

Québec, le 21 décembre 2020

Madame Mélissa Gagnon, directrice

Direction de l'évaluation environnementale des projets hydriques et industriels
Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques
675, boulevard René-Lévesque Est, 6^e étage, boîte 83
Québec (Québec) G1R 5V7

OBJET : Demande de décret de soustraction (article 31.7.1, Chapitre Q-2)
Projet de stabilisation de falaise – Secteur de Cap-aux-Meules – Municipalité
des Îles-de-la-Madeleine

Madame,

Nous vous transmettons par la présente la demande de décret de soustraction en vertu de l'article 31.7.1 de la Loi sur la qualité de l'environnement (chapitre Q-2). Les travaux consistent à réaliser un ouvrage de protection en enrochement ou en riprap, afin de protéger le secteur de la falaise de Cap-aux-Meules, qui est fortement exposé à l'érosion côtière et aux effondrements rocheux. Ce secteur a été priorisé par la Communauté maritime des Îles-de-la-Madeleine pour plusieurs raisons. En effet, le niveau de risque pour la sécurité des personnes et des biens est élevé, et les travaux doivent être effectués dans les plus brefs délais. De plus, ce secteur est d'une importance significative pour la région, puisqu'il constitue le cœur économique et administratif de l'archipel. Le secteur touché comprend notamment le Centre intégré de santé et de services sociaux des Îles, l'hôtel de ville, ainsi que plusieurs bâtiments commerciaux, locatifs et de services.

Pour toute information relative aux documents ou toute question technique, nous vous invitons à communiquer directement avec nous.

Veuillez accepter, Madame Gagnon, nos plus cordiales salutations.



Dominic Lachance, ing., MBA

Directeur de l'ingénierie et infrastructures
Fédération québécoise des municipalités
1134, Grande Allée Ouest, RC 01
Québec (Québec) G1S 1E5
Tél.: (418) 651-3343, poste 1410
Fax: (418) 651-1127
dlachance@fqm.ca

p.j. : Demande de décret de soustraction

c.c. : Daniel Spooner, ing., Coordonnateur à l'analyse, direction régionale, MELCC

Table des matières

1	MISE EN CONTEXTE	2
2	SINISTRES RÉELS	5
3	SINISTRES APPRÉHENDÉS	6
3.1	CONSÉQUENCES ASSOCIÉES AUX CHANGEMENT CLIMATIQUES	10
3.2	CONSÉQUENCES ASSOCIÉES AUX ALÉAS CÔTIERS	13
3.3	CONSÉQUENCES ASSOCIÉES À LA SÉCURITÉ PUBLIQUE	13
3.4	CONSÉQUENCES DE NATURE ÉCONOMIQUE	13
3.5	CONSÉQUENCES DE NATURE SOCIALE	14
4	ANALYSE DES SOLUTIONS ALTERNATIVES	15
4.1	PROTECTION EN ENROCHEMENT	15
4.2	RIP-RAP	17
4.3	RECHARGE DE PLAGE AU MOYEN DE SABLE	17
4.4	RECHARGE DE PLAGE AVEC ÉPIS	18
4.5	RECHARGE DE PLAGE AVEC BUTÉE DE PIED	18
4.6	RECHARGE DE PLAGE AVEC MATÉRIAUX GROSSIERS	20
4.7	BRISE-LAMES SUBMERSIBLE AU LARGE	21
4.8	RELOCALISATION STRATÉGIQUE	21
4.9	NON-INTERVENTION	21
5	DESCRIPTION SOMMAIRE DES TRAVAUX	22
6	CONSULTATION DE LA POPULATION	23
7	ÉCHÉANCIER DES TRAVAUX	24

ANNEXES

ANNEXE 1 : ZONE D'INTERVENTION PROJÉTÉE

ANNEXE 2 : OUVRAGES CONSIDÉRÉS

ANNEXE 3 : ÉVOLUTION DE L'ÉROSION DE LA FALAISE

ANNEXE 4 : RAPPORT PHOTOGRAPHIQUE

ANNEXE 5 : REVUE MÉDIATIQUE

ANNEXE 6 : ENTENTE DE FINANCEMENT ENTRE LE MINISTÈRE DE LA SÉCURITÉ PUBLIQUE ET LA MUNICIPALITÉ DES ÎLES-DE-LA-MADELEINE VISANT LA RÉALISATION DE TRAVAUX DE PROTECTION DES BERGES CONTRE L'ÉROSION CÔTIÈRE DANS LE SECTEUR DE CAP-AUX-MEULES

ANNEXE 7 : MANDAT D'ACCOMPAGNEMENT DE LA FQM – PROJET DE PROTECTION DU LITTORAL DES SECTEURS DE LA GRAVE ET DE CAP-AUX-MEULES

ANNEXE 8 : 2019-08-09_AVIS TECHNIQUE MTO - 355(124)19_380, CHEMIN PRINCIPAL, CAP-AUX-MEULES

ANNEXE 9 : 2019-10-30_AVIS TECHNIQUE COMPLÉMENTAIRE - 355(124)19_380, CH PRINCIPAL, CAP-AUX-MEULES

ANNEXE 10 : 2019-10-30_ANALYSE COMPLÉMENTAIRE MSP– EN ÉROSION 355(124)19_380, CH PRINCIPAL, CAP-AUX-MEULES

ANNEXE 11 : ANALYSE DES SOLUTIONS EN ÉROSION CÔTIÈRE DANS LA BAIE DE PLAISANCE, ÎLES-DE-LA-MADELEINE

ANNEXE 12 : ANALYSE COÛTS-AVANTAGES DES OPTIONS D'ADAPTATION EN ZONE CÔTIÈRE AUX ÎLES-DE-LA-MADELEINE

ANNEXE 13 : RENCONTRE D'INFORMATION PUBLIQUE – PROJET DE PROTECTION, SECTEUR CAP-AUX-MEULES, ÎLES-DE-LA-MADELEINE

Demande de décret de soustraction

Article 31.7.1, chapitre Q-2

1 Mise en contexte

Cette demande de décret de soustraction en vertu de l'article 31.7.1 de la Loi sur la qualité de l'environnement (chapitre Q-2) vise le projet de stabilisation de falaise du secteur de Cap-aux-Meules aux Îles-de-la-Madeleine.

En vertu du *Règlement relatif à l'évaluation et l'examen des impacts sur l'environnement de certains projets* (chapitre Q-2, r.23.1), annexe 1, partie II, article 2, paragraphe 1^o: « des travaux de dragage, de déblai, de remblai ou de redressement, à quelque fin que ce soit, à l'intérieur de la limite des inondations de récurrence de 2 ans d'une rivière ou d'un lac, sur une distance cumulative égale ou supérieure à 500 m ou sur une superficie cumulative égale ou supérieure à 5 000 m², pour une même rivière ou un même lac », ce projet est assujéti à la procédure d'évaluation et d'examen des impacts sur l'environnement de certains projets (PÉEIE).

Les falaises rocheuses de Cap-aux-Meules sont affectées par une combinaison de plusieurs aléas : érosion côtière, écroulement rocheux, affaissement et effondrement. Ces processus menacent de causer d'importants dommages aux bâtiments et aux infrastructures. La sévérité des aléas dans ce secteur pose un risque important pour la sécurité des citoyens, étant donné la possibilité d'un écroulement ou d'un effondrement soudain dont les conséquences pourraient s'avérer catastrophiques. De plus, comme l'intensité de ces aléas est fortement liée au climat, et que les Îles-de-la-Madeleine sont la région du Québec maritime qui subit le plus fortement les impacts des changements climatiques, le risque de « sinistre majeur », tel que défini par la Loi sur la sécurité civile (chapitre S-2.3, article 2, paragraphe 1^o) s'amplifie rapidement avec le temps.

D'ailleurs, le contexte unique des Îles-de-la-Madeleine a fait l'objet d'une reconnaissance par le gouvernement du Québec (Décret 354-2016, 4 mai 2016). Ce statut particulier oblige les ministères à moduler leurs interventions, afin de tenir compte des enjeux et des contraintes spécifiques liés au caractère insulaire des Îles-de-la-Madeleine, à leur isolement et à la fragilité des milieux. D'ailleurs, cette demande prend en compte la particularité des Îles-de-la-Madeleine dans son analyse, tel qu'exigé par le décret 354-2016.

L'Annexe 6

Entente de financement entre le ministère de la Sécurité publique et la Municipalité des Îles-de-la-Madeleine visant la réalisation de travaux de protection des berges contre l'érosion côtière dans le secteur de Cap-aux-Meules » présente l'entente entre le MSP et la Municipalité en lien avec la planification de travaux financés par le Cadre pour la prévention de sinistres du Ministère de la Sécurité publique (MSP), qui soutient la mise en œuvre de travaux de prévention et d'atténuation pour les risques liés à l'érosion côtière.

Le secteur de Cap-aux-Meules est caractérisé par des falaises rocheuses de grès rouges stratifiés et mal consolidés, très sensibles à l'érosion et au recul préférentiel le long de fractures ou de discontinuités, ce qui donne un trait de côte en dents de scie. Les cicatrices

d'érosion forment des échancrures et des grottes qui évoluent rapidement, dont certaines atteignent même jusqu'à 100 m de profondeur dans l'archipel (figure 1 et annexe 3).

Étant donné la nature friable de la falaise rocheuse et au rythme auquel progresse l'érosion, les cavités constituent un risque important pour la sécurité des personnes et des biens. Les terrains concernés par le projet de stabilisation sont des propriétés publiques et privées situées dans le cœur administratif et commercial des Îles-de-la-Madeleine. Les bâtiments sont majoritairement commerciaux, publics et résidentiels. La valeur totale des bâtiments et infrastructures municipales essentielles à protéger est de plus de 48,7 M \$.

Le 7 septembre 2019, la tempête tropicale Dorian a touché les Îles-de-la-Madeleine, affectant sévèrement le secteur de la falaise de Cap-aux-Meules. Les conséquences de cette tempête rendent urgente la mise en œuvre de travaux de protection, afin d'assurer la sécurité des personnes et des biens. C'est dans ce contexte que la Municipalité des Îles-de-la-Madeleine a demandé l'aide de la Direction ingénierie et infrastructures de la Fédération québécoise des municipalités (FQM), en collaboration avec le Ministère de la Sécurité publique (MSP), de préparer la présente demande de soustraction.

Des avis techniques préparés par le MTQ et le MSP ont permis de documenter la sévérité des aléas d'érosion côtière et le risque d'effondrements rocheux qui nécessitent une intervention en urgence derrière le bâtiment abritant le cinéma pour assurer la sécurité des personnes et des biens (annexes 8, 9 et 10). En raison du niveau élevé d'exposition aux différents aléas et de la compréhension de la dynamique côtière, l'ouvrage de protection proposé a été conçu de manière à protéger l'ensemble du secteur. Ainsi, pour bien remplir son rôle, l'ouvrage ne peut être scindé en plusieurs parties. L'intervention sur le littoral vise la protection du cœur admiratif et commercial des Îles, afin de se prémunir contre des aléas difficiles à prévoir et dont les conséquences peuvent être désastreuses, tout en minimisant les impacts sur l'environnement. La figure 1 présente la zone visée par les travaux de protection côtière.



Figure 1. Localisation des travaux

2 Sinistres réels

Le secteur de Cap-aux-Meules est très vulnérable à l'érosion côtière, particulièrement lorsque des conditions de grandes marées sont combinées au passage d'un système météorologique dépressionnaire ou à de forts vents, ce qui génère une onde de tempête, puis de très hauts niveaux d'eau. Durant ces événements, l'attaque par les vagues de tempête (soit du nord-est ou du sud-est) est le processus dominant, ce qui est susceptible de provoquer des reculs préférentiels et des effondrements soudains, difficiles à prévoir et dont les conséquences peuvent être désastreuses pour la sécurité des personnes et des biens, tel que montré à l' Annexe 2 . Selon Roche et al. (2011), ces événements se sont produits à plusieurs reprises les années avant cette étude, notamment le 4 décembre 2007, le 22 décembre 2008, le 2 janvier 2010, le 21 décembre 2010 et le 27 décembre 2010. On peut supposer que ces événements se sont produits avec la même fréquence par la suite, jusqu'à aujourd'hui.

Récemment, il y a eu le passage de la tempête post-tropicale Dorian les 7 et 8 septembre 2019, qui a provoqué des reculs de plus de 7 m derrière le bâtiment du cinéma (380, ch. Principal), lorsque le toit d'une grotte s'est effondré. En effet, étant donné la nature friable du grès qui compose la falaise, le secteur est caractérisé par la présence de grottes souterraines qui se forment et se creusent sous l'action des vagues de tempête. Ces grottes empruntent des zones d'érosion préférentielles dans le roc selon l'orientation des discontinuités. Le risque d'effondrement lié à l'érosion du roc et à l'agrandissement des cavités constitue une menace pour l'intégrité des bâtiments. Il s'avère d'ailleurs difficile d'évaluer la progression des cavités souterraines, puis de prévoir l'occurrence et l'étendue des effondrements, ce qui est pose des enjeux importants pour la sécurité publique. D'ailleurs, une des cavités mesurées par les ingénieurs du MTQ atteint une profondeur d'environ 8,1 m, derrière le bâtiment du cinéma. Cette cavité a d'ailleurs progressé d'environ 3 m lors de la tempête post-tropicale Dorian. C'est l'effondrement du toit de cette grotte qui a provoqué un recul de plus de 7 m. Le fond de cette cavité est maintenant à une distance approximative de 3 m des fondations du bâtiment. Le niveau de risque (ou de danger) lié à l'érosion et à l'effondrement a été considéré comme imminent par les spécialistes du MTQ et du MSP, ce qui nécessite des travaux d'urgence pour sécuriser les lieux.

L'« Annexe 4

Rapport photographique » présente un rapport photographique mettant en évidence l'évolution de la situation depuis les 10 dernières années.

L'« Annexe 5

Revue médiatique » présente des articles produits lors des tempêtes de novembre 2018 et septembre 2019.

3 Sinistres appréhendés

Les falaises de grès rouge de Cap-aux-Meules sont sensibles à l'érosion côtière, générée par l'action des vagues. L'analyse historique du recul de la falaise depuis 1963 souligne que le taux moyen de recul est de l'ordre de 0,31 m/an et que le recul total a été de plus de 34 m par endroits, ce qui correspond à un taux maximal de 0,61 m/an (figure 2). Les reculs annuels maximaux enregistrés s'élèvent à 2,30 m. Par contre, le recul de la côte est plus rapide aux endroits où la formation rocheuse est plus friable, fragilisée par des discontinuités ou des fractures. Ce recul préférentiel forme de grandes échancrures et creuse des grottes par l'action répétée des vagues et des différents agents de météorisation comme les cycles gel/dégel et les infiltrations d'eau.

Les niveaux d'eau atteints et la hauteur des vagues de tempête sont des éléments importants à prendre en compte, puisqu'ils déterminent la hauteur d'attaque par les vagues et le recul préférentiel dans la falaise, facteurs déterminants dans la formation d'échancrures et de grottes, puis de zones en porte-à-faux.

Le niveau de la mer à Cap-aux-Meules atteint une élévation de 1,14 m (NMM) pour une récurrence de un an, de 1,27 m (NMM) pour une récurrence de 2 ans, de 1,48 m (NMM) pour une récurrence de 10 ans, de 1,75 m pour une récurrence de 50 ans puis de 3,33 m avec la remontée de vagues (Roche et al. 2011) (figure 3 et 4). Ces hauteurs d'eau permettent à la mer d'atteindre régulièrement la falaise et de l'exposer au sapement par les vagues. Ces conditions sont favorables à l'érosion préférentielle à la base de la falaise, laissant des blocs rocheux de différentes tailles en porte-à-faux. Ces blocs finissent par se détacher et à s'écrouler soudainement, emportant ce qui est au sommet de la falaise et écrasant ce qui est à la base. L'écroulement rocheux est un aléa qui représente un risque considérable pour la sécurité des citoyens, ainsi qu'un sinistre appréhendé (figure 5 et annexe 3).

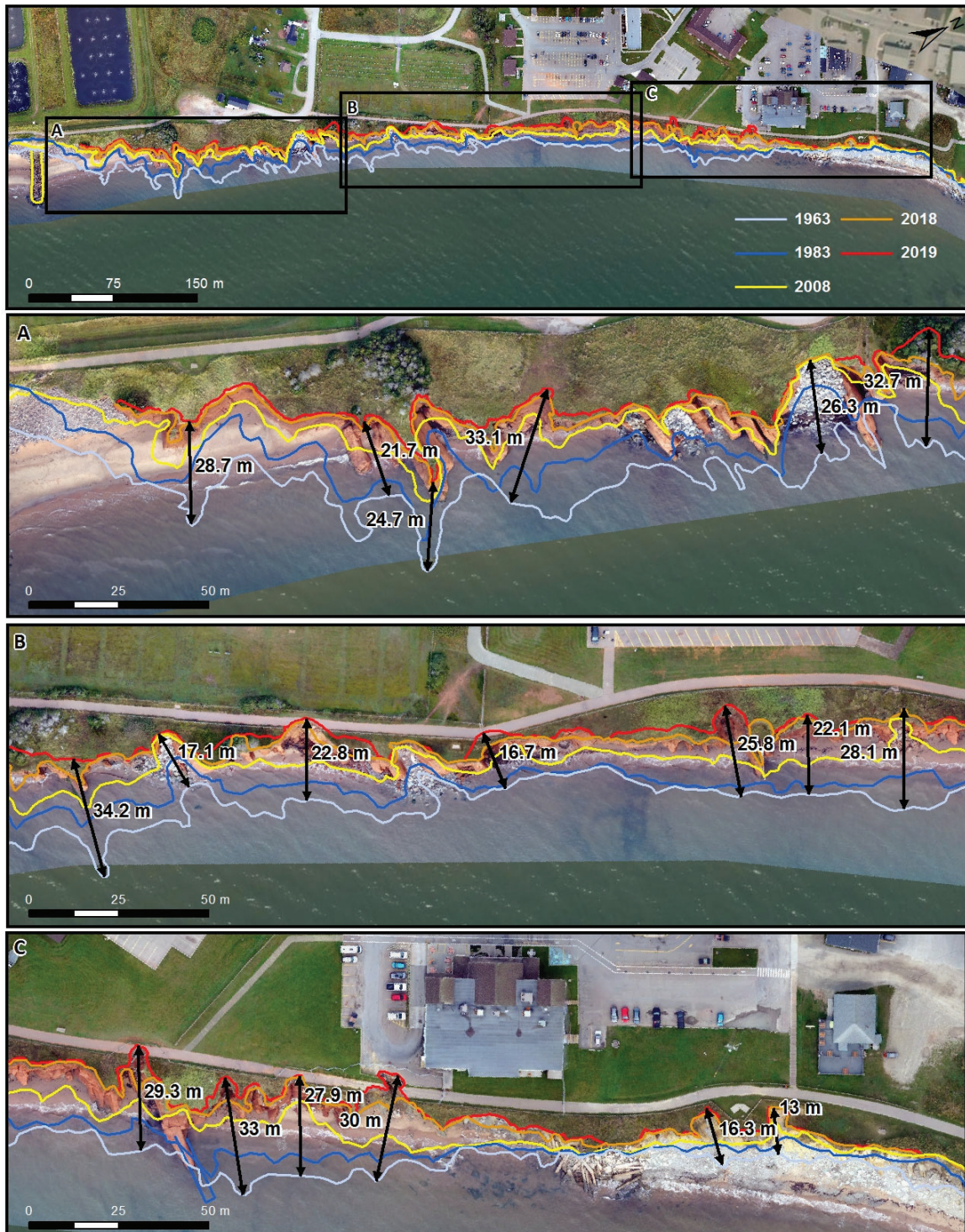


Figure 2. Évolution du trait de côte entre 1963 et 2019 dans le secteur visé par les travaux de protection côtière

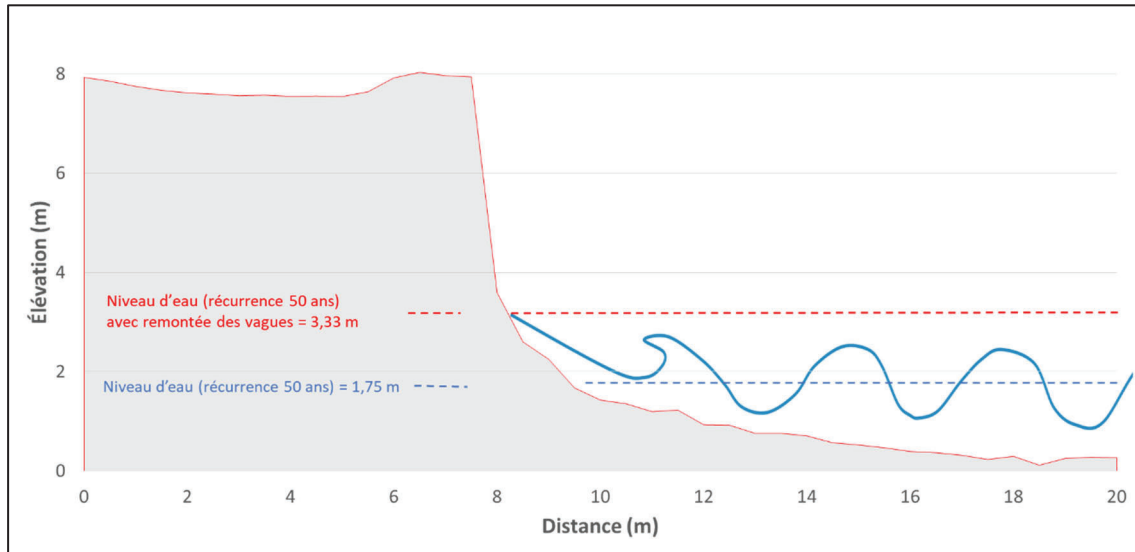


Figure 3. Profil de la falaise avec niveau d'eau de récurrence 50 ans et remontée de vagues



Figure 4. Vue oblique de la falaise devant le bâtiment du 380 chemin Principal (cinéma) avec niveau d'eau de récurrence 50 ans (ligne bleue) et remontée de vagues (ligne rouge)

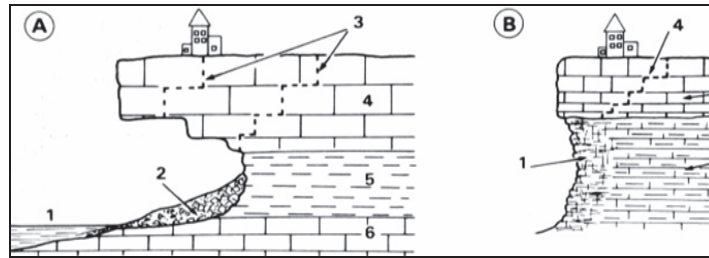


Figure 5. Écroulement rocheux (Source : Bernatchez, 2008)

Lors des événements de tempête, les vagues s'engouffrent dans les grottes avec force et contribuent à l'érosion rapide de celles-ci. Les grottes s'agrandissent dues à l'érosion des vagues, l'abrasion causée par les débris qui tourbillonnent dans les ouvertures à marée haute ainsi que par les différents agents de météorisation, comme le ruissellement de surface et les processus de gel-dégel. Leur agrandissement entraîne l'amincissement du toit de la grotte, qui finit par s'affaisser ou s'effondrer. Les affaissements sont des mouvements lents et progressifs dus au fléchissement des terrains, avec ou sans fractures ouvertes, consécutifs à l'évolution de cavités souterraines. Les effondrements sont des ruptures brutales de voûtes de cavités souterraines, sans atténuation par les terrains de surface. Il peut également se produire un effondrement du plafond des grottes à une bonne distance de la côte, soit plusieurs dizaines de mètres selon Bernatchez, 2008. L'effondrement dans ce secteur est un aléa catastrophique très préoccupant pour la sécurité des personnes et des biens et constitue un sinistre appréhendé (figure 6 et annexe 3).

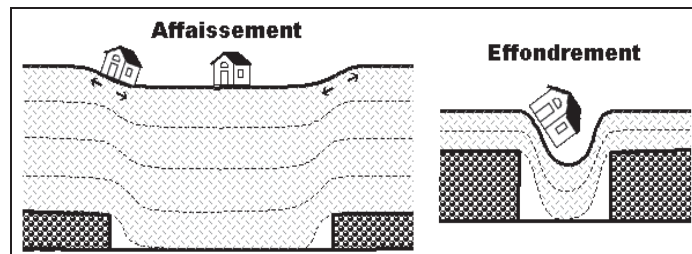


Figure 6. Affaissement et effondrement (Source : Bernatchez 2008)

Avec ses nombreux commerces, restaurants, lieux d'hébergement, services, de même que l'hôpital et l'hôtel de ville, Cap-aux-Meules est le centre névralgique de l'archipel. Ainsi, il importe de protéger ce centre économique, touristique et administratif des Îles-de-la-Madeleine, tout en minimisant les impacts négatifs appréhendés sur ces milieux, notamment au point de vue paysager.

Les impacts appréhendés d'un sinistre sont de deux types. Les premiers englobent les impacts directs associés aux aléas côtiers. Ils comprennent essentiellement l'ensemble des dommages causés aux terrains, aux bâtiments et aux infrastructures par l'érosion, mais aussi sur les impacts sur la sécurité des personnes. Le second type d'impacts

découle principalement des options d'adaptation ou des effets collatéraux des impacts directs. Ces impacts peuvent être de nature économique, environnementale ou sociale.

La non-intervention implique évidemment des pertes de terrain et des dommages aux bâtiments dus à l'érosion. Les structures d'ingénierie, une fois mise en place permettront d'éviter ces dommages. La relocalisation stratégique, quant à elle, est jugée inconcevable à cause de la valeur et de l'ampleur des actifs qui devraient être déplacés. Il s'agit du centre-ville des Îles-de-la-Madeleine.

Si aucune mesure n'est prise, ces facteurs vont assurément causer des dommages aux bâtiments et infrastructures dans le secteur, ainsi qu'un risque réel pour la population.

Les conséquences liées à cette situation sont nombreuses :

1. Associées aux aléas côtiers
2. Associées aux changements climatiques
3. Associées à la sécurité publique
4. De nature économique
5. De nature sociale

3.1 Conséquences associées aux aléas côtiers

Les falaises de grès de Cap-aux-Meules sont avant tout sensibles aux vagues de tempête qui proviennent du nord-est au sud-est. D'ailleurs, la période d'érosion la plus importante (1977-1983), correspond à une période de fortes tempêtes du sud-est (Bernatchez, 2008). Le recul moyen du trait de côte prévu pour 2070 dans les falaises rocheuses est de 34 m, mais il pourrait atteindre jusqu'à 44 m en moyenne dans les zones plus friables où il y a un recul préférentiel, et même jusqu'à 70 m où il y a des grottes profondes (Bossé, 2012 et ministère de la Sécurité publique, 2016). La figure 7 montre l'ampleur des reculs à la suite de l'effondrement du toit des grottes formant des échancrures à différents endroits sur l'archipel.

Ces reculs préférentiels génèrent de grandes échancrures et creusent des grottes par l'action répétée des vagues et des différents agents de météorisation. La période d'érosion la plus importante (1977-1983) est aussi caractérisée par des hivers plus chauds, avec le plus grand nombre de redoux hivernaux et la plus grande quantité de pluies hivernales (Bernatchez, 2008). L'érosion des falaises de grès est fortement influencée par les processus cryogéniques qui regroupent l'ensemble des processus liés au gel-dégel comme la gélifraction, la disjonction et la thermoérosion. L'intensité de ces phénomènes est déterminée par l'exposition des falaises aux rayonnements solaires directs, aux nombres de redoux hivernaux, à la fréquence des pluies hivernales et aux cycles de gel-dégel. Enfin, les pluies diluviennes et les précipitations de pluie hivernale favorisent le déclenchement de chutes de pierres le long des hautes falaises (Bernatchez, 2008).

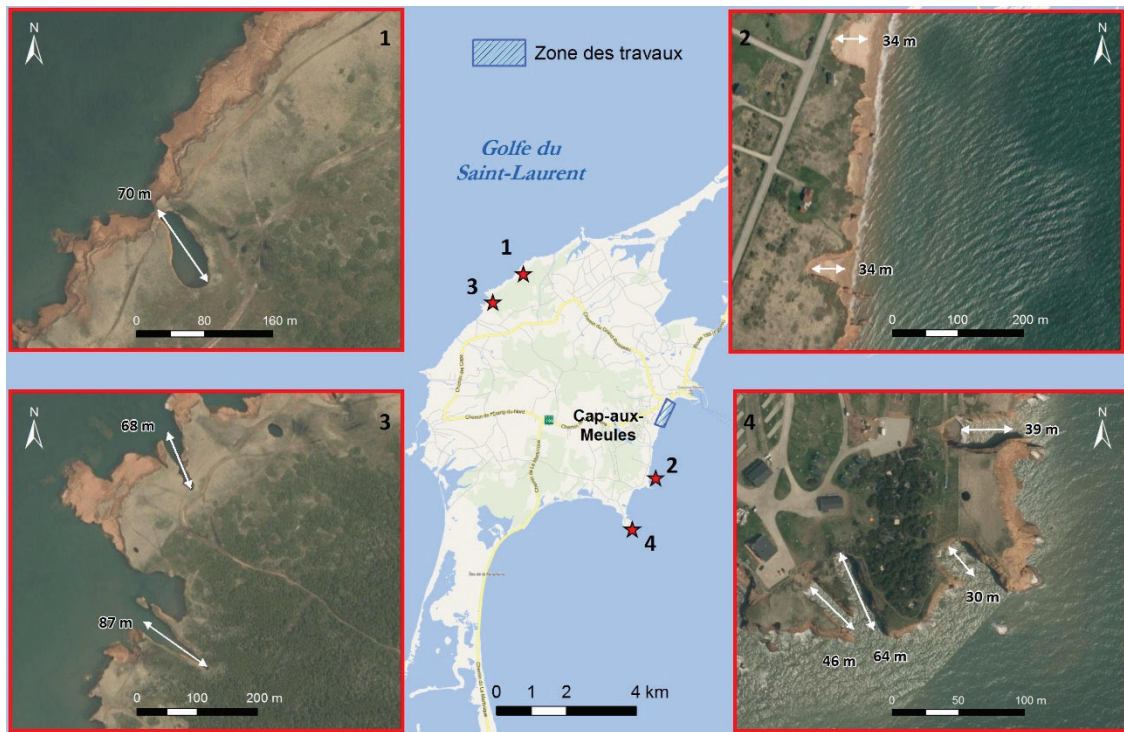


Figure 7. Profondeur des échancrures aux Îles-de-la-Madeleine

À court et moyen termes, les impacts de l'érosion menacent de se traduire par d'éventuels dommages aux bâtiments, aux équipements et aux infrastructures. Pour tenir compte du risque lié aux aléas côtiers dans la zone visée par les travaux, trois marges de recul ont été superposées au cadre bâti pour évaluer leur vulnérabilité à partir du trait de côte de 2019 (post-Dorian) (figure 8) :

Zone rouge : risque à court terme d'effondrement et d'écroulement rocheux dans une marge de 10 m correspondant au recul préférentiel dans les zones de discontinuité plus friable. Cette zone inclut le bâtiment commercial qui comprend le cinéma.

Zone orange : risque à moyen terme dans une marge de 45 m correspondant à la zone rouge + 35 m supplémentaire pour tenir compte du recul maximal projeté pour ce secteur d'ici 2070 en fonction des taux de recul historiques calculés par l'UQAR. Cette zone comprend 6 bâtiments.

Zone jaune : risque à plus long terme dans une marge totale de 70 m correspondant à la profondeur maximale des échancrures dans les falaises de grès aux Îles-de-la-Madeleine. Cette zone comprend 6 bâtiments.



Figure 8. Trois marges de recul dans la zone des travaux

3.2 Conséquences associées aux changements climatiques

Les falaises de Cap-aux-Meules sont particulièrement vulnérables aux épisodes d'ondes de tempête, qui entraînent des reculs considérables de la falaise, tout en augmentant la profondeur des grottes. La combinaison de niveaux d'eau extrêmes et de vagues de tempête décuple leur impact sur l'érosion côtière. Dans un contexte de changements climatiques, la hausse rapide du niveau marin relatif (hausse du niveau moyen des océans et affaissement isostatique des Îles), l'augmentation des épisodes de très hauts niveaux d'eau, l'augmentation de la fréquence des tempêtes et la diminution de la couverture de glace, va continuer à accroître les taux d'érosion des falaises, qui sont déjà rapides. De plus, la hausse des températures moyennes hivernales provoquera une augmentation de la fréquence des redoux hivernaux et des pluies hivernales, ce qui favorisera l'instabilité des falaises rocheuses, sensibles aux processus cryogéniques et hydrogéologiques. Finalement, la réduction de la couverture de neige, qui agit comme un isolant thermique sur les falaises, peut aussi augmenter l'intensité de ces phénomènes. La diminution de la couverture de glace littorale qui permet à la neige de s'accumuler sur le littoral va aussi entraîner une réduction de la capacité de la neige à protéger les falaises des variations importantes de température. Ainsi, l'impact des changements climatiques est donc un facteur aggravant pour l'érosion et pour le risque de sinistre appréhendé.

