

# LA ZONE CÔTIÈRE

Bulletin d'information n° 5  
été 2020

■ 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

---

Bonjour,

J'espère que vous allez bien dans les circonstances de la pandémie. De notre côté, après un ralentissement obligé en mars et avril, l'équipe a repris à temps plein en télétravail. Avec le déconfinement des régions, nos équipes ont repris les campagnes de terrain en respectant les règles de la Santé publique et de distanciation physique pour protéger nos employés (es) et étudiants (es) et protéger les populations.

Nous sommes très heureux de vous présenter le nouveau bulletin d'information. Celui-ci porte en bonne partie sur l'aléa de submersion côtière. Cet aléa constitue un danger généralement plus important que l'érosion puisqu'il se produit de manière soudaine et on pourrait le qualifier de sournois ! Les connaissances scientifiques de la submersion côtière ont grandement évolué au cours de la dernière décennie dans différentes régions du monde, notamment à la suite de grands événements comme l'Ouragan Sandy en 2012 qui a touché la côte est américaine et Xynthia en 2010 qui a frappé l'Europe faisant plusieurs dizaines de morts et d'importants dommages aux infrastructures côtières. Au Québec, la tempête de décembre 2010 est gravée dans nos mémoires. Plus récemment, d'autres tempêtes ont aussi engendré des dégâts, notamment en 2016, 2017 et 2019. En collaboration avec le ministère de la Sécurité publique du Québec, plusieurs initiatives de recherches ont été mises en place pour mieux comprendre cet aléa. Nous vous présentons donc dans un premier temps, les connaissances qui ont été acquises sur cet aléa depuis près de 10 ans sur les côtes du Québec. Ensuite, Clara et Charles présentent leur projet de maîtrise, un sur la résilience des communautés côtières de la Basse-Côte-Nord face aux aléas côtiers et l'autre sur l'évolution côtière sur l'île d'Anticosti depuis les derniers millénaires. Vous pourrez aussi lire dans la BD de Noémie Ross, les péripéties de Ti-Grain et ses amis qui mettent à l'épreuve leur habileté dans les sports aquatiques !!

Je vous souhaite un bel été et la possibilité de prendre l'air et le large en bordure de notre magnifique Saint-Laurent !

Pascal

## SOMMAIRE

### 4 - 15 Cap sur : la submersion côtière au Québec

4 Introduction

5-8 Prémices d'une méthodologie de cartographie de la submersion côtière applicable pour les côtes basses de l'Est du Québec

9-10 Modéliser la submersion côtière à l'aide d'un modèle numérique

11-13 Cartographier les risques de submersion dans les secteurs urbanisés et artificialisés, pourquoi la modélisation numérique est essentielle ?

14 BD : « 1-2-3-4-GO ! »

### Comprendre

15-16 Résilience et vulnérabilité aux aléas côtiers des communautés isolées de la Basse-Côte-Nord

17-19 Mieux comprendre le passé pour prévoir le futur sur l'Île d'Anticosti.

### Nouvelles

20 Nouvelles ressources : Chaîne Youtube, bottin des ressources

Comment améliorer la résilience des communautés des Premières Nations aux aléas côtiers?

# Cap sur : la submersion côtière au Québec

Le Québec maritime n'est pas seulement soumis à l'érosion côtière. Une importante partie de nos côtes (43%) sont sensibles aux inondations côtières générées par la mer. Un tiers des côtes de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent ont un relief de faible altitude. De nombreux mécanismes entrent en jeu dans le phénomène de la submersion côtière, mais il est indéniable que les changements climatiques amplifieront cet aléa dans les décennies à venir, notamment en raison de la hausse du niveau de la mer et la réduction du couvert de glace.

Bien que parfois très spectaculaire, la submersion côtière, du fait de son caractère ponctuel dans le temps, et les risques inhérents, sont plus difficilement appréhendés par les communautés côtières, contrairement à l'érosion qui reste souvent visible au quotidien. Cette caractéristique constitue aussi un défi pour l'étude scientifique de cet aléa.

Nos recherches sur la submersion côtière se sont d'ailleurs accélérées à la suite de la tempête de décembre 2010 puisqu'il a été possible de travailler avec des données acquises sur le terrain lors de cet événement et dans les jours qui ont suivi, nous permettant d'identifier avec assez de précision les zones submergées, en particulier entre Rimouski et Sainte-Flavie au Bas-Saint-Laurent ainsi qu'à Maria dans la Baie-des-Chaleurs.



Photo 1 : tempête du 6 décembre 2010 dans le secteur de Petit-Matane.

Grâce à l'implication des différents partenaires gouvernementaux, les recherches menées ces 10 dernières années nous ont permis de considérablement améliorer les connaissances et la compréhension des processus qui influencent la submersion côtière et qui sont propres à nos régions. Ce savoir est primordial afin de mieux prévoir les futurs événements de submersion. Les enjeux sont nombreux autant en termes **d'aménagement du territoire, de conception des ouvrages de protection côtière que de sécurité civile, de gestion des risques et de planification des secours en cas de catastrophe naturelle.**

Nous vous relatons dans ce dossier thématique un état des lieux de **l'avancement des principales recherches liées à la submersion** côtière qui ont été menées par notre laboratoire et sa chaire de recherche en géoscience côtière, les **différentes méthodologies de cartographie testées et développées** ainsi que leurs contextes d'application et leurs limites. Vous aurez aussi l'occasion de découvrir plus en détail plusieurs **instruments de mesure scientifiques utilisés pour l'étude de cet aléa.**

# Prémices d'une méthodologie de cartographie de la submersion côtière applicable pour les côtes basses de l'Est du Québec

À l'heure actuelle, peu de plans d'aménagement du territoire prennent en compte l'aléa submersion. Certains plans, comme les projets d'ingénierie côtière, considèrent les risques de submersion qu'en fonction des temps de retour de conditions observées dans le passé. Par ailleurs, les cotes utilisées sont basées sur les niveaux d'eau mesurés au marégraphe, qui peuvent sous-estimer les niveaux d'eau réellement atteints sur les côtes, car ces valeurs ne tiennent pas compte des vagues (cf. [La zone côtière n°4](#)).

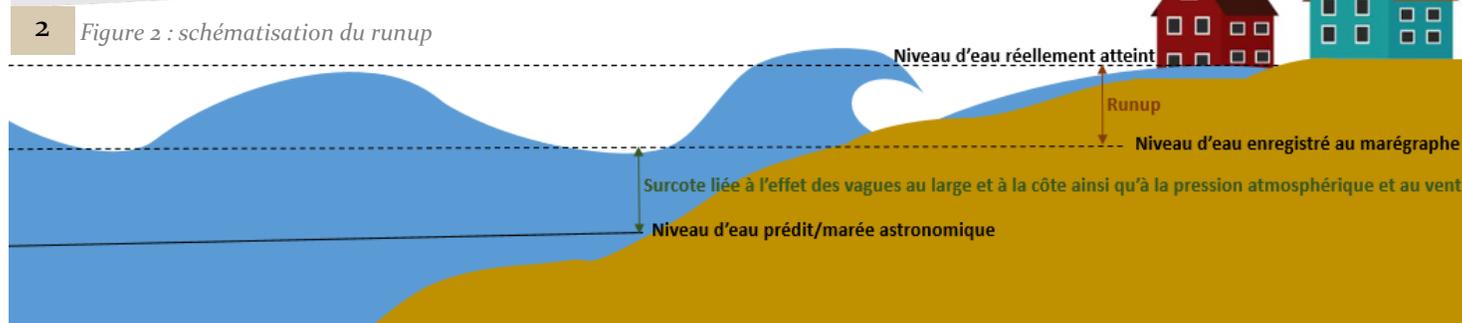
Ainsi comme en contexte fluvial, certaines zones inondables dans des secteurs côtiers sont délimitées en fonction de cotes d'inondation de récurrence de 20 et de 100 ans. Or cette pratique peut conduire à sous-estimer fortement les risques côtiers futurs, car l'impact des changements climatiques n'y est pas pris en compte, et en particulier les variations du niveau de la mer. Surestimer au contraire les risques de submersion côtière pourrait engendrer des dépenses publiques disproportionnées. Plusieurs recherches ont donc été impulsées au Québec maritime afin d'évaluer de façon plus précise les zones sensibles à la submersion côtière. L'objectif étant de proposer une cartographie des risques de submersion précise afin d'outiller les gestionnaires des municipalités côtières.



