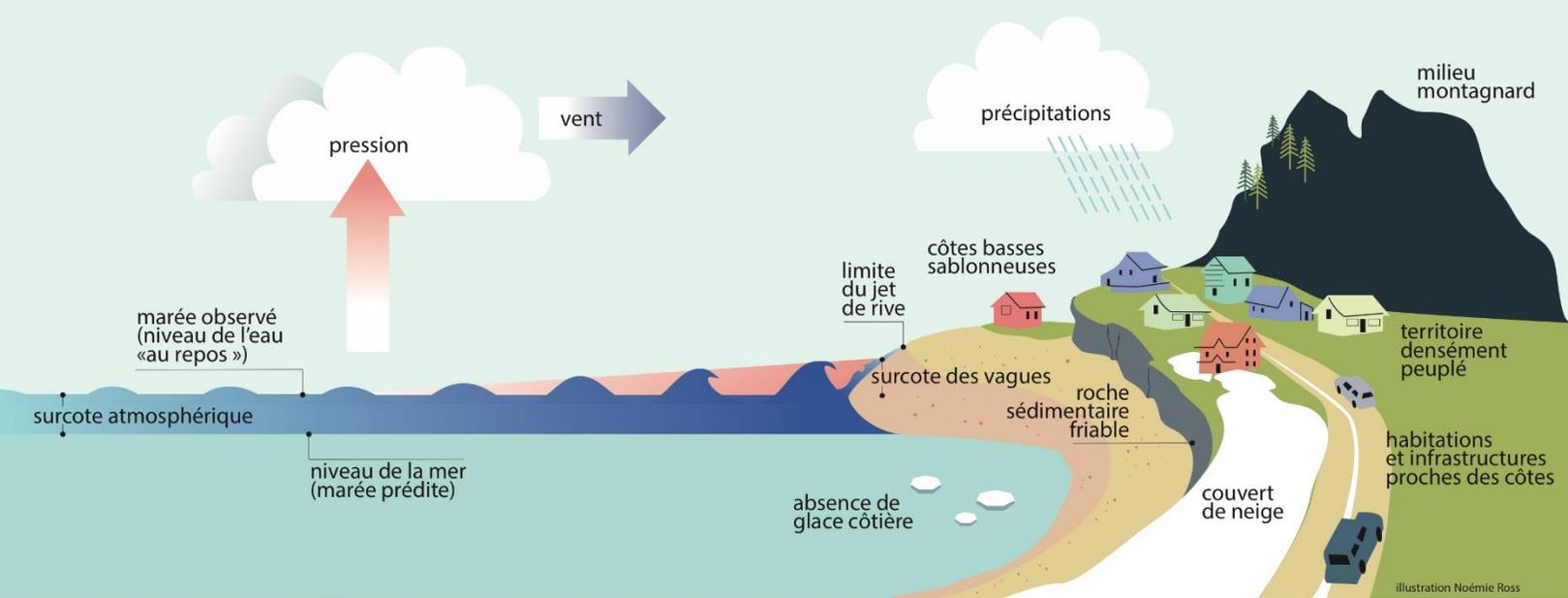
Il est primordial de comprendre les conditions propices à l'occurrence d'évènements responsables de dommages à la côte pour évaluer la vulnérabilité des communautés côtières et adapter la gestion et l'aménagement du territoire. Ces connaissances servent à élaborer la cartographie des zones de contraintes relatives à l'érosion et à la submersion côtières et à concevoir et adapter les ouvrages de protection côtière.

Une meilleure compréhension des processus de tempête est d'autant plus pertinente dans le contexte actuel et futur de changements climatiques. Un grand nombre d'études prévoient des augmentations de la fréquence et...



Photo 1 et 2: Vagues et submersion côtière dans le secteur de Pointe-au-Père en décembre 2010 - source : B. Vigneault (1) et Serge Guay (2) / Photo 3 : Glissement de terrain en Haute-Côte-Nord / Photo 4 : Vagues à Cap-d'Espoir en Gaspésie





Qu'est-ce qui influence l'intensité d'une tempête et les dommages causés sur les côtes?

Outre la vitesse moyenne des vents, les vitesses maximales des rafales, l'orientation des vents, leur durée ainsi que les quantités de précipitations (pluie et neige), **les niveaux d'eau** vont aussi avoir un impact sur l'ampleur des dommages potentiels.

Lorsqu'une tempête survient en conjonction avec une marée haute de grande marée*, le risque de submersion est renforcé. Une basse pression atmosphérique provoque une hausse du niveau eau*. On parle de **surcote atmosphérique** (ou barométrique) pour désigner la différence de niveau d'eau engendrée par la pression atmosphérique et le niveau d'eau prédit par la marée*. Les **vents** et des **vagues** de fortes amplitudes peuvent aussi générer une surcote*. La **hauteur des vagues** et le mécanisme de **jet de rive** (masse d'eau projetée sur l'estran suite au déferlement des vagues) influencent grandement les niveaux d'eau atteints à la côte et par conséquent le degré de risque de submersion côtière.

D'autres facteurs peuvent influencer l'intensité des dommages côtiers : la présence de **glace en zone côtière** influence les processus d'érosion (cf. Le numéro 2 de La zone côtière pour une explication détaillée de ces processus); les côtes composées de **roches sédimentaires friables et de sédiments meubles** sont **plus vulnérables** aux événements extrêmes que les côtes à escarpements rocheux; la fonte rapide du couvert de neige (lors des redoux hivernaux) et un milieu montagnard (versant abrupt favorisant les crues éclairs) peuvent engendrer un apport d'eau supplémentaire amplifiant ainsi les inondations côtières. Enfin l'aménagement du territoire est un facteur déterminant. Une **zone densément peuplée** en bordure de la zone côtière sera d'autant plus vulnérable aux événements extrêmes.

**ces processus sont davantage détaillés dans l'article de Denis Gilbert en page 9.*

...de l'intensité des tempêtes. Des projections récentes confirment des hausses du niveau de la mer encore plus élevées qu'initialement prévues, et donc la multiplication de niveaux d'eau extrêmes à l'avenir. Afin d'évaluer les risques et d'adapter en conséquence les infrastructures et les pratiques des communautés côtières, les chercheurs et gestionnaires doivent définir les probabilités d'occurrence d'événements extrêmes (les temps de retour). Pour ce faire il est nécessaire de se baser sur des données historiques des phénomènes passés. Or, au Québec maritime nos suivis d'érosion et de dommages à la côte sont récents (début des années 2000) et ne permettent donc pas de disposer d'un jeu de données suffisant pour comprendre quelles conditions provoquent des dommages et établir des statistiques sur du long terme. Nos chercheurs ont alors mené une analyse des archives de presse pour identifier les événements passés qui ont eu un impact dans les régions côtières.

Contribution des archives à l'étude des événements météorologiques et géomorphologiques causant des dommages aux côtes du Québec maritime

Afin d'être en mesure d'évaluer les conditions favorisant les événements extrêmes ainsi que leur temps de retour, nos chercheurs ont dû retracer l'historique des tempêtes survenues depuis plus de 100 ans. Pour ce faire, ils ont épluché les journaux locaux et régionaux couvrant les régions côtières de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent depuis la fin du 19^e siècle jusqu'en 2010. Pour les régions de la Gaspésie, des Îles-de-la-Madeleine, du Bas-Saint-Laurent et de la Côte-Nord, les journaux, sous forme papier ou en microfilm, ont été consultés systématiquement page par page! Un travail méthodique de longue haleine...



Plusieurs autres sources d'informations complémentaires (livres et revues d'histoire, publications gouvernementales, articles scientifiques, documents municipaux) ont été consultés principalement dans les bibliothèques et les centres d'archives de musées et de sociétés historiques des différentes régions.