3.3 Conséquences associées à la sécurité publique

Considérant l'intensité des aléas et les impacts des changements climatiques, les risques de préjudices aux personnes ainsi que les dommages aux bâtiments et aux infrastructures sont de plus en plus importants.

Pour l'ensemble de la superficie qui comprend les trois marges de recul présentées à la figure 8, le risque pour la sécurité des personnes s'avère une préoccupation constante, puisque les écroulements rocheux et les effondrements sont des aléas catastrophiques dont on ne peut prévoir le déclenchement ni l'étendue (figure 7). Ces aléas sont potentiellement mortels.

3.4 Conséquences de nature économique

Le secteur de Cap-aux-Meules est le cœur municipal, administratif et commercial des Îles. Il a été priorisé par la Communauté maritime des Îles-de-la-Madeleine parmi tous les autres secteurs touchés de l'archipel, étant donné l'importance économique de l'endroit. Ces actifs incluent notamment le CISSS de l'archipel, l'hôtel de ville, une route municipale, des immeubles commerciaux et de services ainsi que des immeubles locatifs et résidentiels. La valeur des actifs protégés par l'ouvrage envisagé est estimée à 48 694 600 \$.

Tous les terrains concernés par le projet de protection sont des propriétés publiques ou privées. L'ensemble des bâtiments du secteur sont desservis par les services publics

d'aqueduc et d'égout, dont les infrastructures souterraines sont situées dans l'emprise du chemin Principal.

Le projet de stabilisation de falaise vise la conservation de la valeur des bâtiments, ainsi que le maintien et la consolidation des activités économiques et touristiques du secteur. Il vise également la réduction des impacts économiques associés aux événements d'érosion côtière, d'écroulement rocheux, d'affaissement et d'effondrement. En effet, les délais et les coûts associés à la remise en état des lieux suite aux épisodes de tempête seront grandement réduits par la réalisation de ce projet de protection, ce qui diminue les risques pour la sécurité des personnes et des biens.

Les pertes ou dommages à ces actifs conduisent également à la perte de revenus commerciaux, à des pertes d'emplois et à des pertes d'usage du littoral ou des actifs présents en bord de mer.

Le secteur à protéger comprend également un lien unique pour accéder aux installations de traitement des eaux usées de la municipalité, ainsi qu'à des résidences principales. Une portion du sentier multifonctionnel longeant le littoral a également été détruite par les effondrements survenus lors de la tempête post-tropicale Dorian. Ce sentier est un attrait majeur aux Îles pour les touristes.

De plus, la fragilité du milieu côtier et le caractère insulaire des Îles-de-la-Madeleine, éléments soulignés dans le décret adopté par le gouvernement du Québec, constituent des facteurs qui amplifieraient les conséquences économiques advenant un sinistre impactant directement le cœur économique de l'archipel.

3.5 Conséquences de nature sociale

L'influence des tempêtes sur la qualité de vie des gens vivant dans les zones à risque constitue une problématique bien documentée (voir notamment Brisson et Richardson, 2009). Cependant, il est extrêmement difficile de chiffrer la valeur de cette perte de jouissance en termes économiques. Les travaux de protection côtière dans le secteur de Cap-aux-Meules devraient, par rapport à la non-intervention, améliorer la qualité de vie des résidents en diminuant l'insécurité induite par la perte de territoire en plein cœur du centre-ville des Îles-de-la-Madeleine.

L'insécurité et le stress associés au risque pour la sécurité des personnes et des biens lors des épisodes de tempête sont des phénomènes de plus en plus documentés chez les résidents en zone côtière. Les tempêtes successives qui entraînent la perte de territoire réduisent la qualité de vie des propriétaires fonciers du secteur. Pour les personnes qui résident, travaillent ou fréquentent le secteur de Cap-aux-Meules, les événements de tempêtes s'avèrent des moments de grande insécurité et de stress pouvant affecter leur qualité de vie, comme cela a été documenté sur la Côte-Nord (Séguin-Aubé, 2013). Une amélioration de la protection des berges du cœur de l'archipel aurait pour effets d'accroître le sentiment de sécurité et de bonifier la qualité de vie des résidents.

La dégradation du littoral de Cap-aux-Meules par les épisodes de tempête successifs entraîne une perte de la valeur d'usage accordée au site par les touristes et les résidents,

de même que des variations au niveau des comportements touristiques. Si rien n'est fait pour protéger le littoral, l'érosion entraînera la perte du sentier multifonctionnel emprunté tant par les cyclistes que par les piétons. Cette infrastructure constitue un atout important pour l'industrie touristique de l'archipel compte tenu de sa proximité par rapport au quai de Cap-aux-Meules et aux nombreux commerces et services dans le secteur. La valorisation marginale du sentier multifonctionnel du littoral pour les résidents et les touristes est respectivement de 355 382 \$ et de 209 059 \$ pour un total de 564 442 \$. La valeur d'usage correspond à la valeur accordée par chacun des visiteurs lorsqu'ils se rendent au site pour profiter de l'atmosphère, des commerces et du paysage.

4 Analyse des solutions alternatives

L'annexe 11 est une étude hydraulique et une analyse de solution pour différents secteurs dans la Baie de Plaisance (Roche et al. 2011). Bien que le secteur de Cap-aux-Meules n'a pas été considéré dans l'étude, le secteur de Gros-Cap à proximité présente des caractéristiques géographiques similaires. Les solutions de protection considérées par l'étude pour Gros-Cap sont les suivantes:

- Protection en enrochement
- Consolidation des falaises avec du béton
- Rechargement de plage :
 - Au moyen de sable;
 - Avec butée de pied;
 - Avec des matériaux grossiers (rip-rap);
 - Avec épis
- Construction d'un brise-lames submersible au large
- Déplacement d'infrastructures

L'analyse des différentes variantes a permis de conclure que la protection en enrochement et que le rechargement de plage avec des matériaux grossiers (rip-rap) seraient les meilleures solutions au niveau de l'ingénierie.

L'« Annexe 12 est une Analyse coûts-avantages sur des options d'adaptation dans différents secteurs des Îles-de-la-Madeleine (Ouranos 2016). Pour Cap-aux-Meules, les options suivantes ont été analysées:

- Relocalisation stratégique
- Enrochement
- Rip-rap
- Non-intervention

L'analyse des différentes variantes a permis de conclure que la mise en place d'un rip-rap serait la meilleure solution au niveau d'un point de vue économique.

4.1 Protection en enrochement

Selon Roche et al. (2011), cette option consiste à protéger la côte par un enrochement classique pour protéger la falaise du déferlement des vagues. L'enrochement aurait une

pente de 1,5/1, une carapace de pierres résistantes de gros calibre, une pierre-filtre de plus petit calibre sous la carapace et de tout-venant, ainsi qu'une élévation de la crête à 3,3 m (NMM) déterminée en fonction des hauts niveaux d'eau et de la remontée des vagues (figure 9). Cette option a l'avantage de protéger la berge à long terme (30-50 ans) et de réduire l'empiétement dans la zone littorale. Le désavantage est le coût élevé de l'ouvrage, car il nécessite d'importer de la pierre résistante provenant de l'extérieur des Îles-de-la-Madeleine. L'enrochement présenterait une hauteur de crête plus haute que le rip-rap, ce qui crée un impact visuel plus important sur l'esthétisme des falaises rouges en érosion qui caractérisent les Îles-de-la-Madeline. L'impact potentiel sur le paysage est particulièrement sensible pour le secteur visé par les travaux de protection côtière, situé à proximité du quai de Cap-aux-Meules qui constitue la porte d'entrée de l'archipel.

Un autre désavantage est que les pierres de carapace directement posées sur du roc affleurant sont instables, à cause des efforts provoqués par les vagues et les glaces. Les premières pierres au pied de la pente doivent être solidement ancrées pour assurer la pérennité de la protection en enrochement dans ce genre de configuration. Cet ancrage peut se faire par creusage d'une tranchée dans le roc ou, si les conditions le permettent, par la mise en place d'une butée au pied de l'enrochement. Les deux méthodes ajoutent des coûts relativement importants aux travaux (Roche et al. 2011). De plus, la configuration complexe des falaises avec les pointes et les échancrures rendra les travaux difficiles avec tous les détours lors de la réalisation des travaux, ce qui pourrait aussi augmenter significativement les coûts actuellement prévisibles de cette solution de protection de berge lorsque la côte est linéaire.

Selon Ouranos (2016), le ratio avantages-coûts de la protection en enrochement est de 0,93, soit plus faible que l'option des rip-rap en raison notamment de son coût plus élevé.

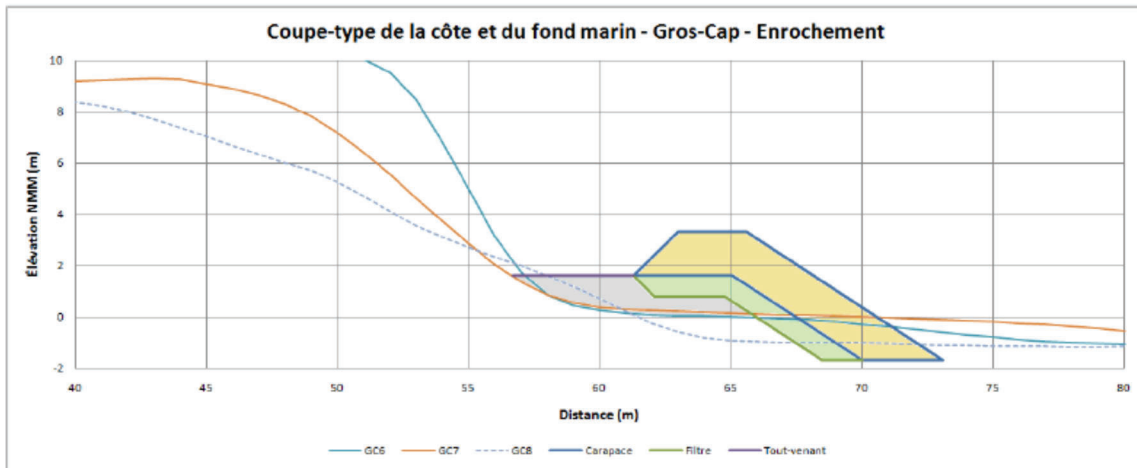


Figure 9. Coupe-type d'une protection en enrochement à Gros-Cap

4.2 Consolidation des falaises avec du béton

La protection du pied des falaises à l'aide de béton atteindrait une élévation supérieure à celle de l'enrochement (3,7 m), étant donné l'étanchéité du béton et le fort coefficient de réflexion des vagues sur une telle protection, ce qui cause une remontée des vagues légèrement plus forte et une érosion en pied du mur plus intense (figure 10) (Roche et al. 2011).

Puisque l'ancrage du mur dans les falaises rocheuses friables n'est pas possible, à cause de la sensibilité trop grande à l'eau et aux cycles de gel/dégel, le mur de béton devrait être auto-stable en simple appui sur la falaise.

Pour ce qui est de la fondation du mur, une excavation serait requise au pied de la falaise pour ancrer convenablement le pied du mur de béton. Une profondeur minimale de 1,2 m a été considérée de façon préliminaire, mais cette profondeur devrait être confirmée par une étude géologique incluant la vitesse à laquelle se détériorerait le roc au pied du mur de béton. Ceci ne constitue pas une solution recommandable, à cause des difficultés de réalisation (dans l'eau et exposé aux tempêtes) et des coûts reliés à ces difficultés (Roche et al. 2011).

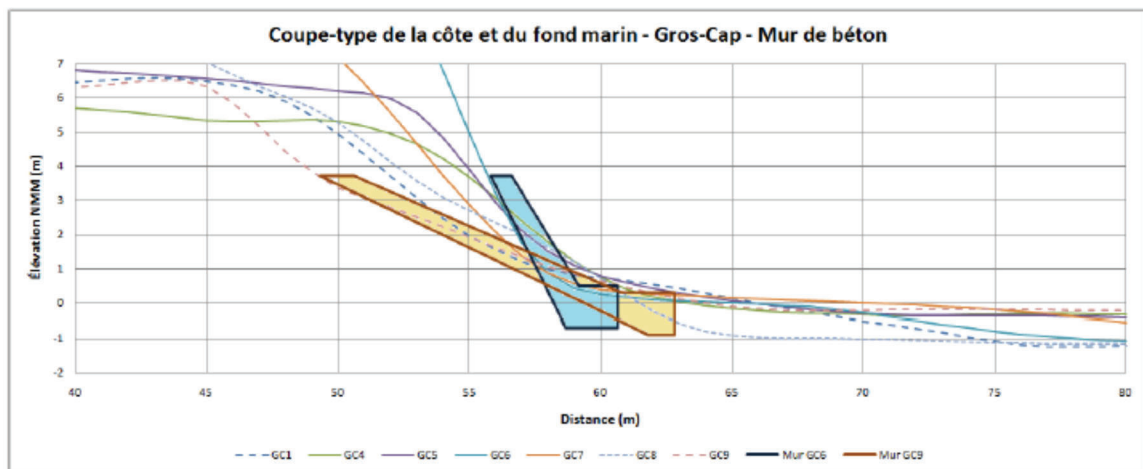


Figure 10. Coupe-type d'une protection en béton armé au pied des falaises de Gros-Cap

4.3 Recharge de plage au moyen de sable

Dans le cas des falaises de Gros-Cap, comme à Cap-aux-Meules, le profil d'une plage en équilibre est loin de celui du fond naturel actuel (figure 11). La distance entre le profil théorique et les profils mesurés peut dépasser plusieurs centaines de mètres par endroit (Roche et al. 2011).

Il faudrait envisager de mettre en place des quantités impressionnantes de matériel granulaire, qui s'étendrait potentiellement à plus de 350 m de la falaise vers le large, ce qui s'avère irréaliste. De plus, avec ces quantités énormes de sable requis, des épis seraient nécessaires aux extrémités de la zone de recharge afin d'éviter une fuite latérale trop rapide des sédiments. Des épis intermédiaires devraient également être érigés. Une fuite du sable vers le large est à craindre dans cette solution. Les recharges récurrentes

après la première recharge seraient probablement moins importantes, mais les quantités resteraient significatives en termes de coûts (Roche et al. 2011).

La hauteur de la crête serait de la recharge serait à 2,2 m (NMM) en fonction des hauts niveaux d'eau et de la remontée des vagues.

La recharge de plage au moyen de sable n'est pas une solution envisageable pour le secteur de Cap-aux-Meules en raison des coûts trop élevés et des ouvrages supplémentaires qu'elle nécessite (butée de pierre au large et épis de part et d'autre). L'avantage serait néanmoins d'avoir un ouvrage avec la hauteur de crête la plus basse.

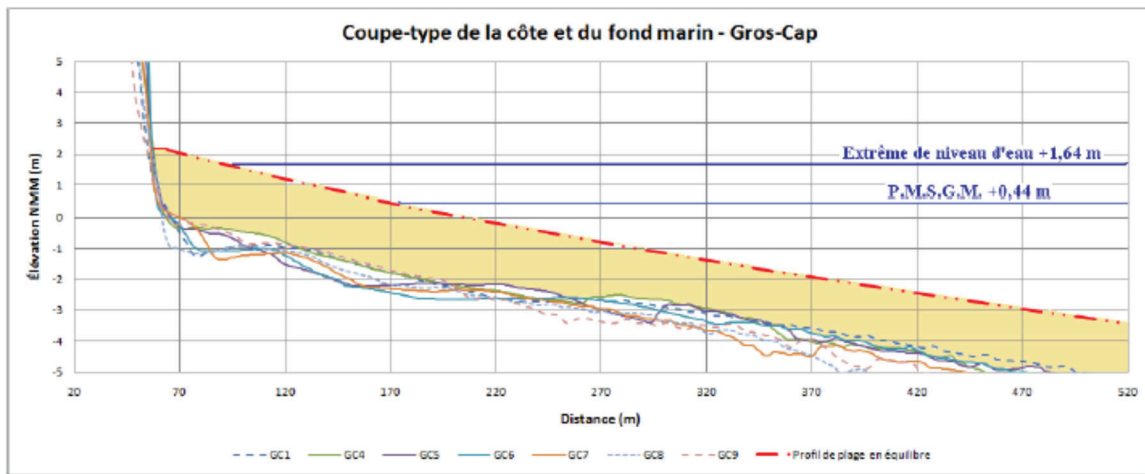


Figure 11. Coupe-typique d'une plage en équilibre à Gros-Cap

4.4 Recharge de plage avec épis

Du rechargement de plage avec épis sans butée de bas de plage ne semble pas être une avenue envisageable, car la pente d'équilibre de la plage ne serait pas respectée et il y aura une fuite de sédiment vers le large (Roche et al. 2011). Pour cette raison, la recharge de plage avec épis n'est pas une solution envisageable pour le secteur de Cap-aux-Meules.

4.5 Recharge de plage avec butée de pied

La seule façon d'envisager un rechargement de plage à certains endroits du secteur de Cap-aux-Meules est de concevoir ce rechargement en combinaison avec une butée de pied pour assurer la stabilité de la plage (Roche et al., 2011). Afin de minimiser les dommages à la butée de pied, il serait important de placer la crête de cette butée le plus bas possible de façon à ce que les vagues et les glaces ne la détruisent pas rapidement. Par contre, plus la butée est disposée profondément, moins cette dernière est efficace pour réduire la hauteur des vagues et les quantités de sable nécessaires pour la construction de la plage suspendue sont importantes. La butée pourrait être constituée de pierre de type « rip-rap » ou de géotubes renforcés (figure 12, 13 et 14). À cela, s'ajouterait une quantité considérable de sable pour la recharge. Strictement pour des questions de coûts, cette solution n'est pas envisageable.

À cause des contraintes mécaniques auxquelles sera soumise cette pierre, il serait nécessaire de s'approvisionner à l'extérieur des Îles-de-la-Madeleine pour obtenir une qualité minimale des matériaux et une durabilité acceptable de l'ouvrage. Les géotubes ne seraient pas assez résistants pour supporter l'action des glaces, sans déchirer.

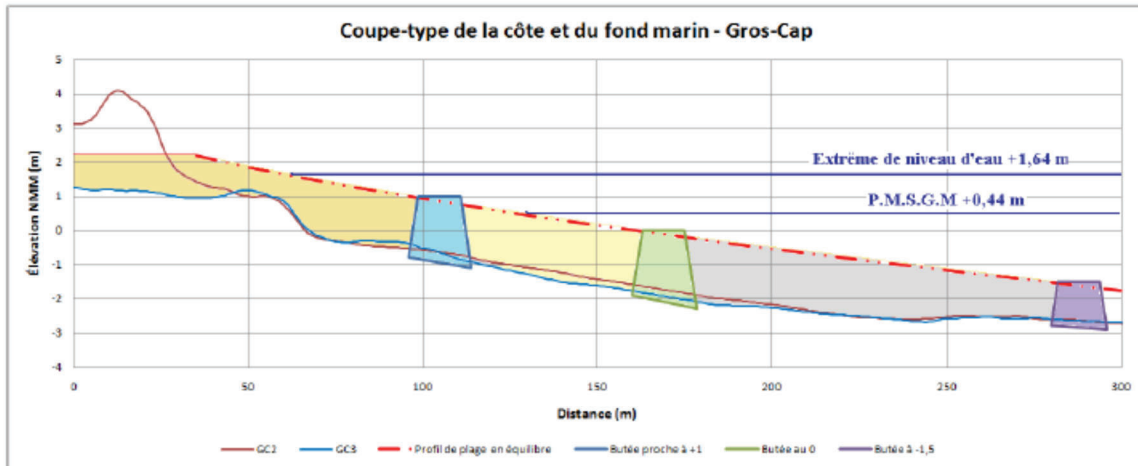


Figure 12. Coupe-type de la localisation des butées à Gros-Cap

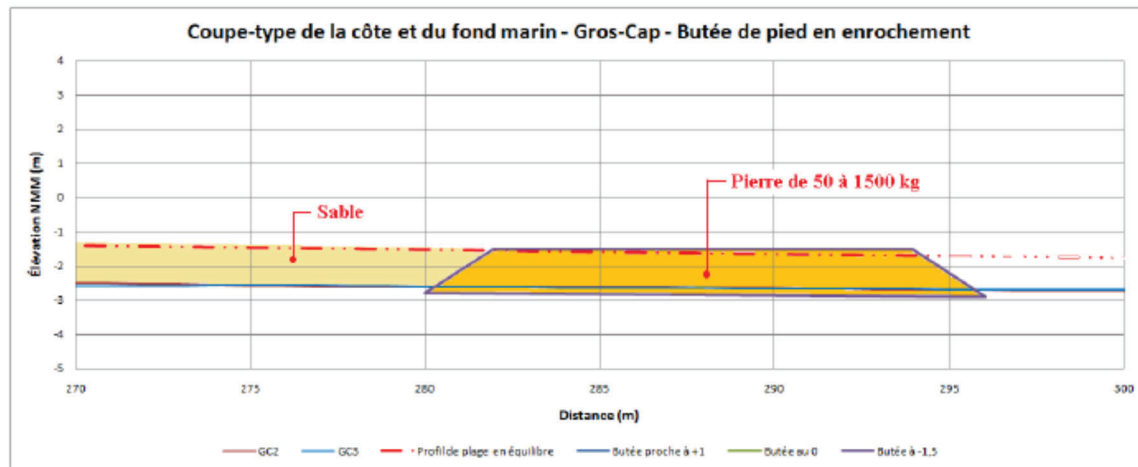


Figure 13. Coupe-type de la butée en rip-rap

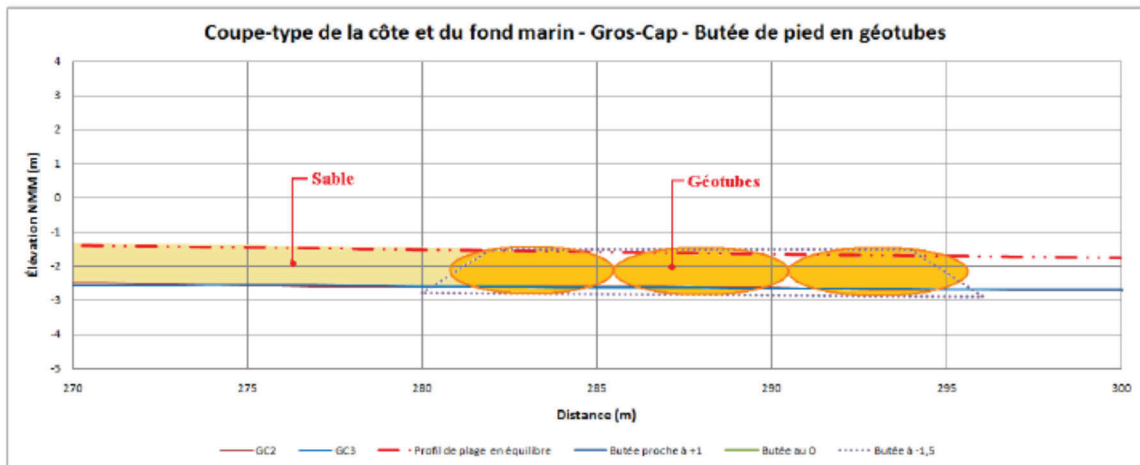


Figure 14. Coupe-type de la butée en géotubes

4.6 Recharge de plage avec matériaux grossiers (rip-rap)

Le terme utilisé ici de « recharge de plage avec des matériaux grossiers » n'est pas le même que celui utilisé pour le secteur de la Grave. Le premier fait référence à un rip-rap (Cap-aux-Meules), alors que le deuxième fait référence à une recharge en gravier (La Grave).

Le rip-rap est constitué de pierres de carrière de différentes grosseurs disposées en vrac sur la côte avec une pente de 20 % (5/1) (figure 15). La pente adoucie, en comparaison avec l'enrochement classique, permet d'absorber et de diffuser l'énergie des vagues avant qu'elle n'atteigne la ligne de rivage. Vu cette pente, la hauteur atteinte par la remontée des vagues sur l'ouvrage est inférieure à celle atteinte en présence d'un enrochement. Par conséquent, un des avantages de cette solution est l'élévation de la crête à 2,4 m (NMM), ce qui diminuerait l'impact visuel sur la falaise rouge en érosion, emblématique du paysage des Îles-de-la-Madeleine.

L'utilisation de pierres provenant d'une carrière située aux Îles-de-la-Madeleine impliquerait une diminution des coûts par rapport à l'importation de matériel. Cependant, cette option rendrait nécessaire d'effectuer des vérifications sur la durabilité de l'ouvrage, car les pierres locales sont particulièrement sensibles à la dégradation dans le temps en raison de leur nature friable.

Selon Ouranos (2011), le ratio avantages-coûts de cette option est de 1,07, soit la valeur la plus élevée parmi les options étudiées. Cette solution serait également la moins coûteuse, advenant l'utilisation de pierres d'une carrière localisée sur l'archipel.

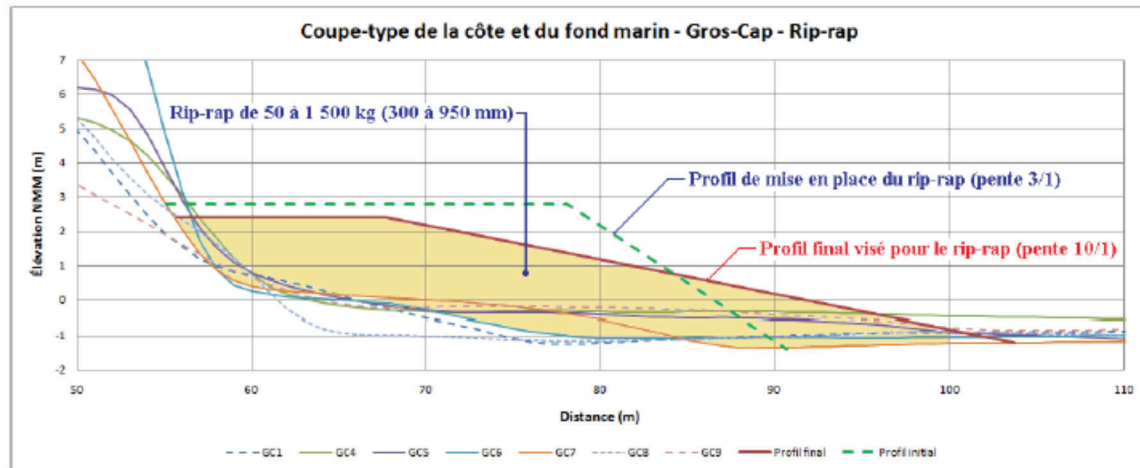


Figure 15. Coupe-type d'un rip-rap à Gros-Cap

4.7 Brise-lames submersible au large

Le brise-lames submersible consiste en un enrochement à environ 200 m du rivage dont la crête se trouve au zéro des cartes marines.

Selon Roche et al., 2011, le brise-lames se retrouverait à environ 2 m sous le niveau de la mer lors des épisodes de tempête, ce qui limite grandement son efficacité. De plus, il devrait être accompagné d'une recharge de plage pour être viable, ce qui augmente considérablement les coûts du projet.

Pour ces raisons, le brise-lames submersible au large n'est pas une solution envisageable pour le secteur de Cap-aux-Meules.

4.8 Relocalisation stratégique

La relocalisation des bâtiments est également une solution possible dans le cas d'érosion côtière. Par contre, le secteur de Cap-aux-Meules est le centre économique et les infrastructures en place sont difficilement déplaçables.

Cette option n'a pas été analysée par Roche et al. (2011).

Selon Ouranos (2016), le ratio avantages-coûts de cette option est de 0,77, soit la plus faible valeur des options analysées.

Pour ces raisons, la relocalisation stratégique n'est pas une solution envisageable pour le secteur de Cap-aux-Meules.

4.9 Non-intervention

L'option de non-intervention constitue le scénario de référence de l'ACA et suppose que la situation actuelle se perpétuera pour les 50 prochaines années. La non-intervention implique donc que la côte s'érodera à un rythme représentatif des observations historiques présentées aux sections précédentes, puis les bâtiments seront déplacés lorsqu'ils seront menacés.

Étant donné que le secteur à protéger constitue le centre-ville des Îles-de-la-Madeleine, cette solution n'est pas envisageable pour le secteur de Cap-aux-Meules.

5 Description sommaire des travaux

Les travaux de stabilisation de la falaise de Cap-aux-Meules se dérouleront en une seule phase de réalisation, c'est-à-dire la mise en place des matériaux sur le site. Ces travaux s'étendent sur 740 m de longueur. Il est important de rappeler que l'intervention dans le secteur doit se faire au complet et que des travaux d'urgence seulement devant le cinéma ne sont pas souhaitables. Les taux de recul s'accroissent en raison de l'augmentation de la fréquence et de la sévérité des tempêtes. Le trait de côte se rapproche de plus en plus du cadre bâti. De plus, les affaissements rocheux induits par l'effondrement des cavités souterraines constituent un aléa difficilement prévisible qui peut entraîner des conséquences majeures sur l'intégrité des bâtiments et la sécurité des personnes.

Afin d'éviter des demandes de décret de soustraction pour des travaux d'urgence à répétition, la démarche actuelle vise plutôt à intervenir sur l'ensemble de la cellule hydro-sédimentaire. Cette stratégie permet de mettre en place un ouvrage de protection pour l'ensemble du secteur, tout en prévoyant des mesures d'atténuation pour l'environnement et en limitant les impacts potentiels liés au cumul de plusieurs phases d'intervention. Un autre avantage de travailler à l'échelle du secteur est de pouvoir raccorder l'ouvrage sur le rip-rap des étangs aérés d'un côté et sur la falaise de calcaire plus résistante de l'autre. Le fait d'arrêter un enrochement dans un tronçon non-protégé risque de provoquer une aggravation sévère de l'érosion à son extrémité, puis provoquer une nouvelle intervention l'année suivante, en urgence, ce que la municipalité souhaite nécessairement éviter.

Il est important de préciser que certaines infrastructures en place sont trop avancées sur la falaise, et devront être ajustées.

L'« Annexe 1 » montre l'étendue de la stabilisation de falaise (vue en plan), ainsi que les coupes-type des ouvrages de protection préparées par Consultants Ropars à l'annexe 2.

Une estimation sommaire préliminaire des coûts des travaux prévoit un montant de 8 000 000 \$ au total.

La réalisation d'une stabilisation de la falaise avec un rip-rap devrait s'avérer moins chère en utilisant de la pierre provenant des Îles-de-la-Madeleine. La hauteur de crête serait plus également basse que d'autres options de protection, limitant ainsi l'impact visuel, mais générant une superficie d'empiètement plus importante. La mise en place de cette solution serait plus facile à ériger et permettrait de combler plus facilement les échancrures.

L'enrochement est aussi une bonne solution, mais les coûts risquent d'être plus importants, la hauteur de la crête plus haute et l'impact visuel plus grand. Par contre, cette option limiterait l'empiètement dans le littoral par rapport au rip-rap. La mise en place pourrait s'avérer plus difficile à cause de la présence des échancrures, d'autant plus si des travaux d'excavation sont nécessaires pour encaisser l'enrochement et ainsi assurer sa stabilité.

6 Consultation de la population

Une première rencontre d'information a eu lieu le 4 février 2020, afin de présenter aux citoyens les enjeux liés à l'érosion des berges, ainsi que les sites et travaux prioritaires. Différents intervenants de la Municipalité, du MTQ, d'Hydro-Québec, du MELCC ainsi que du MSP ont discuté de leur rôle respectif en matière de construction des ouvrages de protection, de financement ou encore d'évaluation des impacts environnementaux.

Une autre assemblée publique est prévue à l'hiver 2021, afin de présenter aux citoyens le concept de stabilisation de falaise.

7 Échéancier des travaux

Voici l'échéancier préliminaire des activités liées au projet de protection de falaise dans le secteur de Cap-aux-Meules :

Activité	août-20	sept-20	oct-20	nov-20	déc-20	janv-21	févr-21	mars-21	avr-21	mai-21	juin-21	juil-21	août-21	sept-21	oct-21	nov-21	déc-21	
Relevés LIDAR (complété)	■																	
Caractérisation écologique (complété)	■	■	■	■	■													
Bathymétrie (complété)	■	■	■	■	■													
Établissement du concept préliminaire						■	■											
Conception des plans et devis								■	■	■	■							
Plans et devis préliminaire								■	■									
Plans et devis finaux										■	■							
Travaux de stabilisation												■	■	■	■	■	■	■
Appel d'offres et sélection												■						
Travaux													■	■	■	■	■	■

Annexes

- Annexe 1** Zone d'intervention projetée
- Annexe 2** Ouvrages considérés
- Annexe 3** Évolution de l'érosion de la falaise
- Annexe 4** Rapport photographique
- Annexe 5** Revue médiatique
- Annexe 6** Entente de financement entre le ministère de la Sécurité publique et la Municipalité des Îles-de-la-Madeleine visant la réalisation de travaux de protection des berges contre l'érosion côtière dans le secteur de Cap-aux-Meules
- Annexe 7** Mandat d'accompagnement de la FQM – Projet de protection du littoral des secteurs de La Grave et de Cap-aux-Meules
- Annexe 8** 2019-08-09_Avis technique MTQ – 355(124)19_380, ch Principal, Cap-aux-Meules
- Annexe 9** 2019-10-30_Avis technique complémentaire – 355(124)19_380, ch Principal, Cap-aux-Meules
- Annexe 10** 2019-10-30_Analyse complémentaire MSP – En érosion 355(124)19_380, ch Principal, Cap-aux-Meules
- Annexe 11** Analyse des solutions en érosion côtière dans la Baie de Plaisance, Îles-de-la-Madeleine
- Annexe 12** Analyse coûts-avantages des options d'adaptation en zone côtière aux Îles-de-la-Madeleine
- Annexe 13** Rencontre d'information publique – Projet de protection, secteur Cap-aux-Meules, Îles-de-la-Madeleine

Références

Bernatchez, P., Fraser, C., Friesinger, S., Jolivet, Y., Dugas, S., Drejza, S. et Morissette, A., 2008. Sensibilité des côtes et vulnérabilité des communautés du golfe du Saint-Laurent aux impacts des changements climatiques. Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières, Université du Québec à Rimouski. Rapport de recherche remis au Consortium OURANOS et au FACC, 256 pages.