Les mesures effectuées dans les secteurs impactés par la tempête du 6 décembre 2010 ont confirmé que les seules prises en compte des niveaux d'eau enregistrés au marégraphe et la topographie ne permettaient pas d'expliquer les surfaces submergées et les grandes variabilités de l'altitude atteinte par l'eau pour un même secteur (cf. figure 1 par exemple).

Figure 1 : zones submergées lors de la tempête du 6 décembre 2010 dans un secteur de la municipalité de Maria.

Plusieurs processus ont une incidence sur les niveaux d'eau réellement atteints sur les côtes ; notamment l'effet des vagues au large (houle) et à la côte qui s'ajoute au niveau d'eau dû à la marée astronomique et à l'effet combiné du vent et de la pression atmosphérique (cf. [La zone côtière n°4](#) pour plus de détails). On appelle **runup** la part supplémentaire de l'élévation du niveau d'eau à la côte induit par l'action des vagues (cf. figure 2). En français, le terme limite de jet de rive est parfois utilisé mais n'a pas complètement la même signification que runup.



Afin d'estimer les valeurs d'élévation de runup pour les événements de tempête futurs, il est nécessaire de bien évaluer les paramètres qui les définissent. En se basant sur des données acquises lors d'événements de tempête passés (**données hydrodynamiques** comme la hauteur des vagues, la longueur d'onde des vagues en eau profonde ... et des données **géomorphologiques** du site comme la pente, l'orientation, la largeur des plages ou des hauts estrans, la bathymétrie au large ou proche de la côte, le substrat...) et en connaissant les surfaces submergées lors de ces mêmes tempêtes, plusieurs scientifiques à travers le monde ont testé et développé des formules mathématiques, dites **formules empiriques**. Ces formules permettent ainsi de prédire les prochains niveaux de runup et donc de simuler des événements de submersion côtière grâce aux conditions météo-marines prévues et aux spécificités géographiques connues des secteurs pour lesquels on désire effectuer une simulation de tempête.

Cette démarche a été appliquée pour des secteurs du Bas-Saint-Laurent situés entre Pointe-au-Père à Rimouski et Sainte-Flavie<sup>1</sup>, de la Côte-Nord et de la Gaspésie. Les limites atteintes par l'eau ont été identifiées grâce à des observations sur le terrain faites rapidement après les tempêtes et aux témoignages des résidents ainsi qu'à partir de caméras de suivi.

Les données hydrodynamiques propres à ces secteurs ont été récupérées à l'aide de houlographes de type AWAC situés au large des secteurs d'étude et des capteurs de pression (cf. encadré « Mesurer les vagues et les courants » p.7 pour une description plus précise de ces appareils) installés dans les zones intertidales (partie du littoral située entre les limites extrêmes des plus hautes et des plus basses marées).

Les variables géomorphologiques ont été acquises via des relevés topo-morphologiques (cf. encadré p.8).

<sup>1</sup> Didier, David (2014). Évaluation de la submersion côtière par l'estimation in situ du wave runup sur les côtes basses du Bas-Saint-Laurent, Québec. Mémoire de maîtrise en géographie. Université du Québec à Rimouski.

Les résultats de ces recherches ont montré que la variabilité spatiale du runup s'explique notamment par les variabilités des pentes de la zone intertidale. Plus cette pente est élevée à un endroit donné et plus les niveaux d'eau seront susceptibles d'être élevés à cet endroit de la côte en cas de tempête.

Au contraire, une plate-forme rocheuse ou des portions rocheuses en alternance avec des dépôts meubles (sables, graviers, blocs erratiques) comme on en voit entre Pointe-au-Père et Sainte-Luce-sur-Mer peuvent protéger le trait de côte en favorisant une forte dissipation de l'énergie des vagues.



Figure 3 : large estran de plate-forme rocheuse typique de l'est du Bas-Saint-Laurent favorisant une dissipation de l'énergie des vagues de tempête

## Mesurer les vagues et les courants

Un appareil AWAC (Acoustic Wave And Current Profiler) permet de mesurer la hauteur, la période et la direction des vagues ou encore la vitesse et la direction du courant sur l'ensemble de la colonne d'eau du fond jusqu'à la surface, et ce avec une précision de l'ordre de 1cm! 7 sites de l'Est du Québec sont actuellement monitorés à l'aide d'AWACs par notre laboratoire. Les appareils sont mis à l'eau à une quinzaine de mètres de profondeur au printemps pour un déploiement estival d'environ 200 à 220 jours. À l'automne ils sont récupérés pour leur maintenance et la récupération des données enregistrées avant d'être remis à l'eau pendant l'hiver. L'appareil peut aussi détecter l'interface entre la glace et l'eau et donc mesurer les différentes épaisseurs de glace.



Figure 4 : AWAC récemment sorti de l'eau ; figure 5 : démontage et entretien de l'appareil ; figure 6 : remise à l'eau.

Les **capteurs de pression RBR** sont, quant à eux, utilisés pour mesurer les niveaux d'eau et les caractéristique des vagues (hauteur, période) dans la zone de battement des marées et quantifier les effets de la géomorphologie sur la dissipation de l'énergie des vagues. Ils sont fixés à l'aide d'un support vissé en acier inoxydable. Ils sont retirés de l'eau pour la période hivernale



Figure 7 : capteur de pression à marée basse installé sur l'estran de Sainte-Luce;

Une fois le runup modélisé, celui-ci est superposé à un modèle numérique de terrain (représentation sur ordinateur de la topographie des secteurs étudiés). Cette technique est parfois nommée la « méthode de la baignoire » (*bathtub method* en anglais).

En intégrant les données de pente de l'estran dans une formule permettant de calculer le runup et en ajoutant les données marégraphiques et hydrodynamiques mesurées pendant la tempête de 2010 dans un modèle numérique, la submersion du 6 décembre 2010 a été reproduite avec une assez bonne précision. Ces résultats sont particulièrement utiles pour prévoir les impacts en termes d'évènements de submersion à venir en fonction de paramètres météo-marins prévus.

Il est possible d'ajuster la formule mathématique développée selon le type de côte étudié.

Par ailleurs plusieurs recherches scientifiques ont montré que cette méthode basée sur des formules empiriques a tendance à surestimer les surfaces prédites comme étant potentiellement inondées. Cela tient du fait que l'eau y est considérée comme un élément statique. Les formules ne prennent en effet pas en compte des processus tels que l'écoulement de l'eau dans les terres, son absorption par des sols poreux ou encore la durée de l'évènement de tempête, etc. Sur une côte de faible altitude et dont le terrain demeure plat vers les terres sur une grande distance, les surfaces inondées peuvent varier en fonction de la durée de l'épisode de submersion.

Nos équipes s'appuient donc aussi sur des modèles plus complexes de simulation d'évènements de tempêtes.

### Relevés topo-morphologiques et profils topographiques

Un relevé topographique est une méthode de représentation du relief sur un segment défini. Pour réaliser des profils très précis de la topographie d'une plage, il est possible d'utiliser un GPS différentiel dit DGPS. Ce système est composé de deux récepteurs dont les positions sont mesurées par technologie satellite : une base fixe (cf. figure 9) et un second récepteur mobile (cf. figure 8) dont la position est corrigée précisément par liaison radio par le récepteur fixe en temps réel. Pour chaque point mesuré l'ordre de précision est du centimètre versus du mètre avec un GPS classique.



Figure 8 : relevé topo-morphologique en Gaspésie. Figure 9 : base fixe d'un DGPS.