Chaque article mentionnant les vagues de tempête, la submersion, les inondations, les vents violents, les différents types de mouvements de terrain et les séismes ont été scannés pour alimenter une base de données.

Au total, 392 événements ont été recensés entre 1880 et 2010.

Excluant les séismes, 54 événements ont provoqué des dommages dans plus d'une région administrative. Nos chercheurs ont ensuite analysé les données historiques des stations météorologiques, marégraphiques et hydrométriques (orientation et vitesse des vents et rafales, pression atmosphérique, précipitations...) des dates et des lieux où s'étaient produits ces événements régionaux.

Figure 1 : coupure du journal La voix Gaspésienne en date du 14 décembre 1983 – Source : Société d'histoire et de généalogie de Matane



Résultats

➔ Influence des vents :

-Les analyses démontrent que les conditions de vents ne sont pas à elles seules déterminantes dans l'identification des événements qui provoquent et qui provoqueront des dommages à la côte. En effet une proportion non négligeable d'événements régionaux ayant eu des répercussions sur nos côtes n'étaient pas composés de vents spécialement forts ou considérés comme forts dans la littérature scientifique (Environnement Canada émet par exemple un avertissement quand des vents de 70km/h sont prévus et/ou des rafales de 90km/h).

Des vents soutenus constituent plutôt un facteur aggravant lorsqu'ils coïncident avec d'autres conditions propices à la formation d'une tempête, par exemple une basse pression atmosphérique et des surcotes.

-Lors des événements de vagues de tempêtes et de submersion, l'orientation des vents et des rafales est le plus souvent en provenance de l'est et du nord-est et les vents atteignent généralement leur vitesse maximale dans ces directions.

-Les événements de submersion ont des vents plus forts que les événements de vagues de tempête pour lesquels la submersion n'a pas été rapportée.

➔ Influence de la pression atmosphérique :

-Une basse pression atmosphérique a plus souvent été mesurée lors des événements de submersion que lors des événements de vagues de tempête.

➔ Influence des niveaux d'eau :

-Les événements de submersion côtière ont généralement de plus grandes surcotes et des niveaux d'eau mesurés plus élevés que ceux mesurés lors des événements de vagues de tempête.

-Pour une bonne partie des événements ayant causé des dommages à la côte, les données de niveau d'eau enregistrées par les stations météorologiques ne sont pas considérées comme extrêmes. Ce constat implique donc que les niveaux d'eau réellement atteints sur les côtes seraient plus élevés que ceux mesurés par les marégraphes pendant les tempêtes. Les chercheurs ont alors supposé que la hauteur des vagues, particulièrement près de la côte, était sans doute le facteur le plus important à considérer dans l'analyse de l'aléa d'érosion et de submersion. Or, la hauteur des vagues, notamment au déferlement, n'était alors pas mesurée de manière systématique le long de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent.

C'est notamment suite à ces réflexions que le LDGIZC a mis en place un réseau de suivi des vagues et des niveaux d'eau à la côte.



Temps de retour des événements extrêmes :

Les événements qui ont provoqué des dommages sont caractérisés par des conditions météorologiques qui se produisent fréquemment avec des temps de retour généralement inférieurs à deux ans pour la plupart des paramètres analysés séparément. Des conditions extrêmes ne sont donc pas nécessaires pour constituer un risque pour les infrastructures ou les populations côtières.

C'est la **combinaison simultanée de plusieurs conditions météorologiques et/ou océanographiques plus intenses que la moyenne qui peut conduire à un événement extrême** potentiellement dommageable. Calculer les probabilités que ces facteurs adviennent simultanément, et donc leurs fréquences à venir, devient alors très complexe et nécessite une bonne compréhension de leurs interrelations.

Des chercheurs de notre laboratoire ont d'ailleurs récemment publié une étude qui démontrait que le risque de submersion côtière pouvait être sous-estimé en évaluant les temps de retour de certains facteurs responsables de la submersion (en l'occurrence le niveau d'eau ou la hauteur des vagues) indépendamment les uns des autres.

Ainsi une analyse de probabilité conjointe des niveaux d'eau et des hauteurs des vagues résultait en une période de retour de 26 ans pour un événement essentiellement similaire à celui du 6 décembre 2010, alors que des études précédentes estimaient le temps de retour d'une telle tempête à 182 ans, en se basant uniquement sur les niveaux d'eau.

Une initiative intéressante pour nos recherches

La Société d'histoire et de généalogie de Matane a récemment mis en ligne un outil de recherche des journaux de la Matanie conservés et publiés entre 1911 à 2014. Il est désormais possible d'effectuer une recherche par mot clé parmi plus de 140 000 pages numérisées de journaux... en un seul clic !

<https://shgmatane.org/collections-archives/journaux-de-la-matanie.html>

Une initiative qui n'aurait pas déplu à nos chercheurs il y a 10 ans.



Grandes marées observées à Rimouski

Par Denis Gilbert, Pêches et Océans Canada, Institut Maurice-Lamontagne, Mont-Joli, Québec

Toutes les personnes qui se trouvaient dans la région du Bas-Saint-Laurent et de la Gaspésie comprise entre Rimouski et Métis-sur-Mer, le 6 décembre 2010, conservent un souvenir indélébile de la grande marée qui avait alors atteint son paroxysme en pleine clarté du jour, à 14h30 HNE. Un nouveau record du niveau de la mer mesuré par le marégraphe installé en permanence au quai de Rimouski fut alors établi à 5,54 m de hauteur par rapport au zéro des cartes marines (Figure 1a).

Pourtant, les tables de marée basées uniquement sur les variations périodiques des positions relatives de la Lune et du Soleil par rapport à la Terre prévoient une hauteur de pleine mer de 4,50 m à 14h18 HNE cette journée-là. Que s'est-il donc passé et les choses auraient-elles pu être pire? Avant de répondre à cette question, il est important que nous tentions de mieux définir la notion de « grande marée ». Un certain flou règne à ce sujet, d'autant plus que le dictionnaire hydrographique de l'Organisation Hydrographique Internationale (OHI, 1998 *) n'offre pas de définition officielle pour cette expression.

Certaines personnes emploient l'expression « grande marée » en restreignant leur attention uniquement sur la marée astronomique, qui décrit le mouvement de la mer dû à l'attraction gravitationnelle du Soleil et de la Lune sur la Terre en rotation (OHI, 1998).