Bossé, F., 2012. Avis technique sur les marges de sécurité en érosion côtière pour les Îles-de-la-Madeleine. Service de la géotechnique et de la géologie du ministère des Transports du Québec. Rapport remis au ministère de la Sécurité publique.

Ministère de la Sécurité publique, 2016, CARTOGRAPHIE DES ZONES DE CONTRAINTES RELATIVES À L'ÉROSION CÔTIÈRE ET AUX MOUVEMENTS DE TERRAIN LE LONG DE L'ESTUAIRE ET DU GOLFE DU SAINT-LAURENT AGGLOMÉRATION DES ÎLES-DE-LA-MADELEINE, GUIDE D'UTILISATION DES CARTES DE ZONES DE CONTRAINTES ET DU CADRE NORMATIF VISANT LE CONTRÔLE DE L'UTILISATION DU SOL, Direction de la prévention et de la planification.

Roche, Consultants Ropars inc. et Lasalle, 2011, Analyse des solutions en érosion côtière dans la Baie de Plaisance, Îles-de-la-Madeleine (étude en hydraulique maritime), pour la municipalité des Îles-de-la-Madeleine.



FQM

INGÉNIERIE ET
INFRASTRUCTURES



Les Îles-de-la-Madeleine
Municipalité

Annexe 1

Zone d'intervention projetée



Annexe 2

Ouvrages considérés

Consultants Ropars inc.



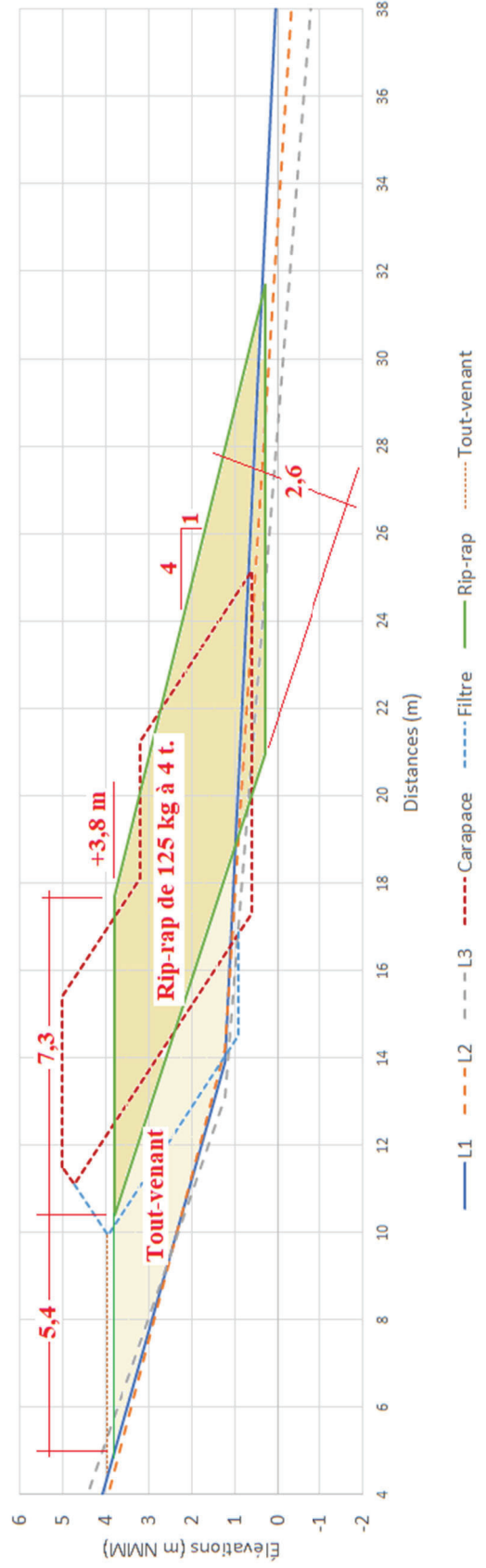
FQM

INGÉNIERIE ET
INFRASTRUCTURES



Les Îles-de-la-Madeleine
Municipalité

Cap-aux-Meules - Protection de bas de falaise en rip-rap



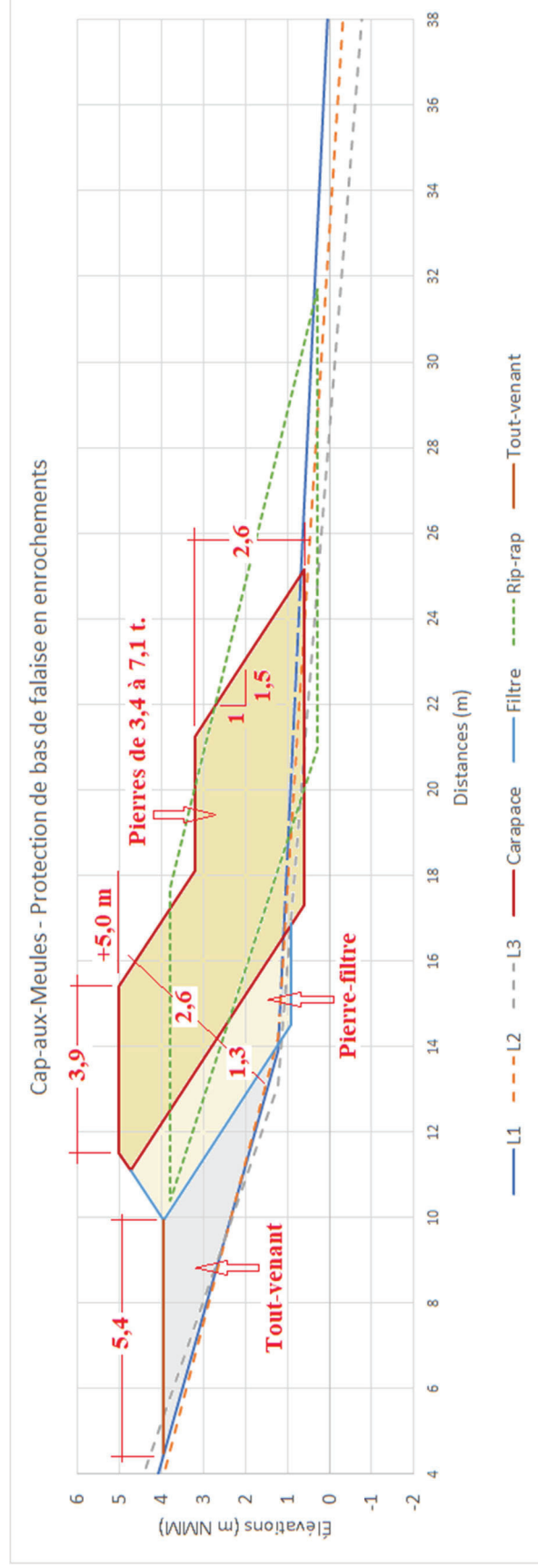


FQM

INGÉNIERIE ET
INFRASTRUCTURES



Les Îles-de-la-Madeleine
Municipalité





FQM

INGÉNIERIE ET
INFRASTRUCTURES



Les Îles-de-la-Madeleine
Municipalité

Annexe 3

Évolution de l'érosion de la falaise



Photo d'ensemble



Photo prise le 29 avril 2005



Photo prise le 24 août 2017



Photo prise le 25 juillet 2019



Photo prise en 2020

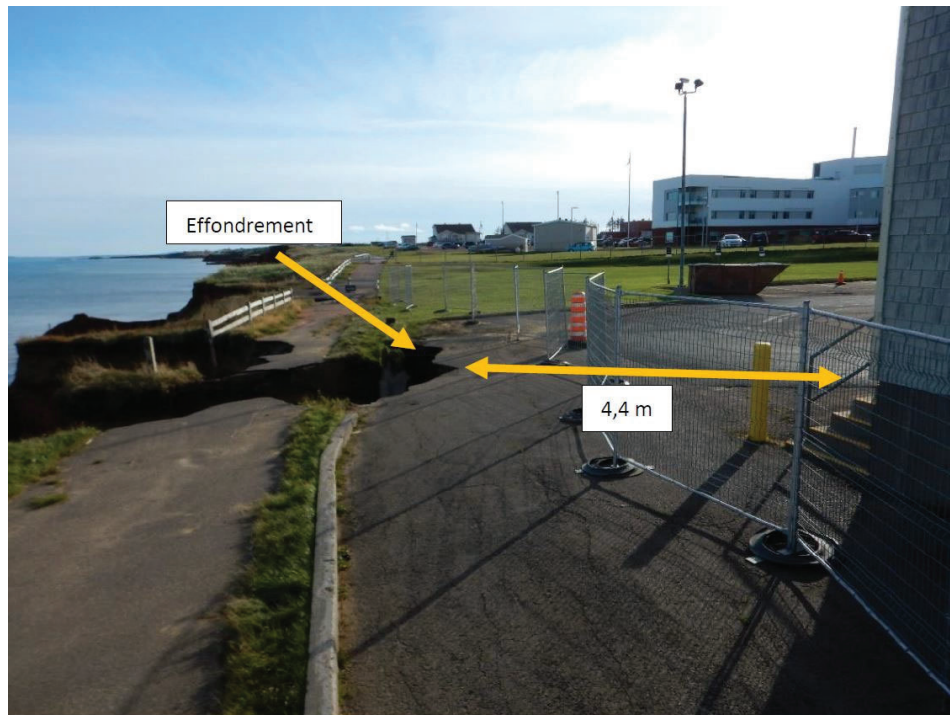


Photo de l'encoche d'érosion par rapport au bâtiment
2020



Évolution côtière entre 1963 et 2019 à l'arrière du commerce à l'étude



FQM

INGÉNIERIE ET
INFRASTRUCTURES



Les Îles-de-la-Madeleine
Municipalité

Annexe 4

Rapport photographique



Photo prise le 5 décembre 2018



Photo prise le 6 décembre 2018



Photo prise le 6 décembre 2018



Photo prise le 6 décembre 2018



Photo prise le 6 décembre 2018



Photo prise le 6 décembre 2018



Photo prise le 5 juin 2018



Photo prise le 5 juin 2018



Photo prise le 5 juin 2018



Photo prise en 2018



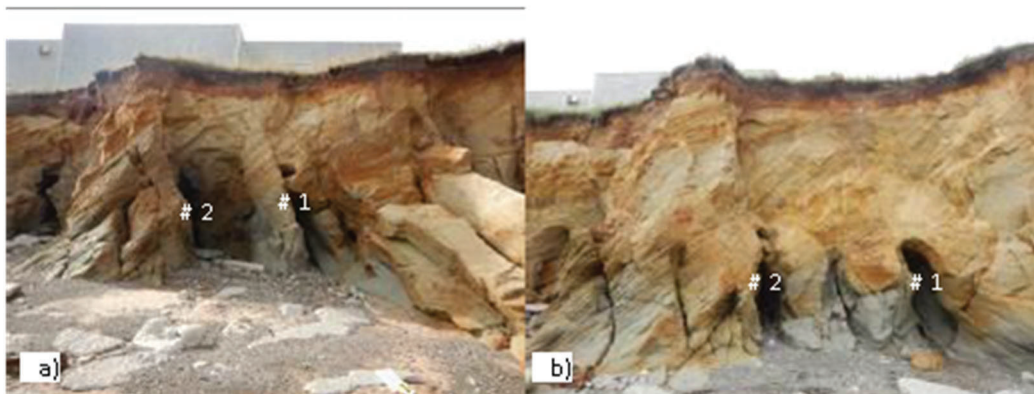
Photo prise en 2018



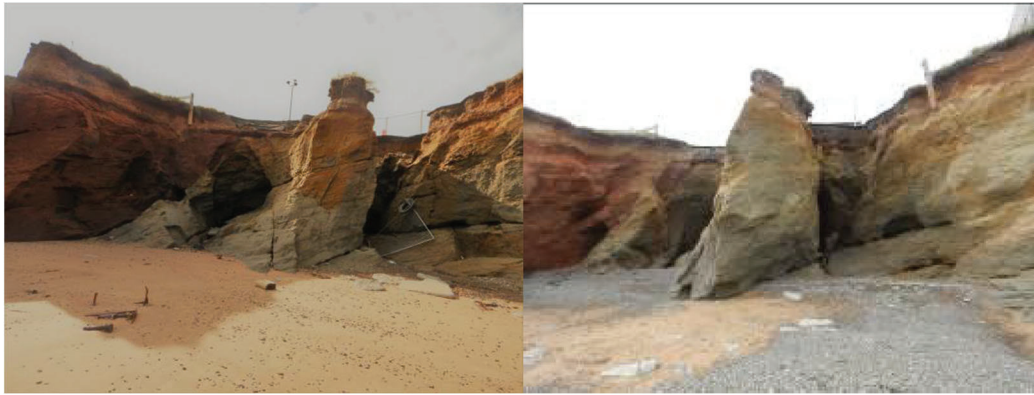
Photo prise en 2019



Photo prise en 2019



Photos prises en 2019



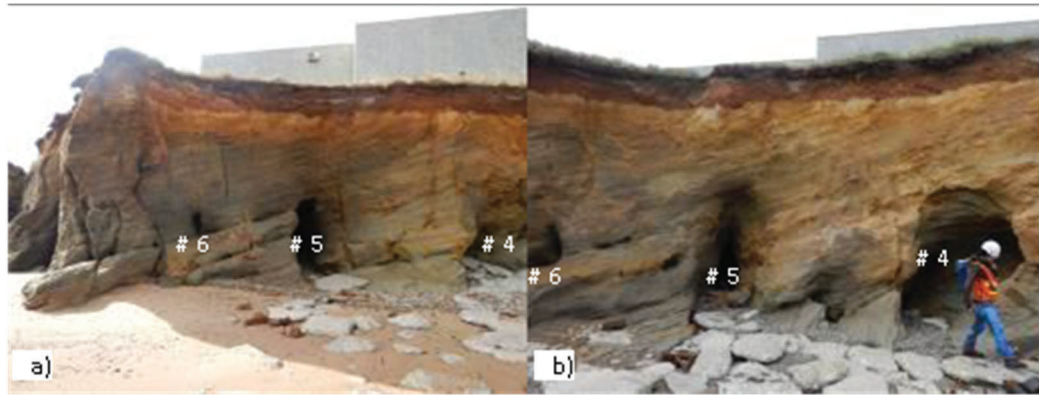
Photos prises en 2019



Photos prises en 2019



Photos prises en 2019



Photos prises en 2019



Photos prises en 2019



FQM

INGÉNIERIE ET
INFRASTRUCTURES



Les Îles-de-la-Madeleine
Municipalité

Annexe 5

Revue médiatique

30 novembre 2018

Les îles-de-la-Madeleine se relèvent de la tempête

Pierre Saint-Arnaud et Morgan Lowrie, La Presse Canadienne

3 décembre 2018

Tempête aux Îles-de-la-Madeleine : L'érosion fait des ravages

Geneviève Gélinas, Le Soleil

8 septembre 2019

Les Îles-de-la-Madeleine se remettent du passage de Dorian

Thomas Dufour, La Presse

8 septembre 2019

Dorian : La nuit a été longue pour les Madelinots

Dereck Doherty et Brigitte Dubé, Radio-Canada

Les Îles-de-la-Madeleine se relèvent de la tempête



Nigel Quinn / La Presse Canadienne

Photo: Nigel Quinn

«Ç’a « shaké » beaucoup; tout le dessous du chalet est parti, tout a arraché en dessous», raconte Jeanne Lebel, de Havre-Aubert, qui a été réveillée à 4h00 du matin, jeudi, par les vents violents qui secouaient les Îles-de-la-Madeleine.

Mme Lebel, qui vit «direct au bord de la mer», a affirmé en entrevue avec La Presse canadienne que les vents de plus de 130 kilomètres à l’heure ont poussé les vagues «à mi-hauteur de mes châssis de cuisine. L’eau n’est pas entrée; mes châssis sont très bons! Mais j’ai eu peur que mes châssis lâchent et que l’eau entre à l’intérieur.»

La sympathique sexagénaire précise qu’elle en a vu d’autres, «mais pas comme celle-là», au point d’avoir sérieusement songé à évacuer les lieux.

«J'ai mon arrière-grand-père qui s'est perdu à la chasse aux phoques. Il est sur le mur de la cuisine et c'est lui qui garde le fort. (...) Je l'ai regardé et j'ai dit: « si tu tombes de là, je sors d'ici ». Mais il est toujours là. Il ne tombe pas!» lance-t-elle sur le ton imperturbable de celle qui ne s'en laisse pas imposer.

Mais les vents violents, qui ont jeté de nombreux poteaux par terre et provoqué d'importantes pannes d'électricité, ont aussi mis au jour la vulnérabilité du réseau de télécommunications en causant une rupture complète des communications entre l'archipel et le reste du monde, à l'exception d'une poignée de liens téléphoniques satellitaires qui ont permis de lancer un appel de secours aux autorités sur le continent.

Aide militaire

L'appel à l'aide a mobilisé de nombreux efforts dès jeudi matin, mais le problème demeurait entier: le traversier était cloué sur place en raison de la mer démontée et l'aéroport était paralysé en l'absence de réseaux de communications.

Fort heureusement, l'un des deux câbles sous-marins qui relient les Îles au reste du monde a pu être remis en service à 22h15 jeudi soir, permettant l'arrivée d'un premier avion avec des équipes d'Hydro-Québec pour participer à l'effort de redressement.

Deux avions des Forces armées canadiennes, mobilisés à la demande du gouvernement du Québec, se sont ensuite rendus sur place en fin d'après-midi vendredi, l'un transportant du personnel d'Hydro-Québec, de Bell Canada, des ministères de la Santé et de la Sécurité publique

et une quinzaine de militaires, l'autre transportant du matériel pour les télécommunications, le réseau électrique, le Centre de santé et d'autres équipements d'urgence tels des génératrices et des téléphones satellites mobiles.

Un autre lien a été ouvert en après-midi avec le départ du traversier en direction de l'Île-du-Prince-Édouard pour y embarquer des camions d'Hydro-Québec requis sur le terrain.

Au pire de la tempête, jusqu'à 4500 des 7700 abonnés d'Hydro-Québec avaient perdu l'électricité dans l'archipel. Vendredi, près de 3000 abonnés étaient toujours privés de courant en fin d'après-midi, surtout dans la partie est des Îles, soit dans les secteurs de Havre-aux-Maisons, Pointe-aux-Loups, Grosse-Île et Grande-Entrée.

«Si la météo est de notre côté, dimanche peut être réaliste» pour un rétablissement de service, a confié le maire des Îles-de-la-Madeleine, Jonathan Lapierre, lorsque rejoint par La Presse canadienne.

Incendie majeur

Ces pannes sont indirectement à l'origine d'un incendie majeur qui a complètement détruit le HLM de Havre-aux-Maisons, jetant à la rue une vingtaine de personnes. L'incendie accidentel a été causé par une cuisinière d'appoint utilisée en raison de l'absence d'électricité. Heureusement, personne n'a été blessé.

«L'incendie semblait au départ être en mesure d'être maîtrisé. Malheureusement, avec la force des vents, il est devenu en perte de contrôle et aujourd'hui c'est une perte totale», a déploré le maire Lapierre.

Le secteur de Havre-aux-Maisons s'est du même coup retrouvé avec des difficultés d'alimentation en eau potable à la suite des dommages causés par l'incendie; la population est invitée à réduire sa consommation d'eau et à faire bouillir celle-ci avant de la consommer.

Communications: une question de vie ou de mort

Jonathan Lapierre s'est dit satisfait de la réponse des services d'urgence locaux, mais il a souligné à quel point cette situation a démontré la nécessité d'installer un lien de communication plus robuste et plus fiable.

«C'est comme si vous vous réveillez un matin et que tout à coup c'est impossible de sortir de la maison, de communiquer avec qui que ce soit à l'extérieur de votre maison et que, peu importe ce qui vous arrive, vous êtes laissé à vous-même», illustre le maire Lapierre. Car, dans une situation où il n'y a ni contact et, surtout, aucune possibilité d'entrer ou sortir de l'archipel, tout devient une question de vie ou de mort.

«C'est impossible d'évacuer des gens pour maladie, pour des traumatismes crâniens, par exemple, ou des accidentés de la route, des arrêts cardiaques. Il n'y a aucun spécialiste ou presque pas de spécialistes aux Îles-de-la-Madeleine, pas de radiologiste présent, pas de contact avec des hôpitaux dans les grands centres urbains pour de l'assistance», a-t-il fait valoir.

«Nous avons été chanceux cette fois-ci parce qu'il n'y a pas eu de grave accident, il n'y a pas eu d'évacuation médicale nécessaire, l'incendie n'a pas fait de blessés, mais ç'aurait pu être différent, d'où l'importance d'avoir des liens de communication qui soient à l'épreuve de pratiquement n'importe quelle avarie.»

À Québec, le député des Îles-de-la-Madeleine, Joël Arseneau, a fait part de son intention de relancer rapidement les discussions sur la mise en place d'un troisième câble sous-marin avec le Réseau intégré de communications électroniques des Îles-de-la-Madeleine (RICEIM), l'organisme sans but lucratif qui regroupe la plupart des grands acteurs de la communauté et qui est propriétaire des deux câbles sous-marins.

«On va faire des appels au ministère de l'Économie pour qu'on trouve les moyens d'agir d'ici l'été prochain. (...) Si on ne le fait pas l'été prochain, ce sera l'été suivant. Je veux être rassuré sur le fait que si on ne procède pas à des opérations dès l'été prochain, qu'on puisse avoir un service fiable jusqu'à l'été 2020», a dit le député péquiste, qui n'a pas manqué de rappeler que le RICEIM avait signalé dès 2016 que ces câbles arriveraient à leur fin de vie utile en 2018 et que rien n'avait été fait pour corriger la situation.

Érosion des berges... et des poteaux

Le maire Lapierre a aussi signalé la nécessité d'inspecter les poteaux qui ne se sont pas brisés, notant que ceux-ci souffrent d'érosion à la base.

«C'est un contexte particulier; lorsqu'un poteau est en bordure d'une route nationale qui elle-même est en bordure de la mer et que, depuis 12 heures, le vent frappe à des pointes de 130, 135, à un moment donné, tout ça vient qu'à céder.»

Léonard Chevrier, un Madelinot de 60 ans qui n'est pas branché au réseau d'Hydro-Québec et qui n'a donc pas subi de panne de courant, abondait dans le même sens lorsque rejoint par téléphone: «À chaque tempête, les poteaux qui ne sont pas brisés sont affaiblis. S'il y a une tempête dans une semaine, il y en a d'autres qui vont casser. C'est tout le système qui prend de l'usure.»

Mais selon ce dernier, c'est la rupture des communications qui représente les pires risques pour les insulaires.

«Beaucoup plus que le manque d'électricité ou de chauffage ou quoi que ce soit, parce que le bassin de population commence à être très âgé aux Îles, donc se déplace moins et sans communications, tu ne peux pas appeler les secours.»

Au lendemain de la tempête, M. Chevrier a pris sa voiture pour jeter un coup d'oeil aux alentours et ce qu'il a vu vient confirmer ses observations des dernières années.

«Sur la grève, c'est habituel depuis deux ou trois ans que la mer passe par-dessus le chemin, mais ça empire d'année en année.»

Il ajoute que la situation est particulièrement inquiétante en ce qui a trait aux magnifiques plages de sable de l'archipel.

«Les dunes de sable aux Îles, le cordon dunaire qui fait tout le tour des Îles, cet automne, il en a mangé une claque comme on dit ici. C'est épouvantable. Il y a des secteurs où ce sont trois, cinq, même dix mètres de perdus à la mer.»



Tempête aux Îles-de-la-Madeleine: l'érosion fait des ravages

GENEVIÈVE GÉLINAS

Le Soleil

GASPÉ — La tempête de la semaine dernière a englouti des dunes de sable et fait reculer des sections de côte de 10 mètres aux Îles-de-la-Madeleine. Le littoral se retrouve sans protection à plusieurs endroits en ce début d'hiver. Les Madelinots demandent un fonds d'urgence pour protéger leurs côtes contre l'érosion.

Les pannes de télécommunications et d'électricité ont éclipsé les dégâts causés au littoral par la tempête du 28 et 29 novembre, alors que des vents de 130 km/h, et des vagues en conséquence, ont balayé les Îles pendant 15 heures. Le calme revenu, certaines portions de côtes sont méconnaissables.

«Ça fait 29 ans que je suis assis ici et 15 ans que j'observe, que je prends des photos. Ces taux de recul en une seule tempête, je n'ai pas vu ça avant», dit le directeur de l'aménagement du territoire et de l'urbanisme à la municipalité des Îles-de-la-Madeleine, Serge Bourgeois.

La tempête a été plus forte et plus longue que d'habitude, et faisait suite à d'autres épisodes intenses. «J'ai 53 ans et je n'ai jamais vu autant de vent que cet automne», dit le directeur.

Des dunes de cinq mètres de haut ont été rayées de la carte. «À certains endroits, on ne voyait pas la mer et maintenant, on la voit», constate M. Bourgeois.

Des dunes fragiles

L'arrivée de l'hiver l'inquiète, puisque les dunes protègent les côtes. «D'habitude, les dunes s'engraissent pendant l'été et elles sont prêtes pour l'hiver. Là, on est juste début décembre et la dune a disparu.»

Le directeur croise les doigts pour que les glaces se forment tôt, puisqu'elles sont «le meilleur rempart» contre l'érosion. Mais le couvert de glace tend à disparaître lui aussi. «Si on passe l'hiver "tout nus", la côte va être beaucoup modifiée au printemps», prévoit M. Bourgeois.

«Le milieu naturel va se reformer, mais le problème, c'est quand il y a des infrastructures derrière», remarque M. Bourgeois. La route 199 entre Pointe-aux-Loups et Grande-Entrée, tout comme la section qui mène à Havre-Aubert, sont fragilisées.

«On récupère le sable qu'on a dragué dans les ports, on le dépose dans les dunes et au bord de l'eau. C'est ça que le ministère des Transports est en train de faire», décrit M. Bourgeois.

Quant à la municipalité des Îles, elle a donné priorité au secteur de La Grave, sur l'île du Havre-Aubert, où 690 mètres de côte seront rechargés en gravier, au coût de 5 millions \$.

Dans son budget 2017, le gouvernement Couillard a annoncé un total de 45 millions \$ sur cinq ans pour aider les municipalités à prévenir les risques liés à l'érosion. Une somme nettement insuffisante, estime M. Bourgeois. L'archipel à lui seul aurait besoin au moins de ce montant.

Le député péquiste des Îles-de-la-Madeleine, Joël Arseneau, et le maire de l'archipel, Jonathan Lapierre, ont demandé un fonds d'urgence pour contrer l'érosion.

M. Bourgeois observe ce que les spécialistes du réchauffement climatique annoncent depuis 15 ans : la hausse du niveau de la mer, l'augmentation de la violence des tempêtes et la disparition du couvert de glace.

«Il faudra revoir les fonds et l'approche. En ce moment, on réagit aux urgences. On ne se donne pas le temps de réfléchir», croit-il.

Les astres sont alignés pour que les choses changent, estime M. Bourgeois. La population est plus que jamais sensible aux changements climatiques. Les dégâts aux Îles, illustrés

avec des photos avant et après, font réagir. «On n'aurait pas souhaité la tempête, mais elle tombe pile», lance le directeur.

+

FRAGILE RETOUR À LA NORMALE

L'électricité et les communications ont beau avoir été rétablies, il reste du travail à faire pour solidifier ces services aux Îles-de-la-Madeleine. Un seul des deux câbles sous-marins de fibre optique dessert l'archipel; l'autre a été sectionné. Télébec, la filiale de Bell Canada qui dessert les Îles, a installé une station satellite sur l'archipel pour prendre la relève si jamais le second câble lâche.

Le maire des Îles, Jonathan Lapierre, demande à Télébec d'augmenter la capacité de ce système pour que les Madelinots puissent «fonctionner normalement» en cas de bris du câble : «On ne veut pas être pris pour choisir entre les besoins médicaux, les transactions financières ou la tour de contrôle de l'aéroport.»

M. Lapierre demande à Québec de réparer les câbles sous-marins le plus tôt possible, puis de vite financer leur remplacement. Il exige aussi un troisième câble, par sécurité, qui pourrait être installé quand Hydro-Québec déploiera son lien électrique, d'ici 2025.

Tous les Madelinots ont à nouveau du courant, la plupart depuis samedi. Une ligne de distribution est à risque à Pointe-aux-Loups, où l'érosion a fragilisé des poteaux. Toutefois, la société d'État a mis cette portion hors tension et alimente le secteur en électricité avec une autre ligne située en terrain sûr.

Les Îles-de-la-Madeleine se remettent du passage de *Dorian*



PHOTO MERRIELLE OUELLET, COLLABORATION SPÉCIALE

De forts vents et des rafales à 90 km/h balayaient encore les îles dimanche matin. Près de 4000 personnes étaient toujours privées d'électricité.

Bateaux endommagés, quais détruits, arbres déracinés, routes inondées et pannes d'électricité : les Îles-de-la-Madeleine se remettent aujourd'hui du passage de *Dorian*.

Publié le 08 septembre 2019 à 7h08 Mis à jour à 13h13



THOMAS DUFOUR
LA PRESSE

MERRIELLE OUELLET, COLLABORATION SPÉCIALE

De forts vents et des rafales à 90 km/h balayaient encore les îles dimanche matin. Près de 4000 personnes étaient toujours privées d'électricité.

Le maire Lapierre dit être en contact avec la ministre de la Sécurité publique, Geneviève Guilbeault, ainsi que la ministre du Tourisme et ministre responsable de la région, Caroline Proulx.

«En déclarant les mesures d'urgence, ça facilite l'obtention d'aides gouvernementales», a-t-il indiqué.

La Sûreté du Québec et le service incendie ne déplorent aucun blessé.



PHOTO MERRIELLE OUELLET, COLLABORATION SPÉCIALE

Un navire en provenance de Cheticamp, en Nouvelle-Écosse, a cependant passé la nuit au large du quai de Havre-Aubert, incapable d'y accoster hier soir en raison des vents violents. Ce n'est que dimanche matin que l'équipage a réussi à rentrer à bon port. Ses membres ont été conduits dans un hôtel de l'archipel.

Le nombre de clients victimes de pannes a beaucoup varié depuis hier. «C'est vraiment une situation qui évolue d'heure en heure. Au milieu de la nuit, on a monté à 3600 clients. On a même monté à 7000 clients en panne ce matin, donc presque la totalité des îles», explique Jonathan Côté, porte-parole d'Hydro-Québec.



PHOTO MERRIELLE OUELLET, COLLABORATION SPÉCIALE

Les 35 employés d'Hydro-Québec dépêchés sur place passeront la journée à rétablir l'électricité sur le réseau. «À certains endroits, on ne peut pas intervenir tout de suite à cause des vents», indique M. Côté. Il croit tout de même que le courant sera rétabli sur toutes les îles d'ici la fin de la journée.

D'importants dégâts

La marina de Havre Aubert, aux Îles-de-la-Madeleine, a été fortement touchée par la tempête. «Le quai central a lâché et il est parti avec 15 bateaux qui ont dérivé. Le quai est allé s'échouer sur les roches, expose Etienne David-Bellemare. Ça fait 6 ans que je suis aux Îles et je n'ai jamais vu ça».



PHOTO MERRIELLE OUELLET, COLLABORATION SPÉCIALE

La montée du niveau de l'eau est venue éroder les berges à Havre Aubert, selon le madelinot. Le site historique de La Grave a aussi été endommagé. Des bateaux de démonstration ont été renversés. « Il y a des roches partout sur la route, des débris de toutes sortes », indique M. David-Bellemare.

La tempête a aussi touché Havre aux Basques. « Il y a des arbres tombés sur le chemin, on a vu une petite cabane tombée dans un marais, des clôtures arrachées », dit Romane Lemay, infirmière à l'hôpital de Cap-aux-Meules.



