Atlantic Climate Adaptation Solutions Association
Solutions d'adaptation aux changements climatiques pour l'Atlantique

INFRASTRUCTURES À RISQUE DANS TROIS MUNICIPALITÉS DE LA PÉNINSULE ACADIENNE

Volet 3 du projet ASACCA-Péninsule acadienne

Par
André Robichaud[1,2], Inuk Simard[2], Anne Doiron[2] et Meher Chelbi[2]
Géographie[1] et Gestion intégrée des zones côtières[2]
Université de Moncton – campus de Shippagan

Septembre, 2011

Rapport préparé par André Robichaud et commandité par l'association interprovinciale Solutions d'adaptation aux changements climatiques pour l'Atlantique (SACCA). La SACCA est un organisme sans but lucratif, créé pour coordonner la gestion et la planification de projets et d'initiatives en matière d'adaptation aux changements climatiques en Nouvelle-Écosse, au Nouveau-Brunswick, à l'Île-du-Prince-Édouard et à Terre-Neuve-et-Labrador, et financé par le programme d'Initiatives de collaboration pour l'adaptation régionale (ICAR) pour l'Atlantique, un projet commun des provinces de l'Atlantique, de Ressources naturelles Canada, des municipalités et d'autres partenaires.

Direction du projet : Secrétariat des changements climatiques du ministère de l'Environnement du Nouveau-Brunswick. C.P. 6000, Fredericton, N.-B., E3B 5H1. Courriel : env-info@gnb.ca.

Remerciements : Nous tenons à remercier tous les partenaires du projet et les organismes subventionnaires pour leur apport et d'avoir permis ce travail.

Avertissement : Cette publication ne peut être utilisée sans autorisation préalable, et toute utilisation non autorisée est strictement interdite. La SACCA, les auteurs du rapport, les provinces de Nouvelle-Écosse, du Nouveau-Brunswick, de l'Île-du-Prince-Édouard et de Terre-Neuve-et-Labrador, ainsi que le programme ICAR – Atlantique déclinent toute responsabilité en cas d'utilisation non autorisée, de quelque nature qu'elle soit, de l'information contenue dans ce document. Les opinions exprimées dans cette publication ne reflètent pas forcément celles de la SACCA, des provinces qui lui sont associées ou des autres partenaires qui participent au programme d'Initiatives de collaboration régionale.

Ce rapport peut aussi être téléchargé à partir du site Web de la SACCA, à l'adresse www.atlanticadaptation.ca.

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION 2
-Aperçu du projet ASACCA-Péninsule acadienne 2
-Objectif du volet 3 – infrastructures à risque 3

DESCRIPTION GÉOMORPHOLOGIQUE DES SITES ÉTUDIÉS 4
-Le Goulet 4
-Shippagan 6
-Bas-Caraquet 8

ACTIVITÉS 10
-Étapes préliminaires et préparation du projet 10
-Établissement de la base de données des infrastructures 10

RÉSULTATS ET DISCUSSION 13
-Inondations 13
1-Les scénarios d'inondation 13
2-Établissement du niveau de référence et validation des scénarios d'inondation 16
3-La base de données des surfaces inondées 18
4-Établissement d'une échelle des niveaux de risque 18
5-Quelques particularités des trois localités 22
-Érosion 24
1-Les scénarios d'érosion et la position du trait de côte 24
2-Établissement d'une échelle des niveaux de risque 37

CONCLUSION 43

Références 45
Principaux ouvrages consultés 45

ANNEXES 46

INTRODUCTION

<u>APERÇU DU PROJET *ASACCA-PÉNINSULE ACADIENNE*</u> :
Ce travail fait partie d'une initiative fédérale (Initiatives de collaboration pour l'adaptation régionale, http://adaptation.nrcan.gc.ca/collab/index_f.php) et provinciale (http://adaptation.nrcan.gc.ca/collab/at_f.php et http://atlanticadaptation.ca) et comprends de nombreux projets répartis dans six grandes régions canadiennes, dont celle de l'Atlantique. Au Nouveau-Brunswick, six projets sont en marche dont le nôtre qui porte sur l'érosion et les inondations côtières.

Le but du projet de la Péninsule acadienne est de développer un outil d'aide à la décision adapté au contexte de la hausse du niveau marin et de l'érosion du littoral pour trois communautés côtières : Le Goulet, Shippagan et Bas-Caraquet (figure 1). L'outil comprend une série de cartes montrant différents scénarios d'érosion et d'inondation aux horizons 2025, 2055, 2085 et 2100 et les infrastructures qui risquent d'être affectées. Cela devrait permettre aux communautés côtières de mieux évaluer les risques, de mieux planifier les aménagements et adopter des réglementations en conséquence. L'outil pourrait éventuellement être développé dans d'autres communautés côtières.

Figure 1 : Carte de la Péninsule acadienne montrant la localisation des sites étudiés.
[Source de la carte : http://atlas.nrcan.gc.ca/site/francais/maps/topo/map)]

Le projet de la Péninsule acadienne comprend plusieurs volets :
1-Le premier volet porte sur l'évolution du trait de côte et est mené par Serge Jolicoeur (U de Mctn) et Stéphane O'Carroll (professionnel-SIG).
2-Le deuxième volet porte sur les scénarios d'inondation selon la hausse du niveau marin et les ondes de tempêtes, la confection de photos aériennes corrigées et à haute résolution et le développement d'un modèle altimétrique de terrain à partir de données LIDAR. Dominique Bérubé et Marc Desrosiers (tous deux de Ressources naturelles du N.-B.), ainsi que Reid McLean (Dép. des gouvernements locaux du N.-B.) et Réal Daigle (consultant) ont travaillé sur ces aspects.
3-Notre équipe travaille sur le troisième volet, dont la description plus détaillée est présentée ci-dessous. Il porte sur les infrastructures à risque : en gros, déterminer les infrastructures qui pourraient être menacées par le recul de la côte et les inondations.
4-Le quatrième volet, l'accompagnement des communautés, comporte l'information, la sensibilisation et la consultation des communautés ainsi qu'une série d'ateliers et ultimement l'application de l'outil. Mélanie Aubé de l'IRZC et Benjamin Kocyla de la CAPA sont responsables de cette dernière étape.
5-Le dernier volet, en parallèle avec le quatrième, est la confection des cartes (Serge Jolicoeur et Stéphane O'Carroll).

OBJECTIF DU VOLET 3 – INFRASTRUCTURES À RISQUE

L'objectif de notre volet est d'identifier les infrastructures à risque des trois communautés mentionnées plus haut qui pourraient être affectées par le recul de la côte dû à l'érosion et la hausse du niveau marin, ainsi que les inondations qui accompagnent les tempêtes. Quatre horizons temporels ont été choisis (2025, 2055, 2085 et 2100) pour faire les projections. Notre rôle est de combiner i) les données venant des volets 1 (scénarios d'inondation + photos aériennes haute résolution orthorectifiées de 2009 + données altimétriques LIDAR) et 2 (scénarios d'érosion) ii) les bases de données existantes sur les infrastructures et iii) les nouvelles données mettant à jour ou ajoutant les éléments qui ne sont pas dans ii) et que nous aurons produites. Le volet 3 est donc d'utiliser les bases de données développées dans les autres volets et de les superposer à une base de données d'infrastructures dans le but d'identifier les zones où les infrastructures risquent d'être inondées ou menacées par le recul de la côte.

En résumé, on aura confectionné une série de fichiers de sortie ARC GIS montrant la position «actuelle» (en fait selon les photos aériennes de 2009) des infrastructures indiquant celles à risque selon les scénarios d'inondation et d'érosion produits lors des volets précédents. Le travail s'est fait de mai à septembre 2011 en grande partie au laboratoire de géomatique de l'UMCS.

Le présent rapport a pour but d'informer sur les données développées lors des trois premiers volets et de montrer comment on s'y est pris.

DESCRIPTION GÉOMORPHOLOGIQUE DES SITES ÉTUDIÉS

Les trois localités se trouvent dans des situations géomorphologiques différentes que l'on a jugé important de décrire. La toponymie utilisée est indiquée dans les cartes de l'annexe 1.

LE GOULET

Le littoral de Le Goulet considéré dans le projet fait environ 10 km de longueur et déborde un peu les limites de la municipalité. La partie ouverte sur le golfe du Saint-Laurent est essentiellement une plage dunifiée de 5 à 6 km de long constituée surtout de sable qu'accompagnent des placages de galets et de cailloux. La plage s'appuie sur un marais plus ou moins large sur une bonne partie de son parcours. Les dunes sont basses (généralement 1 m ou moins de hauteur) et couvertes d'ammophiles; la plage peut avoir 10-15 m de large, parfois plus, à marée moyenne. Le littoral inclut aussi une partie du marais à l'intérieur de la baie de Shippagan.

Il y a peu de constructions sur la côte à deux grandes exceptions près. Du côté ouest, un peu en dehors des limites municipales, il y a une zone qui a été fortement éprouvée par les tempêtes de décembre (figure 2, à gauche) et une homarderie bordée par un enrochement dont le terrain s'avance sur la mer. On observe un nouvel enrochement dans ce secteur qui augmente et prolonge celui qui était déjà en place (figure 2, à droite). À l'extrême est de la côte du golfe, il y a le quai où on a aussi accru cette année les enrochements déjà en place.

Figure 2 : À gauche, la zone où il y a eu débordement à l'ouest de Le Goulet. À droite, la même zone avec l'enrochement récent qui protège la homarderie.

Les tempêtes de décembre 2010 ont laissé des traces d'érosion un peu partout le long de la plage : talus d'érosion, nappes de débordement et au moins une brèche. Sur le haut de plage, on remarque des arbres morts parfois déchaussés. Quelques mesures prises à partir des photos aériennes de 2009 et des observations de terrain suggèrent un recul substantiel du système. À l'extrémité est de la plage, au début des enrochements

le long du chemin qui mène au quai, le talus d'érosion a reculé d'environ 25 m depuis 2009 et la plage s'est abaissée de 10 à 20 cm si on se fie à l'apparition d'une ancienne structure enfouis (figure 3, à gauche). Ailleurs, le front dunaire semble avoir régressé d'au moins 5 à10 m. Au milieu de l'été, on a observé que les zones de débordement commençaient à être colonisées par la végétation (figure 3, à droite). La plage se reconstruit donc, mais lentement. Ces tempêtes ont aussi inondé l'intérieur des terres jusque dans le village.

Figure 3 : À gauche, une ancienne structure a été exhumée par les tempêtes de décembre dans le secteur est de la plage de Le Goulet. À droite, une nappe de débordement en voie de recolonisation végétale.

Figure 4 : La dune de Le Goulet est de faible hauteur comme on le voit sur cette photo prise en août 2011.

Les quelques témoignages recueillis suggèrent que la dune s'est abaissée au cours des dernières années (figure 4) et que la plage recule de façon assez soutenue. Le rapport de O'Carroll et Bérubé (1997) fait une description exhaustive de la plage de Le Goulet à la fin des années 1990 et on constate déjà que la côte reculait assez rapidement par

endroits à cette époque, mais qu'il y avait aussi des zones d'avancées dans le secteur central vis-à-vis l'édifice municipal. Les photos de ce rapport montrent des dunes un peu plus élevées que l'actuel, souvent ayant plus de 1 m de hauteur. La différence n'est pas énorme, mais semble significative.

SHIPPAGAN

Le littoral de la municipalité de Shippagan et des secteurs adjacents inclus dans le projet a une longueur d'environ 10 km et est plus varié. La région couverte par les scénarios d'érosion ne dépasse pas les limites municipales, mais nous avons quand même étendu la zone d'étude jusqu'à la rue Raymond-Marie à Pointe-Brûlée et inclus une partie de la côte à marais au sud de pont-levis en allant vers Pointe-Sauvage. D'une façon générale, le littoral de Shippagan se trouve dans un secteur plus protégé et plus construit qu'à Le Goulet.

Le secteur au sud du pont est le plus à l'abri des vagues et est constitué d'une plage limono-sableuse étroite à marée haute et des zones de marais (figure 5, à gauche). À partir du pont en allant vers l'ouest, la côte est un peu plus exposée, mais reste malgré tout assez protégée des vagues, car elle se trouve dans le fond d'une baie. Elle est constituée d'un assez long secteur urbanisé et artificialisé : c'est là qu'on trouve le port, la passerelle (figure 5, à droite), des bâtiments divers (usines, restaurant, maisons, foyer de soin, etc.) et des structures de protection.

Figure 5 : À gauche, le secteur au sud du pont à marée basse. La côte est basse et la plage étroite à marée haute. À droite, la passerelle qui borde une grande partie du littoral de la ville de Shippagan et qui protège la côte. On dit que la plage s'est rétrécie après sa construction.

À l'approche de Pointe-Brûlée, dans le fond de l'anse du ruisseau Bar, le littoral est formé d'un marais qui est enjambé par la passerelle qui, ici, est sur pilotis. Ensuite, la côte se prolonge par une plage sableuse et limoneuse étroite à marée haute bordée par la forêt et se termine par une flèche sableuse à la pointe à Barnache. On y trouve des maisons souvent abritées par des structures de protection. Dans tous ces secteurs, les traces d'érosion ou de recul sont relativement modestes (peut-être un ou deux mètres de perdu lors des tempêtes de décembre à quelques rares endroits) ou sont

inexistantes. L'eau a débordé par endroits sans pour autant avoir été menaçante ou provoqué trop de dommages (figure 6).

Figure 6 : La côte est de Pointe-Brûlée. La laisse de mer à gauche (flèche blanche) montre la hauteur d'eau atteinte durant les tempêtes de décembre 2010. Une structure est visible à l'arrière-plan.

Figure 7 : La plage face à la baie des Chaleurs à Pointe-Brûlée. La côte est basse et il y a peu de dunes. On voit des dommages à parterre à l'avant-plan.

Par contre, le secteur de la pointe Brûlée qui fait face à la baie des Chaleurs est assez exposé aux vagues. Ce secteur a une plage sableuse ouverte et peu dunifiée et une arrière-plage très basse. Les tempêtes de décembre ont inondé ce secteur assez profondément : en effet, des laisses de mer se trouvent assez loin vers l'intérieur et on constate des débordements où il y a des structures de protection. Par contre, le recul, y compris dans les zones naturelles (non construites), ne semble pas aussi marqué qu'à Le Goulet (figure 7).

BAS-CARAQUET

Le littoral de cette municipalité est constitué par deux secteurs distincts : la côte exposée à la baie des Chaleurs et aux processus marins (≈12 km) et la côte à l'intérieur de la baie de Saint-Simon plus protégée (≈25 km).

Le secteur de la baie des Chaleurs a une côte contrastée. Du côté ouest, il est composé d'une falaise rocheuse de plusieurs mètres de hauteur (figure 8, à gauche); du côté est, on a une zone basse surtout formée par une plage sableuse assez étroite bordée le plus souvent par une forêt (figure 8, à droite) sauf à l'extrême est à l'approche de Pokesudie où il y a un marais. Un talus d'érosion délimite le plus souvent cette plage. Une bonne partie de ce littoral a des infrastructures près ou sur la côte : marina, quai, parc industriel, maisons et chalets. Des structures de protection ont été érigées pour protéger les terrains et les bâtiments de l'érosion côtière. Les tempêtes de décembre ont laissé leur empreinte : décrochements dans les falaises (figure 9, à gauche), débordements à certains endroits de la plage, talus d'érosion rafraîchit, structures de protection endommagées et débordées et une partie de la marina détruite (figure 9, à droite).

Figure 8 : La côte de la baie des Chaleurs à Bas-Caraquet. À gauche, la falaise du côté ouest. À droite, la plage bordée par une forêt du côté est.

Figure 9 : À gauche, décrochement dans la falaise et droite, dommages à la marina tous dus aux tempêtes de décembre 2010.

Cela fait contraste avec le second secteur (figure 10), essentiellement formé de marais ou de plage sablo-limoneuse étroite parfois bordée d'une forêt, peu construite et ayant peu ou pas de signes d'érosion. C'est à peine si on constate des signes d'inondation. Les tempêtes de décembre ont laissé peu de traces, mais certains endroits ont pu être menacés.

Figure 10 : Le secteur de la baie de Saint-Simon. À gauche, le Ferry au bout du chemin Morais. À droite, la côte à l'embouchure du ruisseau à la Chaloupe.

En résumé, Le Goulet a un littoral constitué d'une plage sableuse basse plus exposée aux vagues, le village étant en retrait par rapport au trait de côte. Le littoral de Shippagan est moins exposé aux vagues, mais plus construit et plus artificialisé (notamment par le quai et la passerelle), les infrastructures s'étendant jusqu'au trait de côte. Bas-Caraquet a deux littoraux distincts. En premier, un secteur faisant face à la baie des Chaleurs, exposé aux vagues, construit, avec des infrastructures près du rivage et constitué de deux types de côte : une falaise et une plage. En second, un secteur à l'intérieur de la baie de Saint-Simon, peu exposé aux vagues et peu construit, constitué surtout de plages étroites ou de marais.

ACTIVITÉS

ÉTAPES PRÉLIMINAIRES ET PRÉPARATION DU PROJET

Un certain nombre de rencontres préliminaires ont eu lieu entre les différents partenaires entre l'automne 2008 et l'été 2010 pour établir les étapes du projet dans le cadre des ICAR (Initiatives de collaboration pour l'adaptation régionale) et les tâches des différents partenaires. Quelques rencontres ont aussi eu lieu sur les aspects techniques et logistiques du projet (plate-forme SIG, échanges de données, échéanciers, etc.). Après quoi une entente a été signée entre l'ASACCA et l'UMCS en mars 2011. Les travaux préliminaires du troisième volet ont débuté ce même mois et se sont poursuivis jusqu'au début mai 2011. Ces activités ont consisté en les éléments suivants :

- Autorisation d'utiliser le laboratoire de SIG et le matériel de terrain du laboratoire de géomatique de l'UMCS
- Installation du Logiciel ARCGIS 10.0 comme système d'information géographique (SIG) utilisé pour la numérisation, le traitement de l'information et la création de la base de données
- Récupération des données des autres partenaires produites dans le cadre du projet (inondation, érosion, photos aériennes de 2009, données LIDAR) et autorisations de les utiliser
- Récupération d'autres données utiles pour le projet : cadastres, données diverses de la CAPA, table des marées de Pêches et océans Canada, données du ministère des Transports du N.-B., informations et documents sur les égouts et canalisations des municipalités
- Embauche du personnel : deux étudiants du programme de GIZC, qualifiés pour les tâches et un professionnel de recherche en SIG (Inuk Simard, déjà impliqué dans le projet depuis les débuts)
- Organisation du financement : subventions de l'ASACCA, budget (établissement des salaires et des dépenses), demande de subventions supplémentaires auprès de l'Université de Moncton (environ 1000 $ pour aider aux frais de déplacement)

ÉTABLISSEMENT DE LA BASE DE DONNÉES DES INFRASTRUCTURES

Aucune base de données disponible sur les infrastructures des trois municipalités n'étant adéquate pour le projet (incomplètes, désuètes), on a donc procédé à la numérisation des infrastructures des trois municipalités à partir des photos aériennes haute résolution produites en 2009 pour l'ASACCA et ses partenaires. Nous avons donc produit une base de données originale et extrêmement utile qui pourra être mise à la disposition des partenaires quand elle sera terminée. La base de données a aussi été validée avec de nombreuses visites sur le terrain. On a fait l'effort d'ajouter autant que possible les infrastructures construites après 2009 qui ne sont pas sur les photos aériennes

Voici la liste détaillée des activités effectuées dans cette partie du projet. Elles se sont étalées du début mai à la fin septembre 2011.