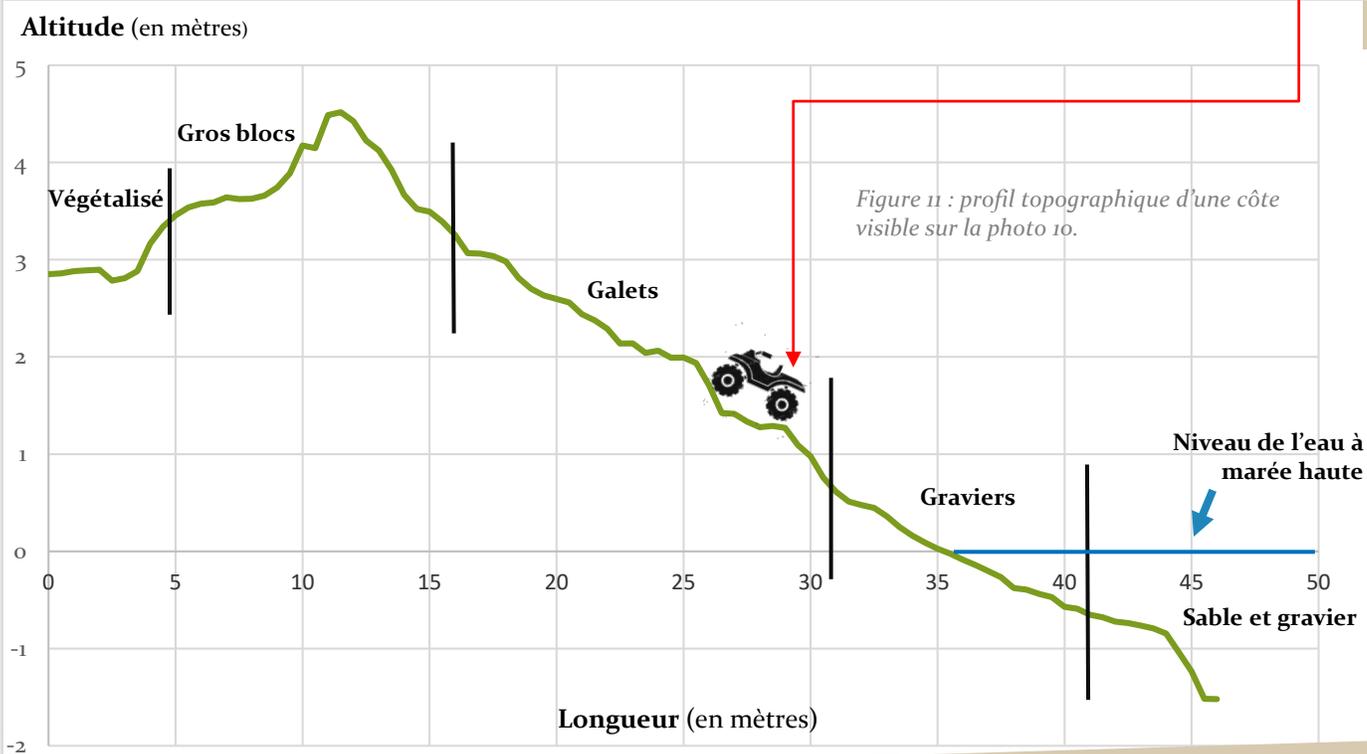


Figure 11 : profil topographique d'une côte visible sur la photo 10.

# Modéliser la submersion côtière à l'aide d'un modèle numérique

Afin d'obtenir une cartographie plus poussée de la submersion sur nos côtes, il est possible d'intégrer une multitude de processus physiques dans des modèles numériques. Nos équipes ont utilisé le modèle Xbeach qui permet de reproduire des épisodes de submersion.

Des expérimentations ont ainsi été effectuées pour la zone située entre Sainte-Luce et Sainte-Flavie<sup>2</sup>, soit 25 km de côtes pour calibrer le modèle numérique et effectuer une modélisation la plus fidèle possible de la tempête du 6 décembre 2010. Là encore il a été possible de vérifier et valider les résultats grâce aux données mesurées sur le terrain lors de la tempête de 2010.

Des données hydrodynamiques (caractéristiques des vagues au large et à la côte, niveaux d'eau...), et géomorphologiques (topographie du secteur en haute définition et données bathymétriques) ont été introduites dans le modèle Xbeach.

Pour le même secteur d'étude, la méthode de la baignoire avec estimation du runup (expliquée dans l'article précédent) a aussi été appliquée.

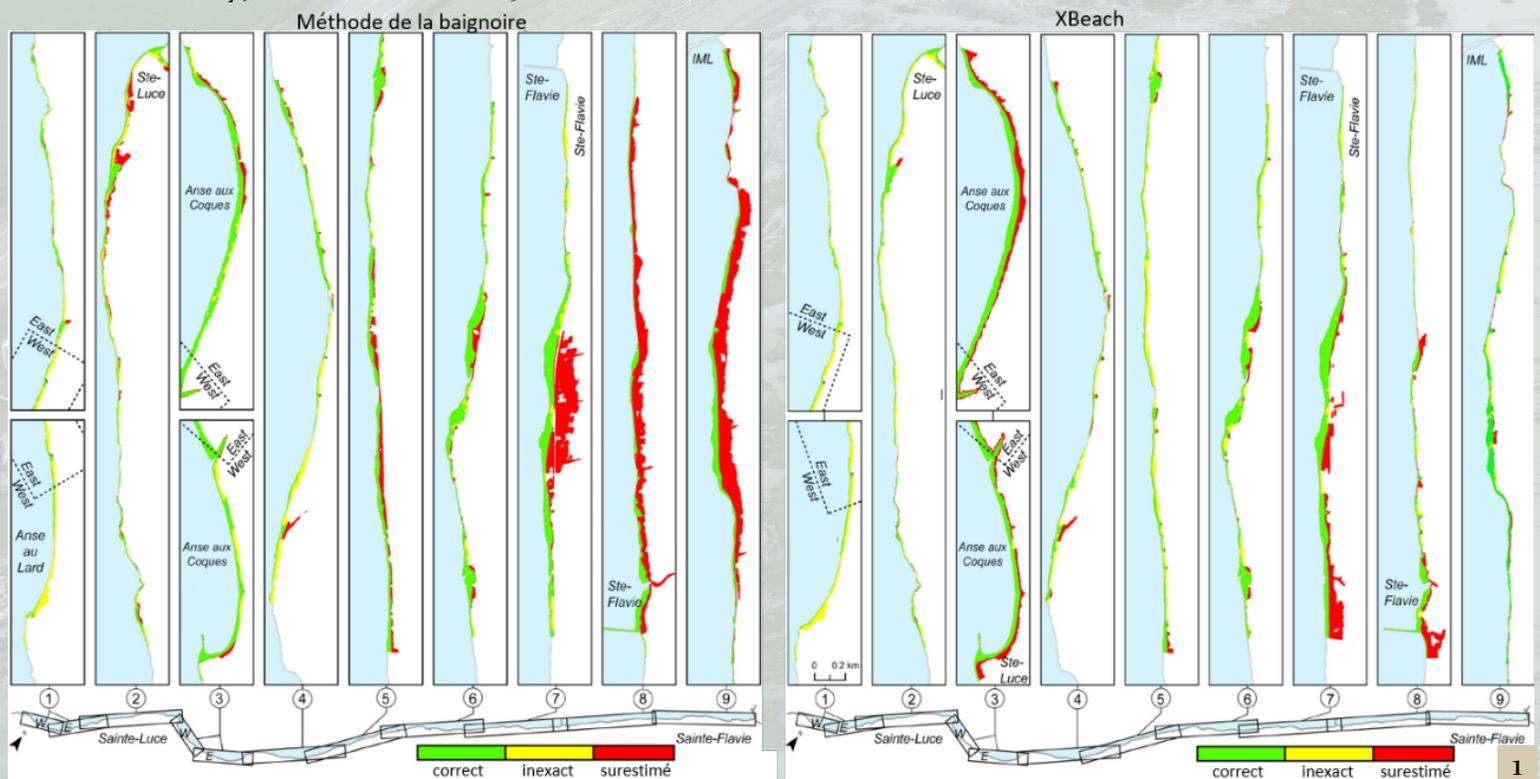
L'objectif était de comparer dans ces deux méthodes de modélisation les surfaces prédites comme inondées suite à un événement similaire à la tempête du 6 décembre.

Il en ressort que la méthode de la baignoire surestime davantage les surfaces soumises à la submersion. Ce résultat était attendu puisque le modèle Xbeach prend en compte l'écoulement de l'eau vers l'intérieur des terres contrairement à la méthode statique.