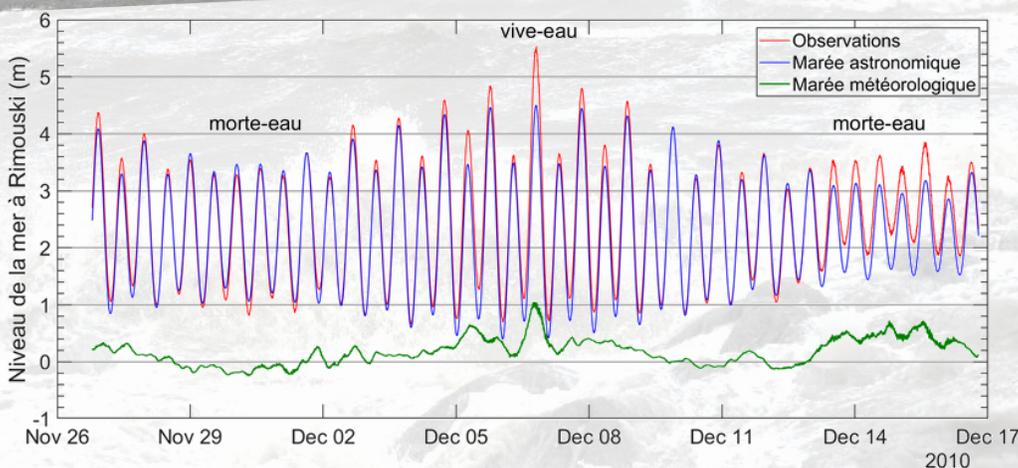
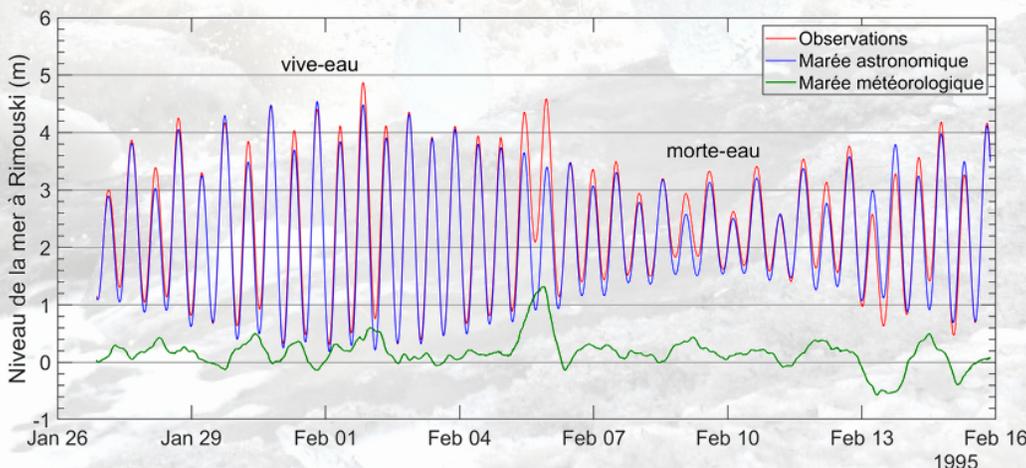


Figure 1. Marées météorologiques : a) (ci-dessus) le 6 décembre 2010 (1,04 m) coïncidant avec une pleine mer de vive-eau astronomique; b) (ci-dessous) le 5 février 1995 (hauteur record de 1,33 m) survenue environ à mi-chemin entre les marées astronomiques de vive-eau et morte-eau.



Mais lorsqu'on s'intéresse aux phénomènes d'érosion côtière et de submersion côtière, la notion de grande marée incorpore la contribution additionnelle importante de la marée météorologique, qui est la partie de la marée due aux conditions météorologiques locales et générales (OHI, 1998).

La marée météorologique du 6 décembre 2010, bien qu'exceptionnellement forte à 1,04 m (Figure 1a), est demeurée à 29 cm de la marée météorologique record de 1,33 m survenue le 5 février 1995 (Figure 1b).

Selon le dictionnaire hydrographique (OHI, 1998), les expressions surcote, onde de tempête, marée de tempête, et marée météorologique sont synonymes l'une de l'autre, puisque leurs définitions telles qu'énoncées dans ce dictionnaire sont toutes équivalentes mathématiquement à la différence entre le niveau de la mer observé et la prédiction de marée astronomique.

* Organisation Hydrographique Internationale, 1998. [Dictionnaire hydrographique](#), Monaco, 281 p.

Afin de minimiser la confusion terminologique, je n'emploie que l'expression marée météorologique dans le reste de cet article.

La marée météorologique tient compte à la fois de l'effet barométrique inverse et de la poussée du vent sur la surface de l'eau. Le poids total de l'atmosphère exerce une pression moyenne de 1013,25 hPa sur la surface de l'eau, ce qui équivaut à la pression exercée par une colonne d'eau de 10 mètres de hauteur! Lorsque la pression atmosphérique au niveau de la mer diminue de 1 hPa, le niveau de la mer augmente de 1 cm. À l'opposé, lorsque la pression atmosphérique au niveau de la mer augmente de 1 hPa, le niveau de la mer diminue de 1 cm.

Parce que le changement du niveau de la mer est inversé par rapport au changement de pression atmosphérique et parce que nous mesurons cette pression à l'aide d'un baromètre, les scientifiques emploient l'expression « effet barométrique inverse » en référence à ce phénomène (Figure 2a). Quant à la poussée du vent sur la surface de l'eau, celle-ci peut soit ajouter ou soustraire de l'eau près des côtes, selon que le vent souffle vers l'intérieur des terres ou en direction opposée (Figure 2a). Cette poussée du vent s'exerce par l'intermédiaire des vagues qui déferlent au large ainsi que près des côtes et est influencée par la rotation de la Terre, tout comme la marée astronomique.

La pression atmosphérique a chuté à 971 hPa le 6 décembre 2010 (Lefaivre, 2011*), ce qui est 42 hPa sous la pression atmosphérique moyenne au niveau de la mer, de sorte que l'effet barométrique inverse aurait été responsable d'une hausse du niveau de la mer de 42 cm ce jour-là (Figure 2b). Puisque la marée météorologique a atteint 1,04 m, on en déduit par soustraction que la poussée du vent sur la surface de l'eau aurait quant à elle empilé 62 cm d'eau supplémentaire près de la côte à Rimouski (Figure 2b).

Afin de bien juger du caractère exceptionnel de la marée météorologique du 6 décembre 2010, j'ai analysé l'ensemble des données horaires d'observation du niveau de la mer recueillies entre le 8 juillet 1984 et le 31 janvier 2019 par le marégraphe installé en permanence au quai de Rimouski.

*Lefaivre, D. 2011. [Débordement et déferlement des eaux : cas du 6 décembre 2010](#). Infocéans, 14(1), 3.