- Réunions d'équipe tout au long de ces activités; sessions d'information (risque, vulnérabilité, aléas; érosion, niveau marin et tempêtes côtières) échanges et discussions sur le déroulement du projet et des tâches à effectuer, notamment l'organisation et l'orientation de la construction de la base de données de façon claire, logique, cohérente et méthodique.
- Installation et utilisation du cadastre sur les postes de travail pour déterminer les types de propriétés.
- Numérisation des chemins (routes) et établissement de la table d'attributs (les propriétés des tables d'attributs sont données dans l'annexe 2) comprenant le nom, le type (public, privé, court d'entrée, passerelle, sentier) et l'état (asphalté ou non asphalté).
- Numérisation des bâtiments en se basant sur l'empreinte au sol (fondation) et établissement de la table d'attributs selon le nom, le type de propriété en se basant sur le cadastre et l'interprétation des photos aériennes (résidentielle, commercial, industrielle, institutionnelle, récréative, forestière, etc.) et la catégorie (résidence, bâtiment principal, bâtiment secondaire)
- Numérisation d'infrastructures autres que les bâtiments (terrains de jeu, stationnements, cimetières, bassins de sédimentation, stations de transfert d'électricité, passerelles, etc.).
- Numérisation des structures de protection et établissement de la table d'attributs selon le type (mur, enrochement, revêtement, épi, brise-lame, piliers et pieux, autres), le matériel (asphalte, ciment, métal, roche, bois, terre, autre), la hauteur et le type de propriété adjacente. Identification sur le terrain des structures de protection, prise de photo et informations à mettre dans la base de données.
- Numérisation des canalisations d'eau et d'égouts et des infrastructures connexes (pluvial, sanitaire, conduites forcées, stations de pompage, etc.) à partir de documents et d'informations fournis par les trois municipalités. Cela inclut la direction des écoulements. Intégration de ces éléments dans la base de données avec table d'attributs, etc.
- Vérification sur le terrain des routes et bâtiments pour les 3 municipalités.
- Identification sur le terrain des nappes de débordement des dernières tempêtes à Bas-Caraquet et Le Goulet. Prise de photos sur le terrain. Numérisation et incorporation dans la base de données.
- Enquête auprès des résidents de Bas-Caraquet afin de récolter de l'information sur l'érosion de la falaise. Le but était de déterminer de combien la falaise peut reculer lors d'un événement de tempête. Ceci peut servir à déterminer une zone de sécurité, un aspect important pour les côtes à falaises.
- Validation et contrôle de la qualité de la base de données.
- Utilisation des bases de données validées pour identifier les infrastructures potentiellement à risque face à divers scénarios d'érosion et d'inondation;

établissement de niveaux de risque selon le degré d'exposition des infrastructures par rapport aux scénarios.

- Remise de la base de données aux partenaires pour la suite du projet.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

INONDATIONS

1-Les scénarios d'inondation

Les scénarios d'inondation due aux tempêtes et tenant compte de la hausse du niveau marin à différents pas de temps (2000, 2025, 2055, 2085 et 2100) sont présentés dans les rapports de Daigle (2011a et 2011b) et résumés dans les tableaux 1 et 2 ci-dessous. À noter que l'effet du jet de rive des vagues (en anglais *wave run-up*) n'est pas pris en compte dans cette modélisation et peut accentuer la hauteur d'eau.

Tableau 1 : Scénarios d'inondation pour les municipalités de Shippagan et Bas-Caraquet d'après Daigle (2011a et b).

		2000	2025	2055	2085	2100
Niveau marin relatif (cm) – changement anticipé		0	+10 ±3	+37 ±12	+71 ±28	+90 ±38
Niveau atteint par une onde de tempête (m) durant une PMSGM (1,4 m) *						
Période de retour de 1 an (surcote 0,6 ±0,2)		2,0 ±0,2	2,1 ±0,2	2,4 ±0,3	2,7 ±0,5	2,9 ±0,6
Période de retour de 2 ans (surcote 0,7 ±0,2)		2,1 ±0,2	2,2 ±0,2	2,5 ±0,3	2,8 ±0,5	3,0 ±0,6
Période de retour de 5 ans (surcote 0,9 ±0,2)		2,3 ±0,2	2,4 ±0,2	2,6 ±0,3	3,0 ±0,5	3,2 ±0,6
Période de retour de 10 ans (surcote 1,0 ±0,2)		2,4 ±0,2	2,5 ±0,2	2,8 ±0,3	3,1 ±0,5	3,3 ±0,6
Période de retour de 25 ans (surcote 1,1 ±0,2)		2,5 ±0,2	2,6 ±0,2	2,9 ±0,3	3,2 ±0,5	3,4 ±0,6
Période de retour de 50 ans (surcote 1,2 ±0,2)		2,6 ±0,2	2,7 ±0,2	3,0 ±0,3	3,3 ±0,5	3,5 ±0,6
Période de retour de 100 ans (surcote 1,3 ±0,2)		2,7 ±0,2	2,8 ±0,2	3,1 ±0,3	3,5 ±0,5	3,6 ±0,6
Niveau atteint lors de conditions normales (m) **						
PMSMM (les deux localités)		0,7	0,8	1,1 ±0,1	1,4 ±0,3	1,6 ±0,4
BMIMM	Shippagan	-0,3	-0,2	0,1 ±0,1	0,4 ±0,3	0,6 ±0,4
	Bas-Caraquet	-0,4	-0,3	0,0 ±0,1	0,3 ±0,3	0,5 ±0,4

Tableau 2 : Scénarios d'inondation pour la municipalité de Le Goulet, d'après Daigle (communication personnelle).

	2000	**2025**	**2055**	**2085**	**2100**
Niveau marin relatif (cm) – changement anticipé	0	+10 ±3	+37 ±12	+71 ±28	+90 ±38
Niveau atteint par une onde de tempête (m) durant une PMSGM (1,1 m) *					
Période de retour de 1 an (surcote 0,6 ±0,2)	1,7 ±0,2	1,8 ±0,2	2,1 ±0,3	2,4 ±0,5	2,6 ±0,6
Période de retour de 2 ans (surcote 0,7 ±0,2)	1,8 ±0,2	1,9 ±0,2	2,2 ±0,3	2,5 ±0,5	2,7 ±0,6
Période de retour de 5 ans (surcote 0,9 ±0,2)	2,0 ±0,2	2,1 ±0,2	2,3 ±0,3	2,7 ±0,5	2,9 ±0,6
Période de retour de 10 ans (surcote 1,0 ±0,2)	2,1 ±0,2	2,2 ±0,2	2,5 ±0,3	2,8 ±0,5	3,0 ±0,6
Période de retour de 25 ans (surcote 1,1 ±0,2)	2,2 ±0,2	2,3 ±0,2	2,6 ±0,3	2,9 ±0,5	3,1 ±0,6
Période de retour de 50 ans (surcote 1,2 ±0,2)	2,3 ±0,2	2,4 ±0,2	2,7 ±0,3	3,0 ±0,5	3,2 ±0,6
Période de retour de 100 ans (surcote 1,3 ±0,2)	2,4 ±0,2	2,5 ±0,2	2,8 ±0,3	3,2 ±0,5	3,3 ±0,6
Niveau atteint lors de conditions normales (m) **					
PMSMM	0,4	0,5	0,8 ±0,1	1,1 ±0,3	1,3 ±0,4
BMIMM	-0,3	-0,2	0,1 ±0,1	0,4 ±0,3	0,6 ±0,4

*Les niveaux indiqués sont ceux atteints lors d'une tempête par rapport au zéro géodésique (le *datum* utilisé dans ce projet – voir les définitions un peu plus loin) selon le scénario de niveau marin de l'année considérée et en tenant compte qu'on est en situation de PMSGM (marée haute extrême). La PMSGM est le niveau le plus élevé atteint par une marée haute et est estimée à 1,4 m au-dessus du *datum* pour Shippagan et Bas-Caraquet (Daigle, 2011a) et de 1,1 m pour Le Goulet (Daigle, communication personnelle). [Exemple : considérons une tempête dont l'intensité et son effet sur la nappe d'eau surgit tous les 25 ans et qui provoque une surcote estimée à 1,1 ±0,2 m. Supposons qu'une telle tempête arrive en 2025 à Shippagan pendant une PMSGM. On prévoit que le niveau de l'eau pourrait atteindre une hauteur de 2,6 m par rapport au *datum* : 1,4 m (PMSGM) + une surcote de 1,1 m + le fait que le niveau marin serait 10 cm (0,1 m) plus haut que l'an 2000 = 2,6 m.]

**Le niveau d'une marée haute moyenne (PMSMM) est de 0,7 m au-dessus du *datum* pour Shippagan et Bas-Caraquet et de 0,4 m pour Le Goulet. Le niveau de la marée

basse moyenne (BMIMM) varie d'une localité à l'autre et est de -0,31 m à Le Goulet, -0,30 m à Shippagan et -0,37 à Bas-Caraquet par rapport au *datum*.

Ces estimations de niveaux d'eau potentiellement atteints par les ondes de tempête ont aidé à définir les zones à risque dans chacune des trois localités. Ceci dit, quelques définitions et informations sont nécessaires pour mieux comprendre où se situent ces niveaux par rapport à la réalité (se référer aussi à la figure 11 qui suit immédiatement les définitions).

Définitions

PMSGM : pleine mer supérieure de grande marée; c'est niveau le plus élevé atteint par une marée haute. Ce phénomène ne survient que deux à quatre fois par an.
PMSMM : pleine mer supérieure de marée moyenne; c'est la marée haute moyenne.
BMIMM : basse mer inférieure de marée moyenne; c'est la marée basse moyenne.
BMIGM : basse mer inférieure de grande marée; c'est le niveau le plus bas atteint par une marée basse.
Datum : Niveau de référence; c'est le zéro à partir duquel tous les autres niveaux sont mesurés. Dans le projet, il correspond au zéro du système de référence géodésique (ou zéro géodésique).
Zéro géodésique : (*geodetic datum* en anglais) basé sur une surface quasi sphérique (ellipsoïde) collée à la surface terrestre; il est assez près du niveau moyen de la mer. Il est différent du zéro des cartes marines dont on se sert dans les tables de prédiction des marées de Pêches et Océans Canada (http://www.tides.gc.ca/french/Canada.shtml). Le zéro géodésique est beaucoup plus pratique à utiliser, notamment dans un projet comme le nôtre, car il est théoriquement le même partout contrairement au zéro des cartes marines.
Zéro des cartes marines : (*chart datum* en anglais) Il correspond le plus souvent au niveau de marée le plus bas observé et équivaut à peu près à la basse mer inférieure de grande marée (BMIGM); il est donc plus bas que le zéro géodésique. De plus, le zéro des cartes marines n'est pas au même niveau d'un endroit à l'autre. Par exemple, on a calculé que le zéro des cartes marines de Le Goulet, Shippagan et Bas-Caraquet est respectivement 0,34 m, 0,73 m et 0,58 m plus bas que le zéro géodésique (selon les données que nous a transmis Réal Daigle).
Surcote : Élévation du niveau de la mer au-dessus du niveau habituel de la marée due à une onde de tempête. La surcote est produite par deux choses : 1) la forte baisse de pression atmosphérique (une baisse de 100 Pa correspond à une élévation de 1 cm du niveau de la mer); 2) aux vents forts et constants soufflant en direction de la côte (un vent de 80 km/h soufflant pendant douze heures vers la côte peut provoquer une hausse de 1 m du niveau de la mer) (Paskoff, 2001). À la Péninsule acadienne, les surcotes sont généralement 1 m ou moins. La tempête du 21 janvier 2000 a provoqué une surcote d'environ 1,3 m et aurait une période de retour de 100 ans. Celle du 6 décembre a été d'environ 60-70 cm à Le Goulet et à Shippagan, mais d'environ 1 m à Bas-Caraquet où la côte était orientée favorablement par rapport aux vents. Dans

d'autres régions du monde, elles peuvent faire plusieurs mètres par exemple pendant l'ouragan *Katrina* en Louisiane.
Onde de tempête : Élévation anormale du niveau de la mer due à une tempête.
Niveau marin relatif : Niveau de la mer par rapport au continent. Ce terme est utilisé dans le contexte où le niveau de la mer peut varier selon que l'eau monte ou descend ou que la croûte terrestre s'élève ou s'enfonce. À la Péninsule acadienne, une partie de la hausse du niveau de la mer est due à l'enfoncement de la croûte terrestre et est évaluée à environ 5 cm pour 100 ans. Les autres causes d'élévation du niveau marin sont principalement la fonte des glaciers et l'expansion thermique (augmentation du volume de l'eau due à son réchauffement) qui sont attribuées au réchauffement climatique.

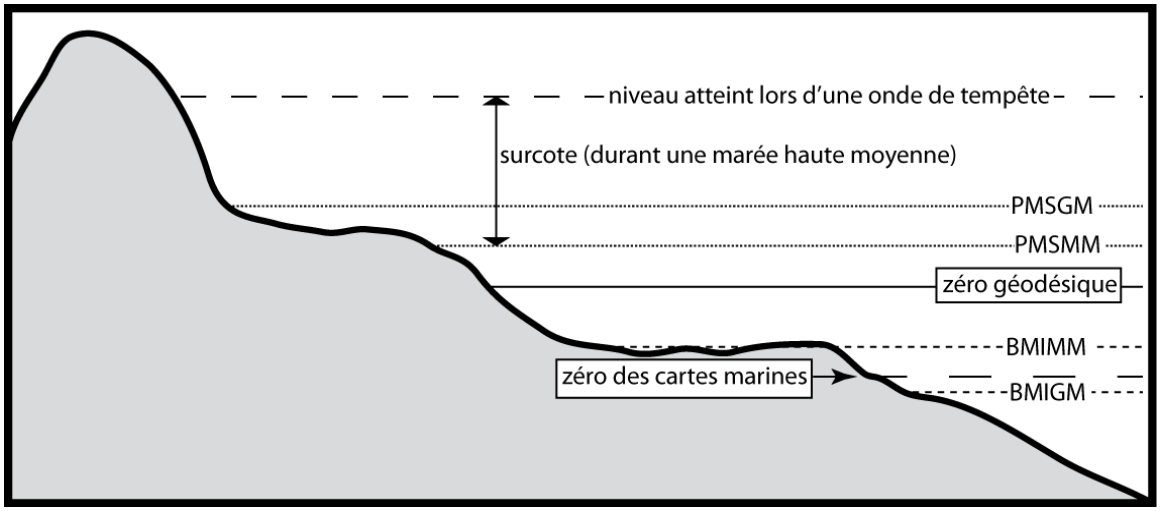


Figure 11 : Niveaux d'eau (marées, onde de tempête), niveaux de référence ou datum (zéro des cartes marines, zéro géodésique) et surcote par rapport à un profil de plage schématisé. Notez que c'est le zéro géodésique qui a été utilisé dans le projet.

NOTE : Tous les niveaux d'eau indiqués dans ce rapport le sont par rapport au «zéro géodésique».

<u>2-Établissement du niveau de référence et validation des scénarios d'inondation</u>
Afin de s'assurer que les scénarios d'inondation indiqués aux tableaux 1 et 2 soient plausibles, on a utilisé des événements de tempêtes ayant déjà eu lieu pour valider le modèle. De plus, il a fallu choisir une tempête qui permettrait d'établir un niveau de référence à partir duquel les scénarios pourraient se baser. En général, on utilise une tempête d'occurrence centennale.

La tempête du 21 janvier 2000 a été choisie comme référence pour un événement survenant tous les 100 ans. Cette tempête a provoqué des inondations importantes tout le long du littoral néo-brunswickois et atteint des niveaux record un peu partout. À Le Goulet, on a eu accès à des indications venant des résidents sur les niveaux atteints par

la tempête qui a d'ailleurs provoqué l'inondation d'une bonne partie du territoire municipal et dont les habitants du village se souvenaient bien. Dominique Bérubé de Ressources naturelles N.-B. et ses assistants sont allés sur place mesurer à l'aide d'un GPS à haute précision l'altitude des niveaux indiqués par les témoins et a trouvé des hauteurs d'inondation (toujours au-dessus du zéro géodésique) de 2,3 à 2,4 m. Or, lors de cette tempête, et d'après les estimations des tables des marées du Service hydrographique canadien de Pêches et océans (Daigle, 2011b), le niveau de marée haute était d'environ 1,1 m (le même niveau qu'une PMSGM). Cela signifie une surcote de 1,2 à 1,3 m dont la période de retour est de 50 à 100 ans. Notons que les tableaux montrent des scénarios d'onde de tempêtes ayant lieu durant une PMSGM, une situation dont la probabilité est relativement faible, car une PMSGM n'arrive que quelques fois par an.

Figure 12 : Un des endroits à Le Goulet où des mesures de hauteur d'inondation de la tempête du 6 décembre 2010 ont été prises. Les surfaces d'inondation de McLean (1,7, 1,9 et 2,1 m) sont indiquées (voir la légende).

Un exercice de validation a été effectué pour la tempête du 6 décembre 2010 avec des mesures de niveaux d'inondation à Le Goulet prises sur place par Bérubé et ses assistants durant la tempête. Les mesures ont donné des élévations de l'eau variant de 1,50 à 1,84 m avec une moyenne d'environ 1,7 m (figure 12). Le niveau théorique selon

le modèle de Daigle, considérant 1) que la surcote soit de 0,7 m (estimé d'après les données marégraphiques d'Escuminac et Rivière-au-Renard; Daigle, 2010b), 2) que la marée haute maximale était de 1,1 m et 3) une marge d'erreur de 0,2 m, serait de 1,6 à 2,0 m (figure 12). Dans ce cas-ci, le modèle surestime légèrement le niveau d'inondation, quoique le niveau moyen (1,7 m) et le niveau maximal (1,84 m) mesurés et réellement atteints se trouvent à l'intérieur de la marge d'erreur.