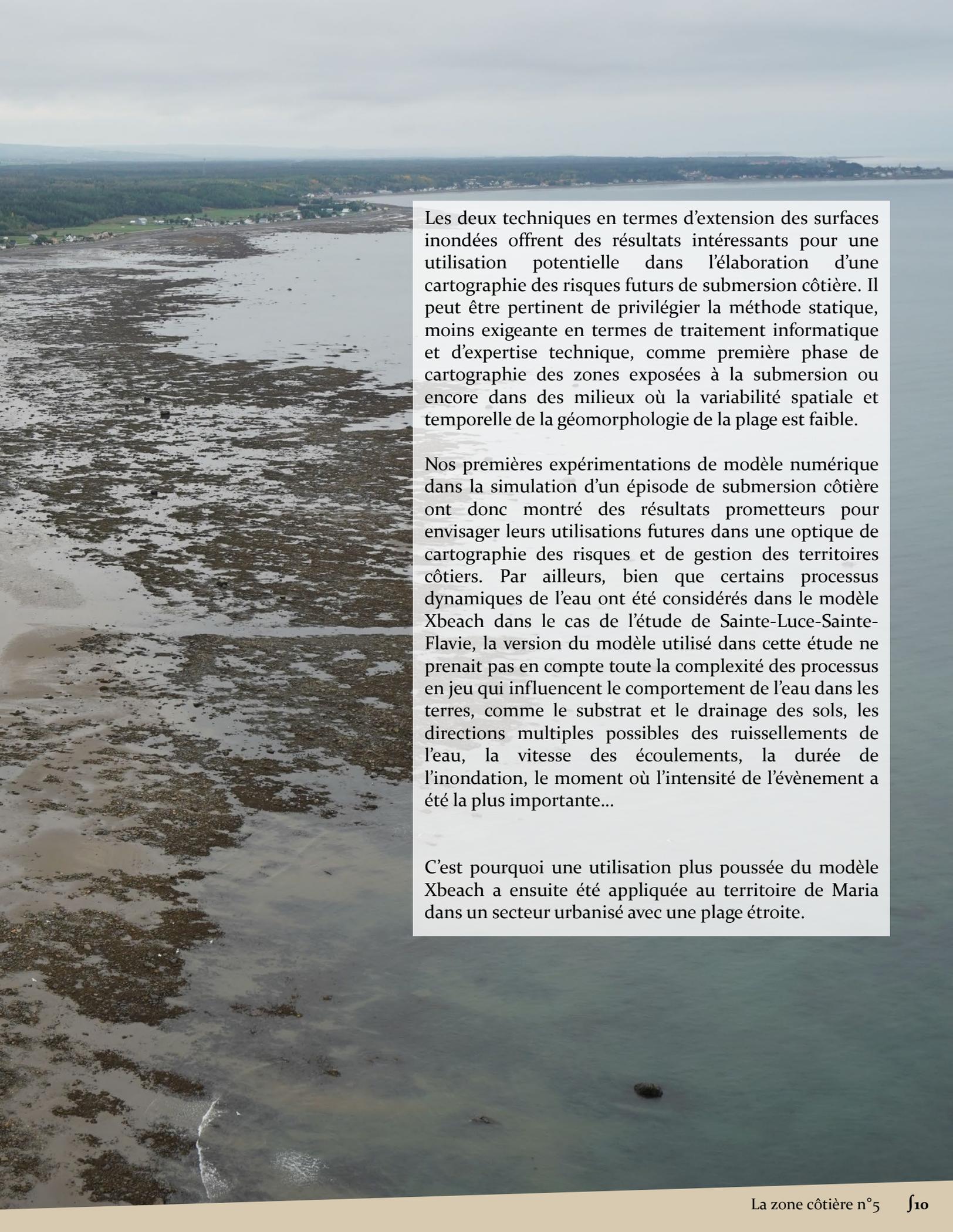
Par contre, la méthode statique a été plus performante pour prédire les surfaces qui ont réellement été submergées en décembre 2010.

<sup>2</sup>Didier D, Baudry J, Bernatchez P, et al. Multihazard simulation for coastal flood mapping: Bathtub versus numerical modelling in an open estuary, Eastern Canada. J Flood Risk Management. 2019;12 (Suppl. 1):e12505. <https://doi.org/10.1111/jfr3.12505>

Figure 1 : résultats des deux méthodes de modélisation des surfaces submergées lors de la tempête du 6 décembre 2010. Modifié d'après Didier D, Baudry J, Bernatchez P, et al. - 2019



En vert=surfaces correctement modélisées comme étant submergées ; en jaune=surfaces réellement submergées pour lesquelles la modélisation n'a pas réussi à prédire la submersion et en rouge=surfaces prédites comme étant submergées par le modèle, mais qui ne l'ont pas été en réalité.



Les deux techniques en termes d'extension des surfaces inondées offrent des résultats intéressants pour une utilisation potentielle dans l'élaboration d'une cartographie des risques futurs de submersion côtière. Il peut être pertinent de privilégier la méthode statique, moins exigeante en termes de traitement informatique et d'expertise technique, comme première phase de cartographie des zones exposées à la submersion ou encore dans des milieux où la variabilité spatiale et temporelle de la géomorphologie de la plage est faible.

Nos premières expérimentations de modèle numérique dans la simulation d'un épisode de submersion côtière ont donc montré des résultats prometteurs pour envisager leurs utilisations futures dans une optique de cartographie des risques et de gestion des territoires côtiers. Par ailleurs, bien que certains processus dynamiques de l'eau ont été considérés dans le modèle Xbeach dans le cas de l'étude de Sainte-Luce-Sainte-Flavie, la version du modèle utilisé dans cette étude ne prenait pas en compte toute la complexité des processus en jeu qui influencent le comportement de l'eau dans les terres, comme le substrat et le drainage des sols, les directions multiples possibles des ruissellements de l'eau, la vitesse des écoulements, la durée de l'inondation, le moment où l'intensité de l'évènement a été la plus importante...

C'est pourquoi une utilisation plus poussée du modèle Xbeach a ensuite été appliquée au territoire de Maria dans un secteur urbanisé avec une plage étroite.

# Cartographier les risques de submersion dans les secteurs urbanisés et artificialisés, pourquoi la modélisation numérique est essentielle ? L'exemple de Maria en Gaspésie.

Les infrastructures de protection côtière (murs, enrochements...) modifient la morphologie des plages, créent de l'affouillement, diminuent la dissipation de l'énergie des vagues et augmentent les risques de franchissement. Les processus de submersion côtière sont plus complexes en milieu urbanisé. L'artificialisation des terres a des conséquences importantes sur l'écoulement de l'eau qui peut franchir le trait de côte en cas de tempête. Il est donc important d'évaluer en particulier les passages par lesquels l'eau se fraie (brèche) et les volumes d'eau qui franchissent les ouvrages de protection côtière.

Des tests ont été effectués pour un secteur de Maria (Pointe Verte) pour lequel un évènement de tempête comparable à celui du 6 décembre 2010 a été simulé<sup>1</sup>. Ce secteur urbanisé est la zone de la municipalité la plus vulnérable à la submersion côtière. Cette côte basse est caractérisée par une terrasse de plage très étroite et une flèche littorale. La zone est emmurée depuis les années 90 et plusieurs rampes de mises à l'eau permettent la propagation de l'eau vers les terres pendant les tempêtes. Lors des tempêtes de 2005 et 2010 l'eau qui a franchi les murs de protection n'est pas retournée à la mer, mais s'est écoulée vers le marais salé situé en contrebas de la rue des tournepierres (cf. Figure 1).

<sup>1</sup> Didier, D., Bandet, M., Bernatchez, P., Dumont, D. 2019. Modelling Coastal Flood Propagation Under Sea Level Rise: A Case Study in Maria, Eastern Canada. *Geosciences* 2019, 9(2), 76.



Figure 1 : marais salé situé en contrebas de la rue des tournepierres à Maria.