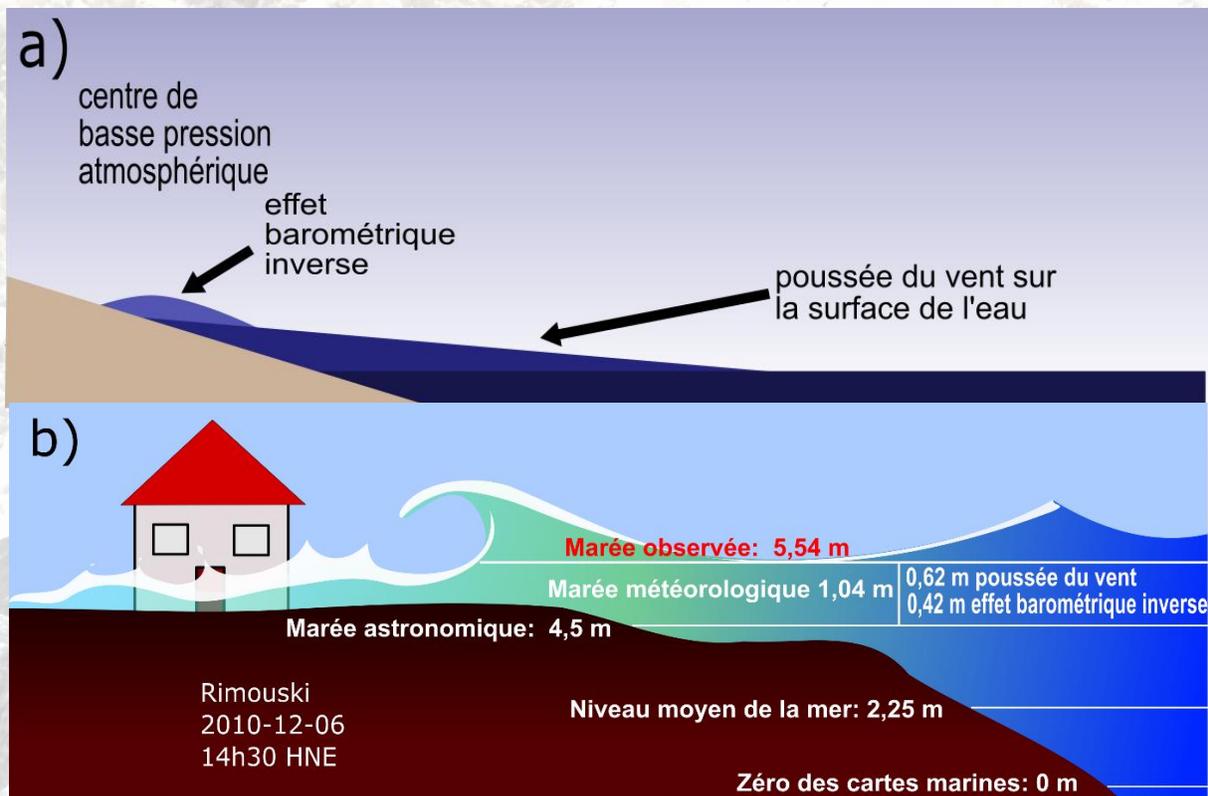


Figure 2. a) Illustration des contributions à la marée météorologique de l'effet barométrique inverse et de la poussée du vent sur la surface de l'eau. Adapté de Howcheng, [graphique original de Robert Simmon, NASA GSFC](#). [Domaine public] b) Composantes de la grande marée observée le 6 décembre 2010 à 14h30 HNE au quai de Rimouski. Adapté de SuperManu [Domaine public], [Wikimedia Commons](#).

Il s'agit essentiellement des mêmes données que celles employées par Bourgault et coll. (2016)*, mais avec 4,5 années supplémentaires. Tout comme ces auteurs, j'ai effectué l'analyse harmonique de la marée en utilisant les programmes informatiques écrits en Matlab par Codiga (2011). Les résultats obtenus pour les diverses composantes de la marée astronomique à Rimouski sont quasi identiques à ceux de Bourgault et coll. (2016) et ne sont donc pas répétés ici.

En utilisant les coefficients de marée astronomique ainsi obtenus, j'ai pu calculer la prédiction de marée astronomique de juillet 1984 à janvier 2019. Puis en soustrayant cette dernière des observations du niveau de la mer, j'ai obtenu des valeurs horaires de la marée météorologique dont je me suis servi pour déterminer la distribution statistique de la marée météorologique pour chacun des mois de l'année (Figure 3). Cette figure nous montre que 50% des marées météorologiques sont comprises entre les deux lignes orange, 95% sont comprises entre les deux lignes noires et 99% sont comprises entre les deux lignes bleues. On constate aussi que les plus fortes marées météorologiques se produisent de décembre à mars et que les plus faibles se produisent de mai à juillet.

* Bourgault D, Chavanne C, Dumont D, Morin É, Galbraith P S et Gostiaux L (2016). [Le point sur les marées d'équinoxes dans l'estuaire du Saint-Laurent](#). *Le Naturaliste canadien*, 140(1), 73-84.

* Codiga, D.L., 2011. [Unified tidal analysis and prediction using the UTide Matlab functions](#). Rapport technique 2011-01, Graduate School of Oceanography, University of Rhode Island, Kingston, 59 p.

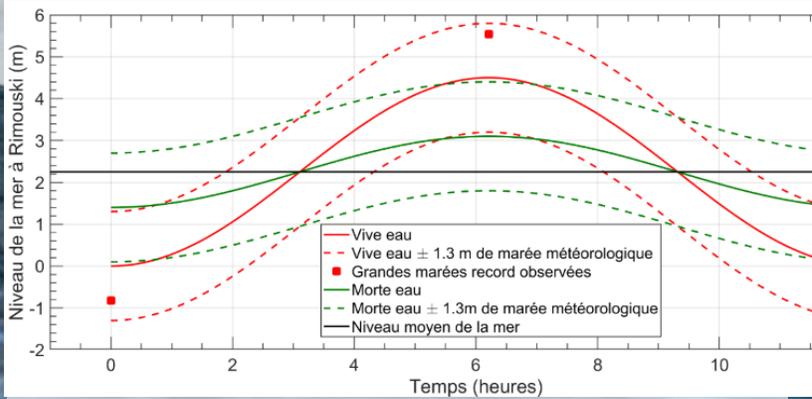


Figure 4. Les épisodes de grandes marées sont beaucoup plus probables pendant les périodes de marée astronomique de vive-eau, en association avec le passage de dépressions météorologiques qui génèrent de fortes marées météorologiques.

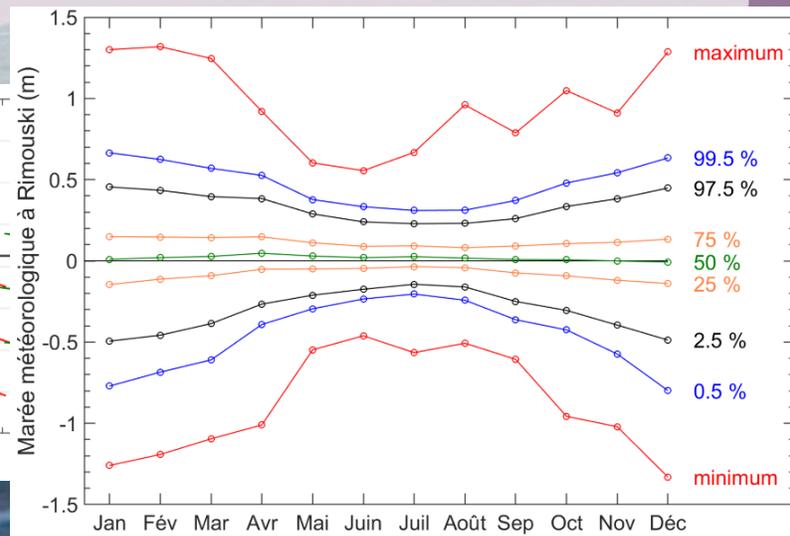


Figure 3. Minimum, maximum et percentiles mensuels de la marée météorologique à Rimouski (juillet 1984 à janvier 2019).

Revenons maintenant à notre question initiale. Les choses auraient-elles pu être pire que le 6 décembre 2010, journée au cours de laquelle la marée météorologique de 1,04 m était parfaitement synchronisée avec la marée haute maximale (4,50 m) de vive-eau? La réponse est OUI pour deux raisons. D'abord, en raison des cycles annuels et semi-annuels de la marée (Bourgault et coll., 2016), la pleine mer de vive eau peut atteindre jusqu'à 4,88 m en janvier, période de l'année où la Terre se situe au point le plus rapproché de son orbite autour du soleil. Ensuite la marée météorologique record observée à Rimouski, survenue le 5 février 1995, avait une hauteur de 1,33 m. En se basant sur ces données historiques, le scénario du pire pourrait donc causer une grande marée d'une hauteur de 6,21 m à Rimouski, ce qui est 67 cm plus élevé que celle du 6 décembre 2010 (5,54 m, Figure 4). Un autre record de grande marée fut établi le 21 mars 2007, journée au cours de laquelle une marée météorologique de -0,82 m s'est produite en même temps qu'une basse mer de vive eau astronomique de 0,0 m, donnant ainsi une observation de niveau d'eau à 0,82 m sous le zéro des cartes marines (Figure 4). Encore là, ce record de grande marée de basse mer pourrait certainement être battu dans le futur puisqu'une marée météorologique de -1,33 m a déjà été observée le 31-décembre 1993.