PHOTO MERRIELLE OUELLET, COLLABORATION SPÉCIALE

Le chalet où elle vit à Havre Aubert n'est plus accessible en véhicule puisque la route est fermée. «Le chemin qui mène vers chez nous est inondé, il faut passer par la plage, affirmet-elle. La plage a été mangée par la mer et des dunes se sont effondrées».

Dorian : la nuit a été longue pour les Madelinots

La piste cyclable à Cap-aux-Meules a été rongée par la tempête.

PHOTO : RADIO-CANADA / MARTIN TOULGOAT

Dereck Doherty

Brigitte Dubé

Publié le 8 septembre 2019

Dur lendemain de tempête aux Îles-de-la-Madeleine, alors que Dorian a causé plusieurs dommages, des milliers de pannes d'électricité et entraîné la fermeture de certaines routes.

En plein cœur de la tempête samedi soir, le niveau élevé de l'eau a fait craindre le pire au quai de Cap-aux-Meules. Il s'en est fallu de peu pour que les bateaux ne soient projetés sur le quai.

Des pointes de vents jusqu'à 120 km/h ont été enregistrées au cours de la nuit, selon Environnement Canada.



L'administration portuaire a poussé une barge durant la nuit pour coincer les bateaux de pêche après que les quais flottants sur lesquels ils étaient amarrés se soient détachés.

PHOTO : RADIO-CANADA / MARTIN TOULGOAT

Des pêcheurs ont même dû utiliser une barge, durant la nuit, pour coincer leurs bateaux dans le havre après que leurs quais flottants se soient détachés.

Toute la soirée, les bateaux au bout du quai ont été clutchés tous de l'avant... les fesses du bateau étaient vraiment au-dessus du quai. Les bateaux ont été clutchés toute la nuit pour rester dans l'eau et j'en ai même vu un qui s'est assis.

Kevin Aucoin, pêcheur de homard



Des bateaux ont été endommagés en raison des vents et des vagues.

PHOTO : RADIO-CANADA / MARTIN TOULGOAT

Marie-Josée Dubreuil, résidente de Cap-aux-Meules, raconte que samedi, le ton des conversations se faisait léger. Mais au fur et à mesure que la tempête s'approchait, les Madelinots prenaient conscience de l'ampleur de la tempête.

Elle-même a trouvé refuge dans l'auberge de l'un de ses amis.

Il y a des bouts de toits qui sont partis, donc ça coule. Ça pleut ici. Des bouts d'escaliers sont partis aussi, arrachés. Des bouts de murs extérieurs, des bateaux qui sont renversés. C'est catastrophique. C'est très peinant, c'est triste.

Marie-Josée Dubreuil, résidente de Cap-aux-Meules



Les Îles-de-la-Madeleine sont dans la ligne de mire de Dorian.

PHOTO : RADIO-CANADA / MARTIN TOULGOAT

Joseph Poirier, qui habite à Havre-aux-Maisons depuis deux ans, a passé plusieurs étés aux Îles-de-la-Madeleine, ayant marié une Madelinienne. Sa résidence est à une quarantaine de mètres de l'eau. Il soutient que c'est la tempête la plus forte qu'il a vue jusqu'à maintenant.

« On n'a pas beaucoup dormi, il a venté beaucoup. Il y avait un peu d'infiltrations d'eau par les fenêtres, donc il fallait surveiller. On s'en tire bien quand même, on n'a pas trop de dommages. Je suis allé voir sur le bord de l'eau puis les passerelles sont brisées. Y'a vraiment eu une grosse tempête », estime-t-il.



L'étendue des dommages aux Îles-de-la-Madeleine se précise dimanche matin.

PHOTO : RADIO-CANADA / BRUNO LELIÈVRE

Les autorités ont dû fermer certaines routes, le temps de ramasser les débris. Mais fort heureusement, on ne rapporte aucun blessé.

« Heureusement, de ce côté-là, on s'en sort quand même bien », a soutenu le maire Jonathan Lapierre, estimant avoir « évité le pire ».

« Ça a brassé », a toutefois admis le premier magistrat. « C'était une très bonne tempête. » Selon lui, la situation est exceptionnelle en raison des vents soutenus qui ont duré « plusieurs heures ».



Des chalets ont été poussés par la force du vent aux Îles-de-la-Madeleine.

PHOTO : RADIO-CANADA / FACEBOOK/ALFRED.ARSENEAU

Toutefois, selon l'élu, l'heure des décisions approche pour les Madelinots face aux phénomènes météorologiques qui ont des impacts importants sur les Îles.

« Il y a un questionnement à venir —et à court terme— avec la population des Îles. Il faudra faire des choix stratégiques en regard des changements climatiques et de l'érosion des berges. On ne peut pas toujours lutter contre les événements météorologiques tels qu'on vient de le connaître », a affirmé le maire.

Selon lui, il faudra intervenir à des endroits stratégiques « qui représentent les meilleures chances de protection ». Mais il admet que les Madelinots devront probablement « adopter une position de recul ou de retrait » dans certains secteurs.

Ampleur des dégâts

Les dégâts constatés jusqu'à maintenant prennent la forme de toitures de maisons arrachées et d'arbres déracinés, selon le maire. « Il y a beaucoup de dégâts à l'intérieur des ports de pêche, des marinas », où des bateaux se sont vraisemblablement frappés les uns contre les autres en raison des vagues et du vent.

À plusieurs endroits, des portions de falaises ont été arrachées par les eaux, a raconté M. Lapierre, qui ajoute que certaines infrastructures récréotouristiques ont « complètement disparu ». Plusieurs chalets ont d'ailleurs été lourdement endommagés par les vents et les vagues dans le secteur de la Martinique, au sud-ouest de Cap-aux-Meules.



Une résidence a été endommagée par le passage de Dorian aux Îles-de-la-Madeleine.

PHOTO : RADIO-CANADA / BRUNO LELIÈVRE

Jonathan Lapierre a indiqué que le secteur de la Grave, du côté de Havre-Aubert, a été en bonne partie inondé dès samedi. « Les installations du quai de la marina ont été endommagées. Même chose pour le secteur de Cap-aux-Meules. »

Selon M. Lapierre, les systèmes de communication ont cela dit tenu le coup. « Il n'y a aucun rapport d'incident avec les câbles optiques ni avec le système de télécommunications dans l'archipel », a-t-il dit.

Encore une fois, l'érosion menace l'intégrité du territoire

Par ailleurs, la Municipalité demande à Québec une aide rapide pour indemniser les sinistrés et sécuriser les endroits encore une fois menacés par l'érosion.



La Municipalité des Îles-de-la-Madeleine a avisé les citoyens qu'elle a déclenché son plan des mesures d'urgence, dimanche matin.

PHOTO : RADIO-CANADA / MARTIN TOULGOAT

Cette autre tempête vient encore une fois amplifier l'érosion des côtes de l'archipel, ce qui continue de menacer des infrastructures et plusieurs bâtiments en plein cœur de Cap-aux-Meules.

Nous faisons face à un archipel fortement érodé, qui s'est érodé en l'espace de 24, 36 heures à vitesse grand V, de là l'importance d'obtenir un décret ministériel.

Jonathan Lapierre, maire des Îles-de-la-Madeleine

Serge Bourgeois, directeur de l'aménagement du territoire et de l'urbanisme aux Îles-de-la-Madeleine, soutient que, contrairement aux autres tempêtes, Dorian a soufflé des vents dans toutes les directions, ce qui a aggravé les dommages.

Il remarque qu'encore plusieurs dizaines de mètres de dunes sont disparus. Une partie de la falaise de Cap-aux-Meules s'est affaissée.

« Moi, ce qui m'inquiète le plus au niveau du littoral, c'est qu'une tempête de cette envergure-là au début septembre, c'est très très rare », dit-il. « Le milieu naturel, quand on lui donne une chance, il peut dans plusieurs cas se refaire. Ça vient se reconstituer dans les périodes les plus tranquilles. Mais là, avec la tempête de novembre passé, les tempêtes ont été tellement importantes que plusieurs secteurs n'ont pas eu le temps de se refaire une santé, si on peut dire. »

Le secteur de la Pointe-aux-Loups serait particulièrement vulnérable, selon M. Bourgeois.



La toiture de l'ancien aréna de Cap-aux-Meules a été endommagée.

PHOTO : RADIO-CANADA / MARTIN TOULGOAT

Mesures d'urgence

Le maire estime toutefois que la Municipalité était bien préparée face à l'arrivée de Dorian. « Le mode prévention qui a été adopté par les instances municipales depuis 48 heures était la bonne voie à suivre », selon lui. « Vaut mieux prévenir que guérir », a-t-il dit, mentionnant qu'il ne voulait pas banaliser la situation.

Avoir été proactif dès le tout début, dès les premières prévisions, nous a grandement aidés.

Jonathan Lapierre, maire de la Municipalité des Îles-de-la-Madeleine

La Municipalité des Îles-de-la-Madeleine a avisé les citoyens qu'elle a déclenché son plan de mesures d'urgence, dimanche matin.

Les autorités ont demandé aux résidents d'éviter de circuler sur les routes et de rester chez eux, puisque le réseau routier « n'est pas praticable » à certains endroits en raison, notamment, de débris. Plusieurs tronçons de la route 199 sont d'ailleurs fermés.



Les forts vents ont causé des dommages aux Îles-de-la-Madeleine.

PHOTO : RADIO-CANADA / BRUNO LELIÈVRE

« La Municipalité des Îles continue de suivre l'évolution des conditions de tempête. Tous les services municipaux sont mobilisés et répondent aux urgences », indique la Municipalité sur Facebook.

Avec les informations de Bruno Lelièvre et de Martin Toulgoat

Annexe 6

Entente de financement entre le ministère de la Sécurité publique et la Municipalité des Îles-de-la-Madeleine visant la réalisation de travaux de protection des berges contre l'érosion côtière dans le secteur de Cap-aux-Meules

Ministère de la Sécurité publique, 26 mars 2020

CPS 19-20-13

CPS 19-20-13

**ENTENTE DE FINANCEMENT
VISANT LA RÉALISATION DE TRAVAUX
DE PROTECTION DES BERGES CONTRE
L'ÉROSION CÔTIÈRE DANS LE SECTEUR DE LA FALAISE
DE CAP-AUX-MEULES AUX ÎLES-DE-LA-MADELEINE**

ENTRE

LA MUNICIPALITÉ DES ÎLES-DE-LA-MADELEINE, personne morale de droit public légalement constituée, ayant son centre administratif au 460, chemin Principal, Cap-aux-Meules (Québec) G4T 1A1, représentée aux présentes par le maire, monsieur Jonathan Lapiere et le directeur général, monsieur Serge Rochon, dûment autorisés par la résolution CM2001-0011 à signer la présente entente,

(ci-après appelée la « Municipalité »)

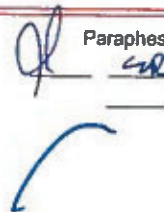
ET

LA MINISTRE DE LA SÉCURITÉ PUBLIQUE, pour et au nom du gouvernement du Québec, représentée par le sous-ministre associé à la Direction générale de la sécurité civile et de la sécurité incendie, monsieur Jean Bissonnette, dûment autorisé en vertu des Modalités de signature de certains actes, documents ou écrits du ministère de la Sécurité publique (RLRQ, chapitre M-19.3, r. 1)

(ci-après appelée la « ministre »)

**ci-après appelées individuellement une « partie »
ci-après appelées collectivement les « parties »**

Paraphes



ATTENDU QUE le Cadre pour la prévention de sinistres (CPS), adopté en juin 2013 par le Conseil des ministres, vise à soutenir la mise en œuvre de mesures en appréciation (analyse et recherche sur les risques), en traitement (travaux de prévention et d'atténuation) et en communication, notamment pour les risques liés à l'érosion et à la submersion côtières;

ATTENDU QUE le 28 mars 2017, un financement de quarante-cinq millions de dollars (45 M\$), réparti sur cinq ans, a été annoncé dans le budget du gouvernement du Québec afin de majorer les budgets du CPS dans le but de soutenir les municipalités côtières notamment pour la mise en place de mesures d'atténuation des risques d'érosion et de submersion côtières;

ATTENDU QUE le ministère de la Sécurité publique (MSP) est responsable de la gestion du CPS;

ATTENDU QU'une analyse de risques a mis en lumière les risques potentiels associés à l'érosion côtière dans le secteur de la falaise de Cap-aux-Meules aux Îles-de-la-Madeleine;

ATTENDU QU'une analyse de solutions réalisée par une firme d'ingénierie privée a permis d'identifier des solutions appropriées pour atténuer les risques que l'érosion côtière affecte les résidences et les infrastructures dans ledit secteur;

ATTENDU QU'il y a lieu de conclure une entente avec la Municipalité afin de préciser les modalités d'octroi et de versement de l'aide financière pour les travaux à effectuer en bordure du golfe du Saint-Laurent dans le secteur de la falaise de Cap-aux-Meules.

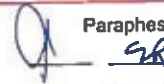
EN CONSÉQUENCE, les parties conviennent de ce qui suit :

ARTICLE 1 Les annexes A et B font partie intégrante de l'entente. Les parties déclarent en avoir pris connaissance et les acceptent. En cas de conflit entre les annexes et l'entente, cette dernière prévaudra.

ARTICLE 2 La Municipalité s'engage à effectuer les travaux d'atténuation des risques liés à l'érosion côtière et de stabilisation de la falaise de Cap-aux-Meules en utilisant l'aide financière versée par la ministre et à participer financièrement conformément à l'annexe A. Ces travaux consistent à protéger le secteur commercial et institutionnel, par la mise en place d'un ouvrage de protection en enrochement ou en riprap.

Les travaux pourraient s'étendre sur une distance maximale de 600 mètres et doivent comprendre, notamment les éléments suivants :

Paraphes



- la réalisation des travaux d'arpentage, avant et après la réalisation de ceux pour la protection des berges contre l'érosion et de stabilisation de la falaise;
- l'obtention des autorisations requises, dont celles environnementales;
- la recherche des matériaux répondant au calibre recommandé et en quantité nécessaire, qui constitueront l'ouvrage de protection des berges contre l'érosion et de stabilisation de la falaise;
- la réalisation de plans et de devis;
- la réalisation des travaux de protection des berges contre l'érosion et de stabilisation de la falaise;
- la surveillance du chantier;
- la transmission à la ministre des documents de conformité des travaux réalisés dans les trente (30) jours suivant la fin des travaux.

ARTICLE 3

La Municipalité s'engage à entretenir et à réparer, de manière diligente, à ses frais, les ouvrages conçus dans le cadre de cette entente.

ARTICLE 4

La Municipalité consent à maintenir, dans sa réglementation, les dispositions du règlement numéro 2010-08, sans quoi l'entente deviendra caduque.

ARTICLE 5

La Municipalité s'engage à se conformer à toute exigence raisonnable que la ministre pourrait formuler, en conformité avec la présente entente, notamment lors de rencontres de suivi qu'elle pourrait demander ou autrement.

ARTICLE 6

La Municipalité garantit que les travaux énumérés à l'article 2 seront exécutés selon les règles de l'art, puis les lois et règlements en vigueur. De plus, elle s'engage à exiger des mandataires avec qui elle contracte les garanties usuelles, entre autres, une garantie pour l'exécution des travaux ainsi qu'une police d'assurance responsabilité civile pour la durée des travaux. Elle s'engage également à exercer ces garanties, le cas échéant.

ARTICLE 7

La Municipalité s'engage à fournir à la ministre, toutes les pièces justificatives ainsi que tous les documents, toutes les copies de documents et tous les renseignements que cette dernière lui demande et dont elle a besoin pour

Paraphes

l'administration de l'octroi de l'aide financière ainsi que pour répondre aux exigences du processus administratif.

ARTICLE 8

La Municipalité s'engage à conserver tous les documents liés à l'aide financière pendant une période de cinq (5) ans suivant l'expiration de la présente entente, d'en permettre l'accès à un représentant de la ministre et d'en prendre copie.

ARTICLE 9

La Municipalité s'engage à utiliser l'aide financière reçue qu'aux fins de l'utilisation prévue dans la présente entente.

ARTICLE 10

La Municipalité s'engage à rembourser à la ministre l'aide financière qui lui a été versée, si les dépenses pour lesquelles celle-ci est accordée ont fait ou peuvent faire l'objet d'une indemnisation, ou d'un remboursement par un gouvernement, ou l'un de ses ministères, ou par un organisme, ou par toute autre source, sauf s'il s'agit d'une aide reçue à titre de don de charité à la suite d'une collecte de fonds auprès du public.

ARTICLE 11

La réalisation, en chantier, de l'ensemble des travaux visés par la présente entente doit être terminée au 31 mars 2022.

ARTICLE 12

L'investissement maximal prévu dans la présente entente pour la réalisation de l'ensemble des travaux pourrait atteindre un montant de huit millions de dollars (8 000 000 \$).

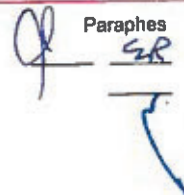
La Municipalité s'engage à assumer une partie du coût des travaux, le tout conformément au calcul et aux modalités prévus à l'annexe A de la présente entente.

La ministre s'engage à verser à la Municipalité, selon les paramètres prévus à l'annexe A, un montant maximum d'aide financière de six millions neuf cent trois mille trois cent quinze dollars (6 903 315 \$).

Ce montant sera versé à la Municipalité de la manière suivante :

- trois millions huit cent mille dollars (3 800 000 \$), dans les trente (30) jours suivant l'apposition de la dernière signature à la présente entente;

Paraphes



- le solde de l'aide financière sera versé dans un délai de soixante (60) jours suivant la fin des travaux, sur réception des pièces justificatives à la satisfaction de la ministre (2021-2022).

Si le coût total des activités que la Municipalité s'engage à réaliser en vertu de la présente entente est inférieur à huit millions de dollars (8 000 000 \$), le montant d'aide financière à verser sera révisé selon les paramètres prévus à l'annexe A et après l'approbation de la ministre.

ARTICLE 13

La ministre peut rendre admissibles des dépenses engagées avant la signature de la présente entente si celles-ci sont relatives aux travaux identifiés à l'article 2 et qu'elles ne font pas l'objet d'une indemnisation provenant d'une autre source.

ARTICLE 14

Si un différend survient dans le cours de l'exécution de l'entente ou sur son interprétation, les parties s'engagent, avant d'exercer tout recours, à rechercher une solution à ce différend et, si besoin est, à faire appel à un tiers selon les modalités à convenir, pour les assister dans ce règlement.

ARTICLE 15

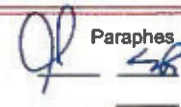
La Municipalité comprend et accepte que, à défaut par elle de respecter l'une des conditions prévues à la présente entente, la ministre peut, à son choix, lui réclamer la totalité ou une partie de l'aide financière versée.

ARTICLE 16

La Municipalité s'engage d'une part à assumer seule toute responsabilité légale à l'égard des tiers et à assumer seule la responsabilité de toute action, réclamation ou demande que peut occasionner l'exécution de l'objet de la présente entente et, d'autre part, à tenir indemnes et prendre fait et cause pour la ministre, ses représentants et le gouvernement du Québec, advenant toute réclamation pouvant en découler et à s'assurer qu'il en soit de même pour tout contrat octroyé aux fins de la réalisation de l'objet de la présente entente.

ARTICLE 17

La Municipalité s'engage à indiquer clairement dans toutes les activités de communication écrite ou autre, et cela, sur tout ou partie des travaux exécutés

Paraphes




conformément à l'aide versée, la mention, en évidence, de la contribution du CPS du gouvernement du Québec.

ARTICLE 18

La ministre se réserve le droit de procéder à toute vérification ultérieure des dépenses et de récupérer les sommes versées en trop, le cas échéant.

Le paiement découlant de l'exécution de la présente entente peut faire l'objet d'une vérification par la ministre ou par toute autre personne ou organisme dans le cadre des fonctions qu'ils exercent ou des mandats qui leur sont confiés.

ARTICLE 19

Les droits et les obligations prévus à la présente entente ne peuvent être cédés, vendus ou transportés, en tout ou en partie, sans l'autorisation écrite préalable de la ministre, qui peut alors prévoir des conditions à cette fin.

ARTICLE 20

La Municipalité accepte d'éviter toute situation qui mettrait en conflit son intérêt personnel et l'intérêt de la ministre. Si une telle situation se présente, la Municipalité doit immédiatement en informer par écrit la ministre qui pourra, à sa discrétion, émettre une directive indiquant à la Municipalité comment remédier à ce conflit d'intérêts ou résilier l'entente.

ARTICLE 21

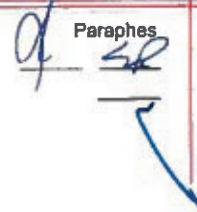
Toute modification au contenu de la présente entente devra faire l'objet d'une entente écrite entre les deux parties sous la forme d'un avenant. Cet avenant ne peut changer l'objet de la présente entente et il en fera partie intégrante.

ARTICLE 22

En cas de mésentente quant à la mise en œuvre de la présente entente, la ministre ou la Municipalité peuvent y mettre fin en faisant parvenir à l'autre un avis écrit à cet effet, transmis par courrier recommandé. La résiliation prendra effet de plein droit trente (30) jours après la réception de cet avis. Les parties assument alors, en fonction de leur part respective, les coûts des travaux effectués comme établis à l'annexe A.

La ministre se réserve le droit de résilier cette entente si la Municipalité fait défaut de remplir l'un ou l'autre des termes, conditions ou obligations prévus à la présente entente. Pour ce faire, un avis sera envoyé par courrier recommandé par

Paraphes

A handwritten signature in blue ink is present, with the word 'Paraphes' printed above it. The signature appears to be 'd' followed by some initials. A blue checkmark is drawn below the signature.

la ministre à la Municipalité et celle-ci aura trente (30) jours ouvrables pour remédier aux défauts énoncés dans l'avis, puis en aviser la ministre, à défaut de quoi l'entente sera automatiquement résiliée à compter de la date de réception de cet avis, sans compensation ni indemnité pour quelque cause ou raison que ce soit.

La Municipalité devra également dans l'un ou l'autre de ces cas, rembourser à la ministre les sommes reçues mais non engagées pour la réalisation d'éléments prévus dans la présente entente. Sans limiter la généralité de ce qui précède, la participation financière de la Municipalité sera calculée à nouveau selon l'annexe A et la Municipalité devra rembourser les sommes reçues en trop.

ARTICLE 23

La présente entente entre en vigueur à la date de la dernière signature aux présentes.

ARTICLE 24

Les sommes nécessaires pour effectuer les versements prévus à l'article 12 sont prises à même les sommes prévues par le CPS, et ce, sous réserve de la disponibilité des sommes prévues à cet effet, conformément aux dispositions de l'article 21 de la *Loi sur l'administration financière* (RLRQ, chapitre A-6.001).

ARTICLE 25

Les parties reconnaissent la juridiction des tribunaux du Québec, district judiciaire de Québec, pour intervenir dans tous litiges pouvant découler de l'application ou de l'interprétation de la présente entente.

Paraphes
 



ARTICLE 26

Les personnes suivantes sont désignées par les parties à la présente entente aux fins de l'administration de celle-ci :

Pour la ministre :

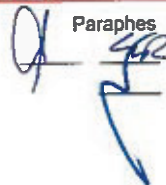
M. Pascal Chouinard
Directeur de la prévention et de la
planification
Ministère de la Sécurité publique
Tour des Laurentides, 6^e étage
2525, boulevard Laurier
Québec (Québec) G1V 2L2

Pour la Municipalité :

M. Serge Bourgeois
Directeur de l'aménagement du territoire et de
l'urbanisme
Municipalité des Îles-de-la-Madeleine
460, chemin Principal
Cap-aux-Meules (Québec) G4T 1A1

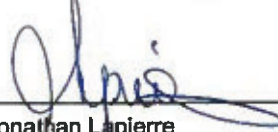
Pour valoir, toute correspondance entre les parties de la présente entente doit être échangée entre ces représentants désignés, aux adresses mentionnées ci-dessus.

Paraphes



EN FOI DE QUOI, les parties ont signé la présente entente en deux (2) exemplaires.

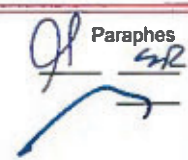
Cap-aux-Meules, le 26 mars 2020.


Jonathan Lapierre
Maire


Serge Rochon
Directeur général

Québec, le 30 mars 2020.


Jean Bissonnette, sous-ministre associé


Paraphes
JR

ANNEXE A

Aide financière et participation financière

L'aide financière accordée à la Municipalité pour la réalisation des travaux prévus à l'article 2 de l'entente est égale à la totalité des dépenses admissibles prévues à l'annexe B, comme elles ont été agréées par la ministre, moins la participation financière de la Municipalité.

Cette participation financière équivaut au moindre des montants suivants, sans toutefois excéder un quart ($\frac{1}{4}$) de un pour cent (1 %) de la richesse foncière uniformisée de la municipalité :


- cinquante pour cent (50 %) des dépenses admissibles; ou

l'addition des montants suivants :

- cent pour cent (100 %) pour le premier dollar de dépenses admissibles par habitant de la municipalité (ci-après dénommé « habitant »);
- soixante-quinze pour cent (75 %) pour le deuxième et le troisième dollars de dépenses admissibles par habitant;
- cinquante pour cent (50 %) pour le quatrième et le cinquième dollars de dépenses admissibles par habitant;
- vingt-cinq pour cent (25 %) pour les dollars suivants de dépenses admissibles par habitant.

Aux fins de ce calcul, le nombre d'habitants est fixé en fonction de l'évaluation démographique de la municipalité établie par le décret du gouvernement du Québec, pris conformément à l'article 29 de la *Loi sur l'organisation territoriale municipale* (RLRQ, chapitre O-9) en vigueur au moment de la signature de l'entente de financement.

Le maximum de participation financière d'une municipalité est réputé atteint si la somme de la participation financière établie et assumée par la municipalité pour la réalisation d'analyses de solutions d'atténuation de risques de sinistres et pour la mise en œuvre de solutions retenues, ayant fait l'objet d'ententes de financement conclues avec le ministre depuis l'approbation en 2013 du Cadre pour la prévention de sinistres, est supérieure à un quart ($\frac{1}{4}$) d'un pour cent (1 %) de la richesse foncière uniformisée de la municipalité.

Paraphes
 SR



ANNEXE B

DÉPENSES LIÉES AUX TRAVAUX EFFECTUÉS PAR LA MUNICIPALITÉ

Dépenses admissibles :

- les honoraires professionnels nécessaires pour la mise en œuvre du projet;
- les coûts des contrats octroyés à des entreprises pour la réalisation des travaux;
- les frais variables liés à l'utilisation de la machinerie municipale;
- la location de machinerie, d'équipements et d'outillage, ainsi que les frais liés à leur utilisation;
- le coût d'achat d'un terrain nécessaire à la réalisation des travaux;
- les heures payées aux employés permanents affectés à la réalisation des travaux;
- les heures payées à de la main-d'œuvre additionnelle.

Dépenses non admissibles :

- les dommages à tout bien causés directement ou indirectement par les travaux;
- la perte de terrain et les dommages au terrain, ainsi qu'aux ouvrages conçus pour le protéger;
- les frais d'intérêt ou les frais pour l'obtention d'une soumission;
- la perte de revenus découlant de la réalisation des travaux;
- la perte de valeur marchande d'un bien;
- les pertes et les dommages dont la Municipalité est responsable;
- l'achat de nouveau matériel ou de nouveaux équipements réutilisables;
- les dépenses découlant de l'achat de biens ou la prestation de services en provenance d'une entreprise inscrite au Registre des entreprises non admissibles aux contrats publics;
- toute dépense ou tout travail jugé non nécessaire pour la réalisation des travaux faisant l'objet de l'entente.

 Paraphes






FQM

INGÉNIERIE ET
INFRASTRUCTURES



Les Îles-de-la-Madeleine
Municipalité

Annexe 7

Mandat d'accompagnement de la FQM – Projet de protection du littoral des secteurs La Grave et de Cap-aux-Meules

Extrait du procès-verbal de la séance ordinaire du comité exécutif de la Municipalité des Îles-de-la-Madeleine tenue le 22 octobre 2019, à la mairie.

CE1910-485

Jean-Yves Lebreux, greffier



EXTRAIT du procès-verbal de la séance ordinaire du comité exécutif de la Municipalité des Îles-de-la-Madeleine tenue le 22 octobre 2019, à la mairie.

CE1910-485

Mandat d'accompagnement de la FQM – Projet de protection du littoral des secteurs de La Grave et de Cap-aux-Meules

CONSIDÉRANT QUE la Municipalité des Îles-de-la-Madeleine est membre de la Fédération québécoise des municipalités (FQM);

CONSIDÉRANT QUE l'entente signée récemment avec la FQM relativement à la fourniture de services techniques d'ingénierie et de techniciens en génie civil selon les taux en vigueur;

CONSIDÉRANT QU' en vertu de cette entente, les directions des services techniques et des réseaux publics et de l'aménagement du territoire souhaitent faire appel à l'expertise technique de la FQM pour les assister dans le cadre du projet de protection du littoral dans les secteurs de La Grave et de Cap-aux-Meules;

CONSIDÉRANT QU' en cours de mandat, les taux horaires peuvent être révisés par le conseil d'administration de la FQM et que, si le mandat est réalisé en tout ou en partie, les nouveaux tarifs en vigueur seront alors applicables;

CONSIDÉRANT QU' en vertu des dispositions prévues à la Loi sur les cités et villes, la Municipalité peut octroyer un contrat de gré à gré à la FQM pour des services professionnels;

EN CONSÉQUENCE,

sur une proposition de Benoît Arseneau,
appuyée par Roger Chevarie,
il est résolu à l'unanimité

d'accorder un mandat à la Fédération québécoise des municipalités pour des services professionnels dans le cadre du projet relatif à la réalisation de travaux de protection du littoral dans les secteurs de La Grave et de Cap-aux-Meules.

VRAIE COPIE CERTIFIÉE
Aux Îles-de-la-Madeleine
Ce 3 septembre 2020

Jean-Yves Lebreux, greffier



FQM

INGÉNIERIE ET
INFRASTRUCTURES



Les Îles-de-la-Madeleine
Municipalité

Annexe 8 :

**2019-08-09_Avis technique MTQ
355(124)19_380, chemin Principal, Cap-aux-Meules**

PAR COURRIEL

Québec, le 9 août 2019

Monsieur Claude Lebeux
Service des programmes d'aide financière
et des municipalités
Direction du rétablissement
Ministère de la Sécurité publique
455, rue du Marais, bureau 100
Québec (Québec) G1M 3A2

OBJET : Avis technique final
Événement : Effondrements rocheux
Localisation : 380, chemin Principal
Municipalité : Les Îles-de-la-Madeleine
N/Dossier : 368(124)19_380, chemin Principal, Cap-
aux-Meules

Cet avis technique répond à une demande du Centre des opérations gouvernementales envoyée le 15 avril 2019, concernant deux effondrements rocheux qui se sont produits à l'arrière du bâtiment commercial sis au 380, rue Principale dans le secteur de Cap-aux-Meules aux Îles-de-la-Madeleine. Les lieux ont été inspectés le 2 juillet 2019 par M. Pierre-Luc Deschênes et le soussigné, ingénieurs à la Direction de la géotechnique et de la géologie (DGG), et par M. Jean-Denis Bouchard, géologue et conseiller en risques naturels à la Direction de la prévention et de la planification du ministère de la Sécurité publique (MSP).

Le mandat confié à la DGG consistait à évaluer si la situation présentait des signes de danger imminent d'effondrement ou de glissement dans le roc qui pourraient menacer la piste cyclable et le bâtiment no 380 et à émettre les recommandations requises pour assurer la sécurité des usagers et travailleurs. Cet avis constitue une évaluation géotechnique de la situation qui est basée sur les données et les informations recueillies sur le terrain, ainsi que sur l'expertise de la DGG dans le domaine des mouvements de terrain. Aucune étude géotechnique ni aucun calcul de stabilité n'a été réalisé dans le cadre de cette intervention.

Toutes les distances, hauteurs et inclinaisons mentionnées dans cet avis ont été relevées à l'aide d'un ruban à mesurer, d'une jumelle télémétrique ou d'un clinomètre de poche.

L'avis préliminaire par courriel envoyé le 16 mars 2019 par le soussigné démontrait que le bâtiment no 380 n'était pas menacé par un danger imminent en lien avec les pointes d'érosion préférentielles à l'origine des effondrements observés. Les vérifications réalisées visaient à préciser l'état de situation et à statuer sur le niveau de danger pour le terrain adjacent au bâtiment ainsi que pour la piste cyclable.

Description des lieux et des observations de terrain

Deux effondrements de terrain contigus ont emporté une portion de la piste cyclable (photos 1 et 2) qui longe la falaise littorale derrière le bâtiment no 380 (figure 1). Ces effondrements ont été constatés par la municipalité le 2 avril 2019.