Dans cette étude la version du modèle XBeach utilisée intégrait plusieurs nouveaux paramètres non testés à Sainte-Flavie comme la durée de l'inondation, les pics d'intensité de la tempête, les vitesses d'écoulement de l'eau ou encore les conjonctions temporelles de paramètres hydrodynamiques marins, et les multiples directions possibles de l'eau qui s'écoule.

Les surfaces inondées modélisées par XBeach pour une tempête comme celle de 2010 se sont révélées exactes à environ 60% (ce qui est considéré comme un bon résultat et comparable à des études similaires menées dans d'autres pays). La modélisation a montré de nombreux processus de franchissement de l'eau à maints endroits. Les rampes d'accès nautiques perpendiculaires à la côte ont agi comme des brèches en favorisant la propagation de l'eau vers les terres. Les principaux écoulements de l'eau se sont concentrés dans les rues et les systèmes de drainage latéraux en direction du marais salé. Ces phénomènes ont en effet été constatés lors du 6 décembre 2010.

Dans un deuxième temps, nos équipes ont réalisé le même exercice, mais en simulant un événement de tempête à l'horizon 2100 en intégrant dans le modèle numérique une hausse du niveau de la mer calculée en fonction des variations passées récentes et anciennes (depuis 1500 ans environ) dans ce secteur.

Les résultats montrent qu'un tel événement conduirait à presque doubler les surfaces inondées (x 1.78) du fait de niveaux d'eau plus élevés (+63cm). Les profondeurs d'eau moyennes sur les zones terrestres inondées auraient également tendance à doubler (59.4 cm contre 31.5 cm en 2010). En conséquence les vitesses d'écoulement de l'eau seraient plus élevées. Par exemple dans la rue des Tournepierres on pourrait constater pour un événement de tempête en 2100 des vitesses d'eau atteignant 2 mètres par seconde contre 1,2 m/s en 2010 pour un événement de même ampleur.

L'utilisation de cette méthodologie de modélisation est très exigeante en termes de ressources informatiques. La modélisation d'un événement de submersion sur un secteur de 500 mètres peut prendre plusieurs jours en fonction du nombre de paramètres analysés. Il n'est donc pas envisageable d'appliquer cette méthode sur tout le territoire du Québec maritime !

Les transports de sédiment et les lobes de débordements constatés sur le terrain après la tempête du 6 décembre 2010 (cf. Figure 5) confirment les vitesses de ruissellement de l'eau modélisées par XBeach. Il est possible d'utiliser un module complémentaire du modèle numérique qui prend en compte les modifications morphologiques de plages pendant les tempêtes.

Cette analyse complémentaire est importante. En effet, ne pas prendre en compte les éventuelles modifications des côtes pendant un événement de tempête peut mener à sous-estimer les volumes d'eau susceptibles de franchir les côtes. Là encore cette analyse est complexe et demande un temps de calcul très important.

Figure 5 : lobes de débordements (Washover lobes en anglais) à Maria suite à la tempête de décembre 2010.



Figure 2 à 4 : submersion côtière à Maria lors de la tempête du 6 décembre 2010. Figure 2 (source : municipalité de Maria) et 3: rue des tournepierres



Ces informations sont cruciales notamment pour mieux définir des **plans de gestion et d'intervention et de secours** et de cibler le plus justement possible les secteurs qui feront l'objet d'**alertes d'évacuation rapides** en fonction des conditions météo marines prévues. Ces résultats justifient l'emploi d'un modèle numérique dans la prévision des risques pour des secteurs urbanisés sur les côtes basses dont l'estran est étroit avec une pente prononcée ainsi que dans des secteurs où la pente de la plage varie énormément de manière saisonnière en raison du transport sédimentaire.



Figure 6 : intervention des secours à Maria lors de la tempête de décembre 2010.

Afin d'arriver à de tels niveaux de précisions, il est nécessaire de se baser sur un modèle numérique de terrain très affiné. Pour ce faire nous utilisons des données de différentes sources et acquises par une combinaison de technologies : télédétection par laser aérien et terrestre (LIDAR), données bathymétriques du Service Hydrographique du Canada et données topographiques issues d'images vidéo de caméra Axis (cf. encadré ci-dessous).

### Réseau de caméras Axis

Afin de monitorer les vagues et les niveaux d'eau près des côtes et les runups pour mieux quantifier les processus hydrodynamiques et glaciels sur différents types de côtes, nous avons implanté des caméras Axis à 6 endroits du Québec maritime. Ces caméras, orientées vers les plages, filment en continu, les épisodes de vagues, et les niveaux d'eau (dont ceux qui engendrent de la submersion). Grâce à une calibration des caméras, elles nous permettent d'obtenir des données précises sur les limites atteintes par les vagues et le runup et les variations morphologiques des plages instrumentées.

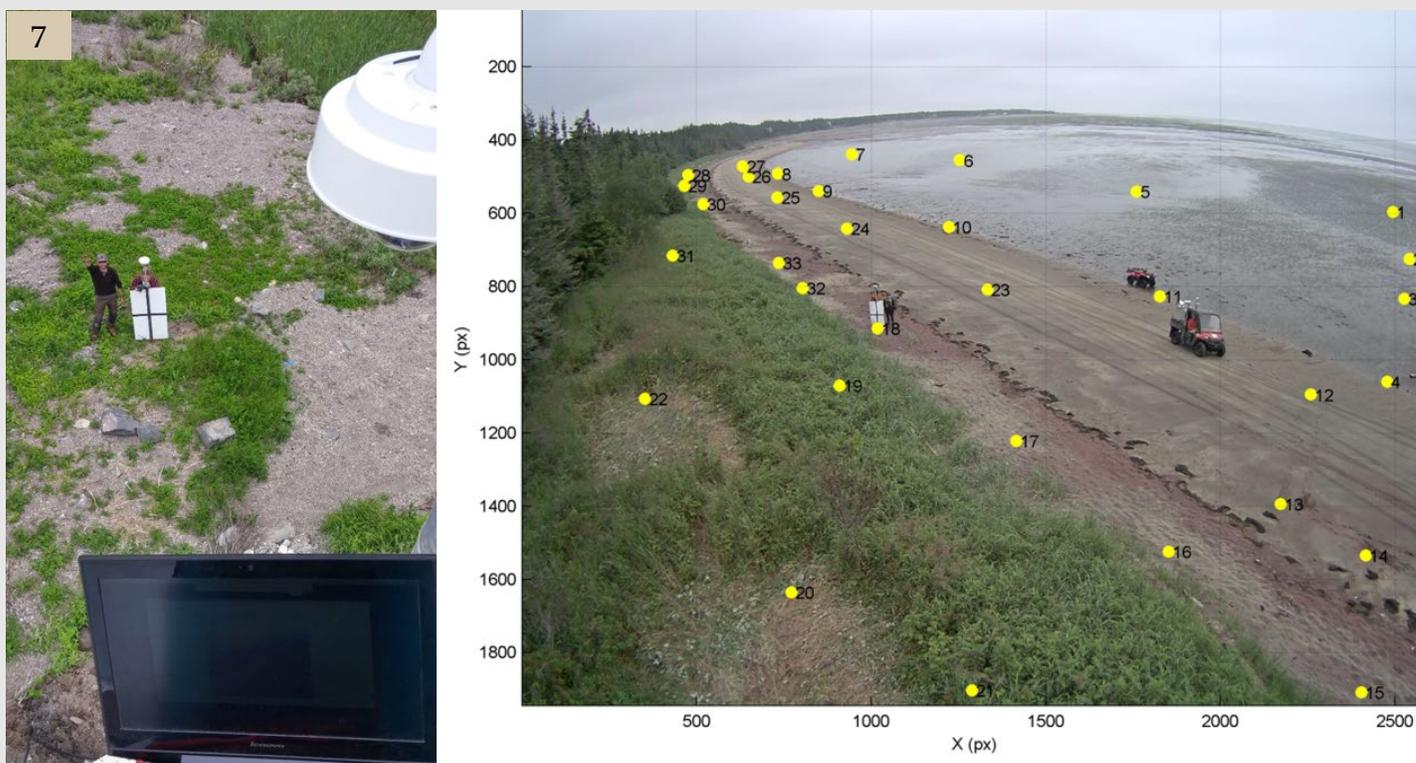
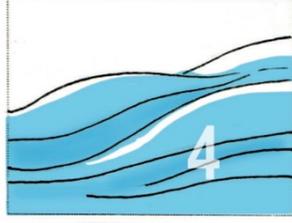
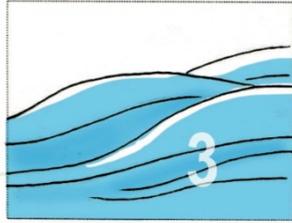
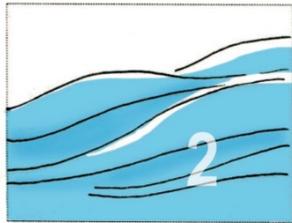
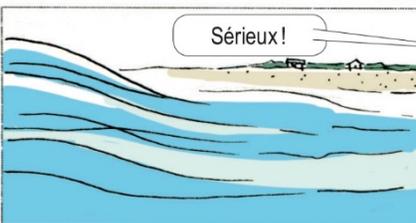
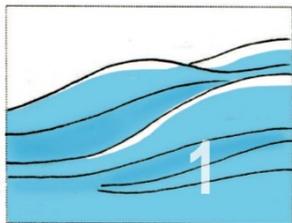