En résumé donc, une grande marée se produit habituellement pendant une période de marée de vive-eau astronomique, période au cours de laquelle la pleine mer astronomique est à son maximum et la basse mer astronomique est à son minimum (Figures 1 et 4). Une très forte marée météorologique qui survient pendant la période de vive-eau astronomique peut causer des problèmes d'érosion et de submersion côtière lorsque la direction du vent empile de l'eau près des côtes, tout comme elle peut occasionner des risques d'échouement pour des navires à fort tirant d'eau cherchant à entrer au port de Rimouski lorsque la direction du vent repousse l'eau vers le large.

Nos équipes au cœur des tempêtes : relevés terrains et analyses

Quand une tempête frappe fort dans l'Est du Québec, notre laboratoire peut être amené à assurer une expertise technique pour le Ministère de la Sécurité publique, afin de documenter les aléas et d'évaluer les dommages sur le terrain ainsi que les risques pour les communautés et les infrastructures. Nous présentons principalement ici les études menées suite à la tempête du 6 décembre 2010



1

Mesures sur le terrain

Rapidement après la tempête du 6 décembre 2010 (et celle du 29 novembre 2018 aux Îles-de-La-Madeline) des équipes du laboratoire ont été mobilisées sur le terrain pour mesurer le recul des côtes dans les secteurs les plus affectés (les méthodes employées sont décrites dans le numéro 3 de La zone côtière).

Photo 1 : relevé hélicoptéré d'images obliques de la côte.

Des relevés photographiques de la côte ont été effectués en hélicoptère (photo 1). Les images obliques haute résolution ainsi obtenues sont utiles pour compléter et valider des informations mesurées sur le terrain (dommages aux infrastructures côtières, processus d'érosion, positionnement des niveaux d'eau atteints sur le rivage...).



Images hélicoptérées prises en octobre 2017 (photo 2) et en décembre 2018 (photo 3) dans le secteur de Pointe aux Havre-aux-Maisons (Îles-de-la-Madeleine). Le recul mesuré pour cette résidence est de 14,9 m entre le relevé de l'été 2018 et de décembre 2018.



4

Photo 4 : Mesures sur le terrain de niveaux d'eau atteints lors de la tempête du 6 décembre 2010. La délimitation des zones submergées est effectuée à l'aide d'observation sur le terrain d'accumulations de sédiments caractéristiques laissés par les tempêtes (des lobes de débordement).

Dans le cas de la tempête de 2010 les observations liées à l'impact de la tempête sur le cadre bâti ont été effectuées dans les secteurs lourdement affectés. Ces dommages ont été documentés via des mesures et des photos prises sur le terrain par nos équipes et le personnel des municipalités, du ministère de la Sécurité publique et du ministère des Transports du Québec ainsi que via des images obliques de la côte prises par hélicoptère trois jours après la tempête.

Pour cette même tempête, nous avons également évalué les secteurs soumis à la submersion côtière. Les relevés consistaient à délimiter les zones submergées en positionnant 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 (photo 4).

Érosion et recul des côtes

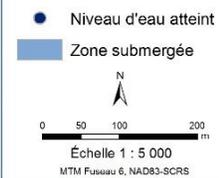
L'analyse des reculs mesurés immédiatement après le 6 décembre 2010 révèle la sévérité de la tempête sur les côtes du Québec maritime notamment pour la région du Bas-Saint-Laurent et de la Gaspésie. Le **recul moyen estimé** pour cet événement est de **3,89 m** toutes régions confondues. La MRC de la Mitis et la municipalité de Maria ont enregistré des reculs moyens plus élevés que cette moyenne régionale. Les municipalités de Métis-sur-Mer, Sainte-Luce, Maria et Sainte-Flavie ont connu des **reculs extrêmes de 12 à 15 mètres** dans certains secteurs.

Ces reculs extrêmes sont souvent très localisés et n'ont pas été relevés, ou rarement, sur tout un même segment côtier comme le montre la carte ci-dessous (figure 1).



Submersion côtière

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**. Le niveau d'eau mesuré maximal au marégraphe était de 3,2 mètres (géodésique) (14h00 à Rimouski) alors qu'au même moment, le niveau d'eau atteint sur le terrain était de 5,1 mètres, soit 1,9 mètres au-dessus du niveau du marégraphe. Sur le terrain, des valeurs moyennes de submersion supérieures aux valeurs du marégraphe le plus proche ont été mesurées entre 0,77 et 3,5 mètres dans plusieurs municipalités de l'Est du Québec.

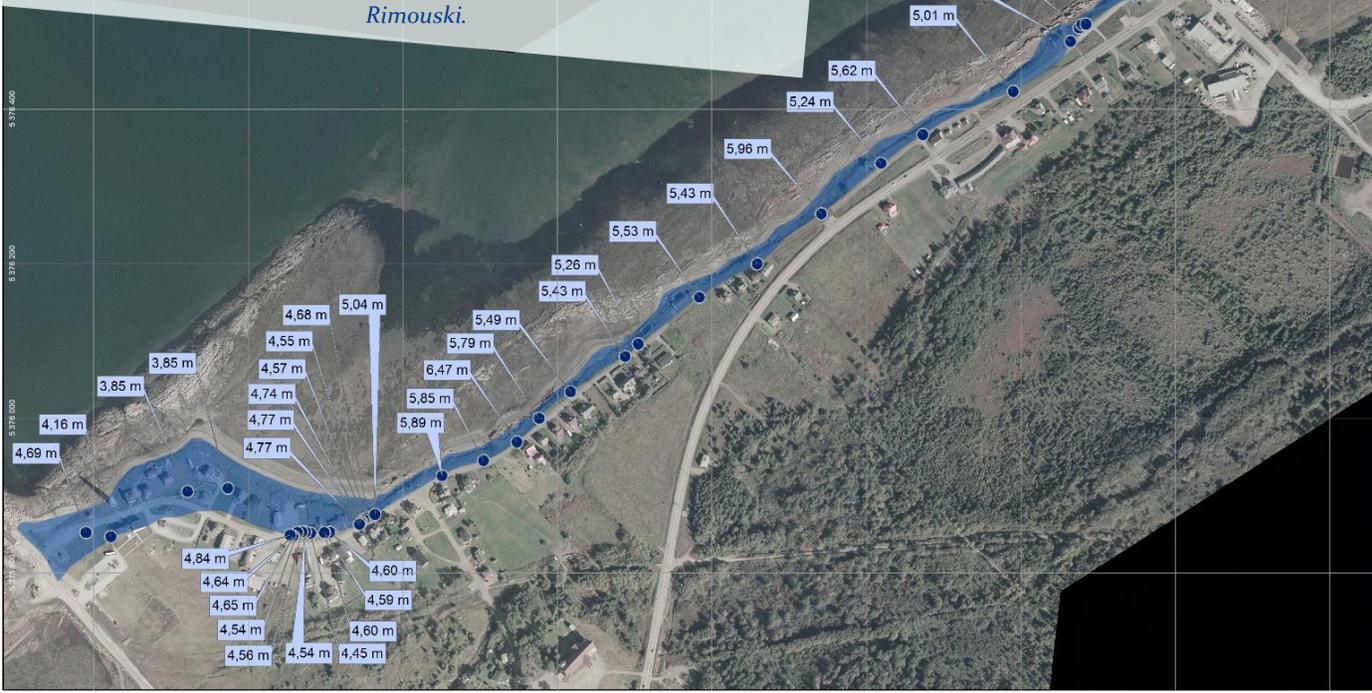


Données : Chaire de recherche en géosciences côtière et Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières, UQAR, 2010.
Orthophotographie couleur : MRNF, 2009.