À cet endroit, la falaise a une hauteur approximative de 8 m. Elle est constituée de grès et siltstones à laminations obliques géantes de couleur verdâtres à rougeâtres de la formation géologique du membre de l'étang-des-Caps. Aux Îles-de-la-Madeleine, cette lithologie est bien connue pour développer des grottes et pointes d'érosions préférentielles, ou échancrures, qui entaillent les falaises littorales. Les grottes s'agrandissent dues à l'érosion des vagues, l'abrasion causée par les débris qui tourbillonnent dans les ouvertures à marée haute ainsi que par les différents agents de météorisation, comme le ruissellement de surface et le gel-dégel. Leur agrandissement entraîne l'amincissement du toit de la grotte, qui finit par s'effondrer.

Les grottes et échancrures se produisent généralement aux endroits où le roc est plus friable et où il est recoupé par de grandes discontinuités qui le rendent plus vulnérable ponctuellement. Ces grandes discontinuités dictent généralement l'orientation de la progression des grottes et échancrures. Dans le secteur du no 380, les discontinuités associées aux grottes sont généralement orientées N275° ce qui fait que les grottes vont généralement progresser dans cette direction.

Ce phénomène peut évoluer rapidement. C'est entre autres le cas derrière le bâtiment no 380, comme le démontrent les photos 3 à 5 (secteurs en bleu). La

grotte la plus à droite sur la photo 5, qui n'était à peu près pas visible en 2017, est bien évidente en 2018. Entre la photo de 2018 et la visite de la DGG, la grotte identifiée s'est effondrée, comme le montre la photo 6 prise de la plage.

Les grottes ont été inspectées individuellement et mesurées afin de vérifier leur extension spatiale. Les grottes mesurées au droit du bâtiment atteignent une profondeur qui varie de quelques dizaines de centimètres, à près de 6 m de profondeur. Les grottes les plus profondes, ainsi que leurs dimensions approximatives, sont indiquées sur la photo 5 et sur la figure 2. La distance entre le bâtiment no 380 et la falaise a également été mesurée à divers endroits afin de comparer cette mesure à la profondeur des grottes. Le bâtiment se trouve à environ une douzaine de mètres de la falaise alors que la galerie de béton se trouve à environ 9 m.

Aucune des grottes observées à cet endroit n'était sur le point de s'effondrer lors de la visite, puisque leur toit était suffisamment épais et que le roc qui le constitue a été jugé en bon état. Par contre, cette situation est appelée à évoluer rapidement.

Évaluation de la situation et recommandations

Étant donné que la distance est suffisamment grande entre la paroi rocheuse et le bâtiment no380, même au droit des grottes les plus profondes, ce dernier n'est pas menacé par un risque imminent d'effondrement rocheux. Au rythme auquel progresse l'érosion, le bâtiment ne devrait pas être touché avant plusieurs années.

Toutefois, le recul associé aux récents effondrements fait en sorte que le sommet de la falaise s'approche du stationnement du commerce, à l'endroit où sont actuellement entreposées les poubelles. À cet endroit, les grottes ont une profondeur qui atteint 3,5 m, ce qui coïncide approximativement avec la limite actuelle du périmètre de sécurité.

Concernant la piste cyclable, elle a été touchée par les récents effondrements de terrain, mais elle est également menacée de façon imminente par l'agrandissement de ces derniers. De plus, d'autres effondrements pourraient emporter la piste cyclable à court ou moyen terme au droit des grottes identifiées à la photo 5.

À la lumière de ces observations, le périmètre de sécurité actuel est suffisamment sécuritaire (figure 3). Il demeure possible de circuler sur le terrain gazonné entre le no 380 et la piste cyclable pour permettre son entretien. La figure 4 illustre le périmètre de sécurité minimal recommandé. Ce périmètre devra être revu à la hausse à moyen terme étant donné que la falaise recule relativement rapidement.

Le recul inexorable de la falaise fait en sorte que si on veut conserver ce bâtiment commercial et envisager de maintenir la piste cyclable entre le bâtiment et la falaise, il faut envisager la mise en place de mesure de protection dès que possible.

À cet effet, différentes solutions permettant de freiner l'érosion devraient être envisagées (enrochement, rip-rap). Quoiqu'il en soit, la solution devra permettre non seulement de freiner l'érosion, mais également de s'assurer que l'étendue des grottes au moment de réaliser les travaux aura été considérée dans la solution.

Pour ce faire, il faudra minimalement combler entièrement l'intérieur des grottes pour espérer que l'élargissement de ces dernières ne se poursuive pas. Une autre option qui permettrait de conserver la piste cyclable au droit des grottes serait de mettre en place une passerelle qui prendrait appui aux endroits où le roc est stable et où aucune ouverture n'a été répertoriée.

François Bossé, ing.
N°OIQ : 143 417
Responsable du Secteur de la mécanique des roches
Direction de la géotechnique et de la géologie
Ministère des Transports

- c. c. M. Alfred Yameogo, chef par intérim du Service des programmes, Direction du rétablissement, MSP
M^{me} Gilla Huet, Service de l'aide financière aux particuliers et aux entreprises, Direction du rétablissement, MSP
M^{me} Janelle Potvin, directrice par intérim
Direction de la géotechnique et de la géologie
M. Denis Demers, chef d'équipe, Section des mouvements de terrain, Direction de la géotechnique et de la géologie
M. Pierre-Luc Deschênes, ing. , Secteur de la mécanique des roches, Direction de la géotechnique et de la géologie



Figure 1. Localisation du 380, rue Principale, Les Îles-de-la-Madeleine.



Figure 2. Localisation et dimensions approximatives des grottes les plus profondes. La distance entre le bâtiment et le sommet de la falaise est également indiquée sur la figure.



Figure 3. Périmètre de sécurité tel qu'il était aménagé lors de la visite du site.



Figure 4. Périmètre de sécurité minimal qui donne accès à l'espace gazonné entre le bâtiment et la piste cyclable, pour permettre son entretien.



Photo 1. Effondrements qui ont touché la piste cyclable.



Photo 2. Vue des deux effondrements de la photo 1 prise à partir de la plage. La profondeur de la grotte sous l'effondrement de droite sur la photo atteint 3,5 m.

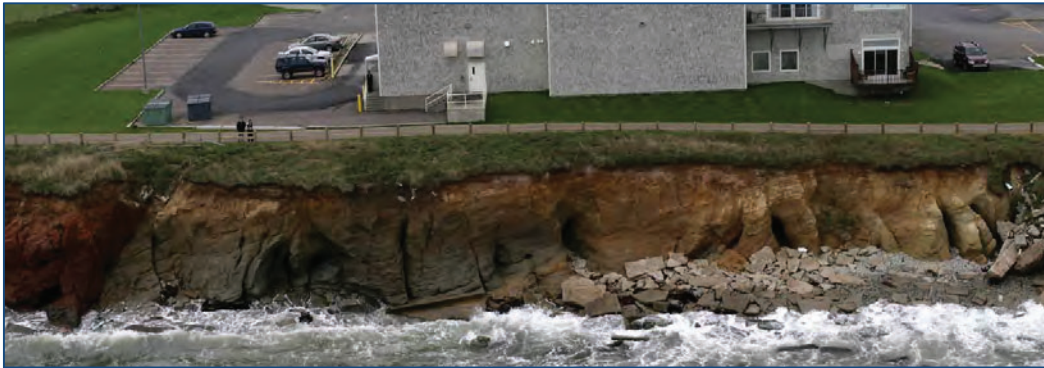


Photo 3. Photo de la côte à l'été 2010.



Photo 4. Photo de la côte à l'été 2017. Le secteur en bleu est également identifié sur les photos 5 et 6 pour illustrer l'évolution rapide du phénomène.



Photo 5. Photo de la côte à l'hiver 2018. Les dimensions des grottes identifiées ont été mesurées lors de la visite du 2 juillet 2019.



Photo 6. Vue en 2019 du secteur en bleu des photos 4 et 5.



FQM

INGÉNIERIE ET
INFRASTRUCTURES



Les Îles-de-la-Madeleine
Municipalité

Annexe 9

**2019-10-30 Avis technique complémentaire -
355(124)19_380, ch Principal, Cap-aux-Meules**

PAR COURRIEL

Québec, le 30 octobre 2019

Monsieur Claude Lebeux
Service des programmes d'aide financière
et des municipalités
Direction du rétablissement
Ministère de la Sécurité publique
455, rue du Marais, bureau 100
Québec (Québec) G1M 3A2

OBJET : Avis technique complémentaire
Événement : Effondrements rocheux
Localisation : 380, chemin Principal
Municipalité : Les Îles-de-la-Madeleine
N/Dossier : 355(124)19_380, chemin Principal, Cap-aux-Meules

Cet avis technique répond à une demande du Centre des opérations gouvernementales envoyée le 9 septembre 2019, suivant le passage de l'ouragan Dorian, concernant l'évolution des effondrements rocheux situés à l'arrière du bâtiment commercial du 380, rue Principale dans le secteur de Cap-aux-Meules aux Îles-de-la-Madeleine. Les lieux ont été inspectés le 12 septembre par les ingénieurs de la Direction de la géotechnique et de la géologie (DGG), M. Rémi Mompin et le soussigné.

Le mandat confié à la DGG consistait à évaluer si la situation présentait des signes de danger imminent d'effondrement ou de glissement dans le roc qui pourraient menacer la piste cyclable et le bâtiment n° 380 et à émettre les recommandations requises pour assurer la sécurité des usagers et travailleurs. Cet avis complémentaire constitue une évaluation géotechnique de la situation qui est basée sur les données et les informations recueillies sur le terrain, ainsi que sur l'expertise de la DGG dans le domaine des mouvements de terrain. Aucune étude géotechnique ni aucun calcul de stabilité n'a été réalisé dans le cadre de cette intervention.

Un avis technique de la DGG avait été envoyé le 9 août 2019, avant le passage de l'ouragan Dorian¹. Cet avis technique confirmait que le bâtiment n° 380 n'était pas menacé par un danger imminent d'effondrement des pointes d'érosions préférentielles (grottes) à l'origine des effondrements observés le long de la piste cyclable. Les

¹ Avis technique – 355(124)19_380, chemin Principal, Cap-aux-Meules, DGG, 9 août 2019
2700, rue Einstein, Bloc F, 2^e étage
Québec (Québec) G1P 3W8

vérifications réalisées lors de la visite du 12 septembre visaient à revoir l'état de la situation suite au passage de l'ouragan et à statuer sur le niveau de danger pour le bâtiment n° 380.

Les photographies de terrain mentionnées dans le texte sont présentées à la fin de cet avis. Toutes les distances, hauteurs et inclinaisons mentionnées dans cet avis ont été relevées à l'aide d'un ruban à mesurer, d'une jumelle télémétrique ou d'un clinomètre de poche.

Description des lieux et des observations de terrain

Suivant le passage de l'ouragan Dorian les 7 et 8 septembre derniers, les dépôts meubles, la falaise ainsi que les grottes à l'arrière du bâtiment n°380 ont été sévèrement touchées par le déferlement des vagues et le ruissellement de surface ce qui a entraîné un recul considérable par endroits.

Lors de la visite de la DGG le 12 septembre, le sommet de la falaise au droit de l'effondrement de terrain qui avait été constaté lors de la visite précédente, le 2 juillet, avait subi un recul supplémentaire d'environ 3 m et atteint désormais une portion du stationnement (photos 1, 2 et 8). La dépression résultante a une profondeur d'environ 1 m et se trouve à une distance de 4,4 m du coin du bâtiment n° 380. Cette dépression résulte essentiellement de l'érosion des sols sus-jacents au roc, constitués principalement de matériaux de remblai. La figure 2 montre l'étendue approximative de ce ravinement ainsi que les cavités telles que mesurées lors de la visite du 12 septembre.

Le recul général de la falaise associé au passage de l'ouragan Dorian est estimé à environ 1,5 m par endroits. Les photos 3 à 8 illustrent ce recul. De plus, les pointes d'érosion préférentielles et les grottes se sont agrandies et approfondies dans la direction des discontinuités (N275°). Le toit des grottes s'est davantage aminci, sans toutefois être sur le point de s'effondrer.

Les grottes ont été inspectées et mesurées individuellement afin de vérifier leur extension spatiale comparativement à la mesure de la visite du 2 juillet 2019 (photos 3 à 8). La distance entre le bâtiment n° 380 et la falaise a également été mesurée à divers endroits afin de comparer cette mesure à la profondeur des grottes.

La cavité la plus profonde, la cavité n°5, atteint une profondeur d'environ 8,1 m et se termine approximativement sous le balcon de béton situé à l'arrière du bâtiment (figure 2). Cette mesure confirme que la cavité a progressé d'environ 3 m en un seul événement (l'ouragan Dorian). Le fond de cette cavité est maintenant à une distance

d'environ 3 m des fondations du bâtiment. Cette mesure démontre que la progression par érosion des grottes pourrait être deux fois plus rapide que celle du recul général de la falaise.

Les pointes des autres grottes se trouvaient, au moment de la visite de terrain, à une distance de plus de 7 m des fondations du bâtiment n°380.

Évaluation de la situation et recommandations

Étant donné la nature friable du roc et au rythme auquel progresse l'érosion, la cavité n°5 pourrait atteindre le bâtiment à court terme, d'autant plus qu'il est relativement difficile d'évaluer visuellement sa progression à partir de la surface. De plus, la dépression causée par l'érosion des sols sus-jacents au roc démontre que les vagues peuvent déferler suffisamment haut pour emporter rapidement beaucoup de matériaux meubles, ce qui pourrait déchausser les fondations du bâtiment lors des prochaines tempêtes.

Par conséquent, **le bâtiment n° 380 est menacé par un danger imminent d'effondrement rocheux et/ou par l'érosion à l'intérieur de la dépression du stationnement.** Il n'est toutefois pas nécessaire d'évacuer le bâtiment ni de condamner l'accès arrière, qui demeurent sécuritaire pour l'instant.

La piste cyclable, touchée par les récents effondrements, est également menacée de façon imminente sur toute la largeur du terrain du bâtiment n°380 par l'effondrement des grottes identifiées à la figure 2.

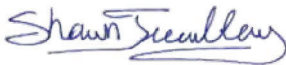
La DGG recommande d'agrandir le périmètre de sécurité à l'ensemble du terrain qui se trouve entre le bâtiment et la falaise. Il faudrait également agrandir le périmètre de sécurité à environ 5 m autour de la dépression qui touche le stationnement au sud du bâtiment. Malgré cela, il demeure sécuritaire de circuler le long du bâtiment jusqu'à la porte arrière, tant que la limite de la dépression du stationnement ne s'approche pas à moins de 2 m du passage piétonnier. La figure 3 illustre le périmètre de sécurité minimal recommandé. Advenant l'évolution significative de la falaise et/ou des désordres observés, ce périmètre devra être revu par la DGG.

Dans ce secteur, un projet de prévention est prévu pour protéger la falaise. À la lumière des récents événements, ce projet devrait être priorisé de sorte qu'il soit réalisé dans les plus brefs délais. D'ici là, la DGG recommande que des travaux de protection en urgence soient réalisés pour freiner l'érosion interne des grottes au droit du bâtiment. Il faudrait combler entièrement l'intérieur des grottes avec des matériaux de remblai adaptés et/ou de béton. Pour ce faire, il pourrait être plus facile d'excaver le toit des cavités de sorte à

optimiser la mise en place des matériaux de remblais utilisés. Une fois comblée, une mesure de protection contre l'érosion (enrochement) devra être ajoutée minimalement à l'entrée de chacune des grottes pour protéger les matériaux de remplissage. Ces travaux devront être conçus et dimensionnés par des ingénieurs spécialisés en géotechnique et/ou en hydraulique maritime.

Une fois les travaux de protection contre l'érosion effectués, la réfection de la structure de la chaussée du stationnement pourra être réalisée.

Document préparé par



Shawn Tremblay, ing. jr
N°OIQ : 5070988

Document validé par

François Bossé, ing.
N°OIQ : 143147

- c. c.
- M. Alfred Yameogo, chef par intérim du Service des programmes, Direction du rétablissement, MSP
 - M^{me} Gilla Huet, Service de l'aide financière aux particuliers et aux entreprises, Direction du rétablissement, MSP
 - M^{me} Janelle Potvin, directrice par intérim
Direction de la géotechnique et de la géologie
 - M. Denis Demers, chef d'équipe, Section des mouvements de terrain, Direction de la géotechnique et de la géologie
 - M. Pierre-Luc Deschênes, ing. , Secteur de la mécanique des roches, Direction de la géotechnique et de la géologie



Figure 1. Localisation du 380, chemin Principale, Cap-aux-Meules.



Figure 2. Localisation et dimensions approximatives des grottes (lignes rouges) et des effondrements (lignes jaunes). Les dimensions dans les encadrés sont notées comme suit : p = profondeur de la grotte, L= largeur maximale entre les parois de la grotte et H= hauteur maximale de l'ouverture.



Figure 3. Périmètre de sécurité (en rouge) recommandé par la DGG.



Photo 1. Vue vers le nord montrant l'ampleur des effondrements et de l'érosion du remblai qui touchent la piste cyclable et le stationnement.



Photo 2. Vue vers le sud du remblai et des sols meubles érodés jusqu'au roc au droit de la piste cyclable et du stationnement.

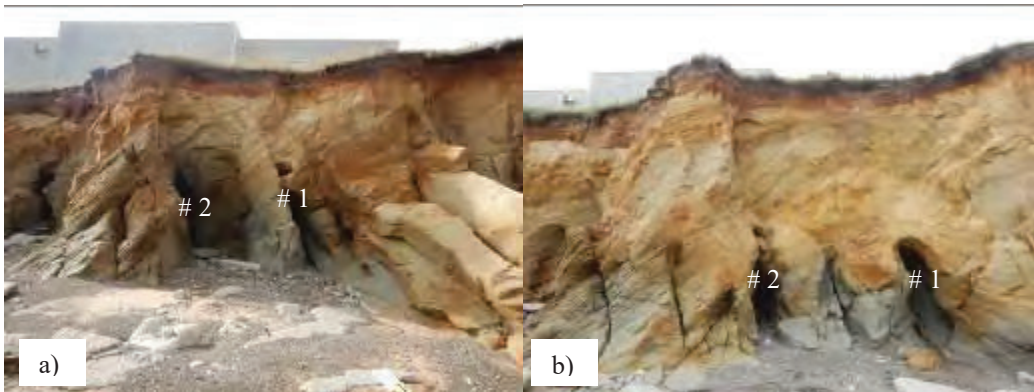


Photo 3. Photo de la falaise et des cavités n^{os} 1 et 2; (a) visite du 12 septembre 2019 et (b) visite du 2 juillet 2019.

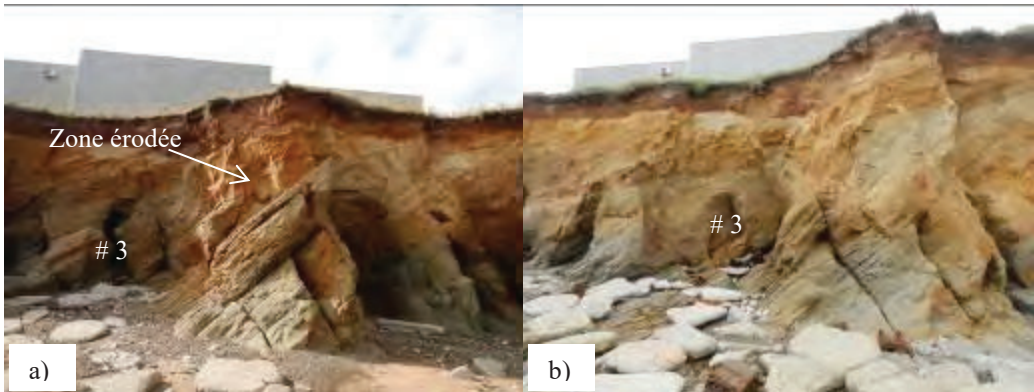


Photo 4. Photo de la falaise et de la cavité n° 3; (a) visite du 12 septembre 2019 et (b) visite du 2 juillet 2019.

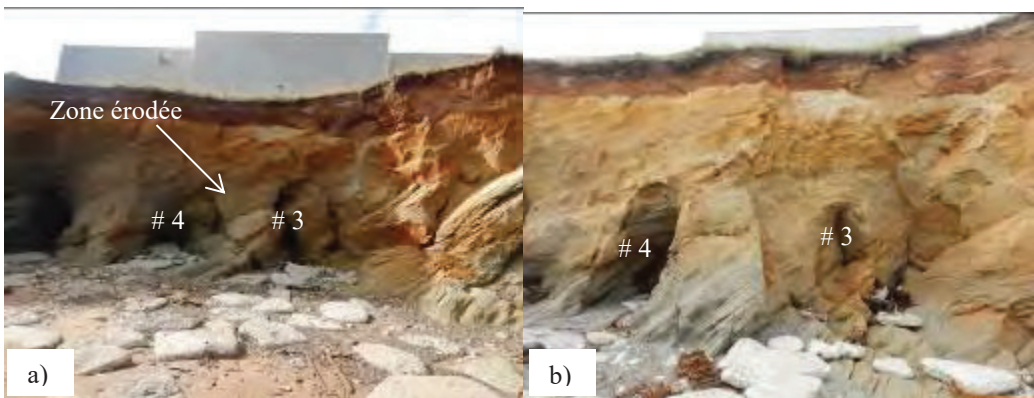


Photo 5. Photo de la falaise et des cavités n° 3 et 4; (a) visite du 12 septembre 2019 et (b) visite du 2 juillet 2019.

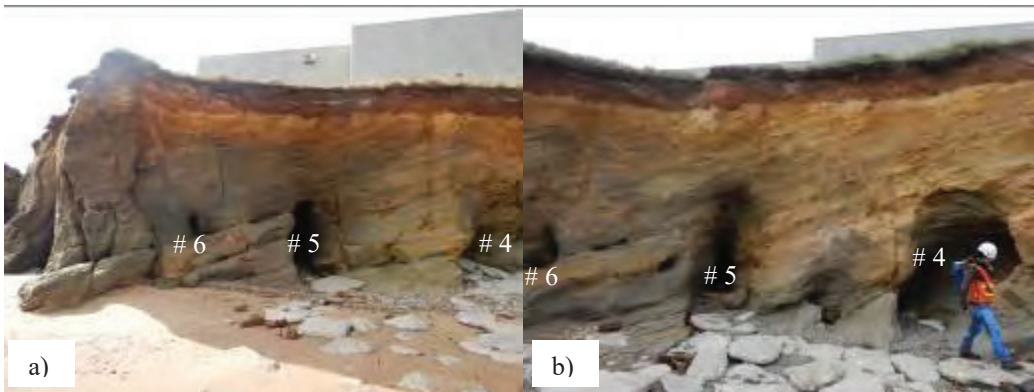


Photo 6. Photo de la falaise et des cavités n° 4 à 6; (a) visite du 12 septembre 2019 et (b) visite du 2 juillet 2019.

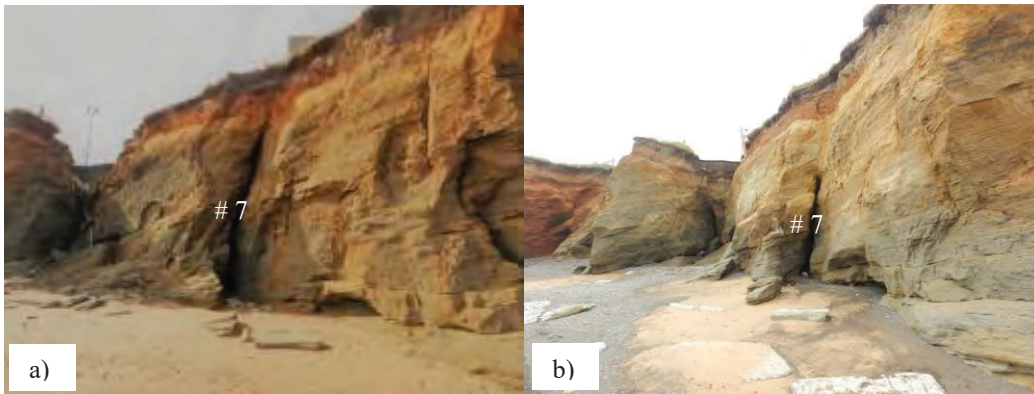


Photo 7. Photo de la falaise et de la cavité n° 7; (a) visite du 12 septembre 2019 et (b) visite du 2 juillet 2019.

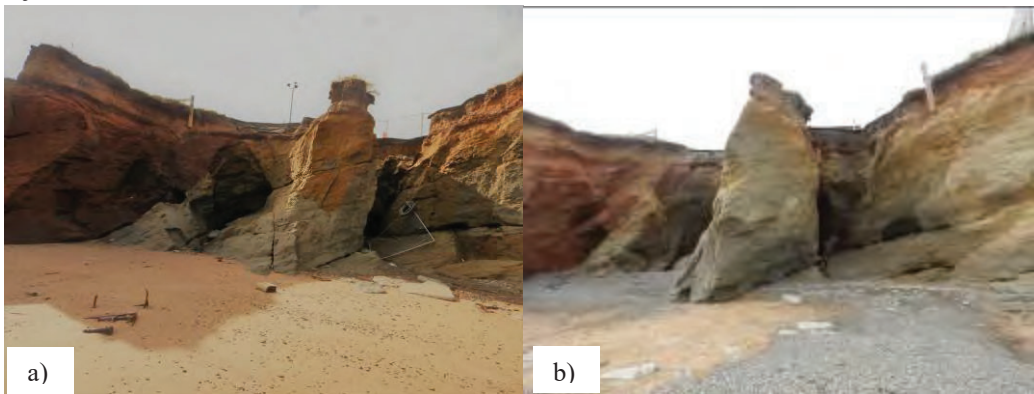


Photo 8. Photo des effondrements ; (a) visite du 12 septembre 2019 et (b) visite du 2 juillet 2019.



FQM

INGÉNIERIE ET
INFRASTRUCTURES



Les Îles-de-la-Madeleine
Municipalité

Annexe 10 :

**2019-11-08 Analyse complémentaire MSP–
en érosion 355(124)19_380, ch Principal,
Cap-aux-Meules**

Le 8 novembre 2019

Monsieur Claude Lebeux
Direction du rétablissement

Objet : Analyse complémentaire en érosion côtière

Endroit : 380, chemin Principal, Cap-aux-Meules, municipalité des Îles-de-la-Madeleine

1. CONTEXTE

- Dans la nuit du 7 au 8 septembre 2019, la tempête tropicale Dorian a touché l'archipel des Îles-de-la-Madeleine. Cet événement de tempête a occasionné de la submersion et de l'érosion côtière causant des dommages.
- Le 27 septembre 2019, l'équipe de la Direction de la géotechnique et de la géologie (DGG) du MTQ avisait la Direction du rétablissement (DRÉ) dans un avis préliminaire de l'imminence du danger d'effondrement rocheux qui menace le bâtiment. L'équipe recommandait aussi que la situation soit évaluée en regard de l'érosion côtière.
- Le présent avis se veut complémentaire à l'analyse effectuée par la DGG du MTQ.

2. LOCALISATION ET DESCRIPTION DU SITE

- Le bâtiment à l'étude est localisé au 380, chemin Principal, sur le territoire de Cap-aux-Meules aux Îles-de-la-Madeleine (figure 1).
- Dans ce secteur, la côte est caractérisée par des falaises de grès d'une hauteur d'environ 8 mètres (figure 2).

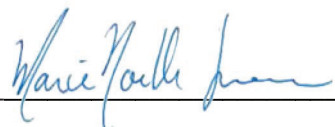
3. ÉLÉMENT MENACÉ

- Lors de la tempête de septembre 2019, la falaise derrière la bâtisse a enregistré un recul important, et le toit de certaines grottes se sont effondrées à proximité du commerce (figures 3 et 4).
- Les effondrements se situent maintenant à une distance de 4,4 mètres du commerce (figure 3).

4. DYNAMIQUE ET ALÉAS CÔTIERS

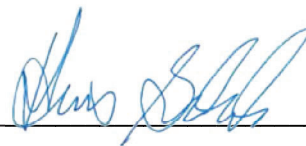
- Les falaises de grès situées au sud du quai de Cap-aux-Meules sont particulièrement sensibles à l'érosion.
- Une analyse historique du recul de la falaise a permis de quantifier les pertes de terrain enregistrées au cours des derniers 56 ans (1963 à 2019) pour le secteur des falaises à l'étude (figure 5). À l'échelle du demi-siècle, le taux moyen de recul est de l'ordre de 0,31 m/an et le recul en continu de la côte atteint plus de 30 mètres en plusieurs endroits, ce qui correspond à un taux maximal 0,61 m/an. À l'échelle de la dernière décennie (2008-2019), le taux moyen de recul est plutôt de 0,36 m/an.

- Aux Îles-de-la-Madeleine, l'évolution côtière fait l'objet d'un suivi annuel par l'Université du Québec à Rimouski (UQAR) depuis 2005. Ce suivi permet notamment de quantifier le recul des falaises pour la période récente (2005-2018). Dans le secteur des falaises situées au sud du quai de Cap-aux-Meules, les reculs annuels maximaux enregistrés s'élèvent à -2,30 mètres aux stations CAM-047, CAM-058 et CAM-059 (figure 5).
- Plus spécifiquement, derrière le cinéma, des relevés aéroportés ont été réalisés suite au passage de la tempête Dorian. Ces derniers permettent d'établir que le recul historique derrière le cinéma atteint 25,54 mètres entre 1963 et 2019, soit un recul moyen de l'ordre de 0,46 m/an (figure 4).
- Le niveau moyen de la mer (NMM) est de 0,7 mètre à cet endroit (SHC, 2010), ce qui permet à la mer d'atteindre quotidiennement la falaise et de l'exposer au sapement par les vagues. Ces conditions sont favorables à l'érosion à la base des falaises et au développement de grottes le long des discontinuités où le grès est fracturé.
- Le niveau de la pleine mer supérieure de grande marée (PMSGM) est de l'ordre de 1,2 mètre et le niveau extrême enregistré est 2,4 mètres. Ces niveaux d'eau, jumelés à la hauteur des vagues, n'atteignent pas la partie supérieure de la falaise. Néanmoins, lors d'évènement de tempête, les vagues s'engouffrent dans les grottes avec force et contribuent à l'érosion de celles-ci.
- Au site à l'étude, l'effondrement du toit de la grotte qui a formé une encoche suite à une tempête en novembre 2018 et la tempête Dorian a provoqué un recul de plus de 7 mètres (figures 3 et 4).



Marie-Noëlle Juneau

Géomorphologue, M.Sc.