Figure 7: exemple d'acquisition de points DGPS pour la calibration d'une caméra Axis à Pointe-Lebel.



Noémie Ross 2019

# Résilience et vulnérabilité aux aléas côtiers des communautés isolées de la Basse-Côte-Nord

Par Clara Pelletier Boily, candidate à la maîtrise en géographie à l'UQAR

J'aime bien dire que mon projet est une pièce de casse-tête qui permettra d'assembler le projet de plus grande ampleur : Résilience côtière. Celui-ci est un projet de recherche-action qui vise à accompagner les municipalités et les MRC de l'Est du Québec afin de répondre à leurs besoins en matière d'adaptation pour réduire les risques côtiers. Dans la section du « casse-tête » qui me concerne, je m'intéresse plus particulièrement à 1) Évaluer la vulnérabilité à l'érosion côtière de communautés isolées et 2) Proposer des mesures d'adaptation et de prévention permettant d'augmenter la résilience de ces communautés.

## Comment évaluer la vulnérabilité à l'érosion côtière ?

L'évaluation de la vulnérabilité à l'érosion côtière peut se faire de plusieurs façons. La méthode préconisée pour ce projet est de considérer des facteurs physiques en les combinant avec des facteurs sociaux, économiques et environnementaux. Ainsi, j'espère obtenir un portrait de la vulnérabilité à l'érosion côtière qui représente bien la réalité des communautés isolées de la Basse-Côte-Nord étudiées. Cette réalité, j'ai appris à la connaître et à mieux la comprendre lors de mon séjour sur le terrain. En effet, à l'été 2019, mon assistante de terrain, Audrey, et moi avons parcouru bien des kilomètres en avion, en bateau et à pied pour aller à la rencontre de la population et d'acteurs décisionnels.

Nous avons ainsi pris le pouls des différentes perceptions des communautés de Blanc-Sablon, Chevery, La Romaine, Unamen Shipu et Kegaska quant à diverses thématiques en lien avec l'érosion côtière.



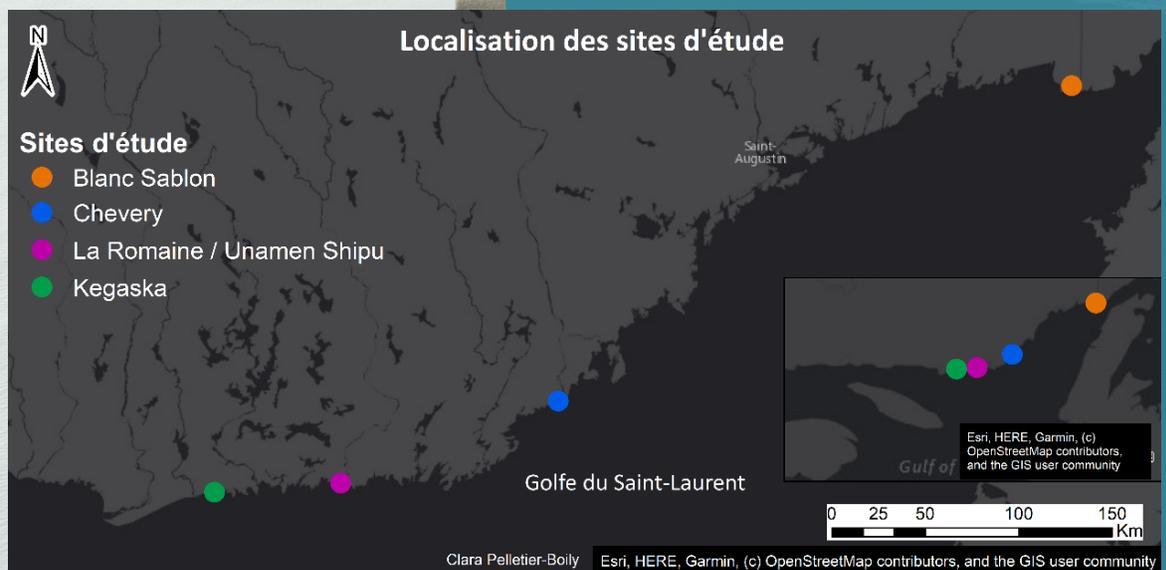
## Qu'est-ce que la vulnérabilité :

Il existe plusieurs définitions pour le terme « vulnérabilité ». Il n'existe pas de définition optimale étant donnée la variété des contextes dans lequel il est utilisé. Pour ce projet, la définition de vulnérabilité adoptée est : « la propension à être affectée négativement »<sup>1</sup>

<sup>1</sup> GIEC, 2007 : Bilan 2007 des changements climatiques. Contribution des Groupes de travail I, II et III au quatrième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat

## Qu'est-ce que la résilience :

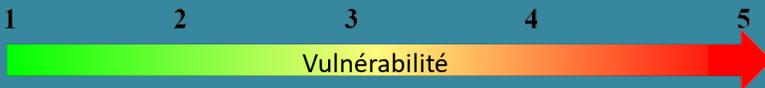
Le terme « résilience » est abordé, dans ce projet, comme étant la capacité des groupes ou communautés à faire face à des stress externes et à des perturbations par l'entremise de changements sociaux, politiques et environnementaux (Adger, 2000).



En récoltant des données sur les enjeux exposés, la gestion des risques, les capacités d'adaptation et de résilience de la population, etc., l'indice de vulnérabilité tiendra compte de plusieurs paramètres qui représenteront un portrait détaillé de chaque communauté. Ainsi l'indice pourra servir d'aide à la décision et de priorisation d'interventions.

### **Pour en savoir plus sur l'indice :**

L'indice de vulnérabilité tiendra compte des enjeux exposés à l'érosion côtière actuellement (2020) et avec une projection de 50 ans (2070). Les enjeux exposés humains, socio-économiques et environnementaux seront considérés. L'indice tiendra aussi compte de paramètres d'adaptation tels que la capacité à faire face, la prévention, la gestion de crise et la gouvernance. L'inclusion de ces paramètres d'adaptation sont un plus et permettent de se démarquer, car c'est encore très peu fait dans le monde de la science. Au final, chaque site à l'étude sera divisé en tronçons de 500 mètres continus longeant la côte et pour chacun de ces segments, nous calculerons l'indice de vulnérabilité à l'érosion côtière. Celui-ci sera représenté par un chiffre allant de 1 à 5, soit 1 représentant une faible vulnérabilité et 5 une forte vulnérabilité.



### **La découverte et l'adaptation :**

Partir sur le terrain, comme c'est excitant ! Il faut être bien préparé et aussi il faut être prêt à affronter tous les impondérables, dont mère Nature qui est plutôt imprévisible. En effet, sur le terrain, Audrey et moi avons bravé des tempêtes. Nous avons vécu ce que les gens de la Basse-Côte-Nord vivent bien souvent, c'est-à-dire le retard des transports. N'ayant pas de routes reliant tous les villages ensemble, l'avion ou le bateau sont de mises. Toutefois, ces deux moyens de transport sont très dépendants de la météo.