CHAIRE DE RECHERCHE EN GÉOSCIENCE CÔTIÈRE
Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières | UQAR
Réalisation : février 2013

Les niveaux d'eau atteints maximaux dans la région du Bas-Saint-Laurent et plus particulièrement dans les municipalités de Rimouski (6,48m), de Sainte-Luce (6,69m), de Sainte-Flavie (5,54m), de Saint-Ulric (4,91m), de Grosses-Roches (4,65) et de Sainte-Félicité (4,96m) ont été exceptionnels, et ce même si les vents étaient de vitesse modérée.

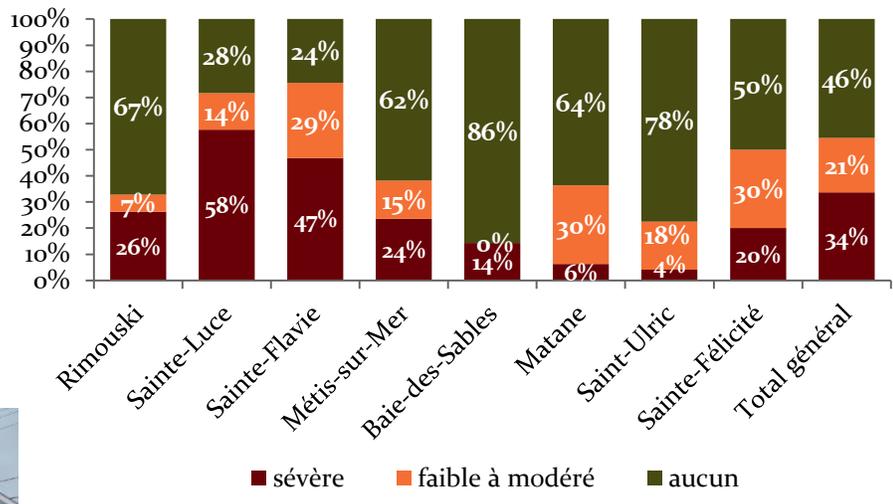
Figure 2 : exemple de cartographie de submersion produite, secteur de Rimouski.



Impacts sur le cadre bâti

La tempête du 6 décembre 2010 a été éprouvante pour de nombreux résidents côtiers. Plus de 800 demandes d'avis géomorphologiques ont été adressées par des particuliers au Ministère de la Sécurité Publique suite à la tempête de 2010 dans l'Est du Québec. Nos analyses ont montré que le cadre bâti des MRC de Rimouski-Neigette, de La Mitis et de Matane a été particulièrement touché. Près de 55 % des propriétés situées en bord de mer ont subi des dommages, soit 430 propriétés.

Figure 3 : Proportion des habitations endommagées par la tempête du 6 décembre 2010 et ampleur des dommages, par municipalité



5

Photo 5 : Maison sévèrement endommagée suite à la tempête de décembre 2010

L'impact a été plus marqué à Sainte-Luce et Sainte-Flavie où respectivement 72 % et 76 % des propriétés en bord de mer ont été touchées.

Le graphique ci-dessus (figure 3) montre que dans ces municipalités une proportion plus élevée de bâtiments a été sévèrement endommagée (bâtiments déplacés, fondations dénudées ou fenêtres brisées, cf. photos 5).



Les tempêtes : un défi aussi pour nos installations scientifiques

Cette photo a été prise en automne dernier, à Longue-Pointe-de-Mingan, le lendemain de la mise en place des équipements visibles sur le talus. La tempête survenue peu après leur installation a provoqué un recul important de la falaise. Nos équipes sur le terrain ont dû réagir vite et déplacer ces caméras et instruments connexes qui doivent être placés près de la côte pour obtenir des données fiables sur le climat des vagues et les niveaux d'eau.

Impacts sur le cadre bâti

C'est encore dans la région du Bas-Saint-Laurent que les structures de protection ont été le plus touchées, notamment dans la MRC de La Mitis où plus de 25% des structures ont été complètement endommagées (cf. exemple d'un mur à Sainte-Flavie présenté dans la photo 7).

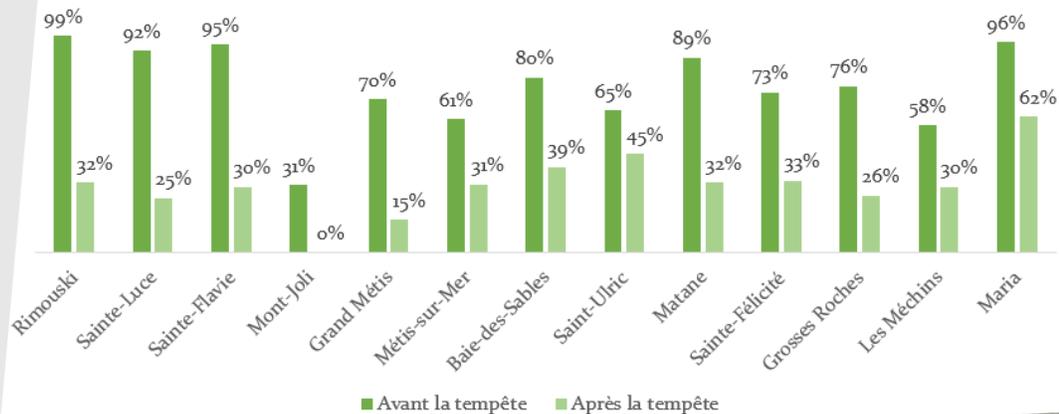
Les processus d'érosion et de submersion ont été observés tant sur les côtes naturelles que sur les côtes artificielles (avec muret/enrochement). À certains endroits la présence de structures de protection a amplifié l'érosion sur les terrains adjacents (effet de bout) et a engendré des abaissements de plage.

Les analyses scientifiques menées suite aux tempêtes (et en particulier celle du 6 décembre 2010) sont cruciales pour déterminer des marges minimales de sécurité à respecter pour l'implantation de nouveaux bâtiments situés en zone côtière au Québec. La nécessité de mieux comprendre et documenter la submersion s'est fait ressentir davantage après la tempête de 2010. Depuis, nos études sur les processus, la modélisation et la cartographie de l'aléa submersion ont considérablement évolué. Ils feront l'objet d'un prochain numéro de La zone côtière.

Sainte-Flavie le 15 septembre (photo 6) et le 9 décembre 2010 (Photo 7). Le mur de protection est complètement détruit.



Proportion des structures de protection en bon état par municipalité avant et après la tempête de 2010



Comprendre et évaluer la résilience des écosystèmes à herbier : le postdoc de Ludovic Pascal



Par Ludovic Pascal, titulaire d'un doctorat en Sciences de l'environnement de l'Université de Bordeaux (France)

Présentement stagiaire postdoctoral au laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières pour réaliser un projet de recherche sur la **résilience des écosystèmes à herbier dans un contexte d'anthropisation et de changements climatiques***.

Je m'intéresse en particulier aux modifications (i) de la structure des herbiers, (ii) des assemblages faunistiques et (iii) du niveau d'activité de certaines espèces ingénieuses. Enfin, je regarde les conséquences de ces modifications sur le fonctionnement global de l'écosystème.

Les écosystèmes à herbier

On appelle communément « herbiers » des vastes prairies composées de plantes à fleurs que l'on trouve dans les mers et océans (Photo 1). Au Québec la plante dominante qu'on retrouve dans cet écosystème est la Zostère marine (Photo 2). Les herbiers sont particulièrement précieux pour nos sociétés. En plus de stabiliser les fonds marins et ainsi protéger nos côtes contre l'érosion, ils fournissent des habitats uniques à des organismes, dont de nombreuses espèces à fortes valeurs commerciales (pêche). Ces écosystèmes sont sensibles et en déclin du fait de la destruction de leur habitat et d'apports de nutriments excessifs (eutrophisation). Au niveau mondial, 58 % des herbiers connus sont en régression.