Jean-Denis Bouchard

Géo., M.Sc. OGQ 829

Service de soutien à la réduction des risques de sinistres
Direction de la prévention et de la planification
Ministère de la Sécurité publique

ANNEXE DE FIGURES



Figure 1. Localisation du site à l'étude et dominance des côtes à falaise rocheuse au sud du quai de Cap-aux-Meules

Déc. 2018



2017



2010



Figure 2. Vues obliques multitudes du site à l'étude

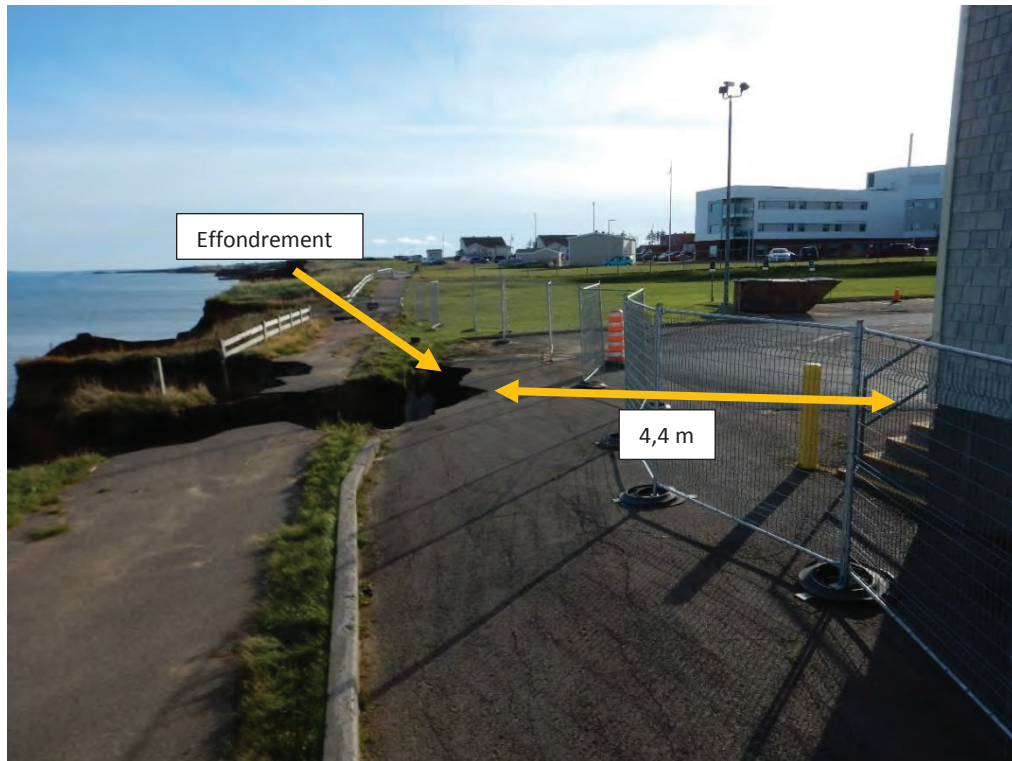


Figure 3. Photo de l'encoche d'érosion par rapport au bâtiment



Figure 4. Évolution côtière entre 1963 et 2019 à l'arrière du commerce à l'étude



Figure 5 Répartition des éléments d'analyse utilisés pour évaluer l'évolution côtière pour le secteur à falaise situé au sud du quai de Cap-aux-Meules



FQM

INGÉNIERIE ET
INFRASTRUCTURES



Les Îles-de-la-Madeleine
Municipalité

Annexe 11

Analyse des solutions en érosion côtière dans la Baie de Plaisance, Îles-de-la-Madeleine

Étude en hydraulique maritime

N/Réf. : 61933

Roche, novembre 2011



**Analyse des solutions en érosion cotière dans
la Baie de Plaisance, Îles-de-la-Madeleine**
Étude en hydraulique maritime

N/Réf. : 61933

Rapport final

En collaboration avec :





**Analyse des solutions en érosion cotière dans
la Baie de Plaisance, Îles-de-la-Madeleine**
Étude en hydraulique maritime

N/Réf. : 61933

Rapport final

Novembre 2011

En collaboration avec :



TABLE DES MATIÈRES

SOMMAIRE EXÉCUTIF	1
Mandat	1
Secteurs d'étude	1
Modèle numérique de terrain.....	3
Niveaux d'eau.....	3
Granulométrie du sable	3
Régime des vagues	4
Climat de vagues près de la côte.....	4
Courants littoraux et dynamique sédimentaire	4
Protection de la berge – Secteur des étangs aérés.....	5
Protection de la berge – Secteur de Gros-Cap.....	10
Protection de la berge – Secteur de la plage du chemin des Chalets	15
Protection de la berge – Secteur de la Pointe de la Martinique.....	17
Protection de la berge – Secteur de la Grave	19
Coûts du projet et plan d'action	21
Recommandations	25
Secteur des étangs aérés	25
Chemin du Gros Cap, près de la garderie.....	26
Secteur de La Grave, partie est	26
Autres secteurs.....	26
Plan stratégique d'intervention	26
1.0 INTRODUCTION	1
2.0 SITUATION ACTUELLE.....	5
2.1 Caractéristiques des zones évaluées.....	5
2.2 Visite des sites	5
2.2.1 Secteur des étangs aérés.....	5
2.2.2 Secteur de Gros-Cap.....	10
2.2.3 Secteur du chemin des Chalets	14
2.2.4 Secteur de la Pointe de la Martinique.....	19

2.2.5	Secteur de La Grave (Havre-Aubert)	25
2.2.6	Autres secteurs.....	29
2.2.6.1	Secteur de l'hôpital de Cap-aux-Meules	29
2.2.6.2	Secteur de la route 199 au niveau de la Martinique	31
2.2.6.3	Secteur de Havre-aux-Maisons	31
2.2.6.4	Secteur de Pointe-aux-Loups.....	32
3.0	MODÈLE NUMÉRIQUE DE TERRAIN.....	35
3.1	Données bathymétriques et topographiques	35
3.2	Zéro des cartes et niveau moyen des mers.....	36
3.3	Modèle d'ensemble	36
3.4	Précision des données bathymétriques et topographiques	37
3.5	Transects	44
3.5.1	Bathymétrie des différents secteurs	46
3.5.2	Secteur des étangs aérés.....	47
3.5.3	Secteur de Gros-Cap.....	48
3.5.4	Secteur de la plage du chemin des Chalets	49
3.5.5	Secteur de la Pointe de la Martinique.....	49
3.5.6	Secteur de La Grave.....	50
4.	ANALYSE DES NIVEAUX D'EAU	52
4.1	Avertissement concernant les niveaux d'eau dans la baie de Plaisance.....	52
4.2	Niveaux d'eau à Cap-aux-Meules	52
4.3	Niveaux d'eau enregistrés à Cap-aux-Meules	53
4.4	Niveaux d'eau moyens à Cap-aux-Meules	54
4.5	Niveaux d'eau hauts à Cap-aux-Meules	54
4.6	Niveaux d'eau hauts historiques à Cap-aux-Meules	56
4.7	Niveaux d'eau à Charlottetown.....	63
4.8	Prédiction de niveaux d'eau hauts à Cap-aux-Meules	64
4.9	Prédiction de niveaux d'eau hauts à Havre-Aubert.....	65
5.	ANALYSE DE LA GRANULOMÉTRIE	67
6.	RÉGIME DES VAGUES	70
6.1	Stratégie d'analyse des vagues.....	70

6.2	Données de vent	71
6.3	Génération des vagues au large	74
6.4	Fetchs	75
6.5	Vagues au large (point 1)	75
6.6	Vagues extrêmes prédites au large	77
6.7	Conditions de vagues au large considérées pour la réfraction	78
7.	CLIMAT DE VAGUES PRÈS DE LA CÔTE	80
7.1	Modélisation de la transformation des vagues du large.....	80
7.1.1	Modèle numérique.....	80
7.1.2	Limites de la zone modélisée	80
7.1.3	Conditions aux limites	80
7.1.4	Niveau d'eau	80
7.1.5	Déferlement	81
7.1.6	Frottement sur le fond	81
7.2	Définition des points de calcul de la réfraction.....	81
7.3	Coefficients de réfraction.....	89
7.4	Calcul des climats de vagues réfractées.....	91
7.5	Calcul des fréquences conjuguées des vagues réfractées et des niveaux d'eau	96
8.	COURANTS LITTORAUX ET DYNAMIQUE SÉDIMENTAIRE	98
8.1	Modèle numérique.....	98
8.2	Résultats	98
9.	PROTECTION DE LA BERGE – SECTEUR DES ÉTANGS AÉRÉS	107
9.1	Mécanisme d'érosion probable.....	107
9.2	Protection en enrochement	108
9.3	Stabilité du pied des protections en enrochement.....	113
9.4	Crête des enrochements	115
9.5	Consolidation des falaises avec du béton	117
9.6	Rechargement de plage	119
9.7	Rechargement de plage avec butée de pied	121
9.8	Rechargement de plage en matériaux grossiers.....	124
9.9	Rechargement de plage avec épis.....	129

9.10	Brise-lames submersibles au large	129
9.11	Déplacement d'infrastructures	130
9.12	Solutions de protection contre l'érosion pour les étangs aérés	130
9.13	Intervention à court terme (solution d'urgence)	135
9.13.1	Plan d'action préconisé	135
9.13.2	Protection temporaire urgente de la berge	135
9.13.3	Évaluation environnementale	137
10.	PROTECTION DE LA BERGE – SECTEUR DE GROS-CAP	139
10.1	Mécanisme d'érosion probable.....	139
10.2	Protection en enrochement	139
10.3	Consolidation des falaises avec du béton	143
10.4	Rechargement de plage	145
10.5	Rechargement de plage avec butée de pied	147
10.6	Rechargement en bas de falaise avec des matériaux grossiers	152
10.7	Rechargement du haut de plage en matériaux grossiers.....	154
10.8	Rechargement de plage avec épis.....	156
10.9	Brise-lames submersibles au large	156
10.10	Déplacement d'infrastructures	157
10.11	Solutions en érosion pour le secteur de Gros-Cap.....	157
11.	PROTECTION DE LA BERGE – SECTEUR DE LA PLAGE DU CHEMIN DES CHALETS	165
11.1	Mécanisme d'érosion probable.....	165
11.2	Protection en enrochement	165
11.3	Rechargement de plage	166
11.4	Géotubes en haut de plage	167
11.5	Déplacement d'infrastructures et renaturalisation du secteur	168
11.6	Solutions en érosion pour la plage de la Martinique	169
12.	PROTECTION DE LA BERGE – SECTEUR DE LA POINTE DE LA MARTINIQUE.....	173
12.1	Mécanisme d'érosion probable.....	173
12.2	Protection en enrochement	173
12.3	Consolidation des falaises avec du béton	177
12.4	Rechargement de plage	179

12.5	Rechargement de plage avec butée de pied	181
12.6	Rechargement de bas de falaise en matériaux grossiers	184
12.7	Rechargement de plage avec épis	186
12.8	Brise-lames submersibles au large	187
12.9	Déplacement d'infrastructures	187
12.10	Solutions en érosion pour le secteur de la Pointe de la Martinique	188
13.	PROTECTION DE LA BERGE – SECTEUR DE LA GRAVE	192
13.1	Mécanisme d'érosion probable	192
13.2	Protection en enrochement	192
13.3	Rechargement de plage	196
13.4	Rechargement de plage avec butée de pied	198
13.5	Rechargement de bas de falaise en matériaux grossiers	202
13.6	Rechargement de plage mixte	204
13.7	Rechargement de plage avec épis	205
13.8	Brise-lames submersibles au large	205
13.9	Digue de protection au droit de l'ancien quai	206
13.10	Déplacement d'infrastructures	206
13.11	Solutions en érosion pour le secteur de La Grave	207
14.	COÛT GLOBAL DU PROJET ET PLAN D'ACTION	211
14.1	Coût global des interventions proposées	211
14.2	Recommandations	215
14.2.1	Secteur des étangs aérés	215
14.2.2	Chemin du Gros Cap, près de la garderie	215
14.2.3	Secteur de La Grave, partie est	216
14.2.4	Autres secteurs	216
14.3	Plan stratégique d'intervention	216
	RÉFÉRENCES	218
	ANNEXE	219

SOMMAIRE EXÉCUTIF

Mandat

La municipalité des Îles de la Madeleine a demandé à Roche Ltée, Groupe-conseil (qui a retenu les services des Consultants Ropars inc. (CRI) et du Groupe-Conseil LaSalle (GCL) comme sous-traitants pour l'appuyer) d'étudier la problématique d'érosion des berges des secteurs de Gros-Cap, depuis les étangs aérés dans la baie de la Grande Échouerie, jusqu'à la Pointe de la Martinique, au début des enrochements de protection de la route 199, ainsi que le secteur de La Grave, situé à l'extrémité est de la baie de Plaisance, à Havre-Aubert. La zone d'étude a été subdivisée en cinq secteurs qui sont situés à l'extrémité nord et autour de la Baie de Plaisance : le secteur des étangs aérés, Gros-Cap, la Pointe de la Martinique et la plage de la Martinique, ainsi que La Grave (Havre-Aubert).

Ce rapport d'étape présente les activités effectuées de façon à définir, dans un premier temps, la problématique d'érosion des berges, et à proposer, dans un second temps, des interventions visant à corriger les problèmes en relation avec cette érosion.

Secteurs d'étude

Du point de vue morphologique, les secteurs de Gros-Cap (incluant les étangs aérés) et de la Pointe de la Martinique se présentent sous la forme d'alternances de falaises de grès ou sable induré en érosion et de petites plages. Le secteur de la plage de la Martinique était (avant que les chalets ne s'installent) une dune sablonneuse séparant la baie de Plaisance d'une zone marécageuse. Le secteur historique de La Grave est une plage entre deux secteurs de falaises en érosion.

De nombreuses interventions de protection de berge ont déjà eu lieu dans ces secteurs pour tenter de contrer l'érosion, avec des succès variables.

La construction domiciliaire qui a pris une ampleur remarquable depuis quelques décennies a amplifié l'impact des phénomènes d'érosion qui étaient déjà en cours sur cette portion de la côte des Îles de la Madeleine. Les changements climatiques, en particulier la disparition des glaces dans le Golfe et la hausse du niveau moyen des océans, devraient également contribuer à accélérer l'érosion de ces côtes.

Secteur des étangs aérés

Le secteur des étangs aérés est le secteur le plus au nord de la zone à l'étude. Ce secteur est caractérisé par des caps en érosion du côté nord, une plage relativement bien développée au niveau des étangs et enfin des caps en érosion du côté sud.

L'exutoire des étangs (conduite protégée par des enrochements) pourrait jouer le rôle d'un épi et retenir le transit sédimentaire en provenance du nord s'il avait la moindre efficacité. Les observations sur place montrent que cet enrochement ne retient pas vraiment de sédiments, ni d'un côté ni de l'autre de l'exutoire, les profils de plage se correspondent assez bien des deux côtés de l'exutoire et aucune inflexion des profils de plage n'est visible près de l'exutoire. Il est probable que les quantités

de sédiments en transit dans le secteur sont largement insuffisantes pour être retenues par l'exutoire des étangs aérés et alimenter la plage.

Du côté nord de l'exutoire, il est intéressant de noter la présence d'une sorte de plage en tout-venant qui présente une certaine efficacité à protéger temporairement la promenade. En fait, il s'agit d'enrochements locaux placés par la Municipalité vers 1995 pour protéger la promenade le long des étangs aérés. Ces enrochements se sont dégradés avec le temps.

Du côté sud de l'exutoire, de l'enrochement a été récemment placé pour tenter de protéger la promenade, mais cette protection est sous-dimensionnée et n'arrêtera pas vraiment la destruction de la promenade par les vagues de tempête. Les matériaux en érosion le long de la promenade sont des sables et graviers avec quelques pierres rondes.

Secteur de Gros-Cap

Le secteur de Gros-Cap est une succession de caps en érosion et de plages dont une seule (au niveau de la Garderie) présente une dimension significative.

Non seulement les caps de grès sont en érosion dans tout le secteur, mais la dune littorale est elle aussi visiblement en érosion dans ce secteur. Un peu d'enrochement a été mis en place par endroits pour tenter de ralentir le recul de la dune, sans grand succès, la dimension de cet enrochement n'ayant pas de rapport avec l'ampleur des phénomènes d'érosion en cause et en particulier avec les très hauts niveaux d'eau observés ces dernières années.

Secteur de la plage du chemin des chalets

La plage du chemin des chalets est située entre deux secteurs de caps en érosion. Une dune littorale sépare la Baie de plaisance au sud d'un secteur de marécage au nord. La mise en place des chalets dans ce secteur s'est effectuée en détruisant la majeure partie de la dune qui existait à cet endroit, le but étant de « dégager » la vue des propriétaires des chalets vers la mer. Les seuls chalets ou maisons qui sont encore protégés par cette dune à l'extrémité ouest de la plage sont à quelques mois de perdre cette protection.

Plusieurs chalets sont actuellement tellement avancés dans la baie que l'eau passe sous le chalet ou contourne les enrochements de fortune qui ont été installés pour tenter de protéger le chalet.

Secteur de la Pointe de la Martinique

La Pointe de la Martinique est un secteur de falaises de grès en érosion sévère. De nombreux propriétaires riverains sont intervenus pour tenter de protéger leur terrain. Des enrochements ont été placés ou déversés au pied de la falaise avec un succès variable. Les propriétaires qui ne sont pas intervenus perdent rapidement du terrain, au point que la falaise n'est plus qu'à quelques mètres de certaines habitations.

La plupart des enrochements de protection en place ne sont pas installés de façon efficace et durable : le pied de ces enrochements est rarement stabilisé et la crête de plusieurs enrochements est visiblement trop basse pour éviter le franchissement par les vagues de tempêtes.

Secteur de La Grave

Le secteur de La Grave est essentiellement une plage entre deux secteurs de caps en érosion. Certains secteurs de la plage ont été érodés au point que, dans la partie orientale de la plage, des bâtiments se retrouvent dans l'eau lors des événements de très hauts niveaux d'eau. Certains propriétaires ont tenté de protéger leur propriété à l'aide d'enrochement et/ou de blocs de béton.

Modèle numérique de terrain

La première étape de la présente étude, après celle de la prise de connaissance de la problématique et de la collecte de données, a été de réaliser un modèle d'élévation de terrain, qui devait ensuite servir de plan de base pour les analyses. Ceci a été fait en utilisant des données provenant de :

- un levé LIDAR effectué par l'Université du Québec à Rimouski (UQAR),
- un levé bathymétrique au sonar interférométrique fait par le Centre Interdisciplinaire de Développement en Cartographie des Océans (CIDCO),
- des levés hydrographiques fournis par le Service hydrographique du Canada (SHC),
- un dessin en format AutoCAD obtenu de la municipalité des Îles de la Madeleine pour la ligne de rivage.

La bathymétrie des secteurs d'étude a aussi été représentée en faisant des transects au moyen des données décrites ci-haut. Ainsi, le secteur des étangs aérés a été décrit par six transects, le secteur de Gros Cap par huit transects, alors que cinq et sept transects ont été produits respectivement pour les secteurs de la plage et de la Pointe de la Martinique. Le secteur de La Grave a été décrit par huit transects.

Niveaux d'eau

Une analyse des niveaux d'eau a été faite sur les niveaux de Cap-aux-Meules, ainsi que ceux de Charlottetown pour fin de comparaison. Les niveaux d'eau enregistrés à Havre-Aubert ont également été utilisés. Pour Cap-aux-Meules, l'analyse des niveaux moyens, niveaux hauts et extrêmes) a permis, en tenant compte d'une évaluation éventuellement optimiste (faible) de la remontée du niveau d'eau moyen des océans (changements climatiques) et de l'affaissement isostatique des îles (valeur globale retenue de 5 mm/an), d'établir des niveaux d'eau extrêmes pour la région de Cap-aux-Meules ou Gros-Cap, pour des périodes de retour d'un jour/an, 12h/an, ainsi que de 1, 2, 5, 10, 30 et 50 ans. Ces niveaux vont de +0,72 m NMM (c'est-à-dire par rapport au Niveau Moyen des Mers ou zéro géodésique) à +1,75 m NMM. Faute de données à long terme, les niveaux d'eau extrêmes du secteur de La Grave ont été établis par analogie avec ceux de Cap-aux-Meules en tenant compte de la variation du zéro des cartes marines (ZC) entre ces deux zones.

Granulométrie du sable

Des analyses granulométriques ont été faites par l'UQAR sur des prélèvements en mer, au large de Gros-Cap, et sur la plage le long de la route 199, au sud de la Pointe de la Martinique.

Érosion côtière baie de Plaisance

Les sédiments prélevés près de la côte devant les falaises de Cap-aux-Meules et Gros-Cap sont en général composé à 90 ou 95 % de sable fin et d'un peu de sable très fin. En s'éloignant de la côte, la proportion des sables fins et très fins s'inverse.

Les sédiments prélevés sur la plage au sud de la Pointe de la Martinique sont essentiellement un mélange de sable fin et de sable moyen où le sable fin prédomine en général.

Pour les besoins de modélisation hydro-sédimentaire, les sédiments ont été considérés comme des sables fins, soit ayant un diamètre de l'ordre de 0,25 mm.

Régime des vagues

Les vagues qui frappent le secteur de Gros-Cap peuvent provenir de deux zones distinctes, soit le large (surtout secteurs est à nord-est) et l'intérieur de la baie de Plaisance (secteurs sud à sud-est). Le climat des vagues devant Gros-Cap est une combinaison de ces deux ensembles de vagues, celles en provenance du large dominant en termes de hauteur et de période des vagues.

Les vagues ont été reconstituées au large de Gros-Cap à l'aide d'un modèle mathématique sur ordinateur, à partir des données de vent enregistrées à la station de l'aéroport des îles de la Madeleine. Ces vagues ont ensuite été amenées près de la côte, encore à l'aide d'un modèle numérique, pour tenir compte de l'effet de la diminution de la profondeur d'eau et de la forme de la bathymétrie, pour ainsi établir le climat de vagues dans les secteurs d'étude.

Des mesures de vagues ont été faites par l'UQAR en 2010 devant Gros-Cap (données disponibles du 12 mai au 11 juillet 2010). Malgré leur très courte durée, ces mesures de vagues ont été utilisées pour tenter de valider le modèle de génération de vagues utilisé dans le cadre de cette étude.

Pour les vagues générées au large de Gros-Cap, la hauteur significative des vagues prédite pour une période de retour de 100 ans est de l'ordre de 8,3 m. Pour une période de retour de 50 ans, la hauteur significative des vagues prédite est de l'ordre de 7,9 m.

Climat de vagues près de la côte

L'effet de la réfraction a ensuite été calculé à 13 points caractérisant la zone des étangs aérés, à 20 points dans la zone de Gros-Cap et à 27 points dans la zone de La Martinique. Douze points de calcul de la réfraction des vagues ont été utilisés pour le secteur de La Grave.

Les calculs de hauteur de vagues prédites pour des périodes de retour jusqu'à 100 ans ont ensuite été faits, puis ils ont été combinés aux prévisions de niveaux d'eau pour ainsi déterminer des probabilités de hauteur de vagues et de niveaux d'eau combinés aux différents points d'intérêt.

La récurrence de 35 ans a été retenue comme correspondant à la vie utile normalement admise pour les ouvrages côtiers, surtout dans un contexte de changements climatiques.

Courants littoraux et dynamique sédimentaire

Afin d'étudier les courants induits par les vagues le long de la côte des cinq secteurs d'intérêt, des simulations ont été effectuées avec le module hydrodynamique de MIKE 21 FM et les mêmes

Érosion côtière baie de Plaisance

paramètres généraux que ceux utilisés dans la modélisation de la transformation des vagues du large, soit un niveau d'eau de +1,25 m NMM et une rugosité des fonds équivalente à celle des sables fins.

Le transport sédimentaire n'a pas fait l'objet d'une modélisation numérique en soi. Les résultats de modélisation, obtenus pour des cas de simulation bien précis, sont difficiles à synthétiser pour dresser un portrait clair et général du transport littoral. Les résultats de modélisation des courants littoraux ont plutôt été interprétés pour chaque secteur afin de dégager les tendances générales de la dynamique sédimentaire et émettre certaines recommandations quant aux solutions de protection envisagées.

Protection de la berge – Secteur des étangs aérés

Les causes probables de l'érosion dans le secteur des étangs aérés sont :

- l'empiètement des étangs aérés sur la plage lors de la construction originale,
- la décroissance de l'érosion des falaises de Cap-aux-Meules, suite à la construction du havre de Cap-aux-Meules et aux tentatives de protection de ces falaises (d'où un apport réduit en sédiments dans le secteur des étangs aérés),
- l'accroissement du nombre d'épisodes de très hauts niveaux d'eau, surtout lorsqu'ils sont accompagnés de vagues.

Les mécanismes du déséquilibre sédimentaire et du recul de la côte ont diverses origines allant toutes dans le même sens :

- moins d'apports de sédiments des falaises de Cap-aux-Meules, suite aux efforts de protection de ces falaises (qui ne vont probablement pas diminuer),
- niveaux d'eau en hausse généralisée (hausse du niveau moyen des océans et affaissement isostatique des îles),
- énergie des vagues en hausse au niveau du littoral (plus de tempêtes avec la disparition des glaces dans le contexte des changements climatiques).

De plus, la combinaison de certains facteurs comme les niveaux d'eau extrêmes et les vagues de tempête décuple l'effet de ces facteurs individuels sur l'érosion côtière.

Les moyens de protection de la berge qui ont été considérés sont :

- Protection en enrochements ;
- Rechargement de plage au moyen de sable ;
- Rechargement de plage avec butée de pied ;
- Rechargement de plage avec matériaux grossiers ;
- Rechargement de plage avec épis ;
- Construction d'un brise-lames submersible au large ;
- Déplacement d'infrastructures.

Érosion côtière baie de Plaisance

Îles-de-la-Madeleine

Protection en enrochements

La protection de la berge à l'aide d'enrochements est un type de protection qui n'a pas vraiment été mis en œuvre dans le secteur des étangs aérés. Les essais de protection de la promenade le long des étangs aérés ne peuvent pas être considérés comme tels.

Une vérification de l'élévation optimale de la crête de l'enrochement a été faite ; l'élévation +3,2 m NMM a été retenue pour la crête de l'enrochement, ce qui est inférieur à l'élévation de la promenade adjacente. L'optimisation de cette élévation de la protection de la rive passerait par des essais de franchissement en canal à houle, seul moyen de tenir compte de la configuration réelle des fonds marins devant ces ouvrages de protection. Ces essais en canal à houle sont recommandés lors de la phase de conception finale des ouvrages si cette solution est retenue.

Une vérification de la grosseur des enrochements requis en fonction des conditions de vagues a aussi été faite et a permis de préconiser un poids des unités de carapace de 1 à 2 tonnes.

Rechargement de plage au moyen de sable

De façon préliminaire, la partie supérieure de la plage a été placée à l'élévation +2,2 m NMM et la partie horizontale a été limitée à une dizaine de mètres. Pour s'assurer de maintenir cette plage dans le cas d'événements de très hauts niveaux d'eau avec des vagues, il serait éventuellement requis de rehausser la plage et d'élargir la partie horizontale, la surélévation de 0,6 m de la plage par rapport aux niveaux d'eau extrêmes étant faible.

Il faudrait envisager placer plus de 800 m³/m de sable sur une largeur minimale de 200 m de plage et viser un sable ayant un diamètre caractéristique de l'ordre de 0,3 mm (au lieu des 0,25 mm du sable actuellement dans cette zone). Il s'agit donc de 160 000 m³ de sable plus grossier que le sable actuellement en place. Mais, même avec ce volume et ce diamètre, la relation concernant le volume critique de sédiments n'est pas respectée, ce qui laisse entrevoir des problèmes de stabilité de ce rechargement.

Du rechargement de plage en sable sans autre intervention n'est donc pas recommandable dans le secteur. Il faudrait ajouter des épis de protection aux extrémités de la zone de recharge afin d'éviter une fuite latérale trop rapide des sédiments et une butée de pied de plage pour éviter une fuite du sable vers le large. Les recharges récurrentes après la première recharge seraient probablement moins importantes, mais les quantités resteraient significatives en termes de coûts.

Rechargement de plage avec butée de pied

La seule façon d'envisager un rechargement de plage devant les étangs aérés est de concevoir ce rechargement combiné à une butée de pied pour assurer la stabilité de la plage dans le sens perpendiculaire à la côte.

De façon à tenter de minimiser les dommages à la butée de pied de la « plage suspendue », il serait important de placer la crête de cette butée le plus bas possible de façon à ce que les vagues et les glaces ne la détruisent pas rapidement. Par contre, plus on place cette butée dans une profondeur

Érosion côtière baie de Plaisance

d'eau importante, moins elle est efficace pour réduire la hauteur des vagues et plus il faut mettre du sable pour construire la plage suspendue.

Une butée en enrochement pourrait être constituée de pierre de type « rip-rap » de 50 à 1500 kg placée avec une crête d'au moins 12 m de largeur. Cette pierre pourrait être directement déversée d'une barge. À cause des contraintes mécaniques auxquelles sera soumise cette pierre, il est requis d'aller chercher cette pierre à l'extérieur des Îles de la Madeleine pour obtenir une qualité minimale des matériaux et une durabilité acceptable de l'ouvrage.

L'autre méthode de réalisation d'une butée de pied de plage serait l'utilisation de géotubes remplis de sable. Cette méthode a l'avantage d'utiliser du géotextile et du sable (disponible sur place alors que la pierre devrait être importée). Par contre, elle pose des défis logistiques et de sérieux risques en termes de durabilité. Des expériences de mise en place de géotubes au Mexique indiquent une fragilité potentielle par rapport aux contraintes induites par les vagues. L'expérience de géotubes mis en place à Tuktoyaktuk (Nunavut) dans les années 80 a clairement identifié le vandalisme et l'impact des débris flottants projetés par les vagues comme causes de la détérioration. Enfin, il reste l'inconnue que représentent les glaces dans le processus de dégradation des géotubes. Une protection des géotubes contre ces divers aléas doit être mise en place (géotextile renforcé ou matelas de béton articulé, par exemple).

Du rechargement de plage ne peut donc raisonnablement s'envisager dans le cas du secteur des étangs aérés qu'en parallèle avec une protection (en enrochement ou géotubes) du bas de plage (butée de pied de plage) parce que la géométrie de la plage et en particulier sa pente n'est pas propice à une stabilité d'un rechargement en sable sans cette protection.

Il s'agirait d'un projet tout à fait non traditionnel, ce genre d'intervention étant plutôt pensée en fonction de la protection d'un secteur nettement plus étendu en longueur et requérant en général moins de sable de recharge par unité de longueur.

Rechargement de plage avec matériaux grossiers

Du rechargement de plage avec de la pierre tout-venant de carrière des Îles ou avec des galets, du gravier ou du sable et gravier pourrait être plus intéressant que du rechargement avec du sable dans le secteur des étangs aérés, à cause de la pente d'équilibre de la plage qui serait nettement plus raide que celle d'un sable. Il y a cependant un problème de durabilité de ce rechargement qui devrait idéalement provenir des Îles de la Madeleine. Les matériaux en provenance des Îles étant très sensibles à la dégradation due aux contraintes hydrodynamiques et à celles de gel/dégel, il est recommandé de bien documenter d'année en année des travaux temporaires éventuels de protection des étangs aérés pour obtenir une idée de la vitesse de dégradation de ces matériaux locaux. Ces matériaux auraient l'avantage d'alimenter les plages adjacentes en sédiments à travers leur processus de dégradation. Une étude de disponibilité de pierre de type « rip-rap » devra également être réalisée.

Selon les calculs, la crête de la plage devrait se trouver à l'élévation +2,3 m NMM pour respecter le critère de remontée des vagues (runup 10 %) selon une condition de vague / niveau d'eau de 35 ans de période de retour. Des essais en canal à houle permettraient d'optimiser cette géométrie.

La grosseur de la pierre de type « rip-rap » à mettre en place se situerait entre 50 et 1 500 kg (300 à 950 mm de diamètre équivalent), la granulométrie des matériaux devant être régulière entre ces deux limites.

Ce concept de protection de berge s'apparente davantage à du rechargement de plage qu'à une protection en enrochement, surtout si des matériaux locaux (pierre de qualité marginale) sont utilisés. Il faut prévoir dans ce genre de concept des rechargements récurrents de la « plage » que va former la pierre qui sera mise en place et qui se dégradera sous l'effet des vagues et des glaces. L'hypothèse de récurrence des rechargements en matériaux grossiers a été de placer 25% de la quantité initiale tous les 15 ans. Des études spécifiques quant à la durabilité de la pierre utilisée devraient être entreprises pour confirmer ces hypothèses si cette solution est sérieusement envisagée.

La largeur de la crête de la protection en matériaux grossiers serait de 20 à 22 m, selon les calculs préliminaires. Des études complémentaires sur la qualité des matériaux et des essais en canal à houle en phase de concept final permettraient d'optimiser le projet, et possiblement de réduire la largeur de la crête à 10 à 15 m.

Un concept de plage de galets réalisé à l'aide de galets importés (matériaux de bonne qualité ayant une durabilité nettement améliorée par rapport aux matériaux locaux) permettrait de mettre en place nettement moins de matériaux et impliquerait probablement une diminution des coûts de ce type de projet par rapport au projet décrit ci-dessus utilisant des matériaux locaux. Par contre, des matériaux plus résistants n'alimenteraient pas en sédiments les plages adjacentes de façon aussi efficace que des matériaux locaux.

Dans tous les cas (matériaux locaux ou importés), des essais en modèle réduit seront recommandés pour finaliser la géométrie d'éventuelles plages de galets à mettre en place pour protéger la côte.

De nombreux exemples de telles « plages » naturelles existent au Canada (Île du Cap-Breton, Gaspésie, Baie Georgienne, Vancouver, etc.) et dans le monde (Oregon, Chili, Nouvelle-Zélande, Hawaï, etc.). On trouve également un exemple d'une plage de galets aux Îles-de-la-Madeleine, derrière le Château Madelinot.

Rechargement de plage avec épis

Du rechargement de plage avec épis sans butée de bas de plage ne semble pas être une avenue envisageable. La raison principale en est le non-respect de la pente d'équilibre de la plage, qui aurait comme conséquence que le sable de recharge placé entre les épis fuirait par l'extrémité la plus au large de ces épis.

De plus, la trop faible quantité de sable qui semble circuler devant la plage des étangs aérés et l'attaque généralement frontale des vagues, qui semble induire plus de circulation des sédiments de

la côte vers le large que de circulation parallèle à la côte de ces sédiments, tendent à montrer le peu d'intérêt de cette solution. L'exutoire actuel des étangs aérés, qui ne retient pas vraiment de sable, ni d'un côté, ni de l'autre des enrochements, tend à clairement démontrer ce comportement.

Construction d'un brise-lames submersible au large

La mise en place d'un brise-lames submersible au large des étangs aérés a été évaluée en termes de faisabilité et d'efficacité à diminuer la hauteur des vagues au niveau de la côte.

Un brise-lames complètement submersible, dont la crête se trouverait au maximum au zéro des cartes marines, serait sous plus de deux mètres d'eau lors des événements de très hauts niveaux d'eau. Les hauteurs de vagues de conception étant de cet ordre de grandeur (1,8 m à 2 m), ce genre de brise-lames serait alors tout à fait inefficace pour arrêter l'action érosive des vagues. De plus, un tel brise-lames se trouverait à une distance entre 100 et 200 m du rivage.

Sans rechargement artificiel de la plage, il est illusoire de compter sur le transit littoral pour faire remonter le niveau de la plage en arrière du brise-lames submersible.

Il faudrait envisager des brise-lames partiellement submersibles, c'est-à-dire avec une crête au niveau moyen de l'eau ou à +1 m NMM. Ces brise-lames seraient visibles une grande partie du temps et seraient fortement sollicités par les vagues et surtout les glaces. Cette option n'a donc pas été retenue.