Les gens de la Basse-Côte-Nord sont prêts pour toute éventualité. En effet, la plupart ont un garde-manger et des congélateurs bien garnis que l'on pourrait qualifier de « cavernes d'Ali Baba de la conserve maison ». Ils sont bien heureux de les partager. Ainsi, nous avons pu goûter à du homard, du crabe, des buccins et on nous a même montré à faire la cueillette de palourdes ! Bref, merci à vous, gens de la Basse-Côte-Nord, qui nous avez partagé votre mode de vie et votre culture avec beaucoup de générosité et bien sûr, merci encore d'avoir répondu à notre étude !



Figures 1 et 2 : sites en érosion à Chevery (en haut) et Kegaska (en bas)

- Ce que j'aime de mon projet:  
C'est de faire un projet qui implique la participation de la population et des acteurs institutionnels et d'essayer de prendre le pouls de leur perception à l'égard de l'érosion côtière en comprenant leur réalité qui est bien différente du reste du Québec. Être en contact avec la population et les acteurs décisionnels c'est vraiment intéressant et cela rend mon projet très concret.
- Ce que je trouve plus difficile:  
C'est de voir comment la lenteur administrative peut parfois être un frein à certains projets ou affecte la mise en place de mesures concrètes concernant l'érosion côtière.

# Mieux comprendre le passé pour prévoir le futur sur l'Île d'Anticosti

Charles Béland est candidat à la maîtrise en géographie. Son projet de maîtrise vise à améliorer les connaissances sur les variations du niveau marin relatif et la reconstitution des paléoenvironnements quaternaires côtiers du nord d'Anticosti.

Son travail s'intègre dans un des trois axes de recherche du laboratoire qui vise à reconstituer la dynamique glaciaire passée et la reconstitution des variations du niveau marin relatif dans l'Est du Québec depuis plusieurs milliers d'années.

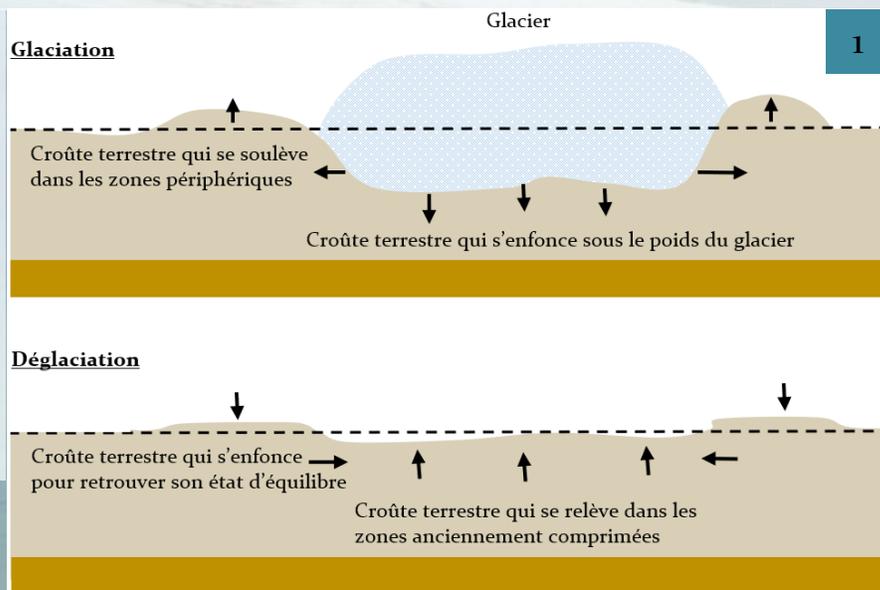
## Qu'est-ce que le niveau marin relatif ?

À l'échelle mondiale, le réchauffement climatique induit une élévation du niveau de la mer du fait notamment de la fonte des glaciers. La hausse de températures des océans provoque par ailleurs une dilatation et une expansion des masses d'eau qui participe à l'élévation du niveau marin.

Le niveau de la mer a constamment fluctué à l'échelle de l'histoire de la Terre. Par exemple il y a 12000 ans le poids des glaciers qui recouvraient la majorité du Canada (jusqu'à 5000 mètres d'épaisseur de glace à certains endroits !) a provoqué l'enfoncement du continent permettant ainsi à l'océan atlantique de recouvrir une bonne partie de la vallée des basses terres du Saint-Laurent.

Au fur et à mesure de la déglaciation, la croûte terrestre se réajuste : elle se relève dans les zones anciennement glaciaires (par exemple au nord-est du golfe du Saint-Laurent, la Baie d'Hudson, Baie-Comeau...) et s'enfonce dans les zones périphériques (Îles-de-la-Madeleine, baie des Chaleurs, ). Ce phénomène est nommé ajustement glacio-isostatique (cf. figure 1).

Figure 1 : schéma du processus d'ajustement isostatique



Les recherches effectuées sur les variations du niveau marin du passé et les raisons de sa variabilité permettent d'améliorer les prévisions sur les hausses attendues dans le futur afin d'évaluer leurs impacts sur les communautés humaines et les écosystèmes. L'une des régions où les connaissances sont les plus fragmentées demeure le golfe du Saint-Laurent. Aucune recherche n'a permis notamment d'établir une courbe précise des variations du niveau marin relatif (NMR) pour l'Île d'Anticosti.

La problématique pour l'île est sa situation géographique. Les processus d'ajustement isostatique y sont par exemple plus complexes que sur la côte nord-est américaine située en périphérie immédiate des glaces lors du dernier maximum glaciaire.

## Qu'est-ce que des paléoenvironnements quaternaires ?

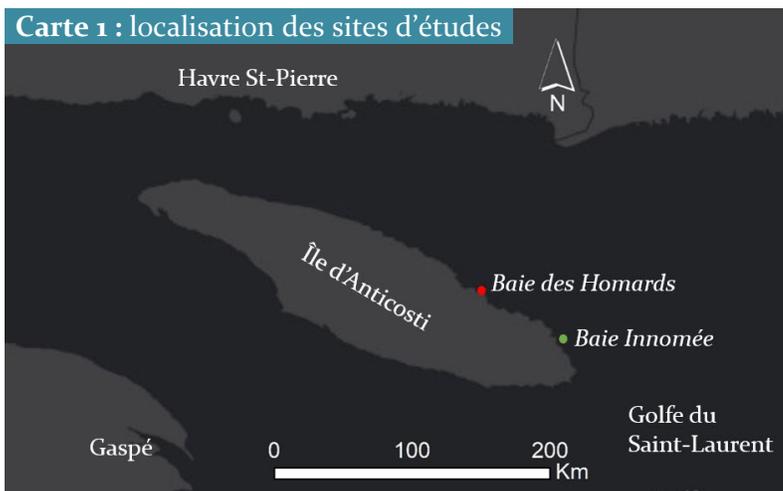
Les paléoenvironnements sont des environnements anciens. Le quaternaire fait référence à une période s'étalant d'aujourd'hui à 2,6 millions d'années pendant lesquels se sont succédés plusieurs périodes de glaciations et des périodes interglaciaires.

Des chercheurs ont montré par exemple que l'archipel des Îles-de-la-Madeleine a été englacé lors de la dernière période glaciaire par deux calottes glaciaires différentes, soit par la calotte de Terre-Neuve pour la partie nord et la calotte Escuminac pour les îles méridionales <sup>1</sup>. Cette situation fait que les réajustements isostatiques ne sont pas uniformes et simultanés dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent. Des nuances locales dans l'enfoncement glacio-isostatique pourraient entrer en jeu au sein même de l'Île d'Anticosti. Des analyses récentes ont montré qu'à une certaine période, l'étendue maximale de la mer atteignait des points situés aujourd'hui à plus de 80 mètres d'altitude au sud-ouest de l'île (Port-Menier) tandis qu'elle n'atteignait que 35 mètres d'altitude sur la côte nord-est de l'Île. Cette différence peut s'expliquer par une dynamique glaciaire et des épaisseurs de glace différente d'un secteur à l'autre de l'île d'Anticosti.