Qu'est-ce que la **résilience** ? La résilience est un concept très complexe, mais de façon simplifiée on peut le définir comme la capacité d'un écosystème à absorber une ou plusieurs perturbations tout en conservant son fonctionnement.

Qu'est-ce qu'une **espèce ingénieuse de l'écosystème** ?

Une espèce ingénieuse est une espèce qui, par sa structure et/ou son activité, module la disponibilité des ressources pour d'autres espèces. Les espèces ingénieuses d'un écosystème donné y permettent l'établissement d'autres espèces.

Dans un premier temps je dois caractériser les herbiers en tant que tels et les communautés faunistiques vivant dans les écosystèmes à herbier. Je suis donc allé tous les deux mois pendant un an prélever des herbiers et le sédiment sur lequel il pousse.

Sur place les herbiers sont séparés du sédiment et nettoyés pour déterminer leurs poids. Une partie du sédiment est gardée intact pour analyser sa teneur en matière organique et le reste est tamisé pour récupérer la macrofaune (dont la taille est $> 0,5$ mm).

Les différents organismes prélevés sont ensuite analysés en laboratoire afin d'en identifier précisément les espèces et les peser. En un an, plus de 3 000 individus ont été récoltés et une trentaine d'espèces différentes ont été identifiées! On retrouve beaucoup de Gammarus (des sortes de petites crevettes) vivant à la surface du sédiment. À l'intérieur de la colonne sédimentaire, l'espèce la plus abondante est le mollusque bivalve *Macoma balthica* (photo 5). On y retrouve aussi quelques gros Polychaetes (des vers) dont *Nereis virens* et *Nephtys caeca* (Photo 6).

Macoma balthica, *Nereis virens* et *Nephtys caeca* sont des espèces ingénieuses des écosystèmes à herbiers du fait de leur activité de bioturbation : en se déplaçant elles remanient les sédiments et l'eau de leur milieu. Ce processus est important car il permet notamment l'apport d'oxygène dans des zones plus profondes de la colonne sédimentaire et ainsi l'établissement de nouveaux organismes. Dans les écosystèmes à herbier, la bioturbation permettrait aussi l'élimination de composés chimiques réduits qui, à fortes concentrations, sont toxiques pour les herbiers.

Photo 5 : Vue à la loupe binoculaire de *Macoma balthica* (ce mollusque mesure environ 1 cm) / Photo 6 : *Macoma balthica* en haut au centre, et deux *Nephtys caeca* (non entier) en bas.



Photo 3 : Échantillonnage d'herbier dans le secteur de Pointe-Lebel

Photo 4 : En laboratoire Ludovic examine des organismes prélevés sur le terrain



4



6

5

La seconde étape du projet consiste à perturber expérimentalement les herbiers et les espèces qui leur sont associées. Pour ce faire, je vais simuler en laboratoire une eutrophisation des herbiers via un apport en nutriment (ajout d'engrais utilisés en agriculture). J'analyserai ensuite l'effet de cette perturbation sur l'activité de bioturbation des espèces ingénieuses et les répercussions sur la chimie du sédiment.

Une fois ces études effectuées, la dernière étape sera de déterminer des valeurs seuils à partir desquelles l'écosystème commence à se dégrader. Pour cela une expérience en milieu naturel sera menée en utilisant un gradient croissant de perturbation. À terme, ces valeurs pourront servir aux gestionnaires de l'environnement pour évaluer la bonne santé des herbiers.

*Ce projet est financé par le Conseil de Recherche en Sciences Naturelles et en Génie du Canada (via le projet CHONe), le Fonds vert du gouvernement du Québec (via le projet Résilience côtière), la Chaire de recherche en Géoscience des Hydrogéosystèmes côtiers et une bourse d'excellence pour étudiant étranger du Fonds de Recherche du Québec - Nature et Technologies.

Bien que les conditions hivernales soient souvent difficiles, ce qui me plaît le plus dans mon travail est que mon bureau peut se délocaliser à l'extérieur et au bord de l'eau. Le projet que je réalise m'intéresse tout particulièrement parce qu'il permet de faire le lien entre de la recherche fondamentale (amélioration des connaissances sur des faits observables comme la dégradation des herbiers) et la recherche appliquée (dans notre cas, le développement d'outils pour évaluer l'état de santé des herbiers pour des gestionnaires).

Adaptation aux risques côtiers : politiques publiques et perception des communautés côtières : la maîtrise de Laurie Desrosiers-Leblanc



Par Laurie Desrosiers-Leblanc, candidate à la maîtrise en géographie à l'UQAR

Mon projet de recherche au sein du LDGIZC a comme objectif de réaliser un portrait critique des lois, des politiques et des règlements en lien avec l'adaptation aux risques côtiers dans les communautés côtières du Québec maritime et de situer la perception des gestionnaires et des citoyens dans le processus d'adaptation.

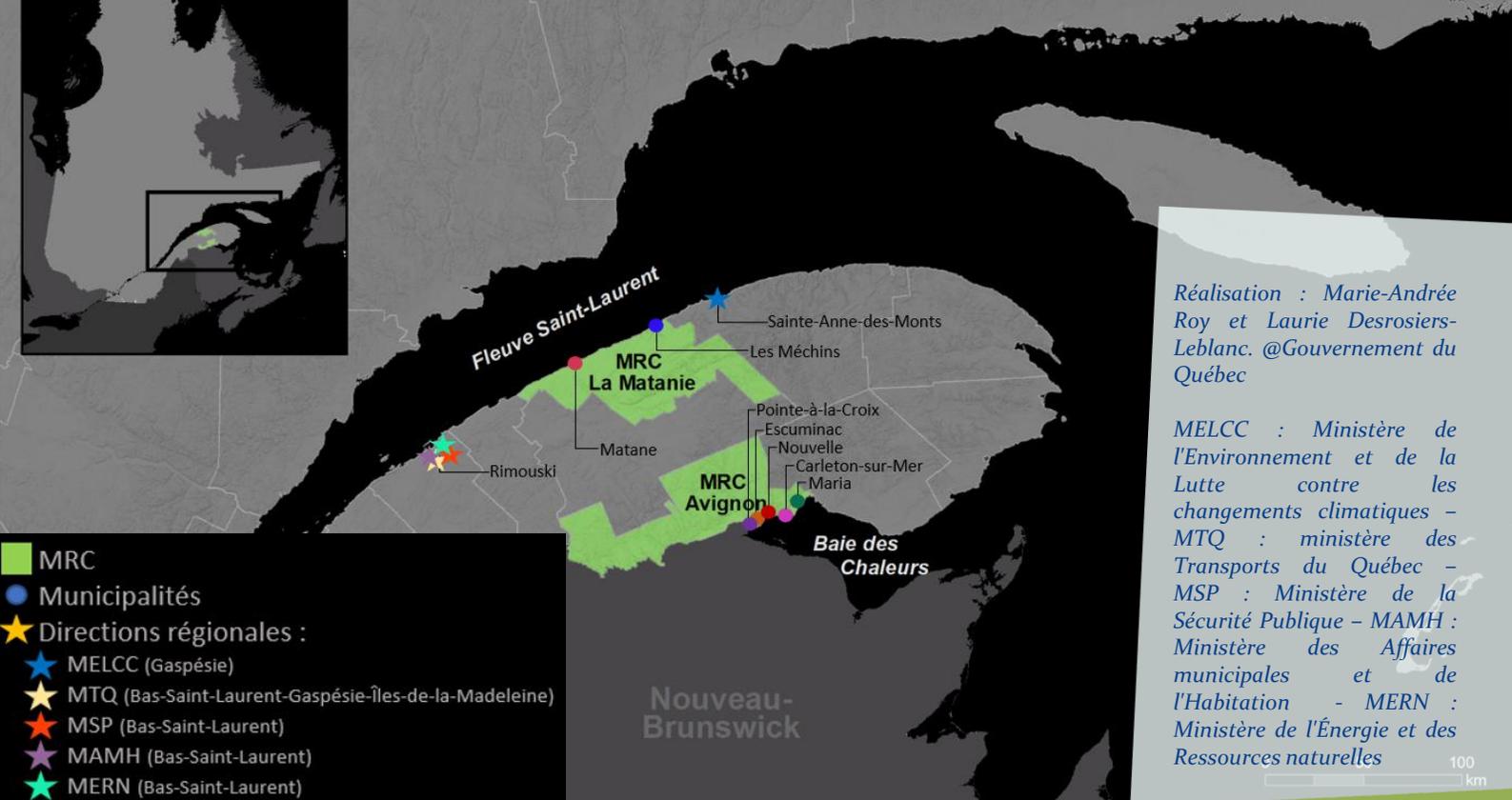
Mon site d'étude s'étend à l'entièreté du Québec maritime, mais s'attarde plus particulièrement aux MRC d'Avignon et de la Matanie.