Cette expérience nous permet d'avoir confiance dans les scénarios utilisés dans la mesure où la hausse estimée du niveau marin se réalisera et dont la projection change à mesure que les modèles s'affinent.

3-La base de données des surfaces inondées

L'équipe dirigée par Reid McLean a utilisé les données LIDAR et des observations de terrain sur la connectivité des différentes zones (c'est-à-dire tenant compte des endroits qui permettent ou non le passage de l'eau) pour produire une base de données spatiales de surfaces inondées, partant d'une altitude de 1 m (au-dessus du zéro géodésique) et allant jusqu'à 4,1 m pour chaque 10 cm d'élévation. En résumé, on a une série de données indiquant la surface inondée si le niveau d'inondation est à 1 m, une autre si le niveau d'inondation est à 1,1 m et ainsi de suite jusqu'à 4,1 m. Cette base de données a permis de situer les surfaces inondées selon les différents scénarios d'ondes de tempêtes. Superposée à la base de données des infrastructures développée par nos soins, on a pu ainsi créer une nouvelle base de données qui montre les infrastructures à risques face aux inondations côtières pour les trois localités étudiées.

4-Établissement d'une échelle de niveaux de risque

Deux méthodes ont été utilisées pour déterminer les infrastructures à risque. La première consiste tout simplement à faire coïncider la zone inondée selon le scénario choisi avec les infrastructures. On a ainsi la distribution spatiale des infrastructures touchées par l'inondation sélectionnée. À l'annexe 3, on a un exemple visuel de ce que ça peut donner pour chacune des trois localités.

Dans la seconde, on a voulu explorer la possibilité de déterminer des niveaux d'exposition aux inondations en tenant compte de la hauteur de la colonne d'eau par rapport à l'infrastructure, donc en déterminant la profondeur de l'eau inondant l'infrastructure et les distinguer selon quatre catégories. Pour les bâtiments, on a choisi : 0-aucune inondation; 1-l'eau touche à l'infrastructure; 2-l'infrastructure est inondée à une profondeur d'eau inférieure à un mètre; 3-l'infrastructure est sous plus d'un mètre d'eau. Cela est basé sur une recherche non exhaustive dans la documentation sur les inondations. Selon les informations recueillies, les dommages aux bâtiments sont croissants de 0 à 1 m et maximaux au-delà. Dans le cas de certains bâtiments comme les entrepôts ou des bâtiments de type industriel, les dommages maximaux se réalisent à des hauteurs d'eau plus élevées; la hauteur généralement citée était de 2 m. On a toutefois conservé le niveau de 1 m comme seuil maximal.

Pour les routes, on a choisi : 0-aucune inondation; 1-La route est sous 0 à 30 cm d'eau; 2-la route est sous 30 à 60 cm d'eau; 3-la route est sous 60 cm d'eau ou plus. Dans ce cas, on a surtout pensé aux véhicules qui doivent permettre l'évacuation ou porter secours aux personnes isolées par une inondation. Intuitivement, on pense qu'un véhicule d'utilisation courante (voiture) peut circuler dans 0 à 30 cm d'eau, qu'un camion de pompier peut circuler jusqu'à une profondeur de 60 cm et qu'au-delà cela prend un bateau (une embarcation du genre «Bombard» ou «Zodiac» utilisée dans les mesures d'urgence a un tirant d'eau d'environ 60 cm). Bien entendu, les seuils que nous utilisons ici servent surtout à faciliter l'analyse des infrastructures à risque et n'ont pas de valeur officielle ou légale. L'idée de seuils semblables pourrait toutefois être considérée dans certaines applications futures.

Pour cette seconde méthode, il a aussi fallu déterminer la façon dont le logiciel allait identifier une infrastructure à risque. Pour les bâtiments, on a choisi d'en déterminer l'altitude minimale selon les données LIDAR en prenant le point le plus bas sur une périphérie d'un mètre autour du bâtiment (figure 13). Pour les routes, on a pris simplement les points LIDAR qui recoupent les vecteurs numérisés au centre de la route.

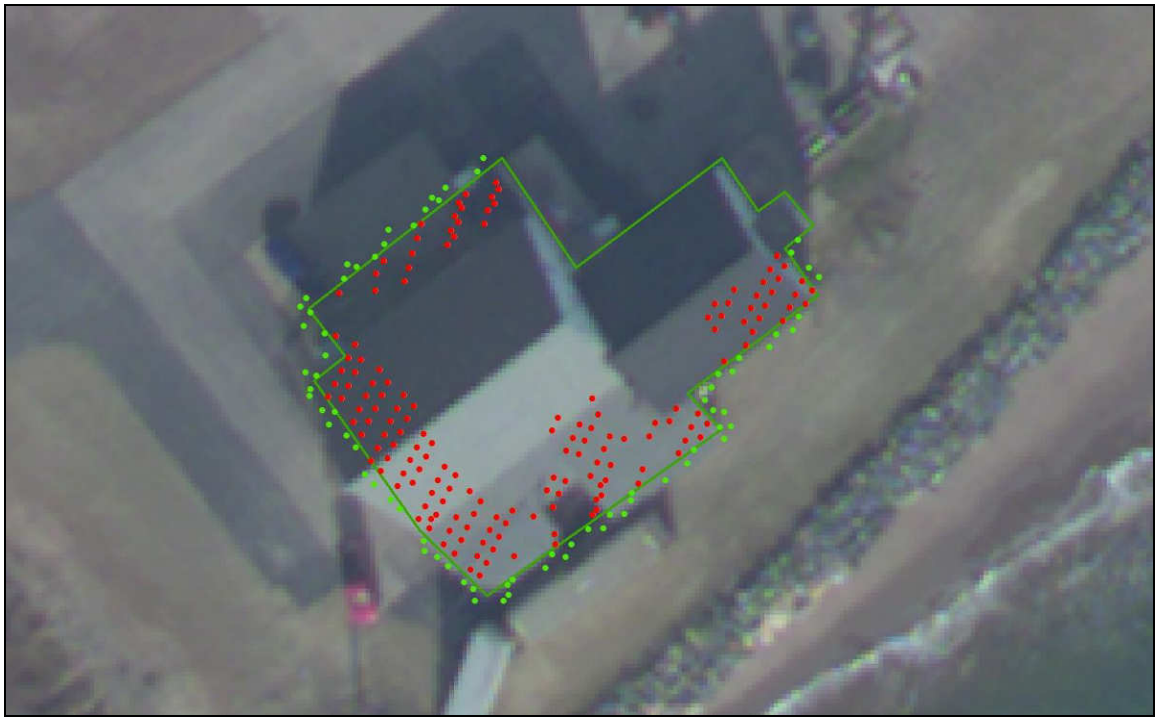


Figure 13 : Les points représentent les données LIDAR correspondant à un bâtiment. Curieusement, certains points étaient à l'intérieur (ici en rouge) et ont été exclus de l'évaluation de l'altitude de la maison. Les points verts sont distants à un mètre ou moins à l'extérieur du bâtiment. Le point le plus bas parmi ces points verts est celui qui a été utilisé pour l'altitude du bâtiment.

Ceci étant déterminé, le logiciel calculait la différence de hauteur du bâtiment ou du secteur de route avec la hauteur d'eau selon le scénario choisi et donnait un indice de risque de catégorie 0, 1, 2 ou 3 selon le degré d'inondation. Dans le cas des bâtiments, on a tenu compte de la marge d'erreur des données LIDAR qui sont à une précision de 0,15 m (15 cm) sur la verticale. Pour plus de sécurité, on a préféré utiliser une marge d'erreur de 0,2 m pour inclure tous les bâtiments à risque. Nous pensons que cela peut aussi servir de marge de sécurité. Ainsi, par rapport à un scénario d'inondation de 2,5 m, voici ce que ça donne pour les bâtiments (voir aussi la figure 14 qui suit immédiatement) :

-catégorie 0 – zone sans risque (aucune inondation) : tout bâtiment qui est à une altitude supérieure à 2,7 (donc au-delà de 2,5 m plus la marge d'erreur de 0,2 m)

-catégorie 1 – zone à risque faible (l'eau touche à l'infrastructure) : tout bâtiment qui est à une altitude entre 2,5 et 2,7 m (donc du niveau d'inondation de 2,5 m plus la marge d'erreur)

-catégorie 2 – zone à risque croissant (l'infrastructure est inondée à une profondeur d'eau inférieure à un mètre) : tout bâtiment à une altitude comprise entre 1,7 et 2,5 m (du niveau d'inondation à 2,5 m et des bâtiments submergés par 1 m d'eau MOINS la marge d'erreur de 0,2 m)

-catégorie 3 – zone à risque maximal (l'infrastructure est sous plus d'un mètre d'eau) : tout bâtiment sous l'altitude de 1,7 m

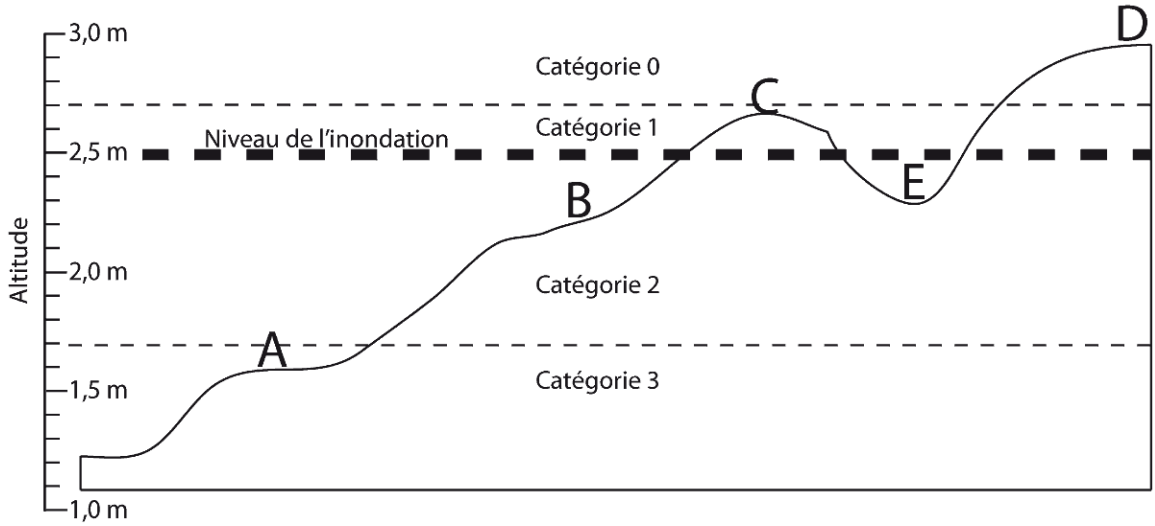


Figure 14 : Schéma montrant les catégories de degré d'inondation. Un bâtiment en A serait à risque maximal, en B à risque croissant, en C à risque faible et en D à risque nul. Ceux en E pourraient ne pas être inondés, mais seraient sélectionnés quand même dans la catégorie 2 par le modèle en raison de leur altitude.

Dans le cas des routes, on n'a pas tenu compte de la marge d'erreur, car cela compliquait inutilement les résultats. Cela donne une série de segments de route ayant une cote reliée à la profondeur d'eau au-dessus du tracé.

La figure 15 ci-dessous illustre un exemple de ce que ça donne sous forme imagée. Il est possible ainsi de faire une évaluation du risque selon le degré d'exposition des routes et des bâtiments. À noter que la hausse du niveau marin prédite au cours du XXIe siècle fera en sorte qu'une tempête de faible intensité et plus fréquente provoquera des niveaux d'inondation de l'ordre de 2,7 m jugés problématiques vers 2085 selon l'exemple de la figure 15, alors qu'à l'heure actuelle, une telle tempête n'atteindrait qu'un niveau de 2,0-2,1 m.

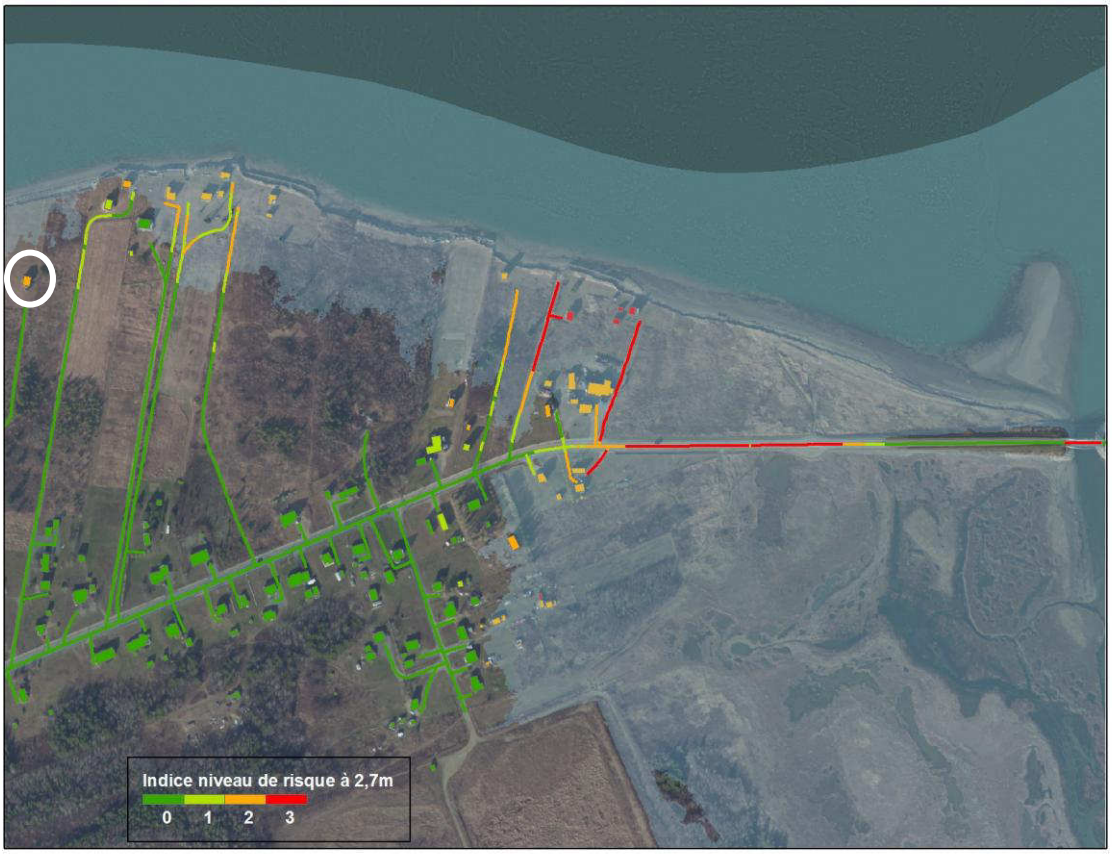


Figure 15 : Exemple illustré de l'application des indices de risque dans le cas d'une onde de tempête à 2,7 m dont la période de retour est de 100 ans en 2000, 50 ans en 2025, 5 à 10 ans en 2055 (équivalent de la tempête de décembre) et 1 an en 2085 (tableau 1). On remarque que certaines routes seraient sous au moins 60 cm d'eau et que certains bâtiments seraient sous au moins 1 m d'eau (indice 3, en rouge).

L'inconvénient majeur de cette méthode est que certains bâtiments à une altitude à risque, mais en dehors de la zone d'inondation (le cas des dépressions vers l'intérieur des terres qui n'ont pas de connectivité avec les zones inondées) seront sélectionnés (figure 14, situation E). Selon nos tests, il y en a peu, ils se repèrent facilement et se trouvent le plus souvent dans la catégorie 1 ou 2. Il se peut aussi que, parce qu'on tient compte d'une marge d'erreur de 0,2 m, certains bâtiments qui ne semblent pas a priori

être à risque soient sélectionnés (Exemple : le bâtiment dans le cercle blanc, figure 15). Cela pourrait toutefois aider à identifier une zone de sécurité le cas échéant.

Pour terminer, deux autres constatations s'imposent : 1) le fait que les scénarios d'inondation dans ce projet ne tiennent pas compte de l'effet du jet de rive; 2) l'effet possible du courant lors des inondations.
1-lors d'une tempête, les vagues dépassent facilement le mètre sur les rives de la Péninsule acadienne. Cet effet peut augmenter la hauteur de l'inondation dans certains cas et dépend entre autres de l'exposition de la côte aux vagues, la direction des vents, la configuration de la côte et la profondeur de l'eau. L'effet peut se faire sentir différemment au même endroit d'une tempête à l'autre ou, pour une même tempête, d'un endroit à l'autre. C'est donc un effet difficile à prédire.
2-Il arrive que le courant généré par une inondation soit suffisamment fort pour augmenter ses effets, par érosion le long des canaux, ruisseaux, fossés, etc.; transport de sédiments vers l'intérieur; dommages supplémentaires aux infrastructures; déplacement d'objets (parfois des bâtiments quand le courant est puissant). Pour ce qu'on en sait, il y a peu d'information sur ces effets dans les sites étudiés. De fait, peu de gens en ont parlé si ce n'est qu'à Pointe-Brûlée (la côte face à la baie des Chaleurs – en dehors des limites municipales de Shippagan) où un petit chalet a été déplacé par la force du courant lors d'une des tempêtes récentes. Ailleurs, cela ne semble pas être un problème, du moins à l'heure actuelle. Il n'est pas impossible que, avec une augmentation de la hauteur de la tranche d'eau en raison de la hausse du niveau marin qui accentuerait les inondations, ce phénomène devienne plus fréquent ou se manifeste dans d'autres sites. Il est donc recommandé de tenir compte des zones possibles de fort courant, s'il y en a.

5-Quelques particularités des trois localités

Le Goulet

Cette municipalité est vulnérable aux inondations. Les événements récents en sont les signes évidents. Ce n'est pas surprenant puisque c'est une côte basse qui offre peu de protection naturelle et la situation ne changera pas à l'avenir d'où l'importance de bien planifier en fonction de cet aléa comme on le sait déjà depuis un certain temps.