<sup>1</sup> Mercier Rémillard, Audrey (2016). *Histoire glaciaire et variations du niveau marin relatif aux Îles-de-la-Madeleine*. Thèse. Rimouski, Québec, Université du Québec à Rimouski, Institut des sciences de la mer de Rimouski, 247 p.

C'est d'ailleurs sur la côte nord-est de l'île que Charles concentre ses recherches, au niveau de la Baie des Homards et la Baie Innomée (carte 1) où l'on retrouve des marais protégés par des cordons littoraux. (cf. Figures 2 et 3)

Carte 1 : localisation des sites d'études



### Qu'est-ce qu'un cordon littoral?

C'est une accumulation basse de sable ou de graviers qui s'étire parallèlement à la côte et souvent bordée d'une lagune. Les cordons littoraux se forment suite à une accumulation de sédiments apportés par les courants côtiers et les vagues. Pour les deux sites en question, les plans d'eau situés en arrière du cordon sont des milieux d'eau douce abritant des espèces animales aquatiques strictement terrestres. On suppose que ce milieu a été complètement isolé du monde marin quand le niveau de la mer était plus bas.



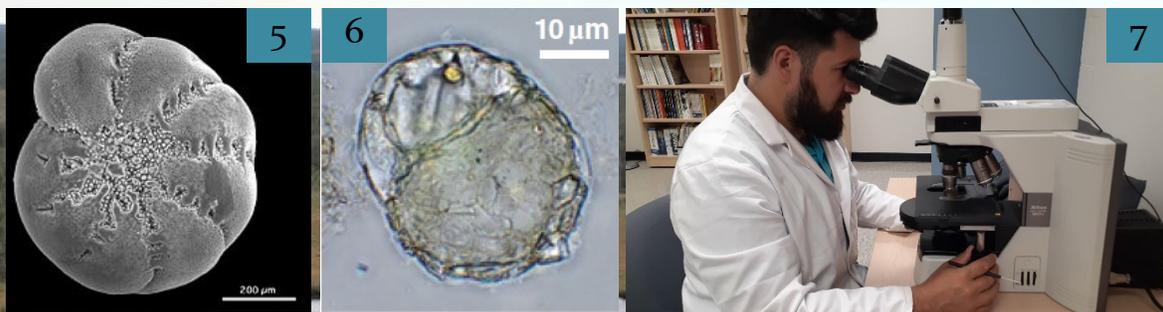
Le cordon littoral de la Baie Innomée (Figure 2) se situe dans un environnement très dynamique. Sa morphologie (cordon très large et non végétalisé) est très différente de ce que l'on peut voir dans les autres baies de l'île (Baie des Homards notamment, cf. Figure 3) probablement en raison des assauts fréquents des tempêtes.

Il est probable qu'avec le contexte actuel de hausse du niveau de la mer, la Baie des Homards ressemble davantage à la baie innomée à l'avenir.



Des datations au carbone 14 et au plomb 210 de microfossiles calcaires prélevés par carottage dans les marais (cf. Figure 4) permettent de reconstituer et de dater les variations du niveau marin sur un site précis. Ces deux méthodes permettent de remonter l'histoire jusqu'à plusieurs centaines d'années.

Afin de reconstituer les variations du NMR plus récentes (des derniers siècles) Charles tente de comprendre les processus de mise en place des cordons littoraux. Grâce à l'analyse de micro-organismes présents dans les sédiments prélevés dans les marais (cf. Figure 7), il est possible pour Charles d'évaluer quand les milieux lagunaires se sont isolés du milieu marin (par une baisse donc du niveau de la mer), certains d'entre eux (**les foraminifères**, cf. Figure 5) colonisant spécifiquement les milieux marins alors que d'autres les milieux d'eau douce (**les thécamoebiens**, cf. Figure 6).



Source photo 6 : Dan Charman, Robert Barnett dans Shennan, Ian, Long Anthony J., H. B. P. (2015). Handbook of Sea-Level Research.

Enfin, pour comprendre les processus qui entrent en jeu dans l'évolution des cordons littoraux, Charles étudie les changements du milieu à partir de photographies aériennes anciennes ainsi qu'à partir de mesures effectuées au cours des deux dernières années.

Pour ce faire il analyse :

- des données des images prises par appareil photo aux 15 minutes (cf. installation Figure 8) ;
- des profils topographiques (cf. Figure 9 et encadré p. 8) et des modèles 3D des cordons littoraux (cf. Figure 10) réalisés en différentes saisons lui permettant de comparer la longueur, largeur, hauteur, le volume et la morphologie des cordons littoraux ;

L'analyse de ces données lui permet de comprendre l'évolution des cordons littoraux et d'en déduire leur tendance à court terme.



Figure 8 : caméra Reconyx capturant des images au 15 minutes du cordon littoral. Figure 9 : Charles réalise un profil topographique d'un cordon littoral à l'aide d'un DGPS. Figure 10 : reconstitution 3D à l'aide de photographies de la Baie Innommée en 2018.

Une compréhension fine de la formation et l'évolution des cordons littoraux combinée à la reconstitution du niveau marin relatif de l'est de l'Île d'Anticosti pour les derniers millénaires sont cruciales pour ajuster les modèles de prévisions futures de l'évolution de nos côtes ainsi que des aléas côtiers à venir, et ce dans une perspective de gestion des risques et d'adaptation de nos territoires aux changements climatiques.

# NOUVELLES

➔ Le laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières a maintenant sa **chaîne YouTube** ! Vous pouvez y découvrir de courtes vidéos de présentation de nos recherches. Plusieurs autres contenus y seront ajoutés dans les prochains mois.

Pour y accéder : <https://www.youtube.com/channel/UCHMBEiW4SG-krsmlSBdmljw>

➔ **Catalogue des ressources et liens d'intérêts sur les processus et enjeux de l'érosion et la submersion côtière au Québec maritime**

Face au constat de la multitude des sources d'information sur les processus côtiers et leurs enjeux au Québec maritime, plusieurs acteurs locaux nous avaient fait part du besoin de réunir toutes ces ressources au même endroit. C'est maintenant chose faite! Une section de notre site web rassemble les liens de documents vulgarisés disponibles en ligne pour tout public et classés selon 9 catégories (documentation d'ordre générale, solutions d'adaptation, géomorphologie et dynamique côtière, écosystèmes et habitats côtiers, gestion intégrée des zones côtières, sécurité publique et actions en cas de sinistres, santé, pour les enfants, législation et processus gouvernementaux): <https://sigec.cartovista.com/Web/documentation#bottindesressources>. Cette liste est en constante actualisation. Si une publication vous paraît intéressante à ajouter, merci de nous écrire à [zones.cotieres@uqar.ca](mailto:zones.cotieres@uqar.ca)

➔ **Comment améliorer la résilience des communautés des Premières Nations aux aléas côtiers?**

Un de nos projets de recherche-action en cours vise à apporter des réponses à cette question. L'érosion et la submersion côtières affectent plusieurs communautés des Premières Nations au Québec. Le projet intitulé « Identification des solutions d'adaptation aux aléas côtiers pour augmenter la résilience des communautés des Premières Nations (Pessamit et Uashat) dans un contexte de changements climatiques » vise à approfondir la réflexion sur les solutions d'adaptation au-delà des structures rigides telles que l'enrochement ou les murs.



Avec ces deux communautés, nous cherchons à identifier des solutions innovantes en tenant compte du système socio-écologique, des impacts des changements climatiques et des besoins exprimés par les communautés. Pour ce faire, des ateliers ont lieu dans chacune des communautés pour discuter des solutions et ouvrages de protection intéressants pour leur milieu. Une priorisation des idées émergées est effectuée lors de ces rencontres. Ce projet a pour but de développer une approche d'aide à la décision afin de s'adapter aux aléas côtiers. Un premier atelier a eu lieu en juin 2019 à Pessamit et un second a eu lieu en février 2020 dans la communauté d'Uashat. Pour toute question sur ce projet, vous pouvez contacter Stephanie Friesinger par courriel : [stephanie.friesinger@uqar.ca](mailto:stephanie.friesinger@uqar.ca)

---

Posez vos questions en nous écrivant à : [zones.cotieres@uqar.ca](mailto:zones.cotieres@uqar.ca)