Déplacement d'infrastructures

Le déplacement ou le déménagement des bassins des étangs aérés semble a priori difficile à envisager, surtout à cause des coûts très importants que cette relocalisation impliquerait.

Solution recommandée pour le secteur des étangs aérés

Les solutions les plus évidentes en matière de protection contre l'érosion dans le secteur des étangs aérés sont la protection à l'aide d'un **enrochement linéaire** ou la solution de **rechargement avec des matériaux grossiers** (rip-rap local ou galets importés). La solution en enrochement serait du type « permanent » (35 ans de vie utile sans intervention majeure) alors que la solution en rip-rap extrait des carrières des îles de la Madeleine serait une solution nécessitant des rechargements réguliers. L'inconvénient principal de la solution en enrochement est la dégradation de la plage en avant de l'enrochement alors que la solution en rip-rap local entretiendrait et améliorerait la plage (et les plages adjacentes) à travers le processus de dégradation des pierres constituant le rip-rap. La solution en galets importés aurait le potentiel d'être nettement moins chère que les deux autres solutions, mais requerrait des essais en modèle réduit pour en déterminer la configuration optimale.

La solution de rechargement de la plage à l'aide de sable ne semble être viable qu'à deux conditions difficiles à remplir :

- la découverte d'une source importante de sable plus grossier que le sable actuellement en place (produits du dragage de l'entrée de la lagune de Grande-Entrée ?),

- la mise en place d'une butée de pied de plage (en enrochements ou en géotubes) et d'épis transversaux.

Intervention à court terme

Étant donné que plusieurs mois s'écouleront avant que la solution de protection contre l'érosion à long terme ne puisse être mise en place, il est recommandé d'intervenir dès que possible avec une solution d'urgence pour maintenir la protection minimale offerte par la promenade au pied des étangs.

La protection de berge recommandée en urgence serait réalisée à l'aide de matériaux rocheux provenant de carrières locales. Cette protection se rapprocherait d'un concept de « plage de galets ». Un exemple de ce genre de plage se trouve immédiatement au nord de l'exutoire des étangs aérés. Cette plage protège la berge au nord de l'exutoire de façon marginale à cause de son élévation de crête trop basse, mais elle évite à cette partie du rivage de se retrouver dans l'état de dégradation qu'on constate du côté sud de l'exutoire.

La granulométrie des matériaux de cette plage serait celle d'un tout-venant de carrière, soit de 0 à 500 mm de diamètre, selon une répartition relativement régulière du fuseau entre ces deux limites. Un matériau constitué essentiellement de sable ne serait pas adéquat, sa durabilité étant beaucoup trop faible dans les conditions d'agitation qui prévalent à cet endroit.

Le secteur de côte à protéger de façon temporaire fait environ 150 m de longueur. Il faudrait prévoir environ 3 000 m³ de pierre de 0 à 500 mm pour réaliser la protection temporaire.

Protection de la berge – Secteur de Gros-Cap

Les mécanismes d'érosion probables des falaises de Gros-Cap sont apparentés à ceux décrits pour les étangs aérés, soit une baisse des apports en sédiments en provenance des falaises de Cap-aux-Meules, une hausse relative des niveaux d'eau et une augmentation de l'énergie des vagues au niveau de la côte suite à la disparition des glaces.

De plus, il est possible que des phénomènes de gélifraction, le déboisement, la construction domiciliaire et les phénomènes anthropiques associés (accélération du ruissellement sur des surfaces plus étanches, piétinement, installation d'escaliers, etc.) aient accéléré la dégradation des faces verticales des falaises.

Les moyens de protection de la berge qui ont été considérés sont :

- Protection en enrochements ;
- Consolidation des falaises avec du béton ;
- Rechargement de plage au moyen de sable ;
- Rechargement de plage avec butée de pied ;
- Rechargement de plage avec matériaux grossiers ;
- Rechargement de plage avec épis ;

Érosion côtière baie de Plaisance

- Construction d'un brise-lames submersible au large ;
- Déplacement d'infrastructures.

Protection en enrochements

La protection de la berge à l'aide d'enrochements est un type de protection qui a déjà été mis en œuvre dans le secteur.

Une évaluation des phénomènes de déferlement et de remontée des vagues sur l'enrochement de protection envisagé a été faite en fonction des conditions combinées des paramètres « vagues » et « niveaux d'eau » pour une durée de vie utile de 35 ans. Selon cette analyse, l'élévation +3,3 m NMM a été retenue pour la crête d'un enrochement dans le secteur de Gros-Cap.

La grosseur des enrochements requis serait 1 à 2 tonnes.

Pour des questions de logistique d'accès au pied de l'enrochement, il est nécessaire de prévoir une voie d'accès le long du pied de la falaise qui aurait une largeur minimale de 6 m au niveau du tout-venant sous la pierre-filtre. Par contre, la mise en place de la pierre-filtre et de la pierre de carapace réduirait à 3 m la largeur restante de la voie d'accès pour d'éventuels futurs travaux de réparations de ces enrochements, ce qui est insuffisant. Comme l'empiètement marginal nécessaire au maintien d'une voie d'accès permanente de 6 m de large après les travaux serait important (au moins 25 % de plus d'empiètement) et que les travaux de réparations ne seraient théoriquement requis que dans plusieurs dizaines d'années, il est recommandé de concevoir cette solution avec le minimum d'empiètement sur le milieu marin, la contrepartie étant un surcroît de travail pour accéder à cet enrochement en cas de réparation.

Consolidation des falaises avec du béton

La protection du pied des falaises à l'aide de béton devrait atteindre une élévation supérieure à celle de l'enrochement, étant donné l'étanchéité du béton et le fort coefficient de réflexion des vagues sur une telle protection, qui causerait une remontée des vagues légèrement plus forte et une érosion en pied du mur plus intense.

L'ancrage du mur dans le roc des falaises de Gros-Cap n'étant pas viable (roc trop friable et trop sensible à l'eau et aux cycles de gel/dégel), le mur de béton devra être autostable en simple appui sur la falaise.

Pour ce qui est de la fondation du mur, une excavation sera requise au pied de la falaise pour ancrer convenablement le pied du mur de béton. Une profondeur minimale de 1,2 m a été considérée de façon préliminaire, mais cette profondeur devrait être confirmée par une étude géologique incluant la vitesse à laquelle se détériorerait le roc au pied du mur de béton. Ceci ne constitue pas une solution recommandable, à cause des difficultés de réalisation (dans l'eau et exposé aux tempêtes) et des coûts reliés à ces difficultés.

Rechargement de plage au moyen de sable

Dans le cas des falaises de Gros-Cap, le profil d'une plage en équilibre est loin de celui du fond naturel actuel. La distance entre le profil théorique et les profils mesurés peut dépasser plusieurs mètres par endroits.

Dans le cas de la plage de la Garderie, le profil d'équilibre de la plage est un peu moins loin de celui du fond naturel que dans le cas des falaises, mais les deux profils ne se croisent qu'à 650 m de la rive.

La situation est semblable à celle des étangs aérés, c'est-à-dire qu'il faudrait envisager de mettre en place plus de 800 m³/m de sable de 0,30 mm de diamètre pour recharger la plage, et ce à la condition d'être en mesure de retenir ce sable devant la plage sans l'aide d'une butée de pied. La largeur à recharger est d'au moins 350 m devant la plage de la Garderie, ce qui correspond à un volume de 210 000 m³ de sable plus grossier que le sable en place uniquement pour la plage de la Garderie. À ces quantités de sable s'ajouteraient les épis de protection aux extrémités de la zone de recharge afin d'éviter une fuite latérale trop rapide des sédiments et des épis intermédiaires. Une fuite du sable vers le large est à craindre dans cette solution. Les recharges récurrentes après la première recharge seraient probablement moins importantes, mais les quantités resteraient significatives en termes de coûts.

Rechargement de plage avec butée de pied

La même problématique que pour les étangs aérés se pose :

- la seule façon d'envisager un rechargement de plage devant la Garderie est de concevoir ce rechargement combiné à une butée de pied et des épis transversaux pour assurer la stabilité de la plage dans le sens perpendiculaire et parallèle à la côte;
- le positionnement de la butée pose le même problème d'efficacité vs la vulnérabilité aux vagues, aux glaces et à d'éventuels objets flottants.

Pour garder le caractère esthétique d'une plage dans ce secteur, il serait requis de placer la crête de la berme de protection de pied de plage au moins à -1,0 m NMM, sinon à -1,5 m NMM. Ce choix implique de placer environ 450 m³/m de sable de rechargement sur une largeur minimale de 350 m de plage. En plus des protections en pied de plage et sur les côtés de la recharge, on parle donc de 115 000 m³ de sable requis pour recharger une première fois cette plage suspendue.

La butée pourrait être constituée de pierre de type « rip-rap » de 50 à 1500 kg placée avec une crête d'au moins 12 m de largeur, ou bien de géotubes renforcés. Les épis transversaux pourraient être constitués de pierre de 50 à 1500 kg. Ces pierres proviendraient de l'extérieur des îles.

Rechargement de plage avec matériaux grossiers

L'analyse est semblable à celle du secteur des étangs aérés. Un rechargement de haut de plage en tout-venant de carrière des îles, en galets, en gravier ou en sable et gravier pourrait être intéressant pour le secteur de la plage de la Garderie à Gros-Cap, à cause de la présence du haut de plage. Il y a un problème de durabilité de ce rechargement qui devrait idéalement provenir des îles de la

Madeleine. Les matériaux en provenance des Îles sont très sensibles à la dégradation avec le temps. Une étude de disponibilité de pierre de type « rip-rap » devra également être réalisée.

Avec une vague déferlante de 1,35 m de Hs, une pente de 10 % de la plage et une densité de la pierre de 2,6 t/m³, la pierre à mettre en place sur la plage de la Garderie devrait avoir un poids compris entre 20 et 600 kg (230 à 700 mm de diamètre équivalent), la granulométrie du matériel devant être régulière entre ces deux limites. Étant donné la présence de la plage, pour des raisons esthétiques et d'accès sur la plage, il faudrait envisager recouvrir cette pierre grossière à l'aide de sable au début de chaque saison estivale.

La pierre de rip-rap locale serait mise en place selon une géométrie relativement facile à obtenir pour l'entrepreneur avec des pousseurs (pente de 3/1). Les vagues et la glace se chargeraient d'adoucir la pente externe de ce rechargement de plage pour se rapprocher de la pente de 10 dans 1 visée. Pour conserver l'aspect récréatif de cette plage, il serait recommandé que procéder à l'épandage de sable sur les matériaux grossiers à chaque début de saison touristique. Ce sable serait emporté par les tempêtes d'automne et devrait être remplacé l'été suivant.

L'hypothèse de récurrence des rechargements en matériaux grossiers est de remplacer un quart de la quantité initiale tous les 15 ans. L'hypothèse de récurrence des rechargements en sable est de placer la moitié de la quantité initiale tous les ans. Des études spécifiques quant à la durabilité de la pierre utilisée et du sable devraient être entreprises pour confirmer ces hypothèses si cette solution est sérieusement envisagée.

Une percée devra être réservée dans cette protection au droit du ruisseau pour laisser l'eau s'écouler vers la mer. Par contre, cette percée laissera l'eau pénétrer en arrière de la protection lors des épisodes de très hauts niveaux d'eau.

Une solution utilisant des galets importés aurait l'avantage de requérir nettement moins de matériaux, mais l'inconvénient de ne pas alimenter les plages adjacentes en sédiments. Les quantités de matériaux requis dans un noyau en galets de bonne qualité pourraient être significativement moins importantes que pour un noyau en rip-rap local, mais des essais en modèle réduit seraient requis pour optimiser la géométrie.

Rechargement de plage avec épis

Comme pour le secteur des étangs aérés, du rechargement de plage avec épis ne semble pas être une avenue envisageable, et ce pour les mêmes raisons.

Construction d'un brise-lames submersible au large

La mise en place d'un brise-lames submersible au large de Gros-Cap a été évaluée en termes de faisabilité et d'efficacité à diminuer la hauteur des vagues au niveau de la côte.

Comme pour le secteur des étangs aérés, sans rechargement artificiel de la plage, il est illusoire de compter sur le transit littoral pour faire remonter le niveau de la plage en arrière du brise-lames submersible. Tout au plus verrait-on une certaine accumulation se produire immédiatement en amont du brise-lames, loin de la zone de marnage.

Érosion côtière baie de Plaisance

Il faudrait donc envisager des brise-lames partiellement submersibles (crête au niveau moyen de l'eau ou à +1 m NMM). Ces brise-lames seraient donc visibles une grande partie du temps et seraient fortement sollicités par les vagues et surtout les glaces.

Cette option n'a pas été retenue.

Déplacement d'infrastructures

Le déplacement ou le déménagement de certaines résidences et de certaines infrastructures urbaines (route, services) devrait également être envisagé, surtout dans le cas où ces infrastructures sont tellement avancées sur la plage ou sur le bord de la falaise qu'elles augmentent significativement le coût d'une solution globale. L'analyse indique que le déplacement d'infrastructures ne serait pas requis à moyen terme si un certain nombre d'interventions de protection de berge localisées peuvent être entreprises dans les prochaines années (acceptabilité environnementale et disponibilité des budgets).

Solution recommandée pour le secteur de Gros-Cap

Les solutions les plus évidentes en matière de protection contre l'érosion des falaises dans le secteur de Gros-Cap sont les mêmes que pour le secteur des étangs aérés, soit la protection à l'aide d'un **enrochement linéaire** ou la solution de **rechargement avec des matériaux grossiers** (rip-rap local ou galets importés). La solution en enrochement serait du type « permanent » (35 ans de vie utile sans interventions majeures) alors que la solution en rip-rap extrait des carrières des Îles-de-la-Madeleine serait une solution nécessitant des rechargements réguliers. L'inconvénient principal de la solution en enrochement est la dégradation de la plage en avant de l'enrochement alors que la solution en rip-rap entretiendrait et améliorerait les plages adjacentes à travers le processus de dégradation des pierres constituant le rip-rap. La solution en galets importés aurait le potentiel d'être nettement moins chère que les deux autres solutions, mais requerrait des essais en modèle réduit pour en déterminer la configuration optimale. Ces solutions devraient être modulées en fonction de l'importance et de la précarité des infrastructures à protéger (en particulier la route), le retrait ou l'absence d'intervention pouvant être des solutions nettement plus économiques à long terme que la protection à certains endroits où les infrastructures sont soit minimales, soit suffisamment distantes du rivage.

Pour le secteur de la plage de la Garderie, la solution du **rechargement du haut de plage à l'aide de matériaux grossiers** (rip-rap local ou galets importés recouverts de sable pour la saison estivale) serait probablement la solution à privilégier. Le rechargement de la plage à l'aide de sable n'a pas été retenu parce qu'il ne semble être viable qu'à deux conditions difficiles à remplir :

- la découverte d'une source importante de sable plus grossier que le sable actuellement en place (produits du dragage de l'entrée de la lagune de Grande-Entrée ?),
- la mise en place d'une butée de pied de plage (en enrochements ou en géotubes renforcés).

Protection de la berge – Secteur de la plage du chemin des Chalets

Les mécanismes d'érosion reliés à la hausse des niveaux d'eau et à l'augmentation de l'énergie des vagues au niveau de la plage mentionnés pour les secteurs précédents sont également impliqués dans les problèmes relevés dans le secteur du chemin des Chalets. D'après l'information bathymétrique disponible, la pente de la plage est très forte pour une plage de sable et, d'après les informations bathymétriques disponibles, une dépression (canal) longerait le pied de cette plage. Il se peut donc qu'un important transport de sable se produise parallèlement à la côte devant la plage, ce qui expliquerait encore mieux les problématiques d'érosion de cette plage.

Un phénomène spécifique à ce secteur est la dégradation de la dune littorale qui a accompagné le développement domiciliaire le long de la plage. Ce phénomène n'est pas la cause de l'érosion, mais l'a significativement accéléré en retirant du système le tampon que constituait cette réserve de sédiments.

Avec le rehaussement des niveaux d'eau appréhendé, il s'agit du secteur le plus à risque des cinq secteurs à l'étude à cause de la faible élévation de la zone (risques importants de submersion) et de l'étendue de la zone à protéger pour contrecarrer ce phénomène d'érosion.

Les moyens de protection de la berge qui ont été considérés sont :

- Protection en enrochements ;
- Rechargement de plage au moyen de sable ;
- Géotubes en haut de plage ;
- Déplacement d'infrastructures.

Protection en enrochements

La protection de la berge à l'aide d'enrochements s'est révélée une très mauvaise solution sur la plage du chemin des Chalets. En plus des problèmes d'accélération de l'érosion de la plage au large de l'enrochement qui y sont associés, cette solution ne correspondrait pas du tout à la vocation récréotouristique du secteur.

Rechargement de plage au moyen de sable

Le rechargement de la plage du chemin des Chalets semble pouvoir être envisagé. Il impliquerait cependant des quantités de sable non négligeables, de l'ordre de 300 m³/m, qu'il faudrait placer sur l'ensemble de la plage, y compris le secteur est, soit environ 900 m de long, ceci représente une quantité d'environ 270 000 m³. Mais le principal problème à résoudre avant de se lancer dans ce genre d'intervention est la présence de ce canal au pied de la plage et de l'important transit littoral associé, ce qu'illustrent très bien les cartes de courants littoraux lors des tempêtes. Il est certain que du rechargement de plage à cet endroit ne pourra se concevoir qu'en ajoutant des épis transversaux (distants d'au plus 200 m) qui limiteraient les mouvements vers le sud-ouest du sable. Ces épis augmenteraient le coût de cette solution qui reste une solution nécessitant un entretien régulier à travers des recharges.

Géotubes en haut de plage

Un concept populaire consiste à placer des géotubes en haut de plage pour lui permettre de résister à des événements exceptionnels. Ce concept est pratiquement impossible à mettre en œuvre dans le cas de la plage du chemin des Chalets dans le contexte actuel de son utilisation (route, chalets). Pour être efficace, ce système exige :

- une stabilité minimale de la plage : ceci est loin d'être acquis, compte tenu de la pente actuelle de la plage (qui s'éloigne beaucoup d'une pente d'équilibre), de l'élévation atteinte par l'eau lors des événements de hauts niveaux d'eau et de la tendance à la hausse du niveau d'eau moyen aux Îles de la Madeleine,
- un espace minimal pour déployer les géotubes sans qu'ils soient constamment sollicités par les vagues de tempête : la présence des chalets empêche cette condition d'être remplie et on peut se demander si le déplacement des chalets (pour laisser place aux géotubes) n'enlèverait pas tout intérêt à cette solution.

Déplacement d'infrastructures

Le déplacement ou le déménagement des résidences et des infrastructures urbaines (route, services) devrait certainement être envisagé dans le cas de la plage du chemin des Chalets, surtout que nombre de ces infrastructures se retrouvent tellement avancées sur la plage qu'elles interdisent toute solution globale. Si la dune littorale est laissée à son état naturel sans rechargement, l'ensemble des chalets devrait être déplacé, y compris ceux situés du côté nord de la route que les vagues de tempête ont déjà commencé à atteindre.

Le déménagement des chalets devrait s'accompagner de l'enlèvement des enrochements placés par les résidents, enrochements qui pourraient éventuellement être repositionnés à l'extrémité sud-ouest de la plage pour tenter de protéger le reliquat de dune littorale qui s'y trouve encore.

Un programme de plantation d'élyme des sables sur une dune restaurée à l'aide d'un minimum de sable importé devrait être envisagé de façon à favoriser la rétention des sables éoliens et la stabilisation de la dune. Le contrôle de la circulation des piétons et véhicules devrait accompagner cet effort de restauration de la dune littorale.

Solution recommandée pour le secteur de la plage du chemin des Chalets

La solution la plus évidente en matière de protection contre l'érosion de la plage du chemin des Chalets est le **déménagement de l'ensemble des chalets, si possible accompagné du rechargement du haut de la plage (environ 20 000 m³)**. Cette solution du déménagement et du rechargement devrait s'accompagner d'un programme de restauration de la dune littorale (plantation, contrôle de la circulation).

Une coordination de la solution retenue pour la plage avec celle retenue pour la Pointe de la Martinique (voir prochain chapitre) devra être faite, sous peine de minimiser les bénéfices des solutions sélectionnées pour chacun des secteurs.

Protection de la berge – Secteur de la Pointe de la Martinique

Les mécanismes d'érosion reliés à la hausse des niveaux d'eau et à l'augmentation de l'énergie des vagues au niveau du pied de la falaise mentionnés pour les secteurs précédents sont également impliqués dans les problèmes relevés dans le secteur de la Pointe de la Martinique. La largeur des plages a diminué de façon remarquable entre la photo aérienne de 1963 et celle de 2010.

Les moyens de protection de la berge qui ont été considérés sont les mêmes que pour le secteur de Gros-Cap, soit :

- Protection en enrochements ;
- Consolidation des falaises avec du béton ;
- Rechargement de plage au moyen de sable ;
- Rechargement de plage avec butée de pied ;
- Rechargement de plage avec matériaux grossiers ;
- Rechargement de plage avec épis ;
- Construction d'un brise-lames submersible au large ;
- Déplacement d'infrastructures.

Les analyses pour ce secteur résultent dans des commentaires semblables à ceux des autres secteurs :

Protection en enrochements

La protection de la berge à l'aide d'enrochements est un type de protection qui a déjà été mis en œuvre dans le secteur.

Les calculs préliminaires indiquent que la pierre de carapace devrait peser 1 à 2 tonnes, et que l'élévation de la crête de l'ouvrage devrait être +3,2m NMM. . L'optimisation de cette élévation de la protection de la rive passerait par des essais de franchissement en canal à houle, seul moyen de tenir compte de la configuration réelle des fonds marins devant ces ouvrages de protection. Ces essais en canal à houle sont recommandés lors de la phase de conception finale des ouvrages si cette solution est retenue.

Consolidation des falaises avec du béton

Mêmes commentaires que pour le secteur de Gros-Cap.

Rechargement de plage au moyen de sable

Il faudrait envisager plus de 700 m³/m de sable pour recharger la plage (à condition d'être en mesure de retenir ce sable devant la pointe). Même avec ce volume et un sable d'un diamètre de 0,3 mm, la relation concernant le volume critique de sédiments n'est pas respectée, ce qui laisse entrevoir des problèmes de stabilité de ce rechargement.

Du rechargement de plage en sable sans autre intervention n'est donc pas recommandable dans le secteur, les quantités requises pour un minimum de durabilité de ce rechargement étant importantes et les critères de stabilité et durabilité de ce rechargement de plage n'étant pas respectés. Pour un volume de $700 \text{ m}^3/\text{m}$ de sable de rechargement sur une largeur minimale de 900 m de la pointe, on parle de $630\,000 \text{ m}^3$ de sable plus grossier que le sable en place à installer devant la pointe de la Martinique.

Rechargement de plage avec butée de pied

Mêmes commentaires que pour les autres secteurs. Le choix d'une butée en rip-rap placée au niveau 0 m NMM implique de placer environ $170 \text{ m}^3/\text{m}$ de sable de rechargement sur une largeur minimale de 80 m de plage. En plus des protections en pied de plage et sur les côtés de la recharge, on parle donc de $155\,000 \text{ m}^3$ de sable requis pour recharger une première fois cette plage suspendue. Des épis régulièrement espacés devraient être installés le long du rivage pour contrer le transit littoral important dans ce secteur qui viderait rapidement la zone de son sable si cette précaution n'était pas prise.

L'utilisation de géotubes serait également possible en pied de plage, avec les risques déjà évoqués pour les autres secteurs.

Rechargement avec des matériaux grossiers

Un rechargement de plage en matériaux tout-venant de carrière des îles en galets, en gravier ou en sable et gravier pourrait être plus intéressant que du rechargement en sable, à cause de la pente d'équilibre de la plage qui serait nettement plus raide que celle d'un sable.

La pierre de rip-rap locale à mettre en place devrait avoir un poids compris entre 50 et 1 500 kg (300 à 950 mm de diamètre équivalent), la granulométrie du matériel devant être régulière entre ces deux limites.

La crête du rechargement en matériaux grossiers devrait se trouver à l'élévation +2,3 m NMM pour respecter le critère de remontée des vagues (runup 10 %) selon une condition de vague / niveau d'eau de 35 ans de période de retour. Du rechargement périodique serait requis (hypothèse de récurrence des rechargements : un quart de la quantité initiale tous les 15 ans).

Une solution utilisant des galets importés aurait l'avantage de requérir nettement moins de matériaux, mais l'inconvénient de ne pas alimenter les plages adjacentes en sédiments. Les quantités de matériaux requis dans un noyau en galets de bonne qualité pourraient être significativement moins importantes que pour un noyau en rip-rap local, mais des essais en modèle réduit seraient requis pour en optimiser la géométrie.

Rechargement de plage avec épis

Mêmes commentaires que pour les autres secteurs. Cette solution n'est pas recommandable (quantités de matériaux et coûts).

Construction d'un brise-lames submersible au large

Mêmes commentaires que pour les autres secteurs. Cette solution doit être accompagnée d'un rechargement artificiel de la plage pour être viable.

Déplacement d'infrastructures

Même commentaire que pour la plage de la Martinique. Si aucune protection n'est mise en place au pied des falaises dans ce secteur, toutes les infrastructures en place (maisons, routes, services) sont menacées à moyen ou long terme.

Solution recommandée pour le secteur de Pointe de la Martinique

Les solutions les plus évidentes en matière de protection contre l'érosion des falaises dans le secteur de la Pointe de la Martinique sont la protection à l'aide d'un **enrochement linéaire** ou la solution de **rechargement avec des matériaux grossiers** (rip-rap local ou galets importés). Ces solutions devraient éventuellement être modulées en fonction de l'importance des infrastructures à protéger, le retrait ou l'absence d'intervention pouvant être des solutions nettement plus économiques que la protection. La solution en galets importés aurait le potentiel d'être nettement moins chère que les deux autres solutions, mais requerrait des essais en modèle réduit pour en déterminer la configuration optimale.

La solution en enrochement serait du type « permanent » (35 ans de vie utile sans interventions majeures, à condition de stabiliser le pied de l'enrochement) alors que la solution en rip-rap extrait des carrières des Îles de la Madeleine serait une solution nécessitant des rechargements périodiques.

Protection de la berge – Secteur de la Grave

Les mécanismes d'érosion reliés à la hausse des niveaux d'eau et à l'augmentation de l'énergie des vagues sur la plage et au pied de falaises mentionnés pour les secteurs précédents sont également impliqués dans les problèmes relevés dans le secteur de La Grave. La largeur de la plage a diminué au point que l'eau entoure certaines maisons trop avancées sur la plage lors des événements de très hauts niveaux d'eau.

Les moyens de protection de la berge qui ont été considérés sont les mêmes que pour les secteurs précédents, soit :

- Protection en enrochements ;
- Rechargement de plage au moyen de sable ;
- Rechargement de plage avec butée de pied ;
- Rechargement de plage avec matériaux grossiers ;
- Rechargement de plage avec épis ;
- Construction d'un brise-lames submersible au large ;
- Déplacement d'infrastructures.

Les analyses pour ce secteur résultent en des commentaires semblables à ceux des autres secteurs :

Protection en enrochements

La protection de la berge à l'aide d'enrochements n'est pas du tout un type de protection adapté au caractère récréotouristique du secteur (plage dans un secteur historique).

Rechargement de plage au moyen de sable

Il faudrait envisager plus de 600 m³/m de sable pour recharger la plage dans la partie touristique de La Grave (à condition d'être en mesure de retenir ce sable devant la plage). Même avec ce volume et un sable d'un diamètre de 0,3 mm, la relation concernant le volume critique de sédiments n'est pas respectée, ce qui laisse entrevoir des problèmes de stabilité de ce rechargement.

Du rechargement de plage en sable sans autre intervention n'est donc pas recommandable dans le secteur, les quantités requises pour un minimum de durabilité de ce rechargement étant importantes et les critères de stabilité et durabilité de ce rechargement de plage n'étant pas respectés. Pour un volume de 600 m³/m de sable de rechargement sur une largeur minimale de 400 m de la plage, on parle de 240 000 m³ de sable à installer devant la plage de La Grave.

Rechargement de plage avec butée de pied

Le choix d'une butée en rip-rap ou géotubes placée au 0 NMM implique de placer environ 200 m³/m de sable de rechargement sur une largeur minimale de 400 m de plage. En plus des protections en pied de plage et des épis aux 100 m C/C et sur les côtés de la recharge, on parle donc de 80 000 m³ de sable requis pour recharger une première fois cette plage suspendue. Si on veut que la butée de pied de plage ne soit pas apparente (crête à -1,5 m NMM), il faudrait compter placer environ 360 m³/m de sable de rechargement sur une largeur minimale de 400 m de plage, soit 145 000 m³ de sable. Des épis régulièrement espacés (environ 100 m C/C) devront être installés le long du rivage pour contrer le transit littoral relativement important dans ce secteur qui viderait à moyen terme la zone de son sable si cette précaution n'était pas prise.

L'utilisation de géotubes comme butée de pied de plage serait également possible, avec les risques déjà évoqués pour les autres secteurs.

Rechargement avec des matériaux grossiers

Un rechargement de plage en matériaux tout-venant de carrière des îles, en galets, en gravier ou en sable et gravier pourrait être plus intéressant que du rechargement en sable, mais le caractère récréotouristique de la zone impliquerait probablement, chaque début d'été, le recouvrement des matériaux grossiers (placés comme noyau dur) par du sable sur une épaisseur suffisante pour conserver le caractère récréatif de plage; ce genre de solution est attrayante par rapport au rechargement en sable, mais nécessite des études plus poussées et en particulier des essais en modèle réduit (idéalement 3D) afin d'optimiser la géométrie du rechargement.

Rechargement de plage avec épis

Mêmes commentaires que pour les autres secteurs. Cette solution n'est pas recommandable (risques de fuite du sable vers le large, quantités de matériaux et coûts).

Construction d'un brise-lames submersible au large

Mêmes commentaires que pour les autres secteurs. Cette solution doit être accompagnée d'un rechargement artificiel de la plage pour être viable.

Déplacement d'infrastructures

Même si un programme de protection ou de restauration de la plage est mis en œuvre dans ce secteur, certaines infrastructures en place (maisons à l'extrémité est de la plage) sont trop avancées sur la plage et leur solage est une aberration dans ce genre de contexte. Leur déménagement et probablement leur reconstruction sur pilotis (comme à l'origine) devraient être envisagés.

Solution recommandée pour le secteur de La Grave

Les solutions les plus évidentes en matière de protection contre l'érosion du secteur de La Grave sont la protection à l'aide d'un **rechargement avec des matériaux grossiers** (rip-rap) dans la partie ouest du secteur (mur le long de la route 199 et falaises) et un **rechargement mixte** (noyau de matériaux grossiers recouvert de sable et gravier) pour la partie orientale plus touristique du secteur. Cette solution n'a toutefois pas pu être dimensionnée dans le cadre de la présente étude; elle nécessiterait une étude en modèle réduit pour bien étudier la stabilité des matériaux de rechargement, et éventuellement la nécessité d'inclure une butée de pied et des épis dans la solution.

La solution de protection du secteur ouest en rip-rap extrait des carrières des Îles de la Madeleine est une solution nécessitant des rechargements réguliers. L'inconvénient principal de la solution en enrochement est la dégradation du peu de plage qui resterait en avant de l'enrochement, ce qui entraînerait la dégradation de la plage du secteur oriental de La Grave, le plus touristique, alors que la solution en rip-rap entretiendrait et améliorerait les plages adjacentes (dont celle du secteur historique) à travers le processus de dégradation des pierres constituant le rip-rap. Il est à noter que le secteur ouest ne requiert pas une intervention de protection immédiatement, mais qu'il pourrait devenir problématique dans le futur.

La solution de rechargement de plage du secteur historique (avec ou sans noyau en galets ou rip-rap) est une solution nécessitant des rechargements réguliers. La mise en place de la butée de pied de plage et des épis transversaux limiterait les besoins en rechargement, mais ne les éliminerait pas. Il s'agit de la seule solution qui permet de conserver le cachet de ce secteur névralgique du tourisme au Îles de la Madeleine. Outre les études d'optimisation du concept en modèle hydraulique, la recherche d'une source de sédiments de recharge est aussi à étudier.

Coûts du projet et plan d'action

L'ensemble des coûts des interventions proposées dans cette étude est résumé dans le tableau qui suit. Même en choisissant la solution de moindre coût pour chaque secteur (qui n'est pas nécessairement la meilleure solution sur le plan environnemental ou sur le plan de l'utilisation du territoire), on obtient un coût total qui dépassera \$ 33 millions, sans compter le coût du déménagement éventuel des chalets du chemin des Chalets (plage de la Martinique).