On a voulu essayer de déterminer à partir de quel niveau l'inondation devient problématique pour le village. Le graphique de la figure 16 montre le nombre de bâtiments affectés selon les niveaux d'inondation. Pour Le Goulet (ligne rouge), on remarque une augmentation progressive de bâtiments à risque à mesure que le niveau d'inondation augmente. On remarque aussi que 200 bâtiments sont déjà affectés à 2,4 m (voir l'annexe 3 A pour une appréciation géographique des zones plus à risque). C'est à peu près à ce niveau que la route principale commence à être débordée. Cela pourrait potentiellement servir de niveau repère lors de prises de décision pour l'établissement de zones à risque. À noter qu'un tel niveau correspond à une onde de tempête d'une période de retour de 100 ans en 2000, 50 ans en 2025 et 5-10 ans en 2055 et 1 an en

2085 (tableau 2). À noter aussi que l'effet du jet de rive pourrait accentuer le niveau d'inondation puisque c'est une côte exposée aux vagues.

Shippagan

La municipalité de Shippagan a une situation un peu différente. Sa côte aussi est relativement basse, mais est plus protégée des vagues et est en grande partie bordée par des structures de protection. Néanmoins, les bâtiments sont collés sur la côte parmi lesquels un foyer de personnes âgées. Au niveau d'inondation de 2,4 m, l'eau commence à déborder sérieusement la passerelle et le quai (annexe 3 B). À ce niveau, plus de 200 bâtiments risquent d'être affectés (figure 16, ligne verte). De plus, on remarque une accentuation de la pente de la courbe dans le graphique à partir du niveau 2,8 m. Voilà encore des repères possibles dans l'utilisation de l'outil d'aide à la décision.

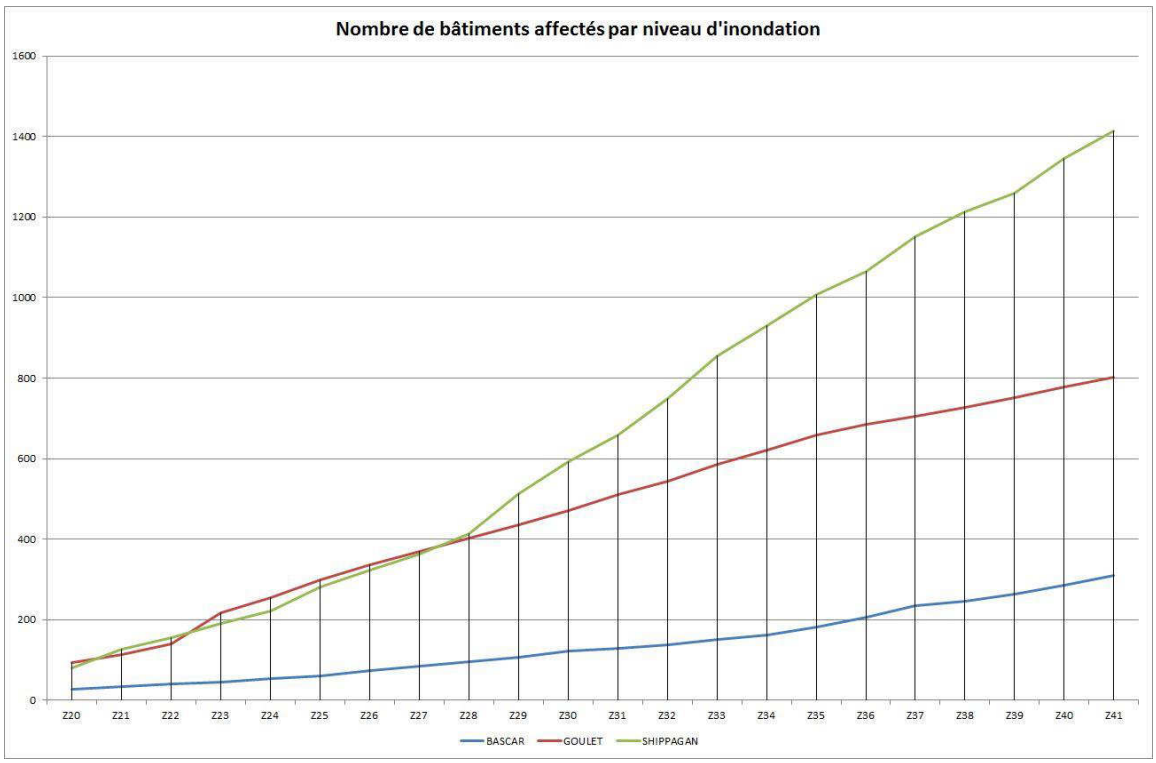


Figure 16 : Progression du nombre de bâtiments (tous les types confondus : maisons, dépendances, etc.) affectés avec l'augmentation du niveau d'inondation. (Note : sur l'abscisse, Z20 correspond à un niveau de 2,0 m, Z21 à 2,1 m et ainsi de suite; l'ordonnée correspond au nombre de bâtiments touchés par l'inondation.)

Bas-Caraquet

Cette municipalité est beaucoup moins vulnérable aux inondations que les deux autres, du fait de sa géographie physique (falaise, topographie plus élevée, baie de Saint-Simon protégée des vagues) et parce que l'espace bâti est relativement loin des côtes. Le graphique de la figure 16 (ligne bleue) le montre clairement. On dépasse les cent

bâtiments affectés à 2,9-3,0 m et les 200 à 3,6 m, des niveaux qui devraient être atteints peu souvent. Néanmoins, quelques secteurs sont plus vulnérables (annexe 3 C) : les embouchures de ruisseaux (Isabelle, à Sivret, à la Chaloupe), le secteur est de la côte de la baie des Chaleurs et au bout du chemin Morais en plus de quelques maisons ici et là.

ÉROSION

1-Les scénarios d'érosion et la position du trait de côte

L'idée de base dans l'établissement de la position future du trait de côte est d'utiliser les taux d'érosion moyens historiques réels et de les projeter dans l'avenir. Pour calculer ces taux d'érosion, le groupe composé de Serge Jolicoeur et Stéphane O'Carroll a utilisé les séries de photographies aériennes de 1944, 1955, 1963, 1970, 1985, 1996 et 2009. La plupart des photos utilisées ont été numérisées et rectifiées en orthophotographies (tableau 3) afin de pouvoir les utiliser dans un SIG.

Ils ont ensuite déterminé la position du trait de côte de chaque série de photos selon des critères standards. Puis, ils ont mesuré le changement de la position du trait de côte (avancée, recul, stable) d'une série à l'autre selon des transects disposés à environ tous les 25 m et calculé le taux moyen (en m/an) pour chaque transect.

Tableau 3 : Photographies aériennes utilisées et orthorectifiées dans le projet pour chaque municipalité.

Années	Le Goulet		Shippagan		Bas-Caraquet	
	utilisée	orthorect.	utilisé	orthorect.	utilisé	orthorect.
1944	oui	slmt 2	oui	non	oui	non
1955	oui	oui	non	N/A	oui	oui
1963	oui	oui	non	N/A	non	N/A
1970	oui	oui	oui	oui	oui	oui
1985	oui	oui	non	N/A	non	N/A
1996	oui	oui	non	N/A	non	N/A
2009*	oui	oui	oui	oui	oui	oui

* La série de 2009 avait été fournie déjà orthorectifiée

Ensuite, ils ont sélectionné la période à retenir pour représenter les taux futurs. Pour Shippagan, la période 1970-2009 a été retenue, pour Bas-Caraquet c'est celle de 1955-2009 et pour Le Goulet 1970-2009. La prochaine étape a été d'identifier les segments de côte qui ont évolué uniformément. Ainsi, le littoral de chaque municipalité a été divisé en segments qui présentent soit un recul, soit une stabilité, soit une avancée du trait de côte (tableaux 4, 5, 6 et 7). Enfin, pour chacun de ces segments, ils ont déterminé la position future du trait de côte en 2025, 2055, 2085 et 2100 (voir les figures 24, 25 et 26 plus loin). Le produit final pour chaque municipalité est un trait de côte divisé en segments qui évoluent selon les taux mesurés du passé. Ainsi, selon ces scénarios,

certains secteurs reculent rapidement, d'autres reculent plus lentement, certains secteurs sont stables et d'autres s'avancent.

Les tableaux ci-dessous présentent les valeurs moyennes par segment de côte des taux d'érosion du passé des trois municipalités qui ont servi aux projections. Les figures qui suivent ces tableaux indiquent la position des segments.

Tableau 4 : Taux d'érosion mesurés à Le Goulet pour la période 1970-2009. Les valeurs ont été arrondies. D'après O'Carroll et Jolicoeur.

Segment de côte (nombre de transects)**	**Changement entre 1970 et 2009 en m ***	**Taux de changement en m/an ***	**Notes**
I (43)	-10,7 ±2,9	-0,28 ±0,07	Plage
II (31)	+13,5 ±3,6	+0,36 ±0,09	Plage
III (25)	+41,6 ±3,6	+1.07 ±0,09	Plage. Zone d'accumulation. Bénéficie probablement d'apports en sable dévié par le quai.
IV (50)	-49,4 ±3,46	-1,27 ±0,09	Plage. Zone d'érosion rapide possiblement en raison de la présence du quai et du courant de sortie qui dévie le sable vers le large.
V (9)	-6,7 ±3,3	-0,17 ±0.09	Plage
VI (26)	N/A	Fixé	Quai
VII (10)	N/A	Fixé	Quai
VIII (7)	-0,84 ±3,3	Stable	Marais. Segment à taux de changement en deçà de la marge d'erreur.
IX (23)	-6,3 ±3,3	-0,16 ±0,09	Marais

* Les valeurs négatives sont un recul et positives une avancée
** Le nombre de transects donne une idée de la longueur du trait de côte utilisé (chaque transect étant séparé d'environ 25 m)

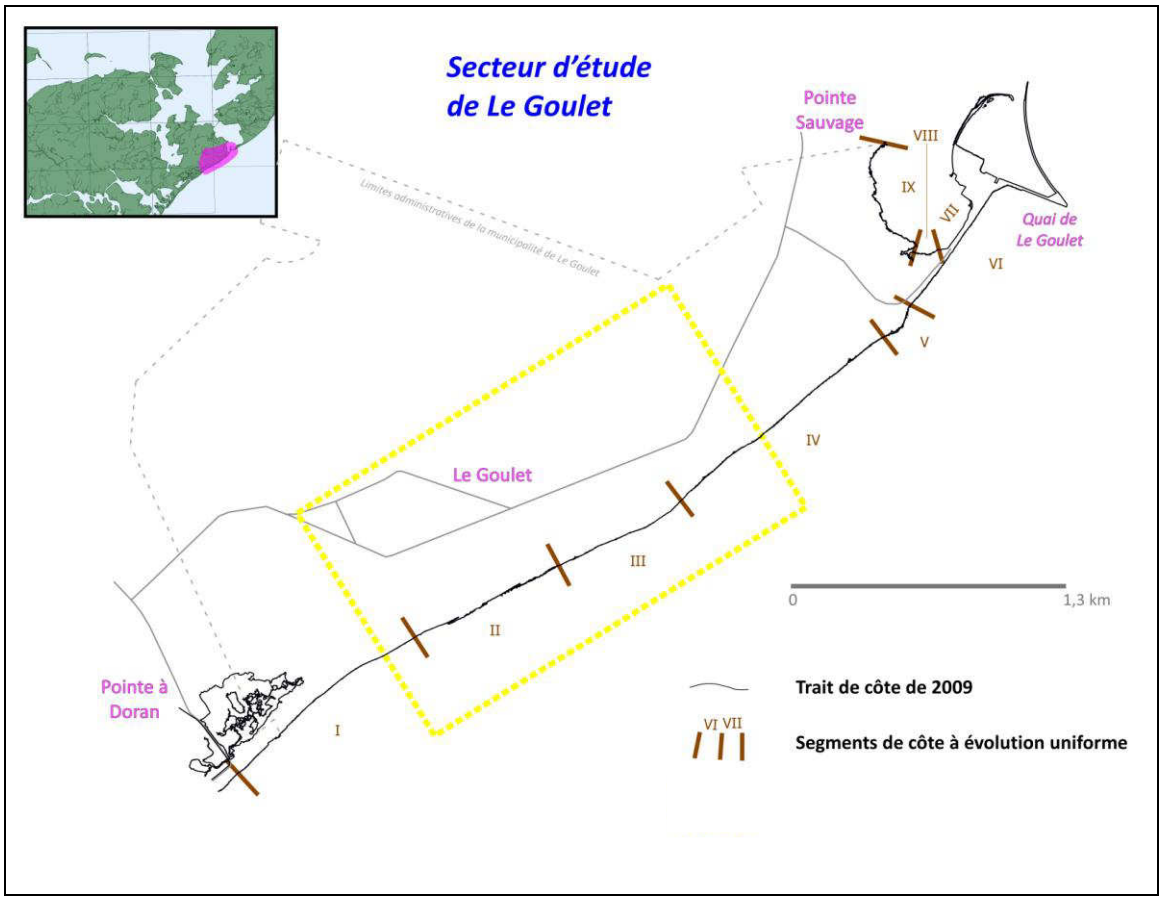


Figure 17 : Position des segments à évolution uniforme du tableau 4, Le Goulet. L'encadré en pointillé jaune correspond approximativement à la zone discutée dans la figure z plus loin. [Préparé par Stéphane O'Carroll]

Tableau 5 : Taux d'érosion mesurés à Shippagan pour la période 1970-2009. Les valeurs ont été arrondies. D'après O'Carroll et Jolicoeur.

Segment de côte (nombre de transects)**	**Changement entre 1970 et 2009 en m ***	**Taux de changement en m/an ***	**Notes**
I (1)	N/A	Stable	Marais. Ce segment et les trois suivants se trouvent au sud du pont-levis.
II (5)	-1,87	Stable	Marais
III (18)	-5,86	-0,15	Zone construite. Recul lent.
IV (11)	+9,17	+0,24	Remblaiement observé sur les photos aériennes; zone vis-à-vis du parc.
V (96)	N/A	Fixé	Long segment incluant les installations portuaires à partir du pont et la passerelle.
VI (3)	-0,78	Stable	Marais. Début de la passerelle sur pilotis
VII (9)	-12,63	-0,32	Marais. Passerelle sur pilotis
VIII (4)	N/A	Stable	Structure de protection bordant la fin de la passerelle
IX (4)	N/A	Fixé	Rue Pointe-Brûlée
X (5)	-19,72	-0,51	Marais. Côte ouest de l'anse du Ruisseau Bar
XI (2)	-16,70	-0,43	*idem*
XII (2)	-15,57	-0,40	*idem*
XIII (11)	-10,07	-0,26	*idem*
XIV (2)	+0,52	Stable	Marais. Sortie d'un petit ruisseau.
XV (12)	-14,72	-0,38	Marais. Côte nord de l'anse du Ruisseau Bar.
XVI (30)	-0,26	Stable	Plage. Segment entre la Pointe à Ka et la Pointe à Barnache

* Les valeurs négatives sont un recul et positives une avancée. Les marges d'erreur n'étaient pas disponibles au moment de la rédaction du rapport.
** Le nombre de transects donne une idée de la longueur du trait de côte utilisé (chaque transect étant séparé d'environ 25 m)

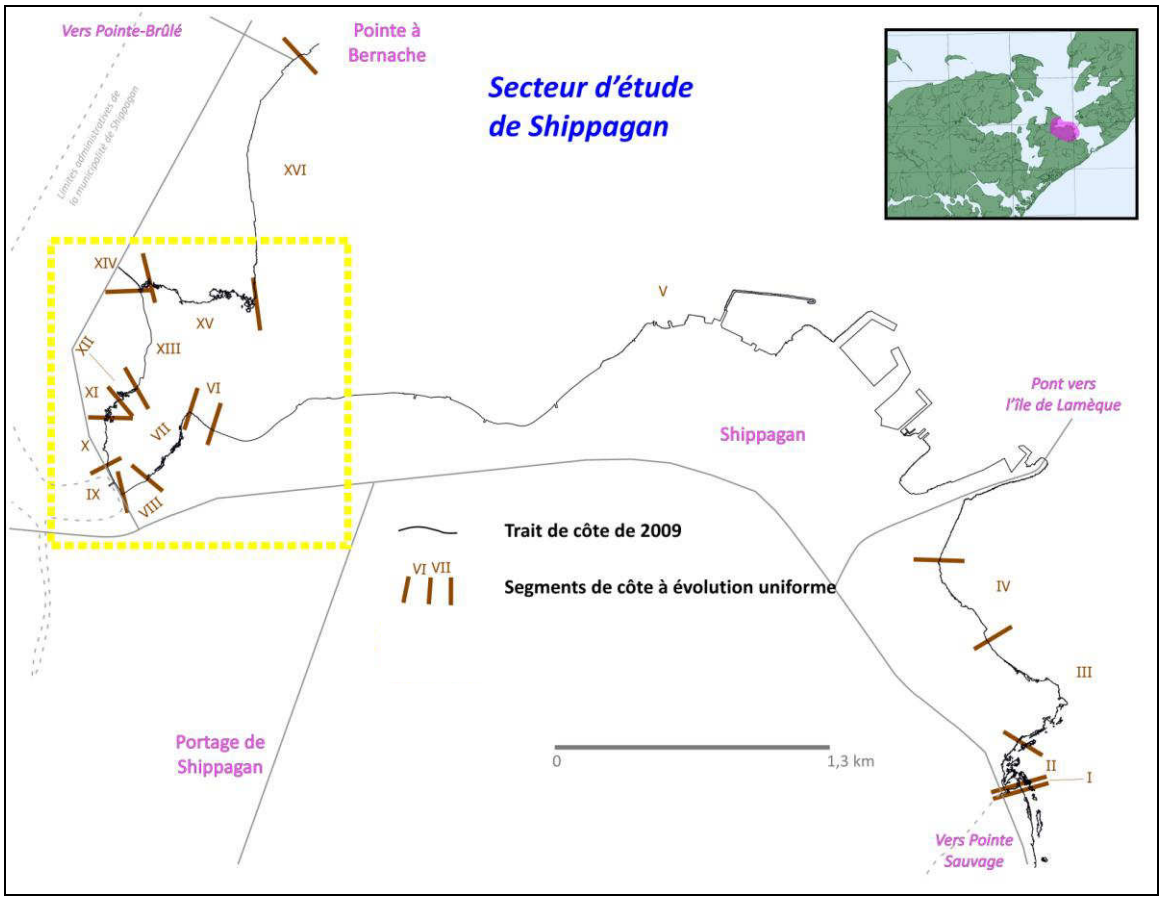


Figure 18 : Position des segments à évolution uniforme du tableau 5, Shippagan. L'encadré en pointillé jaune correspond approximativement à la zone discutée dans la figure z plus loin. [Préparé par Stéphane O'Carroll]

Tableau 6 : Taux d'érosion mesurés à Bas-Caraquet, secteur de la baie des Chaleurs, pour la période 1955-2009. Les valeurs ont été arrondies. D'après O'Carroll et Jolicoeur.