Pour mener à terme mon projet, j'ai d'abord participé à une vaste tournée du Québec maritime en 2017 où quelques centaines d'entrevues avec des résidents côtiers ont été effectuées.

Les résultats qui en découlent permettent, entre autres, de situer la perception des résidents côtiers vis-à-vis des politiques publiques en matière d'adaptation aux risques côtiers.

Entre novembre 2018 et janvier 2019, j'ai aussi rencontré plusieurs gestionnaires ministériels, supra-municipaux (des MRC) et municipaux. L'objectif était d'échanger sur les facteurs limitant l'adaptation aux risques côtiers sur leur territoire. Plusieurs aspects étaient abordés, dont la perception des acteurs sur leur rôle dans l'adaptation, les méthodes de gestion utilisées sur le territoire, la réglementation et le mode de gouvernance. De plus, certaines pistes de solutions et de réflexion pour une meilleure gestion des risques ont été soulevées. 15 personnes ont été rencontrées, pour un total de 15 entités représentées (cf. carte).

Territoire d'étude et acteurs rencontrés



Une revue de littérature a aussi été réalisée afin de voir quelles actions ont été faites à l'international pour accroître les capacités d'adaptation des populations littorales dans un contexte de changements climatiques. Les pays choisis ont tous à gérer des risques côtiers similaires à ceux présents dans le Québec maritime. On y retrouve entre autres la Nouvelle-Zélande, l'Australie, les États-Unis, les Pays-Bas et certaines communautés autochtones en Alaska et dans les îles du Pacifique.

Mon mémoire, qui devrait être achevé d'ici la fin de l'année 2019, sera disponible au public. Un guide d'interprétation des lois, politiques et règlements qui ont trait à la zone côtière, complété par une analyse détaillée des limites dans l'adaptation aux risques, ainsi qu'une panoplie de stratégies innovantes qui pourraient aider le Québec dans sa quête d'une meilleure gestion des risques côtiers sera également rédigé et remis notamment aux intervenants que j'ai eu la chance de rencontrer.

- Ce que j'aime de mon projet :

Donner la parole aux acteurs locaux qui doivent gérer les risques côtiers et tenter de discerner, avec eux, les difficultés auxquelles ils ont affaire. C'est un peu comme si on leur demandait « ça va ? » en écoutant réellement ce qu'ils ont à dire.

Ce projet me permet de jumeler mon bagage en science politique et en analyse de politiques publiques à la discipline de la géographie.

- Ce que je trouve plus difficile :

Mon terrain est parsemé de villages de petites tailles qui, malgré un fort désir d'accroître leurs capacités d'adaptation, n'ont pas toujours les moyens humains et financiers pour le faire par eux-mêmes.

Ce projet de recherche est financé par le Gouvernement du Québec, par l'entremise du Fonds vert dans le cadre du Plan d'action sur les changements climatiques 2013-2020.

NOUVELLES

Consultation menée auprès des entreprises en génie et en aménagement côtier

Dans le cadre du projet Résilience côtière, une partie de notre équipe est allée à la rencontre de 17 entreprises œuvrant en génie et en aménagement côtier au Québec. 52 professionnels ingénieurs, géomorphologues, géographes, océanographes, hydrologues et biologistes ont été consultés. Les objectifs étaient d'identifier leurs besoins, de comprendre quels paramètres sont considérés dans l'analyse et la conception des ouvrages de protection côtière et de mieux comprendre les processus de décision dans l'identification des stratégies d'adaptation des communautés côtières face aux aléas climatiques.

Ces rencontres ont permis de faire émerger un réel besoin des firmes en génie côtier à :

- disposer d'études de cas concrètes adaptées au contexte climatique québécois ;
- avoir accès à une meilleure offre de formation des ingénieurs civils spécifique au génie côtier ;
- mieux comprendre l'effet des glaces sur les ouvrages de protection côtière ;
- obtenir davantage d'informations et de retour sur des solutions innovantes (autre que les enrochements, mur de protection...)

Les résultats détaillés de ces consultations paraîtront dans un article à venir dans le cadre du doctorat de Philippe Sauvé.

Ateliers Résilience côtière à venir dans l'Est du Québec

Dès ce printemps, nous amorcerons notre deuxième série d'ateliers de concertation avec les municipalités côtières de l'Est du Québec. Les premières rencontres se feront pour les MRC de Mitis, Matanie, Haute-Gaspésie, Côte-de-Gaspé, Rocher Percé, Haute-Côte-Nord et Manicouagan.

Ces rencontres permettront notamment de présenter les nouveaux outils développés pour ces territoires depuis la première série d'ateliers. Des discussions seront axées spécifiquement sur les valeurs sociales associées aux écosystèmes côtiers et sur les mesures de protection côtière.

« Géomorphologie, suffusion, accrétion, Quaternaire, résilience, glacio-isostasie... »
Vous n'y comprenez rien? Demandez-nous!
Posez vos questions en nous écrivant à :
zones.cotieres@uqar.ca. Une de vos questions sera tirée au sort et nous y répondrons dans le prochain bulletin.

Pour rester informé des nouvelles du laboratoire et recevoir automatiquement les prochains bulletins, inscrivez-vous ici :
<http://eepurl.com/c7MuQj>

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

Friesinger, F. and Bernatchez, P. 2010. Perceptions of Gulf of St. Lawrence coastal communities confronting environmental change: Hazards and adaptation, Québec, Canada. *Ocean & Coastal Management*, 53: 669-678.

[Didier, D., Baudry J., D. Bernatchez, P., Dumont, D., Sadegh, M., Bismuth, E., Bandet, M., Dugas, S., Sévigny, C. 2018. Multihazard simulation for coastal flood mapping: Bathtub versus numerical modelling in an open estuary, Eastern Canada. *Journal of Flood Risk Management*. DOI: 10.1111/jfr3.12505](#)

--

Crédits photos (quand la source n'est pas précisée) : Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières

Illustrations p5, 6 et 8 : Noémie Ross

Rédacteurs : Julia Verdun, Laurie Desrosiers, Denis Gilbert, Ludovic Pascal

Révision : Pascal Bernatchez, Maude Corriveau, David Didier, Ariane Jobin, Sophie Moisset.