Segment de côte (nombre de transects)**	**Changement entre 1955 et 2009 en m ***	**Taux de changement en m/an ***	**Notes**
I (9)	+22,5 ±4,7	+0,42 ±0,09	
II (20)	-10,1 ±4,7	-0,19 ±0,09	Une partie de ce segment est une falaise friable bordée par des enrochements plus ou moins efficaces.
III (8)	N/A	Fixé	Marina
IIIa (2)	+21,9 ±4,7	+0,41 ±0,09	Petit segment du côté est de la marina où il y a accumulation due à la présence du quai
IV (43)	-4,4 ±4,7	Stable?	Falaise rocheuse. Il y a en fait recul, mais très faible.
V (6)	N/A	Fixé	Quai et installations portuaires
Va (5)	+48,4 ±4,7	+0,90 ±0,09	Petit segment du côté est du quai où il y a accumulation due à la présence du quai.
VI (8)	-1,9 ±4,7	Stable	Petit segment stable
VII (7)	-15,9 ±4,5	-0,29 ±0,08	Plage
VIII (42)	-37,0 ±4,4	-0,68 ±0,08	Plage
IX (22)	-80,8 ±4,4	-1,50 ±0,08	Embouchure du ruisseau à Sivret. Présence de nappe de débordement due aux tempêtes de décembre 2010. Recul important dans le passé en raison du blocage du sable venant de l'est dû à l'ancien quai.
X (17)	+6,42 ±4,4	+0,12 ±0,08	Les Chalets de la Plage. Présence des restes de l'ancien quai vis-à-vis qui protègent un peu la côte aux dépens du segment précédent. Ancienne zone de forte accumulation en ré-équilibrage.
XI (37)	-28,6 ±4,4	-0,53 ±0,08	Plage et secteur de chalets
XII (21)	+8,35 ±4,4	+0,16±0'08	Plage et marais. Le pont de Pokesudie est à l'est de ce segment.

* Les valeurs négatives sont un recul et positives une avancée

** Le nombre de transects donne une idée de la longueur du trait de côte utilisé (chaque transect étant séparé d'environ 25 m)

Tableau 7 : Taux d'érosion mesurés à Bas-Caraquet, secteur de la baie de Saint-Simon, pour la période 1955-2009. Les valeurs ont été arrondies. D'après O'Carroll et Jolicoeur.

Segment de côte (nombre de transects)**	**Changement entre 1955 et 2009 en m ***	**Taux de changement en m/an ***	**Notes**
XIV (41)	-1,79 ±4,8	Stable	Marais
XV (27)	-4,54 ±4,8	Stable	Marais
XVI (57)	-9,26 ±4,6	-0,17 ±0,09	Marais, champ ou forêt. Recul lent.
XVII (40)	-4,85 ±4,6	-0,09 ±0,09	Marais, champ ou forêt. Presque stable.
XVIII (81)	-0,99 ±4,2	Stable	Forêt. Anse des Sewell et embouchure du ruisseau à la Chaloupe.
XIX (14)	-1,46 ±4,2	Stable	Forêt. Anse des Sewell et embouchure du ruisseau à la Chaloupe.
XX (22)	-9,52 ±4,2	-0,18 ±0,08	Forêt. À partir d'ici, il n'y a plus d'habitations.
XXI (22)	-26,28 ±4,2	-0,49 ±0,08	Forêt. Pointe à Mailloux. Cette pointe recule plus vite que tous les autres segments de la baie de Saint-Simon.
XXII (13)	-11,96 ±4,2	-0,22 ±0,08	Forêt
XXIII (29)	-6,81 ±4,2	-0,13 ±0,08	Forêt. Au bout du chemin Morais (Ferry). Recul lent.
XXIV (70)	+0,53 ±4,2	Stable	Marais et forêt
XXV (4)	+19,72 ±4,3	+0,37 ±0,08	Marais. Progradation.
XXVI (9)	-2,98 ±4,3	Stable	Forêt et marais.
XXVII (6)	-9,25 ±4,3	-0,17 ±0,08	Marais. Recul lent.
XXVIII (15)	-8,68 ±4,3	-0,17 ±0,08	Forêt et marais. Recul lent.
XXIX (7)	-4,23 ±4,3	Stable	Forêt et marais
XXX (20)	-1,17 ±4,3	Stable	Marais et forêt

* Les valeurs négatives sont un recul et positives une avancée

** Le nombre de transects donne une idée de la longueur du trait de côte utilisé (chaque transect étant séparé d'environ 25 m)

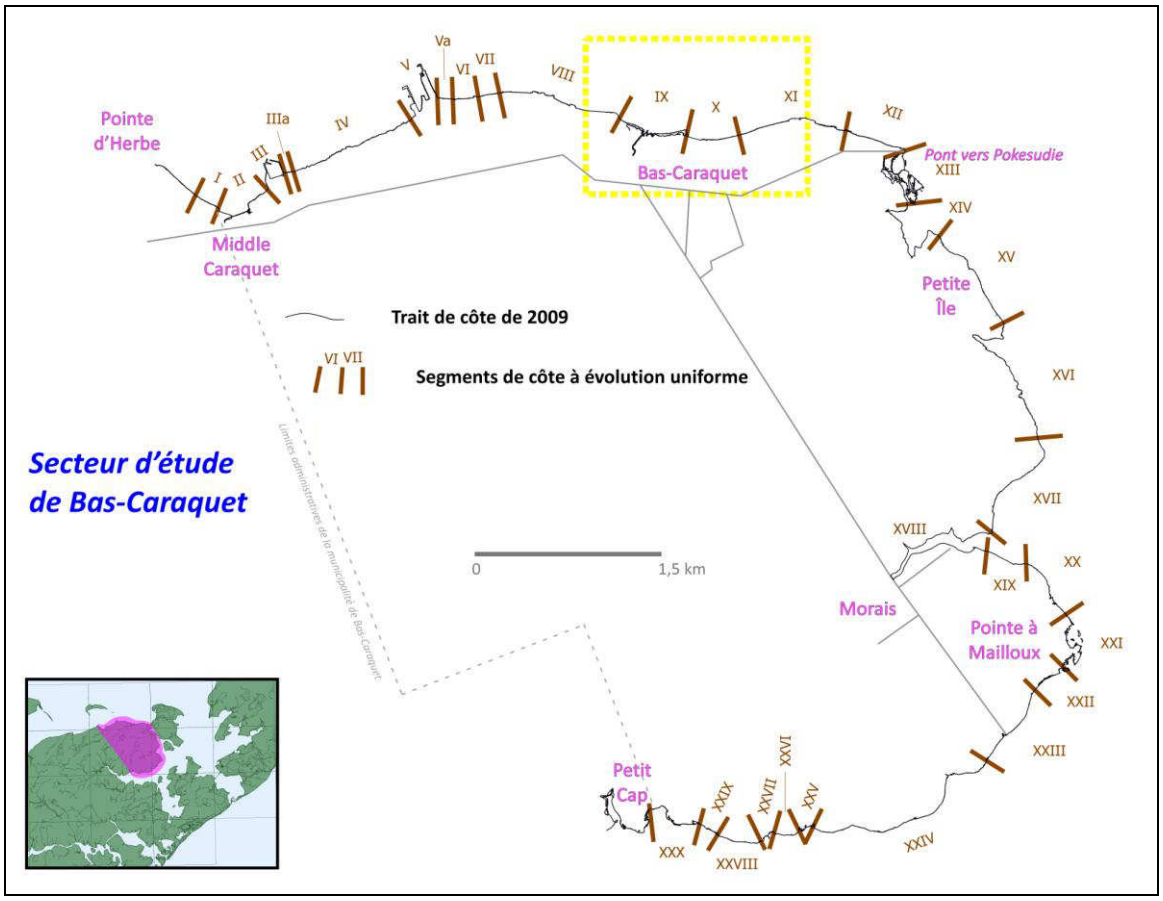


Figure 19 : Position des segments à évolution uniforme des tableaux 6 et 7, Bas-Caraquet. L'encadré en pointillé jaune correspond approximativement à la zone discutée dans la figure z plus loin. *[Préparé par Stéphane O'Carroll]*

Les tableaux 8 et 9 qui suivent donnent une appréciation de l'ensemble de la situation du déplacement du trait de côte dans les trois localités. Dans ces données, on remarque tout d'abord que certains secteurs sont fixés artificiellement, notamment les traits de côte occupés par des quais. Shippagan a le plus grand pourcentage de côtes fixées : 67% de ses côtes sont dites stables (tableaux 5 et 8) dont environ les deux tiers sont fixés par les quais et la passerelle. On projette que, dans l'avenir, ces zones ne bougeront pas, car il est probable que l'entretien de ces structures sera maintenu. D'autres secteurs sont aussi considérés comme étant stables de façon naturelle, le trait de côte ayant peu ou pas évolué dans le passé; c'est le cas de plusieurs sites naturellement protégés des vagues érosives, notamment le long du littoral de la baie de Saint-Simon dont une bonne portion ne semble pas changer. On compte aussi parmi elles les falaises de Bas-Caraquet (segment IV, tableau 6), mais en fait elles reculent tout de même quoique très lentement. On en discute plus en détail un peu plus loin. Au total, les côtes stables ou fixées représentent 26% des côtes toutes localités confondues (tableau 9).

Tableau 8 : Nombre de transects de 25 m par classes de taux de changement (+ avancée, - recul) de chaque localité étudiée. Bas-Caraquet a été scindé en deux secteurs : baie des Chaleurs (1) et baie de Saint-Simon.

Localité	**> +0,30 m/an**	**0 à +0,30 m/an**	**Stable ou fixé**	**0 à -0,30 m/an**	**-0,30 à -0,60 m/an**	**> -0,60 m/an**	**Total**
Le Goulet	**56**	**23**	**43**	**9**	**43**	**50**	**224**
	25%	11%	19%	4%	19%	22%	
Shippagan	**0**	**11**	**145**	**29**	**30**	**0**	**215**
	0%	5%	67%	14%	14%	0%	
Bas-Car. 1	**16**	**38**	**63**	**27**	**37**	**64**	**245**
	7%	15%	26%	11%	15%	26%	
Bas-Car. 2	**4**	**0**	**269**	**182**	**22**	**0**	**477**
	1%	0%	56%	38%	5%	0%	
Total	**76**	**72**	**520**	**247**	**132**	**114**	**1161**
	7%	6%	45%	21%	11%	10%	

Tableau 9 : Évolution générale du trait de côte dans les trois localités étudiées.

Localité	**Avancée**	**Stable**	**Recul**
Le Goulet	36%	19%	45%
Shippagan	5%	67%	28%
Bas-Car. 1	22%	26%	52%
Bas-Car. 2	1%	56%	43%
Total	22%	26%	52%

D'autres sites ont vu une avancée des terres sur la mer. Ces sites sont peu nombreux, mais représentent quand même 22% du littoral étudié (tableau 9). Plusieurs segments qui avancent sont associés à la présence d'infrastructures comme ceux à l'amont de la dérive littorale du quai (segment Va, tableau 6), de la marina (segment IIIa, tableau 6) ou de l'ancien quai des Loggie (la zone des Chalets de la Plage, segment X, tableau 6), tous des sites de Bas-Caraquet. Le site le plus remarquable est un secteur de la plage de Le Goulet où le sable s'est accumulé dans la période récente (segment III, tableau 4), probablement dû à un effet de la redistribution des sédiments reliée à la jetée de Le Goulet (figures 20 et 21).

Figure 20 : Secteur où la plage avance à Le Goulet. On remarque que la dune y est large avec deux ou trois crêtes qui se succèdent, signe d'une accumulation importante.

Figure 21 : Les flèches indiquent le déplacement supposé des sédiments. Le courant de sortie du goulet fait dévier les sédiments vers le large. La côte en 1 reçoit peu de sédiments et se trouve en situation de déficit sédimentaire d'où l'érosion et le recul rapide. La côte en 2 bénéficie probablement d'une partie de ces sédiments déviés et est

devenue une zone d'accumulation et d'avancée de la côte. Plus loin, en 3, la côte ne bénéficie probablement plus de ces surplus et recule légèrement. *[Source de la photo aérienne : Service Nouveau-Brunswick]*

Plus nombreux sont les sites qui reculent. Ils représentent 52% des côtes étudiées. La plupart ont un recul assez lent (< 0,30 m/an, notamment de longues sections de la baie de Saint-Simon à Bas-Caraquet, tableau 7) ou «moyen» (entre 0,30 et 0.60 m/an; certains secteurs importants des trois localités), mais deux endroits voient un recul rapide à des taux supérieurs à 1m/an : le secteur est de la plage de Le Goulet (segment IV, tableau 4) qui est en déficit sédimentaire (voir la figure 21 plus loin) et l'embouchure du ruisseau à Sivret (segment IX, tableau 6) une côte basse et fragile, en rééquilibrage avec la disparition d'une jetée (le quai des Loggie) en amont de la dérive littorale (figures 22 et 23).

Figure 22 : Photographie aérienne de 1997 montrant la position de l'ancienne jetée (flèche jaune). La flèche blanche en tirets indique le sens de la dérive littorale (déplacement des sédiments). Les sédiments s'accumulaient du côté gauche (en 1) et la côte s'avançait sur la mer, mais le côté droit (en 2) n'en recevait pas et reculait. Après la disparition de la jetée, la situation s'est inversée avec un ré-équilibrage dans la distribution des sédiments et une régularisation (tendance à devenir plus linéaire) de la côte. *[Source de la photo aérienne : Service Nouveau-Brunswick]*

Figure 23 : À gauche, la plage à l'embouchure du ruisseau à Sivret. On aperçoit des nappes de débordement tout le long de ce secteur ce qui indique une inondation importante lors des tempêtes de décembre 2010. On remarque combien l'arrière côte est particulièrement basse. À droite, les restes de l'ancienne jetée qui permettait au sable de s'accumuler vers la gauche où se trouve la plage du ruisseau à Sivret.

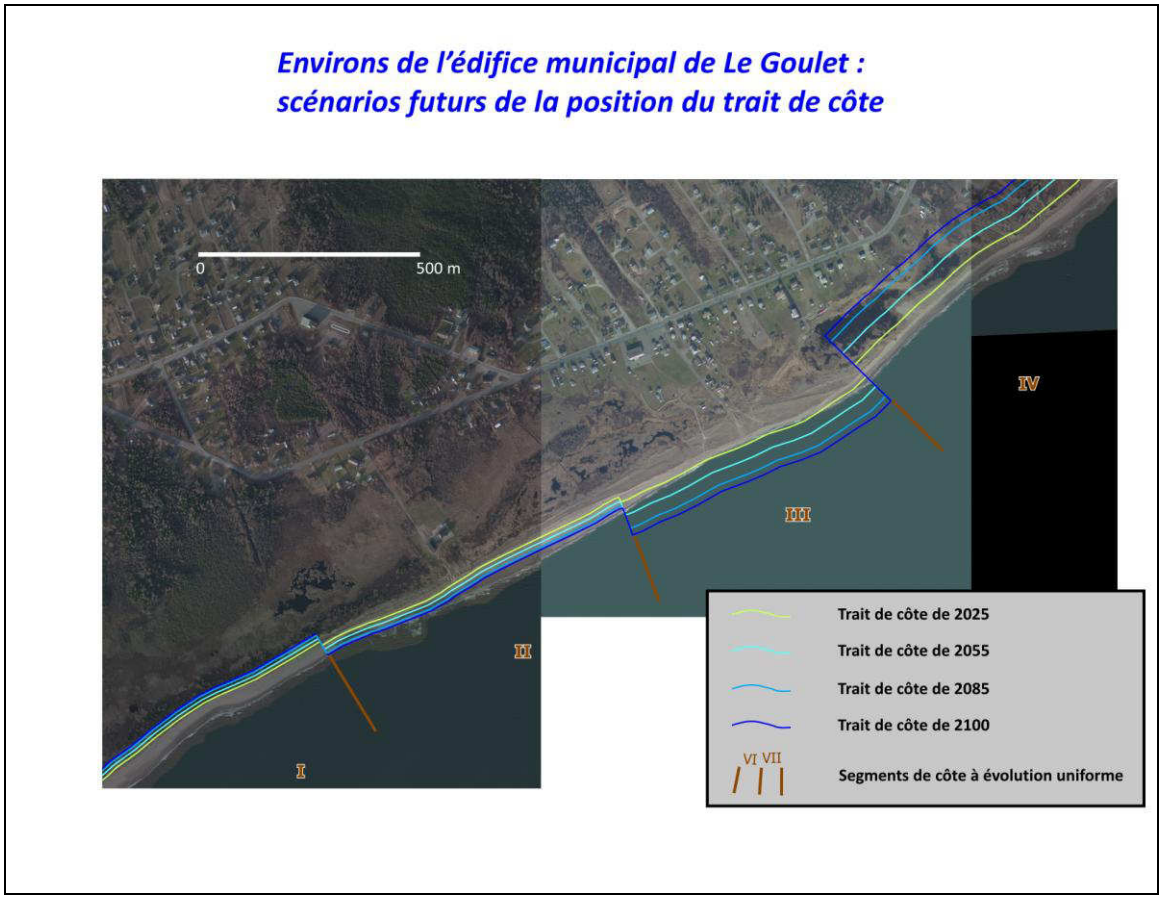


Figure 24 :Évolution future du trait de côte aux horizons 2025, 2055, 2085 et 2100 d'un secteur de Le Goulet. [Préparé par Stéphane O'Carroll]

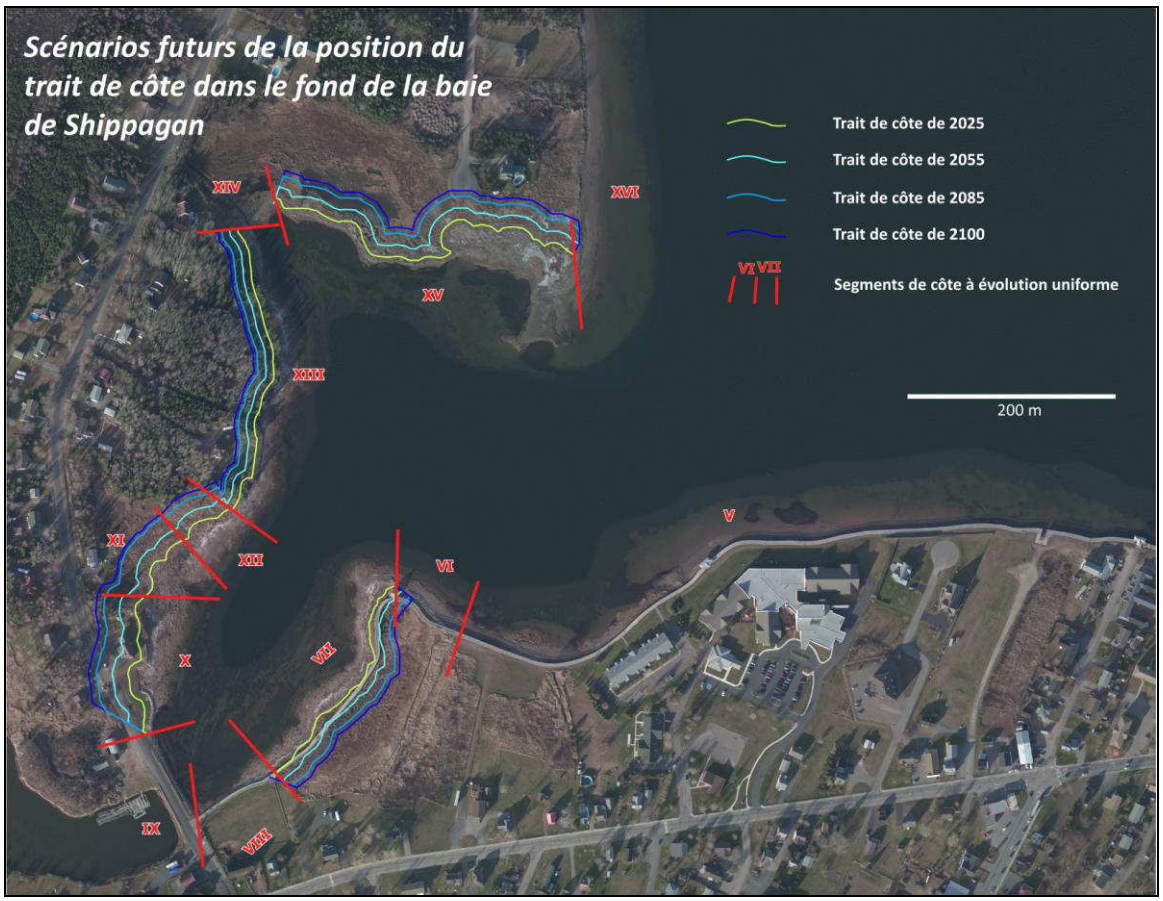


Figure 25 :Évolution future du trait de côte aux horizons 2025, 2055, 2085 et 2100 d'un secteur de Shippagan. *[Préparé par Stéphane O'Carroll]*

Ce sont ces évaluations qui ont servi à établir les scénarios futurs de changement de trait de côte. D'après une première évaluation sommaire, l'érosion ne semble pas être un problème majeur dans la région. Quelques endroits, dont le secteur est de Bas-Caraquet ou aux environs de l'anse du ruisseau Bar de Shippagan, pourraient avoir des problèmes dans un avenir plus ou moins rapproché. Les figures 24, 25 et 26 donnent un exemple des projections du trait de côte dans des zones jugées plus à risque pour chacune des localités. On remarque donc un taux de recul assez lent, mais certains bâtiments pourraient quand-même être à risque. Pour les identifier, on a tenté d'établir un indice de risque de la même façon que pour les inondations.

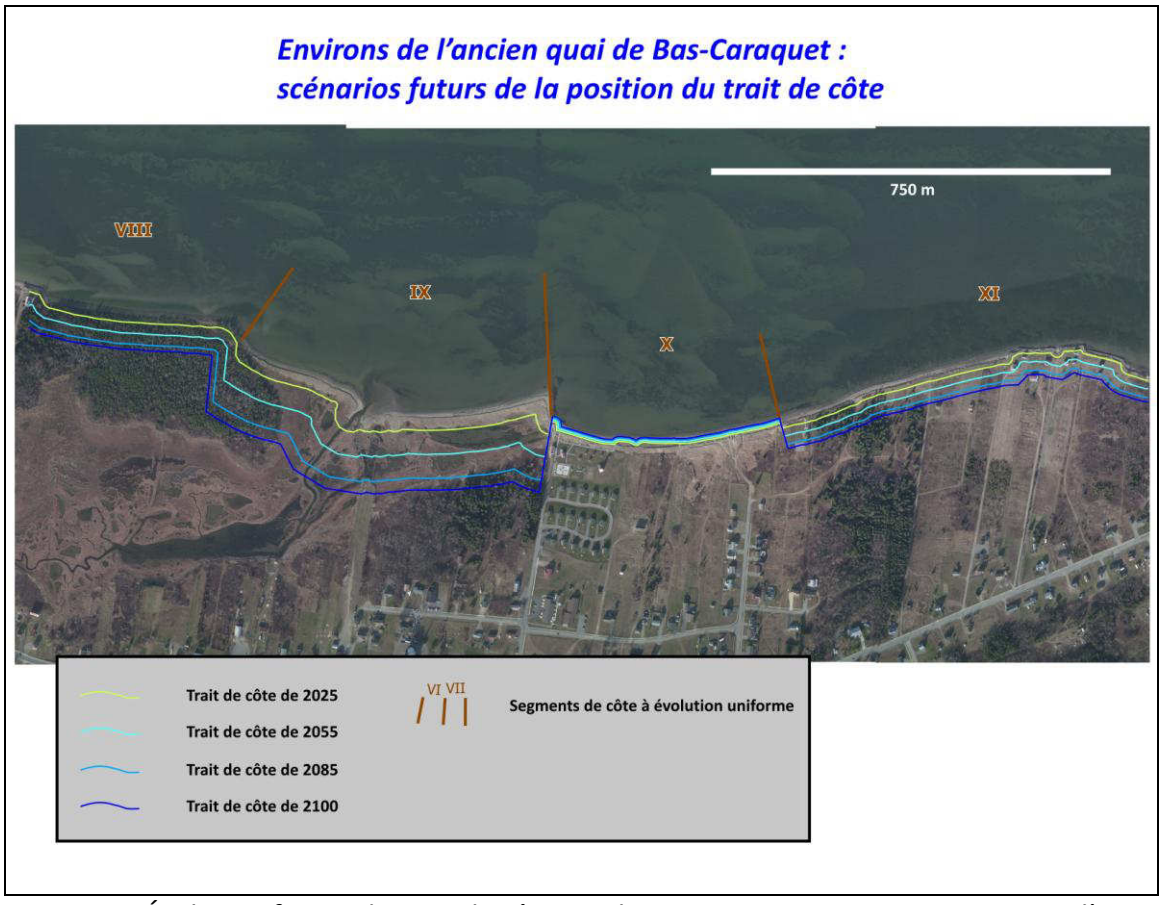


Figure 26 :Évolution future du trait de côte aux horizons 2025, 2055, 2085 et 2100 d'un secteur de Bas-Caraquet. *[Préparé par Stéphane O'Carroll]*

2-Établissement d'une échelle de niveaux de risque

À titre d'exemple, la figure 27 ci-dessous tente d'illustrer la progression du front d'érosion et le changement de niveau de risque avec le temps. Ainsi, certains bâtiments près de la côte deviennent de plus en plus à risque à mesure que la côte recule. Bien que ce ne soit pas une situation courante sur les territoires étudiés, il importe d'être vigilant, en particulier dans les endroits vulnérables.

Identifier les infrastructures à risque exige une approche différente de celle des inondations et comporte plusieurs difficultés. Déjà, la situation est différente, car les inondations sont provoquées par des ondes de tempête qui sont temporaires. Dans le cas de l'érosion, l'effet sur le territoire est permanent. De plus, il s'agit d'intégrer les taux d'érosion dans l'établissement des indices de risque. Nous nous sommes donc servis directement des scénarios d'érosion pour les catégoriser.

Figure 27 : Exemple de bâtiments à risque dans le secteur est de Bas-Caraquet. Dans ces images, le trait de côte de 2009 est en noir, celui projeté de 2025 est en rouge et celui de 2055 est en orange. Dans l'image du haut, on suppose qu'on est en 2009; les bâtiments sont assez sécuritaires, mais quelques-uns se trouvent dans des zones à faible risque (flèches blanches). Dans celle du bas, on suppose qu'on est en 2025; ces mêmes bâtiments se trouvent maintenant dans une situation plus à risque qu'auparavant étant dans une zone d'érosion ou sur le point de l'être.

Les indices de risque ont donc été établis de la façon suivante. Le repère de base est le trait de côte de l'année 2009. Les autres repères sont la position du trait de côte selon les scénarios établis (2025, 2055, 2085 et 2100) plus une de marge de sécurité. Puisque la côte évolue à des taux différents d'un endroit à l'autre, la calibration est calquée sur ces taux et non pas sur une distance fixe par rapport au trait de côte. Ainsi, les zones à risque seront plus étendues si la côte recule rapidement et moins étendues si la côte bouge peu. De plus, une marge de sécurité semble être une pratique courante dans le cas de l'érosion. Nous avons donc ajouté une marge de cinq mètres pour les bâtiments et dix mètres par rapport à l'axe central des routes. On a choisi cinq mètres dans le cas des bâtiments en tenant compte du fait que les taux de recul les plus élevés sont de l'ordre de 1 m/an (un peu plus dans des cas particuliers) ce qui théoriquement donne un minimum de cinq ans de sursis supplémentaire dans la détection du risque. Dans le cas des routes, puisque leur construction ou déplacement doit être planifié plus longtemps à l'avance, on a doublé cette marge. À noter que les décideurs voudront peut-être établir des marges de sécurité plus larges. Par exemple, on peut utiliser le trait de côte projeté de l'année 2100 comme cela se fait parfois ailleurs. Dans le cadre de ce projet, les indices de risque suivants ont ainsi été établies (figure 28) :

0-les infrastructures ne seront pas affectées entre 2009 et 2100
1-les infrastructures seront à risque entre 2085 et 2100
2-les infrastructures seront à risque entre 2055 et 2085
3-les infrastructures seront à risque entre 2025 et 2055
4-Les infrastructures sont dans une zone à risque et pourraient être affectées d'ici 2025

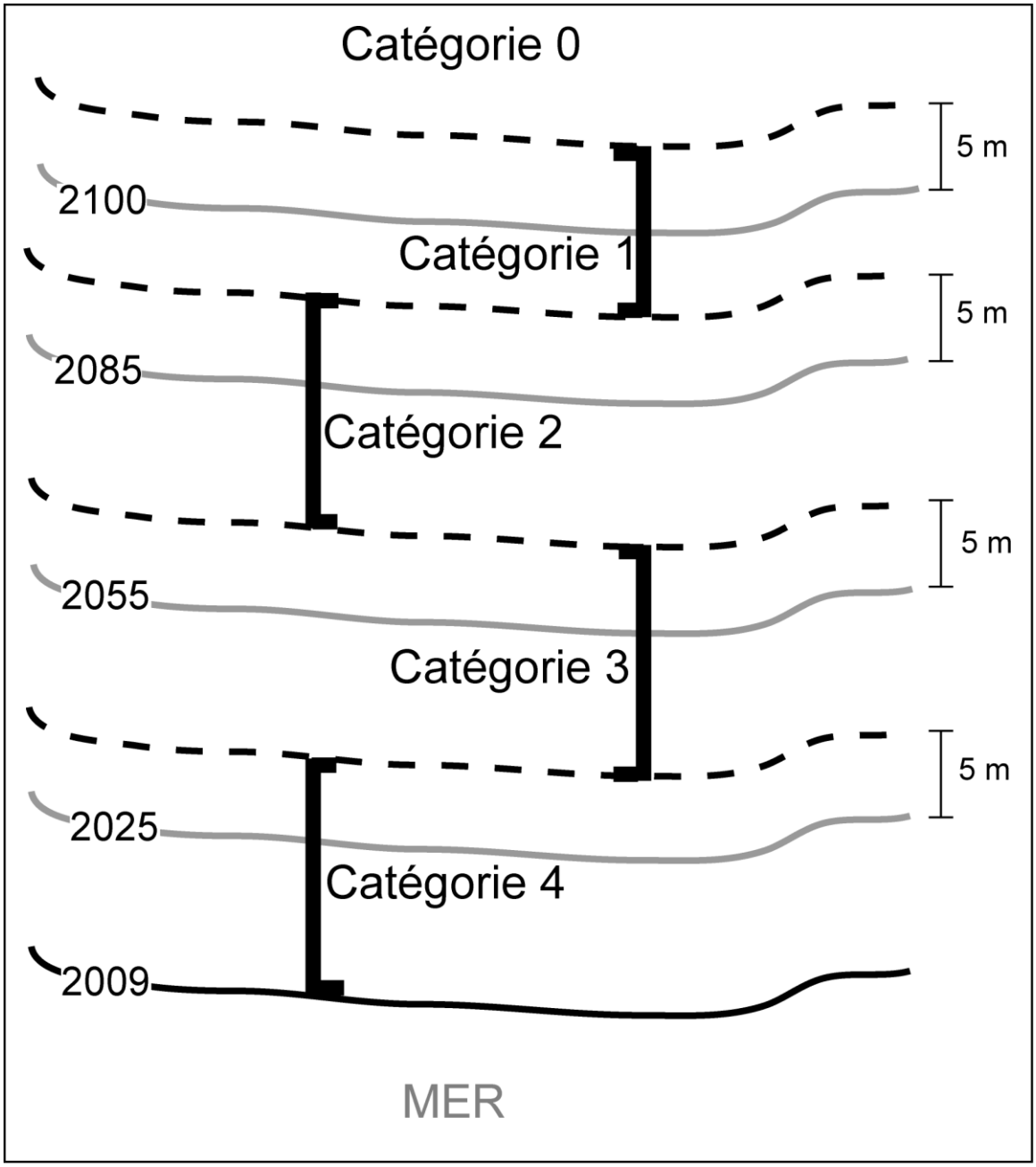


Figure 28 : Schéma illustrant les indices de risque d'érosion utilisés selon cinq catégories. La position du trait de côte de 2009 sert de repère de base à partir duquel on détermine les catégories de risque. Les projections du trait de côte de 2025, 2055, 2085 et 2100 plus une marge de sécurité (ici, on a pris 5 m) servent repères pour déterminer les autres seuils de risque. Voir le texte pour des explications détaillées.

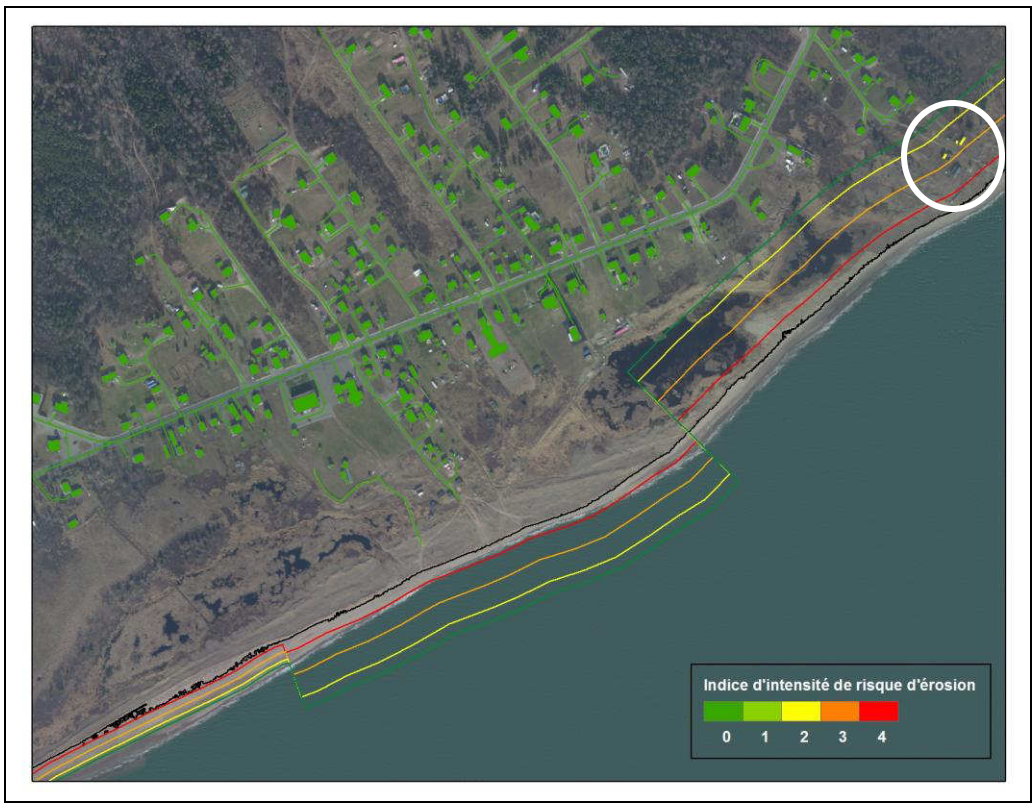


Figure 29 : Exemple d'indices de risque d'érosion à Le Goulet.

Les figures 29, 30 et 31 donnent des exemples de secteurs de changement de traits de côte pour chacune des municipalités. La figure 29 ci-dessus montre une situation très contrastée où le trait de côte reculera rapidement d'un côté et avancera rapidement de l'autre (la figure 21 explique le contexte). Seuls quelques bâtiments seront à risque dans un avenir assez lointain dans cette zone (figure 29, cercles blancs; ces bâtiments sont de catégorie 2). À Le Goulet, les risques d'érosion sont d'ailleurs assez minimes, en particulier en regard des dangers d'inondation. L'autre endroit à surveiller à le Goulet est le secteur ouest où il y a des chalets et une homarderie très près de la côte dans une zone où la côte recule à un taux de 0,28 m/an (segment I de Le Goulet, figure 17, tableau 4). Selon les scénarios d'érosion, Shippagan, du fait des structures de protections liées au quai et à la passerelle, subira peu d'érosion. La figure 30 montre le secteur le plus à risque. On remarque que la passerelle est dans une zone d'érosion actuelle et qu'un bâtiment (flèche blanche) est légèrement à l'intérieure de la marge de sécurité attribuée au trait de côte de 2025. La route à proximité est également à risque. À Bas-Caraquet, deux secteurs sont à risque : les segments VIII et XI (figure 19 et tableau 6). Une petite portion du segment II est aussi potentiellement à risque. Nous avons remarqué sur le terrain que le début de la falaise en dépôt meuble à cet endroit, qui n'a pas de structures de protection, a reculé substantiellement lors des dernières tempêtes. Ce serait un endroit à surveiller attentivement. La figure 31 montre la partie du segment XI qui a des bâtiments à risque.

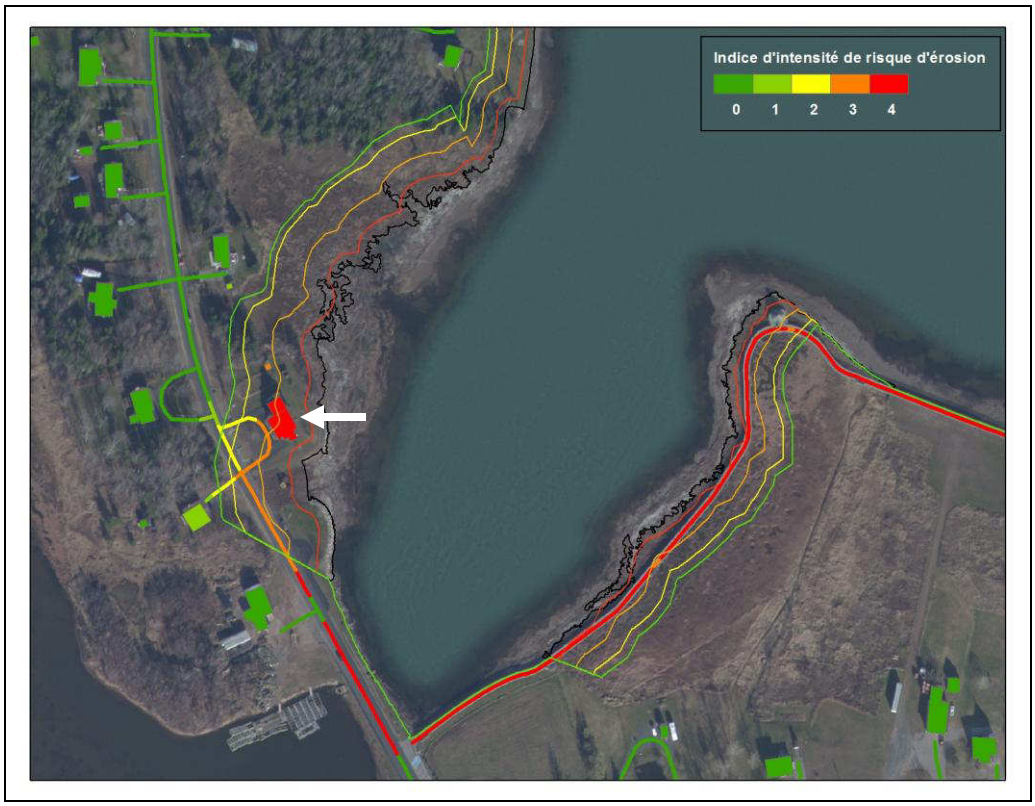


Figure 30 : Exemple d'indices de risque d'érosion à Shippagan.

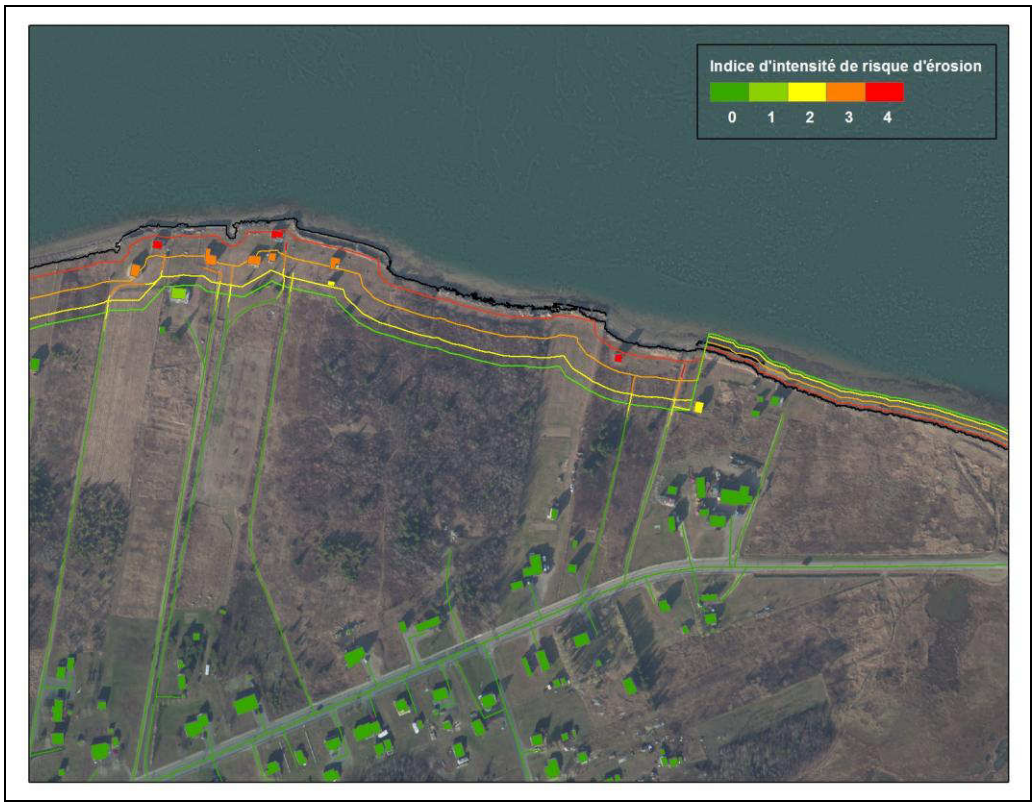


Figure 31 : Exemple d'indices de risque d'érosion à Bas-Caraquet.

Notons qu'une côte qui est stable ou qui avance offre peu ou pas de risque. De plus, certaines côtes reculent lentement, moins de cinq mètres dans l'espace de plusieurs décennies comme l'indique les données des tableaux 4 à 7, donc moins que la largeur de la marge de sécurité des bâtiments utilisée ici.

Un aspect que l'on doit souligner est le cas particulier des côtes à falaises, comme celle de Bas-Caraquet, où le danger est plus élevé. Comme les falaises reculent par effondrement, il est important de connaître la valeur du recul de la côte lors d'un événement brutal. Les taux d'érosion que nous avons pour la falaise rocheuse de Bas-Caraquet sont très faibles (-4,4 m ±4,7 m entre 1970 et 2009) de sorte que l'on considère la côte comme étant relativement stable. Néanmoins, une falaise est une forme d'érosion et, forcément, elle recule, même si c'est lentement. Pour nous assurer du comportement de cette falaise, nous avons procédé à une enquête rapide de quelques résidents de ce secteur côtier. Selon les informations recueillies, le recul est assez lent, mais peut aussi être substantiel. Selon certaines évaluations, des taux de recul de 30 cm/an environ sur une période de temps de quelques années sont possibles, mais sur des secteurs très localisés. De plus, les tempêtes peuvent effectivement causer des reculs brutaux. Celles de décembre 2010 ont provoqué du recul à plusieurs endroits, dépassant le mètre à au moins un site, mais il n'y a pas eu de témoignage de recul catastrophique. Plusieurs personnes ont aussi affirmé que la côte semble reculer plus rapidement depuis quelques années. Il serait bon de prendre ces informations en considération lors de la planification de ce secteur. En somme, le danger n'est pas très élevé, car la falaise recule lentement, les événements brutaux ne semblent pas provoqués de recul catastrophique et les maisons sont relativement loin de l'escarpement. D'ailleurs, la plupart des résidents contactés se sentent en sécurité; néanmoins, quelques-uns semblaient malgré tout inquiets de la situation.

Il est intéressant de constater que les personnes passez en entrevue connaissaient bien leur milieu et avaient un très bon sens de l'observation. Il y a donc là une mine d'information importante qui pourrait aider dans l'évaluation de l'évolution du littoral. Ainsi, deux ou trois résidents ont témoigné d'un recul rapide du côté est du village (le segment XI dont on a parlé plus haut), un fait appuyé par les données d'érosion (tableau 6) qui indique un recul de 0,53 m/an, mais qui pourrait actuellement être plus élevé.

Pour conclure, on constate que les scénarios d'érosion sont basés sur les taux de changement historiques des 40 dernières années, alors qu'il est fort probable que ces taux, surtout ceux de recul, s'accélèreront lors du XXIe siècle avec l'augmentation possible de la fréquence des fortes tempêtes et la hausse du niveau marin. Il reste donc important de surveiller les secteurs à recul et les zones vulnérables identifiées dans les modèles de prédiction de ce projet.

CONCLUSION

Les côtes des trois localités étudiées dans le cadre de ce projet (Le Goulet, Shippagan et Bas-Caraquet) sont variées tant sur le plan physique qu'humain. Par rapport à l'érosion, il y a des secteurs côtiers qui avancent ou qui reculent à des taux plus ou moins rapides et d'autres encore qui sont plutôt stables. En terme d'inondation, on constate sans surprise que les secteurs bas sont les plus fréquemment inondés. Par contre, les aménagements humains ne sont pas répartis également sur le territoire. Ainsi, certaines zones ont des constructions très près de la côte, alors que dans d'autres zones elles sont situées à l'intérieur des terres. Il y a aussi des secteurs qui sont restés à l'état naturel ou qui sont peu ou pas aménagés. Par ailleurs, certaines côtes ont été fixées par des structures de protections ou des aménagements tels que les quais. Les infrastructures n'ont donc pas le même degré d'exposition aux risques d'inondation et d'érosion.

Le projet ICAR/ASACCA/Péninsule acadienne a été lancé dans le but de développer un outil d'aide à la décision pour ces trois communautés côtières, outil qui leur permettra de mieux prévoir et s'adapter au changement climatique. Ce dernier aura un effet sur le niveau marin et l'érosion du littoral, et, incidemment, sur les aménagements côtiers et en particulier les infrastructures telles les routes et les bâtiments. L'exposition des communautés aux risques d'inondation et d'érosion va donc évoluer dans un avenir prochain, notamment avec la hausse du niveau marin qui aura une influence sur la hauteur d'eau atteinte par les ondes de tempêtes. Aussi, cette évolution sera différentielle selon le type de milieu. C'est pourquoi le projet comporte cinq volets qui tiennent compte de la diversité du littoral, des changements à venir et de la variabilité du risque : 1) l'évaluation de l'érosion du littoral, 2) le développement de scénarios d'inondation selon la hausse du niveau marin et les ondes de tempêtes, 3) l'identification des infrastructures à risque d'érosion et d'inondations et le développement d'un indice du risque, 4) l'accompagnement communautaire et 5) l'application de l'outil.

Le présent rapport fait principalement état du troisième volet en intégrant les données développées dans les deux premiers volets. Ainsi, on présente les scénarios d'inondation due aux tempêtes (tenant compte de la progression de la hausse du niveau marin) et les scénarios d'érosion développés par les autres partenaires du projet, qu'on a superposés aux données géospatiales des infrastructures développées par nos soins. Avec ces données combinées, on a développé un indice de risque qui a été attribué aux infrastructures ce qui a rendu possible l'établissement d'une cartographie des infrastructures à risque. Un zonage spécifique peut être établi dans chacune des localités par rapport à ces risques. L'outil d'aide à la décision découlera des démarches (encore à faire) qui utiliseront ces résultats.

Les connaissances acquises devraient aider les décideurs et les résidents des municipalités de prendre conscience des risques littoraux de façon réaliste (donc, éviter de surévaluer ou sous-évaluer le danger potentiel) et mieux mesurer l'ampleur des efforts à déployer en ciblant efficacement les problèmes à venir et choisir les solutions les plus appropriées. Le cas échéant, l'outil pourra servir aux ingénieurs, entrepreneurs, urbanistes et autres professionnels auxquels on ferait appel dans le cas d'aménagements adaptés aux changements projetés. Cet outil pourrait aussi éventuellement être appliqué dans d'autres communautés côtières.

Pour terminer, ce rapport a été réalisé principalement dans le but d'informer les partenaires du projet et d'aider ceux qui vont poursuivre le travail aux étapes suivantes. Il comprend bien entendu des données et des informations développées par notre équipe, mais aussi se veut une présentation sommaire des données des volets précédents. La base de données d'infrastructures à risque, l'objet principal de notre travail, sera soumis aux partenaires adéquats et devrait servir non seulement aux fins du projet, mais aussi à développer d'autres possibilités, voire d'autres outils.

Références

Daigle, R. J. (2011a) *Sea-level rise estimates for New Brunswick Municipalities – Saint John, Sackville, Richibucto, Shippagan, Caraquet, Le Goulet*; report prepared for the Atlantic Climate Adaptation Solutions Association, 18 p.

Daigle, R. J. (2011b) *Updated extreme total sea levels for 1, 2, 5, 10, 25, 50 and 100 year return periods - Shippagan, Caraquet, Le Goulet* ; report prepared for the Atlantic Climate Adaptation Solutions Association, 6 p.

O'Carroll, S. et D. Bérubé (1997) *Options de restauration de la dune de Le Goulet, Nouveau-Brunswick : une évaluation géomorphologique*; Ministère des Ressources naturelles et de l'Énergie du Nouveau-Brunswick, Dossier public 97-9, 43 p.

Paskoff, R. (2001) *L'élévation du niveau de la mer et les espaces côtiers*; Institut océanographique, 191 p.

Pêches et Océans Canada (2011) *Marées, courants et niveaux d'eau*; Service hydrographique du Canada. [http://www.tides.gc.ca/french/Canada.shtml] consulté le 30 juin 2011.

Principaux ouvrages consultés

Cicin-Sain, B. et R.W. Knecht (1998) *Integrated coastal and ocean management*; Island Press, 517 p.

Clus-Auby, C. *et al*. (2006) Le patrimoine foncier du Conservatoire du littoral et le changement climatique : scénarios et évolution par érosion et submersion; *Annales de géographie*, 2006/2 n° 648, p. 115-132.

Department for Environment, Food and Rural Affairs (2010) *Understanding the risks, empowering communities, building resilience: the national flood and coastal erosion risk management strategy for England*; UK government document, 52 p.

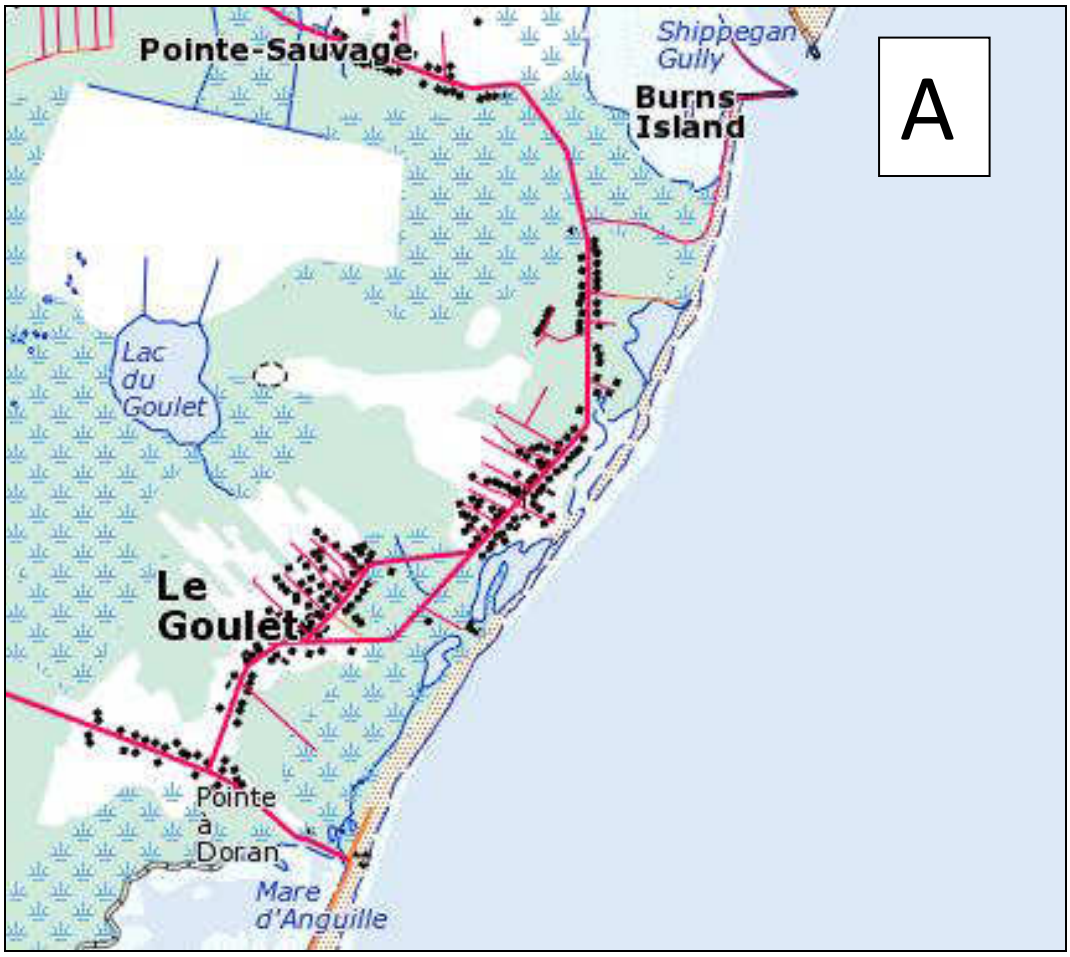
Dauphiné, A. (2001) *Risques et catastrophes*; Armand Colin, 288 p.

Ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement (1997) *Plans de prévention des risques littoraux – Guide méthodologique*; La Documentation française, 54 p.

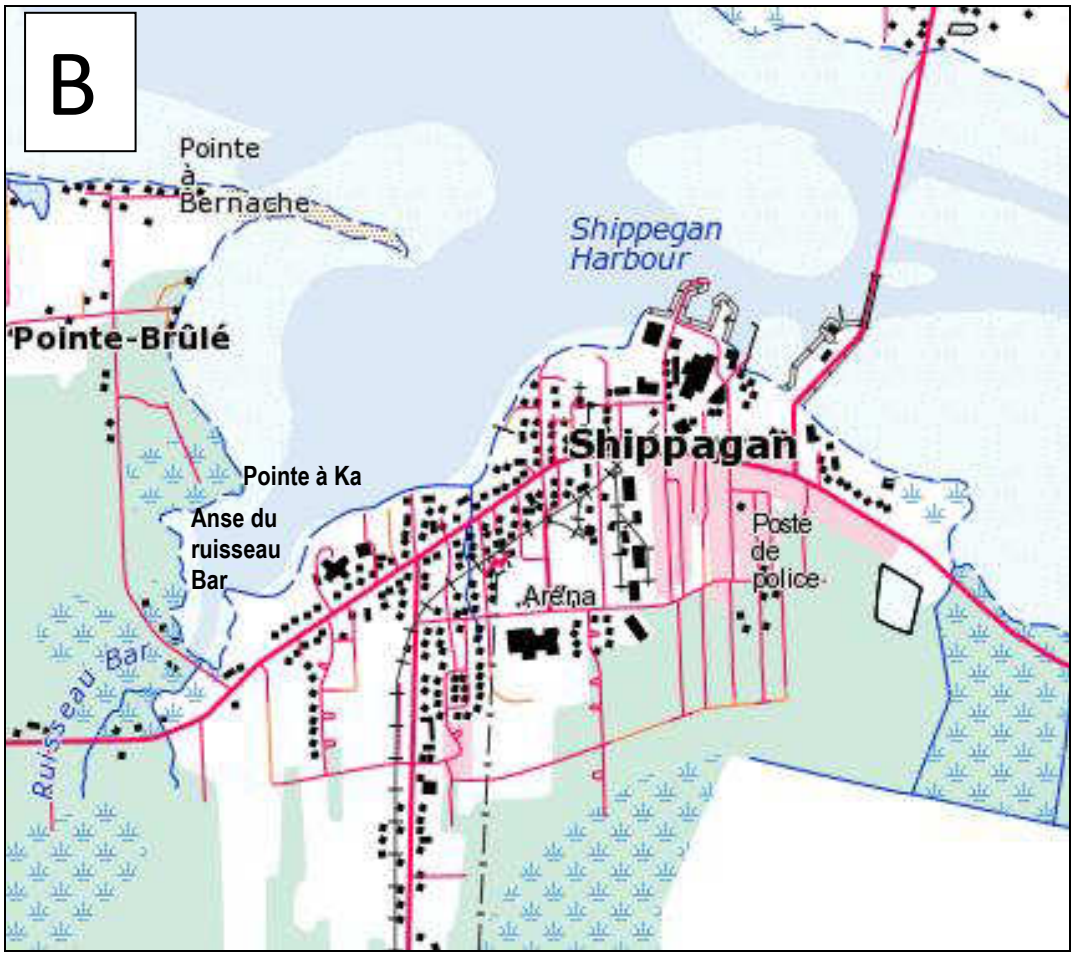
Ministère de l'écologie, de l'énergie, du développement durable et de l'aménagement du territoire (2009) *Agir ensemble pour le littoral*; ouvrage collectif, coordination : X. Lafon et S. Treyer; La Documentation française, 291 p.

ANNEXES

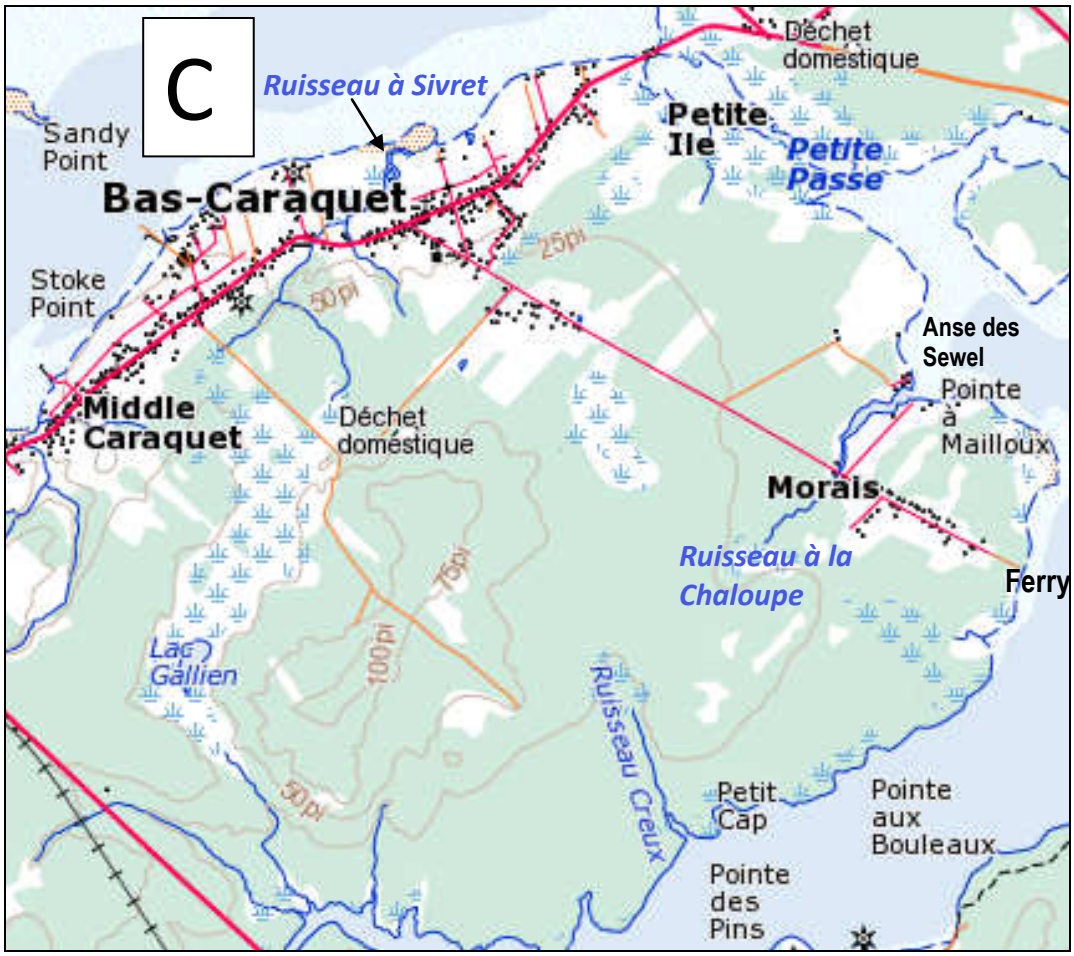
ANNEXE 1



Carte topographique montrant la toponymie utilisée pour Le Goulet.
[Source : http://atlas.nrcan.gc.ca/site/francais/maps/topo/map]



Carte topographique montrant la toponymie utilisée pour Shippagan.
[Source : http://atlas.nrcan.gc.ca/site/francais/maps/topo/map]



Carte topographique montrant la toponymie utilisée pour Bas-Caraquet.
[Source : http://atlas.nrcan.gc.ca/site/francais/maps/topo/map]

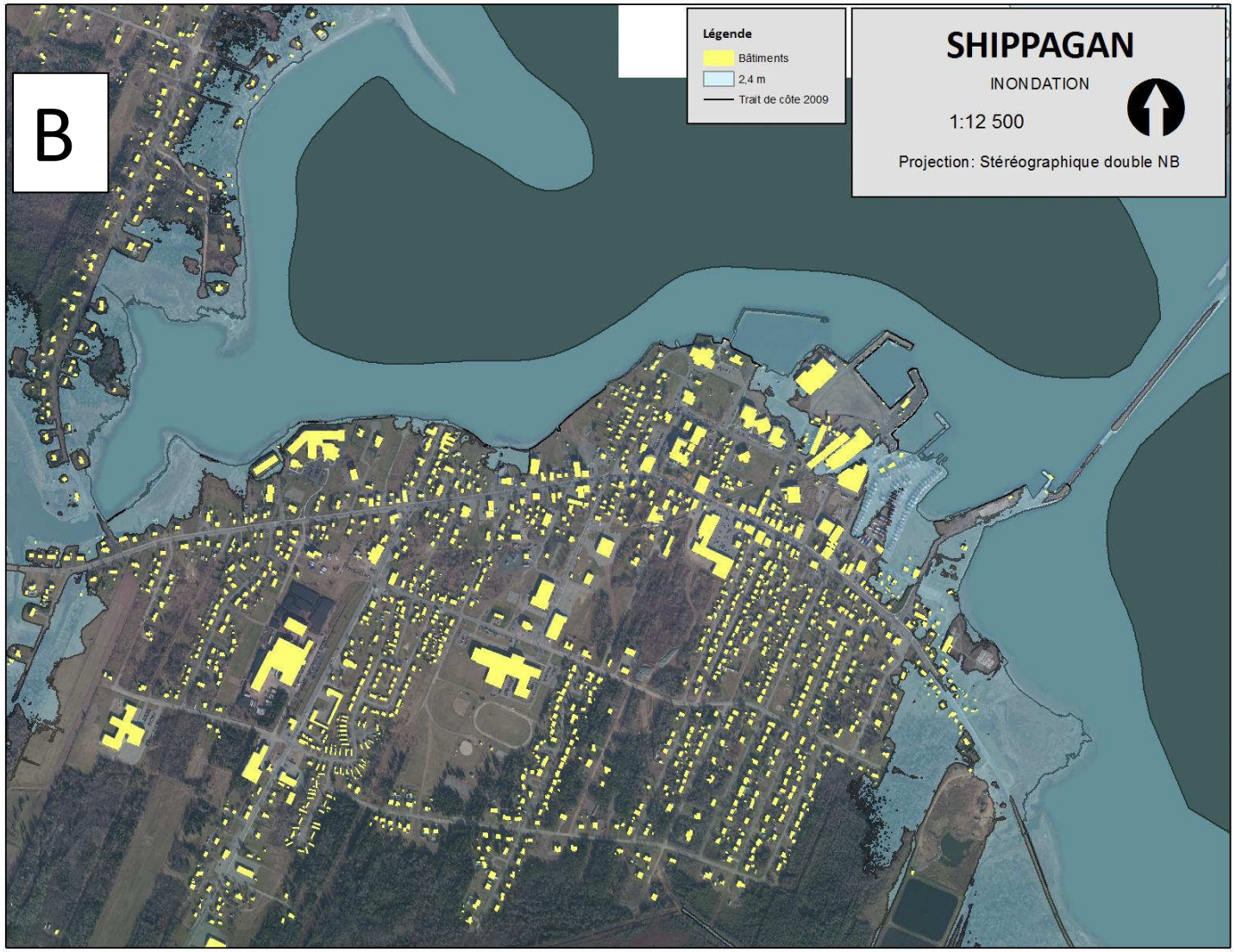
ANNEXE 2 - DESCRIPTION DES PROPRIÉTÉS DES ATTRIBUTS

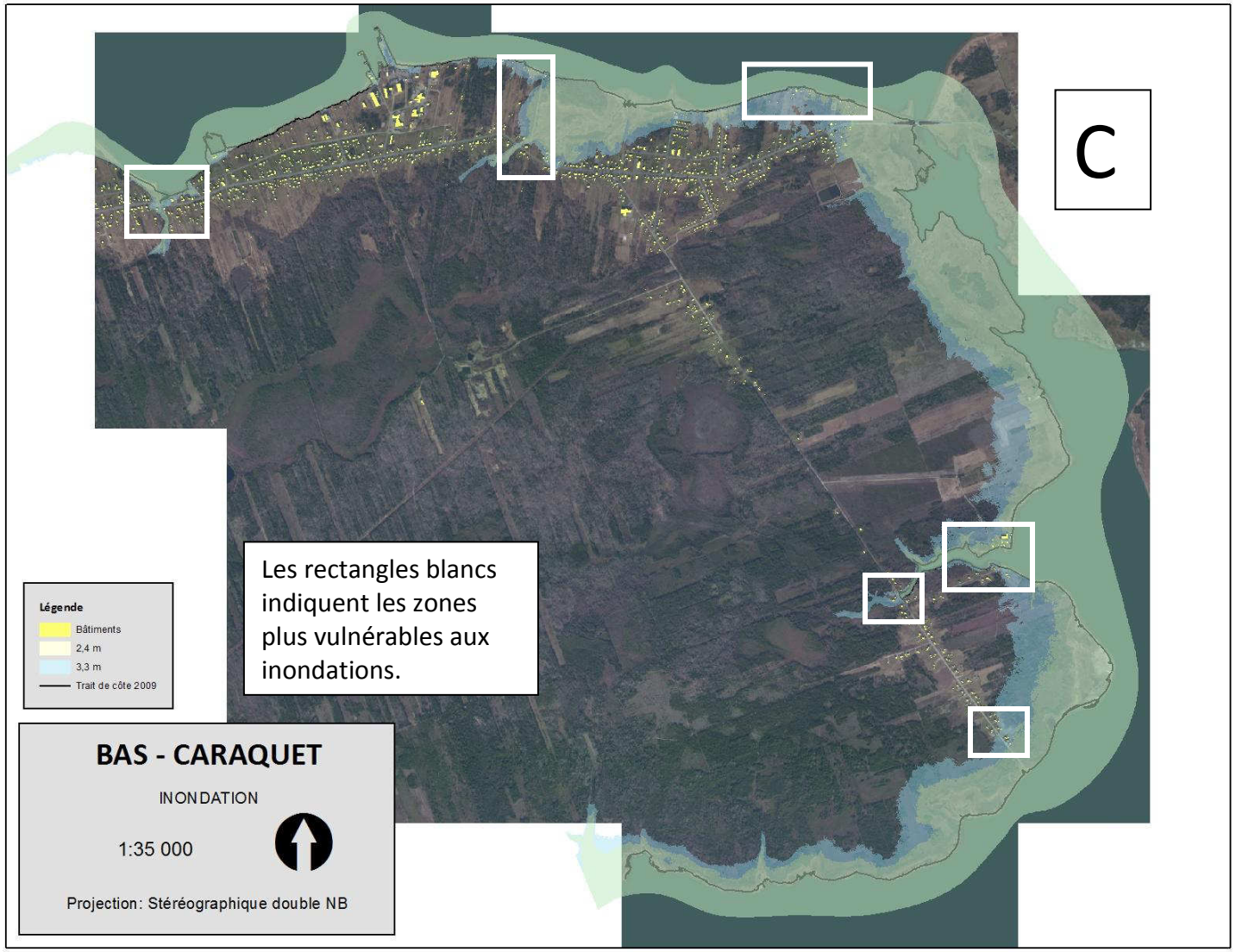
FICHIER	DESCRIPTION	ATTRIBUT	TYPE	VALEUR
ROUTES				
**_ROUTES*	*IDENTIFICATION*	*R_ID*	*NUM*	*000 … 999*
*_ROUTES	NOM	R_NOM	TEXT	Nom de la route
*_ROUTES	TYPE DE ROUTE	R_TYPE	NUM	1 : Publique, 2 : Privé, 3 : Entrée 4 : Passerelle, 5 : Sentier
*_ROUTES	ÉTAT	R_ETAT	NUM	1 : Asphalte, 2 : Ciment, 3 : Métal, 4 : Roche, 5 : Bois, 6 : Terre, 9 : Autre
INFRASTRUCTURE				
**_BATIMENTS*	*IDENTIFICATION*	*B_ID*	*NUM*	*0000 … 9999*
*_BATIMENTS	NOM	B_NOM	TEXT	Nom
*_BATIMENTS	TYPE DE PROPRIÉTÉ	B_PROP	NUM	Simplification de B_PROP1 à la centaine.
*_BATIMENTS	TYPE DE PROPRIÉTÉ	B_PROP1	NUM	Selon cadastre, si inexistant, valeur du cadastre attribuée à partir de la photographie aérienne par évaluation du voisinage ou de bâtiments apparentés.
*_ BATIMENTS	TYPE D'INFRASTRUCTURE	B_TYPE	NUM	*Si B_PROP1 = (1xx), (4xx), (5xx), (6xx), (7xx) :* 1 : principal, 2 : secondaire *Si B_PROP1 = (2xx), (3xx)* : 1 : Tous les bâtiments
*_ BATIMENTS	TYPE D'INFRASTRUCTURE	B_TYPE1	NUM	1 : Batiment, 2 : Autre
*_ BATIMENTS	SOURCE D'INFO	B_SOURCE	NUM	1 : Photo interprétation 2009, 2 : Observation terrain 2011
STRUCTURES DE PROTECTION				
**_STRPROT*	*IDENTIFICATION*	*SP_ID*	*NUM*	*000 … 999*
*_STRPROT	TYPE	SP_TYPE	NUM	1 : Mur, 2 : Enrochement, 3 : Revêtement 4 : Épi, 5 : Brise-lame, 6 : Piliers/pieux, 9 : Autre
*_STRPROT	NIVEAU DE PROTECTION	SP_NVPR	NUM	1 : Élevé (10-30 ans), 2 : Moyen (5-10 ans) ou 3 : Faible (1-5 ans)
*_STRPROT	MATÉRIAUX	SP_MATE	NUM	1 : Asphalte, 2 : Ciment, 3 : Métal, 4 : Roche, 5 : Bois, 6 : Terre, 9 : Autre
*_STRPROT	HAUTEUR	SP_HAUT	NUM	Hauteur approximative en mètres
*_STRPROT	TYPE DE PROPRIÉTÉ	SP_PROP	NUM	Selon cadastre, si inexistant, valeur du cadastre attribuée à partir de la photographie aérienne par évaluation du voisinage.
*_ STRPROT	SOURCE D'INFO	SP_SOURCE	NUM	1 : Photo interprétation 2009, 2 : Observation terrain 2011
*_ STRPROT	DESCRIPTION	SP_DESC	TEXT	
*_ STRPROT	NIVEAU DE PROTECTION RÉVISÉ	SP_NVPR_RE	NUM	1 : Très élevé, 2 : Élevé, 3 : Moyen, 4 : Faible, 5 : Très faible
*_ PHOTOS	TYPE DE PHOTO	PHOTO_TYPE	NUM	1 : Structure de protection et quai, 2 : autre
*_PHOTOS	HYPERLIEN PHOTO	PHOTO	TEXT	Hyperlien vers la photo

ANNEXE 3

Les trois images suivantes montrent des zones d'inondation selon certains scénarios choisis. Les bâtiments sont indiqués. Ces images illustrent l'approche simple de faire coïncider les couches d'inondation et les infrastructures, dans ce cas-ci les bâtiments.

A
Légende
Bâtiments
2,4m
Trait de côte 2009
LE GOULET
INONDATION
1:18 000
Projection: Stéréographique double NB


B
Légende
Bâtiments
2,4 m
Trait de côte 2009
SHIPPAGAN
INONDATION
1:12 500
Projection: Stéréographique double NB


C
Les rectangles blancs indiquent les zones plus vulnérables aux inondations.
Légende
Bâtiments
2,4 m
3,3 m
Trait de côte 2009
BAS - CARAQUET
INONDATION
1:35 000
Projection: Stéréographique double NB