Les remarques suivantes sont importantes pour bien comprendre les estimations de coûts produites dans cette étude :

- 1) La précision des estimations pourrait être affectée par les conditions géotechniques réelles des sites. À ce stade-ci, nous avons posé des hypothèses qui sont basées sur certaines observations visuelles et sur certaines données générales, concernant la profondeur du roc et les épaisseurs de matériaux meubles (sable) en surface. Des études géotechniques plus détaillées seront requises dans les prochaines étapes d'analyse du projet (conception détaillée et préparation des plans et devis pour construction) pour préciser les interventions à faire.
- 2) Les coûts unitaires proposés dans les estimations de coûts sont valides pour les solutions globales proposées. Certains coûts unitaires pourraient donc varier (probablement à la hausse) si les projets sont subdivisés en diverses phases de réalisation.
- 3) Compte tenu de l'envergure des solutions proposées, et du fait que ces projets doivent être considérés globalement sur le plan environnemental, il est certain qu'une étude d'impact environnemental devra être réalisée, avec la possibilité d'audiences publiques (BAPE). Il faut donc compter au moins 2 années avant d'en arriver à l'étape de réalisation.

L'intervention à court terme aux étangs aérés pourra probablement faire l'objet d'une exemption puisqu'il s'agit d'une mesure d'urgence, mais il faudra quand même obtenir un certificat d'autorisation du Ministère du Développement Durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP). Il y a lieu de noter que l'ajout de pierre de carapace réalisé en août 2011 par la Ville dans le but de faire face à l'ouragan Irène (26 août 2011) a renforcé, du moins à court terme, la protection des étangs aérés.

- 4) Les coûts des diverses solutions sont présentés en dollars constants de 2011, même si certaines comportent des rechargements périodiques qui devront être réalisés dans 7-8 ans (sable) ou dans 15 ans (matériaux grossiers). Ceci permet de comparer les valeurs actuelles des solutions.
- 5) Les solutions en enrochement comportent des risques élevés de dépassement de coûts lors des travaux, à cause des conditions des sites qui sont plus ou moins bien définies au présent stade des études, par exemple : connaissance approximative de la profondeur du roc (influence sur les coûts d'excavation), difficulté de prendre en compte les conditions particulières d'accès à diverses parties des ouvrages à construire, topographie et bathymétrie plus ou moins bien définies. Les solutions en galets importés ou rip-rap local sont nettement moins susceptibles de connaître des problèmes de contrôle des coûts de construction.
- 6) Pour les solutions comportant des butées de pied, deux solutions techniques ont été décrites pour ces butées, soit les enrochements et les géotubes. Pour les estimations de coûts, seulement des enrochements ont été considérés, parce que les géotubes comportent, selon nous, un risque plus grand que les enrochements sur le plan de la durabilité (impacts d'objets flottants, glaces, rayons UV, vandalisme). Ceci ne signifie pas

que les géotubes devraient être rejetés, mais simplement qu'il faudra les aborder avec une certaine prudence, s'ils apparaissent comme une alternative intéressante dans les étapes ultérieures d'analyse du projet.

Résumé des coûts des solutions proposées pour les 5 secteurs de l'étude

SECTEUR DES ÉTANGS AÉRÉS

<i>Solution 1 – Enrochement</i>		914 000 \$	
Solution 2 – Rechargement de la plage avec butées	Coût initial :	4 124 000 \$	Nécessite des rechargements périodiques, soit 25% du volume initial à tous les 7-8 ans, pendant la vie utile du projet (35 ans)
	Rechargements périodiques :	<u>2 103 000 \$</u>	
	Coût total :	6 227 000 \$	
Solution 3 – Rechargement de la plage avec matériaux grossiers	Coût initial :	908 000 \$	Nécessite des rechargements périodiques, soit 25% du volume initial à tous les 15 ans, pendant la vie utile du projet (35 ans). À valider par des études complémentaires, y inclus modélisation physique.
	Rechargements périodiques :	<u>454 000 \$</u>	
	Coût total :	1 362 000 \$	
Intervention à court terme (solution d'urgence) - Rechargement de la plage avec matériaux grossiers (quantité réduite vs Solution 3)		304 000 \$	

SECTEUR DE GROS CAP

Solution 1 – Enrochement (1975 m.l.)		15 680 000 \$	
Solution 2 – Rechargement de la plage avec matériaux grossiers (1975 m.l.)	Coût initial :	12 909 000 \$	Nécessite des rechargements périodiques, soit 25% du volume initial à tous les 15 ans, pendant la vie utile du projet (35 ans)
	Rechargements périodiques :	<u>6 697 000 \$</u>	
	Coût total :	19 606 000 \$	
Solution 3 – Rechargement de la plage avec butée de pied (350 m.l.; plage de la Garderie seulement)	Coût initial :	11 167 000 \$	Nécessite des rechargements périodiques, soit 25% du volume initial à tous les 7-8 ans, pendant la vie utile du projet (35 ans). À valider par des études complémentaires, y inclus modélisation physique.
	Rechargements périodiques :	<u>6 323 000 \$</u>	
	Coût total :	17 490 000 \$	

SECTEUR DE LA PLAGE DU CHEMIN DES CHALETS

Solution 1 – Déménagement des chalets		(à déterminer)	Nécessiterait une étude spécifique
Complément solution 1 – Rechargement de haut de plage		726 000 \$	Pourrait nécessiter des rechargements récurrents pour éviter le recul de la plage (non comptabilisés dans le coût du projet)
Solution 2 – Rechargement de la plage en sable (900 m.l.), avec épis (7 x 150 m)	Coût initial :	16 870 000 \$	Des rechargements périodiques sont requis, soit 25% du volume initial à tous les 7-8 ans, pendant la vie utile du projet (35 ans). À valider par des études complémentaires, y inclus modélisation physique.
	Rechargements périodiques :	<u>8 710 000 \$</u>	
	Coût total :	25 580 000 \$	

SECTEUR DE LA POINTE DE LA MARTINIQUE

Solution 1 – Enrochement (700 m.l.)		4 901 000 \$	
Solution 2 – Rechargement de la plage avec matériaux grossiers (700 m)	Coût initial :	4 404 000 \$	Nécessite des rechargements périodiques, soit 25% du volume initial à tous les à tous les 15 ans, pendant la vie utile du projet (35 ans). À valider par des études complémentaires, y inclus modélisation physique.
	Rechargements périodiques :	<u>2 202 000 \$</u>	
	Coût total :	6 606 000 \$	

SECTEUR DE LA GRAVE

Solution 1 – Partie ouest - Rechargement de la plage avec matériaux grossiers (350 m)	Coût initial :	1 949 000 \$	Nécessite des rechargements périodiques, soit 25% du volume initial à tous les à tous les 15 ans, pendant la vie utile du projet (35 ans).
	Rechargements périodiques :	<u>1 021 000 \$</u>	
	Coût total :	2 970 000 \$	
Solution 1 – Partie est - Rechargement de la plage (350 m) avec épis transversaux et butées de pied	Coût initial :	6 323 000 \$	Nécessite des rechargements périodiques, soit 25% du volume initial à tous les à tous les 15 ans, pendant la vie utile du projet (35 ans). À valider par des études complémentaires, y inclus modélisation physique.
	Rechargements périodiques :	<u>3 266 000 \$</u>	
	Coût total :	9 589 000 \$	

Recommandations

Il est certain que la Ville devra prioriser certaines interventions et en reporter d'autres, compte tenu du coût global très important du programme d'intervention.

Secteur des étangs aérés

La première priorité sera certainement le secteur des étangs aérés, pour lequel un budget de 1,2 à 1,4 million de dollars devra être prévu, selon qu'on décidera de mettre en place la solution de l'enrochement ou bien celle du rechargement avec matériaux grossiers.

À très court terme, une intervention d'urgence est proposée (voir section 9.11) pour assurer une protection minimum aux étangs, le temps de compléter les études techniques et environnementales, et d'obtenir les autorisations requises pour les solutions à plus long terme.

Chemin du Gros Cap, près de la garderie

Un second endroit où une intervention apparaît nécessaire rapidement est celui où la route se rapproche de la mer, dans le secteur de Gros Cap, à environ 400 m au sud de la garderie. La distance du bord de la route jusqu'au haut de la falaise est à peine 8 m à cet endroit. La protection de la route impliquerait le rechargement de la plage avec des matériaux grossiers, de façon à remplir l'échancrure dans la falaise pour créer une plage qui servira ensuite d'amortisseur de houle. NOTE : de la pierre (en faible quantité) a déjà été déversée à cet endroit, dans une tentative pour ralentir l'érosion.

Cette plage de matériaux grossiers pourrait être construite en forme d'arc de cercle et s'étendre sur une trentaine de mètres de longueur de littoral. Le travail pourra se faire à partir du sommet de la falaise, en y positionnant une grue qui pourra déposer la pierre sur la plage existante, au bas de la falaise. La grue serait alimentée par des camions qui transporteraient la pierre à partir d'une carrière locale. Une particularité du site est qu'une ligne électrique le traverse, ce qui constituera un obstacle pour le travail.

Cette intervention constitue en fait la mise en place partielle de la solution 2 proposée pour ce secteur. Le volume de matériaux requis pourra être déterminé de façon exacte suite à un relevé topobathymétrique (à réaliser). Le coût devrait se situer entre 100 \$ et 200 000 \$. (taxes en sus).

Secteur de La Grave, partie est

Le troisième secteur à protéger est celui de la partie est de La Grave, à cause de son caractère historique, patrimonial et touristique. Tel que décrit au chapitre 13, la seule intervention qu'il a été possible de dimensionner dans le cadre restreint de cette étude a été celle du rechargement de plage en sable. Par contre, il y a de sérieuses présomptions sur le fait que cette solution pourrait se révéler instable à cause des matériaux fins considérés. Une solution de rechargement utilisant un mélange de galets, graviers et sable serait nettement préférable, plus durable et probablement moins onéreuse que le rechargement en sable (les quantités de matériaux requis devant être moindres). Par contre, ce genre de rechargement ne se conçoit qu'au moyen d'essais en modèle réduit, suite à une étude des sources potentielles de ce genre de matériaux. Le coût de l'intervention de recharge en sable a été estimé à 9,6 M\$ (voir section 13.11) sur 35 ans.

Autres secteurs

Pour les autres secteurs, des choix devront être faits, selon les priorités de la Municipalité et les budgets qui seront disponibles.

Plan stratégique d'intervention

Un plan stratégique d'intervention devra donc être mis en place, le coût de l'ensemble des projets étant significatif.

Des solutions de protection de berge ou de rechargement de plage non traditionnelles ont été présentées dans ce rapport. Ces solutions ont le potentiel de réduire significativement le coût des protections de berge ou de restauration du milieu par rapport aux solutions traditionnelles. Par

Érosion côtière baie de Plaisance

contre, il n'existe pas de « recette » paramétrique pour définir les caractéristiques géométriques de ces solutions. Seuls des projets-pilotes avec suivi sur plusieurs années ou des essais en modèle réduit permettraient de concevoir de telles solutions dans le contexte de la Baie de Plaisance. Il est recommandé de lancer sans trop tarder :

- un programme de recherche de matériaux disponibles pour le genre de projet envisagé, de façon à définir des granulométries de matériaux réalistes,
- un programme d'essais en modèle réduit visant à cerner les paramètres géométriques de ce genre de solutions dans la Baie de Plaisance (et ailleurs au Québec – secteur de Pointe-aux-Loups, Gaspésie, Côte-Nord),
- l'intervention d'urgence aux étangs aérés et celle pour la protection du chemin du Gros Cap devraient être vus comme projets pilotes pour la solution de rechargement avec des matériaux grossiers. Ils devraient donc faire l'objet d'un suivi régulier, suite à leur mise en place, pour vérifier leur comportement dans le temps, en particulier suite aux tempêtes qui se produiront inévitablement. Les données et informations qui pourront en être tirées seront très utiles pour valider et, au besoin, apporter des correctifs aux concepts proposés dans la présente étude.

Le nouveau laboratoire de l'INRS-ETE à Québec permettrait de réaliser des essais à des échelles très intéressantes pour le genre de problématique à résoudre. Ce programme d'essais devrait normalement intéresser plusieurs ministères provinciaux et fédéraux, de même que de nombreuses municipalités.

1.0 INTRODUCTION

Les Îles-de-la-Madeleine sont situées au sud-est du Golfe du Saint-Laurent (figure 1.1). La Baie de Plaisance est située dans la portion sud des îles, et fait face à l'est.

La municipalité des Îles de la Madeleine a demandé à Roche Ltée, Groupe-conseil (qui a retenu les services des Consultants Ropars inc. (CRI) et du Groupe-Conseil LaSalle (GCL) comme sous-traitants pour l'appuyer) d'étudier la problématique d'érosion des berges des secteurs de Gros-Cap, depuis les étangs aérés dans la baie de la Grande Échouerie, jusqu'à la Pointe de la Martinique, au début des enrochements de protection de la route 199. La zone d'étude a été subdivisée en quatre secteurs qui sont situés à l'extrémité nord et au nord de la Baie de Plaisance, tel que montré à la figure 1.2 : le secteur des étangs aérés, Gros-Cap, la Pointe de la Martinique, la Plage de la Martinique ou chemin des Chalets. En cours d'étude, un cinquième secteur a été ajouté au mandat, soit le secteur historique de La Grave à Havre-Aubert.

Ce rapport est le compte rendu final de l'étude. Il présente les activités effectuées de façon à définir, dans un premier temps, la problématique d'érosion des berges, et dans un second temps, à proposer des interventions visant à corriger les problèmes en relation avec cette érosion.

Tel que défini dans les termes de référence préparés par la Ville, le mandat a consisté, en résumé, à réaliser les activités suivantes :

- Prendre connaissance de l'ensemble des données existantes relatives à la problématique d'érosion : bornes d'érosion, photographies aériennes multidates, photos terrains multidates, données de bathymétrie, sismique, LIDAR, orthophotos, analyses granulométriques, données provenant de la Gestion des données scientifiques intégrées (GDSI) du Service hydrographique du Canada (SHC) de Pêches et Océans Canada (MPO),
- Réaliser un modèle numérique d'élévation en continu, intégrant les données du levé LIDAR 2009 (partie terrestre incluant l'arrière côte, la plage et l'estran à marée basse) et du levé bathymétrique au sonar interférométrique (zone immergée entre le 2 et le 10 m marégraphique) fournis par le Service de l'atténuation des risques du Ministère de la Sécurité Publique (SARMSP). Compléter le modèle vers la plage avec 20 profils de plage fournis par le SAR-MSP, et vers les grandes profondeurs (plus de 10 mètres) avec les données du SHC fournies par le SAR-MSP. Créer une vue 3D de l'ensemble des données et faire au moins 12 transects perpendiculaires à la côte,
- Analyser la variation des niveaux d'eau en considérant les données des stations du SHC (Service Hydrographique du Canada) des Îles-de-la-Madeleine (Cap-aux-Meules, Havre Aubert, Millerand, Grande-Entrée) et celles de Charlottown. Tenir compte du rehaussement du niveau marin selon les dernières prédictions du GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat). Analyser les niveaux extrêmes et déduire les niveaux d'eau de conception des ouvrages côtiers envisagés,

- Analyser la granulométrie des sédiments de plage,
- Déterminer le régime des vagues au large, calculer les vagues extrêmes prédites au large, établir les principales combinaisons de direction, périodes et hauteurs des vagues,
- Modéliser la transformation des vagues à l'approche de la côte (différentes combinaisons de périodes, hauteurs et directions des vagues, et de niveaux d'eau. Calculer le régime des vagues sur 12 transects le long des ouvrages envisagés. Déduire les vagues caractéristiques en termes de hauteur et de fréquence qui serviront au dimensionnement des ouvrages côtiers envisagés,
- Analyser le transport sédimentaire. Expliquer la dynamique d'ensemble du transport des sédiments dans la baie de Plaisance,
- Procéder à l'étude et à la validation de scénarios pour la protection contre l'érosion. Proposer un dimensionnement et une méthode de construction, fournir des croquis d'avant-projet de chacun des ouvrages proposés. Estimer le coût de chacun des ouvrages proposés, y inclus les coûts d'entretien,
- Proposer des scénarios alternatifs s'il y a lieu.

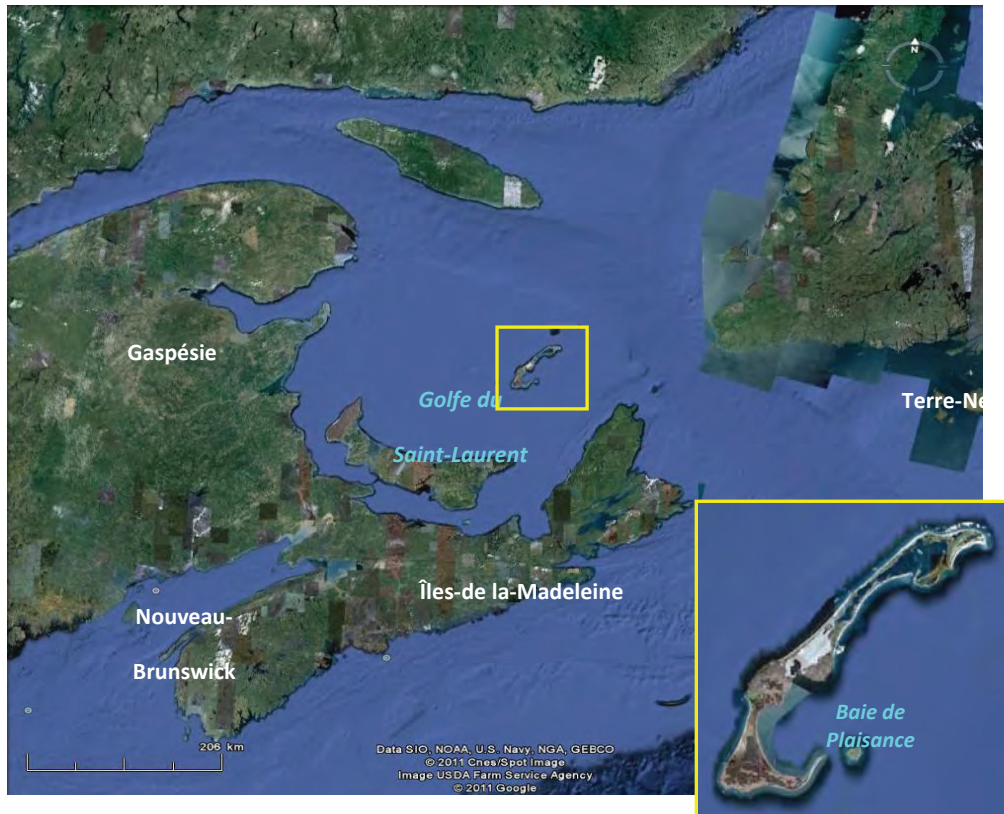


Figure 1.1 – Les Îles de la Madeleine



Figure 1.2 - Les cinq secteurs de la zone d'étude

2.0 SITUATION ACTUELLE

2.1 Caractéristiques des zones évaluées

Du point de vue morphologique, les zones des secteurs de Gros-Cap (incluant les étangs aérés) et de la Pointe de la Martinique se présentent sous la forme d'alternances de falaises de grès ou sable induré en érosion et de petites plages. Le secteur de la plage de la Martinique ou chemin des Chalets était (avant que les chalets ne s'installent) une dune sablonneuse séparant la baie de Plaisance d'une zone marécageuse. Le secteur de La Grave est une plage entre des falaises en érosion.

De nombreuses interventions de protection de berge ont déjà eu lieu dans ces secteurs pour tenter de contrer l'érosion de ces zones côtières, avec des succès variables.

La construction domiciliaire qui a pris une ampleur remarquable depuis quelques décennies a amplifié l'impact des phénomènes d'érosion qui étaient déjà en cours sur cette portion de la côte des Îles de la Madeleine. Les changements climatiques (disparition des glaces dans le Golfe et hausse du niveau moyen des océans) devraient également contribuer à accélérer l'érosion de ces côtes.

2.2 Visite des sites

Une visite de terrain a été effectuée à l'occasion de la réunion de démarrage du projet le 26 janvier 2011. Une tempête du secteur nord-est a soufflé le 27 janvier, ce qui a été l'occasion de revoir la zone d'étude avant, pendant et immédiatement après la tempête (26-27-28 janvier).

Tous les secteurs à l'étude ont été visités au moins à deux occasions (dont certains pendant la tempête à marée haute) et d'autres secteurs (hors mandat) ont également fait l'objet de visites pour évaluer de façon plus globale le phénomène d'érosion aux Îles et observer l'efficacité de certaines interventions de protection faites au cours des années, autant du côté de la Baie de Plaisance que dans les secteurs de Havre-aux-Maisons et Pointe-aux-Loups.

2.2.1 Secteur des étangs aérés

Le secteur des étangs aérés est le secteur le plus au nord de la zone à l'étude. Ce secteur est caractérisé par des caps en érosion du côté nord, une plage relativement bien développée au niveau des étangs et enfin des caps en érosion du côté sud (secteur adjacent dans la présente étude). Cette plage est la première vraie plage du secteur en partant du havre de Cap-aux-Meules et en allant vers le sud.

L'exutoire des étangs (conduite protégée par des enrochements) pourrait jouer le rôle d'un épi et retenir le transit sédimentaire en provenance du nord s'il avait la moindre efficacité. Les observations sur place montrent que cet enrochement ne retient pas vraiment de sédiments, ni d'un côté ni de l'autre de l'exutoire, les profils de plage se correspondent assez bien des deux côtés de l'exutoire et aucune inflexion des profils de plage n'est visible près de l'exutoire. Il est probable que les quantités de sédiments en transit dans le secteur sont largement insuffisantes pour être retenues par l'exutoire des étangs aérés et alimenter la plage.

Du côté nord de l'exutoire, il est intéressant de noter la présence d'une sorte de plage en tout-venant qui présente une certaine efficacité à protéger temporairement la promenade. En fait, il s'agit d'enrochements locaux placés par la Municipalité vers 1995 pour protéger la promenade le long des étangs aérés. Ces enrochements se sont dégradés avec le temps. Il était évident lors de la visite de janvier 2011 que cette « plage » n'avait pas les dimensions requises pour éviter tous les franchissements de vagues lors des tempêtes accompagnées de très hauts niveaux d'eau.

Du côté sud de l'exutoire, de l'enrochement a été récemment placé pour tenter de protéger la promenade, mais cette protection est largement sous-dimensionnée et n'arrêtera pas vraiment la destruction de la promenade par les vagues de tempête. Les matériaux en érosion le long de la promenade sont des sables et graviers avec quelques pierres rondes.



Figure 2.1 Secteur des étangs aérés vu en regardant vers le sud



Figure 2.2 Secteur des étangs aérés vu en regardant vers le nord



Figure 2.3 Secteur des étangs aérés – Plage de part et d'autre de l'exutoire (vue vers l'ouest)



Figure 2.4 Secteur des étangs aérés – Érosion le long de la promenade



Figure 2.5 Secteur des étangs aérés – Plage en tout-venant au nord de l'exutoire



Figure 2.6 Secteur des étangs aérés – Vue rapprochée de l'érosion le long de la promenade



Figure 2.7 Érosion de la promenade le long des étangs aérés et effet du franchissement des vagues

2.2.2 Secteur de Gros-Cap

Le secteur de Gros-Cap est une succession de caps en érosion et de plages dont une seule (au niveau de la Garderie) présente une dimension significative.

Non seulement les caps de grès sont en érosion dans tout le secteur, mais la dune littorale est elle aussi visiblement en érosion dans ce secteur. Le piétinement de la dune ne suffit pas à expliquer le recul de la côte. Un peu d'enrochements a été mis en place par endroits pour tenter de ralentir le recul de la dune, sans grand succès, la dimension de cet enrochement n'ayant pas de rapport avec l'ampleur des phénomènes d'érosion en cause et en particulier avec les très hauts niveaux d'eau observés ces dernières années.



Figure 2.8 Secteur du Gros-Cap – Alternance de microplages et de falaises en érosion



Figure 2.9 Secteur du Gros-Cap – Plage de la garderie



Figure 2.10 Secteur du Gros-Cap – Plage de la garderie avec sa protection partielle



Figure 2.11 Secteur du Gros-Cap – Érosion des falaises



Figure 2.12 Secteur du Gros-Cap – Protection récente d'une falaise en érosion



Figure 2.13 Secteur du Gros-Cap – Falaise en sable et gravier induré



Figure 2.14 Secteur du Gros-Cap – Falaise en sable induré lité

2.2.3 Secteur du chemin des Chalets

La plage du chemin des Chalets est située entre deux secteurs de caps en érosion. Une dune littorale sépare la Baie de plaisance au sud d'un secteur de marécage au nord. La mise en place des chalets dans ce secteur s'est effectuée en détruisant la majeure partie de la dune qui existait à cet endroit, le but étant de « dégager » la vue des propriétaires des chalets vers la mer. Les seuls chalets ou maisons qui sont encore protégés par cette dune à l'extrémité ouest de la plage sont à quelques mois de perdre cette protection.

Plusieurs chalets sont actuellement tellement avancés dans la baie que l'eau passe sous le chalet ou contourne les enrochements de fortune qui ont été installés pour tenter de protéger le chalet. La visite s'est effectuée en plusieurs temps, dont une visite pendant la marée haute du 27 janvier en fin d'après-midi avec des vents soutenus du secteur est et quelques bonnes vagues qui franchissaient sans difficulté les enrochements présents.



Figure 2.15 Secteur du chemin des Chalets– Vue d'ensemble de la plage et des chalets



Figure 2.16 Secteur du chemin des Chalets– Tempête du 27 janvier 2011



Figure 2.17 Secteur du chemin des Chalets– Tempête du 27 janvier 2011 – Franchissement par les vagues des protections en enrochement



Figure 2.18 Chalets du secteur du chemin des Chalets– Tempête du 27 janvier 2011



Figure 2.19 Chalets du secteur du chemin des Chalets– Tempête du 27 janvier 2011 – Les dommages constatés sur la galerie du chalet datent de tempêtes précédentes



Figure 2.20 Secteur du chemin des Chalets– Tempête du 27 janvier 2011



Figure 2.21 Secteur du chemin des Chalets– Érosion de la dune littorale à l'ouest de la plage



Figure 2.22 Secteur du chemin des Chalets– Recul du rivage



Figure 2.23 Chalet du secteur du chemin des Chalets autour duquel la dune littorale a complètement disparu, le chalet se retrouvant « en mer »

2.2.4 Secteur de la Pointe de la Martinique

La Pointe de la Martinique est un secteur de falaises de grès en érosion sévère. De nombreux propriétaires riverains sont intervenus pour tenter de protéger leur terrain. Des enrochements ont été placés ou déversés au pied de la falaise avec un succès variable. Les propriétaires qui ne sont pas intervenus perdent rapidement du terrain, au point que la falaise n'est plus qu'à quelques mètres de certaines habitations.

La plupart des enrochements de protection en place ne sont pas installés de façon efficace et durable : le pied de ces enrochements est rarement stabilisé et la crête de plusieurs enrochements est visiblement trop basse pour éviter le franchissement par les vagues de tempêtes.

La présence de ces zones d'enrochement ne semble pas provoquer « d'effets de bout » affectant les terrains adjacents. Il se peut que ce soit dû au fait que ces enrochements ont été mis en place très récemment et que les effets de bout dans ce contexte de falaises prennent quelques années pour se développer.



Figure 2.24 Pointe de la Martinique – Falaises en érosion



Figure 2.25 Pointe de la Martinique – Érosion de la falaise à proximité d'une maison



Figure 2.26 Pointe de la Martinique – Érosion de la falaise



Figure 2.27 Pointe de la Martinique – Protection ponctuelle du bas de la falaise



Figure 2.28 Pointe de la Martinique – Protection en enrochement relativement efficace



Figure 2.29 Pointe de la Martinique – Protection en enrochement inefficace (franchissement par les vagues et érosion du talus derrière l'enrochement)



Figure 2.30 Pointe de la Martinique – Protection en enrochement dont le pied est instable (directement posé sur la roche sans butée)



Figure 2.31 Pointe de la Martinique – Zone non protégée entre deux zones protégées



Figure 2.32 Pointe de la Martinique – Roche constituant la falaise : grès / sable induré surmonté de graviers

2.2.5 Secteur de La Grave (Havre-Aubert)

Le secteur historique de La Grave est essentiellement une plage entre deux secteurs de caps en érosion. L'extrémité ouest de la plage est protégée de façon artificielle par un enrochement puis par un mur. Le centre de la plage semble encore relativement stable, l'absence de bâtiments pouvant expliquer cette stabilité relative. Le secteur oriental de la plage a été érodé au point que des bâtiments se retrouvent dans l'eau lors des événements de très hauts niveaux d'eau. Certains propriétaires ont tenté de protéger leur propriété à l'aide d'enrochement et/ou de blocs de béton. Certains solages ont été complètement dégarnis du remplissage qui les protégeait et au moins une fondation s'est affaissée, nécessitant une intervention de redressement et de soutien du bâtiment affecté.



Figure 2.33 Extrémité occidentale de la plage de La Grave – Enrochement et mur



Figure 2.34 Milieu et partie occidentale de la plage de La Grave



Figure 2.35 Début de la protection placée par les propriétaires des maisons



Figure 2.36 Fondation de bâtiment affaissée, suite à l'érosion de la plage



Figure 2.37 Fondation de maison exposée par l'érosion de la plage



Figure 2.38 Protection de berge improvisée dans la partie orientale de la plage

Des photos prises en 2002 montrent que la maison de la photo précédente était déjà à cette époque protégée par les enrochements que l'on retrouve en 2011.



Figure 2.39 Vue de la partie orientale de La Grave en 2002



Figure 2.40 Protection de berge devant la maison la plus à l'est sur la plage de La Grave en 2002

2.2.6 Autres secteurs

2.2.6.1 Secteur de l'hôpital de Cap-aux-Meules

Le secteur de l'hôpital de Cap-aux-Meules est en érosion sévère. Il est remarquable de constater la quasi-absence de plages au pied de ces falaises en érosion. Seules quelques microplages de galets se retrouvent de place en place.

Par endroits, l'érosion de la falaise se fait par effondrement vertical du terrain (cheminées) en retrait de la face externe de la falaise. Ce type d'érosion se retrouve également dans le secteur de la Pointe de la Martinique. Des trous apparaissent régulièrement le long de la promenade. Quelques actions de protection ont été faites au niveau des trous qui menaçaient directement certaines portions de la promenade.



Figure 2.41 Secteur de l'hôpital – Falaises en érosion



Figure 2.42 Secteur de l'hôpital – Érosion par effondrement vertical (cheminée)

Les falaises en érosion dans ce secteur de l'hôpital devraient être une source de sédiments pour les secteurs des étangs aérés et de Gros-Cap, un peu plus au sud. Il est cependant évident que cette source de sédiments n'est pas suffisante pour permettre au secteur de Gros-Cap d'être en équilibre du point de vue de l'érosion côtière, les plages ne se développant pas assez pour protéger les falaises de l'érosion.

Érosion côtière baie de Plaisance

Îles-de-la-Madeleine

2.2.6.2 Secteur de la route 199 au niveau de la Martinique

Le secteur de la route 199 au niveau de la Martinique a progressivement été complètement enroché. Cet enrochement n'empêche pas la route de se faire inonder de façon régulière lors des tempêtes de nord-est. Le fait que de plus en plus d'ouvrages de protection de berge aient été installés autour de la Pointe de la Martinique n'est peut-être pas sans rapport avec le déficit en sédiments que l'on constate au niveau de la route 199, mais il est peu probable que cet élément explique à lui seul l'érosion du secteur au sud de la Pointe de la Martinique.



Figure 2.43 Fin du secteur de la Pointe de la Martinique et début des enrochements le long de la 199

2.2.6.3 Secteur de Havre-aux-Maisons

Le secteur de la Dune du Sud à l'est de l'aéroport de Havre-aux-Maisons est intéressant dans le cadre de cette étude parce que ce secteur est affecté par les tempêtes du secteur est, comme la Baie de Plaisance, et qu'un épi est en place et retient une partie du transit littoral. La dérive littorale dans ce secteur est principalement dirigée vers le nord et l'épi réussit à retenir une quantité non négligeable de sédiments qui constituent la plage au sud de l'épi. On constate en contrepartie que la plage au nord de l'épi est en érosion significative (décalage d'environ 60 mètres entre la plage au sud et la plage au nord de l'épi) et que la présence de cet épi n'empêche pas le haut de plage au sud de l'épi de se faire attaquer par les vagues de tempête.

Le succès mitigé de cet épi à retarder l'érosion d'une partie de la côte tient essentiellement à la présence d'une source importante de sédiments provenant de l'érosion des caps au sud de la plage, mais même cette source importante de sédiments n'est pas suffisante pour contrer tous les effets de l'érosion.

Érosion côtière baie de Plaisance

Îles-de-la-Madeleine



Figure 2.44 Épi de la dune du sud à l'est de l'aéroport



Figure 2.45 Érosion du haut de berge au sud de l'épi de la dune du sud

2.2.6.4 Secteur de Pointe-aux-Loups

Le secteur de Pointe-aux-Loups est très différent du secteur de la Baie de Plaisance surtout à cause de son orientation. Ce sont les vagues du secteur ouest qui affectent cette zone alors que ce sont les

Érosion côtière baie de Plaisance

Îles-de-la-Madeleine

tempêtes du secteur est qui affectent les rivages de la Baie de Plaisance. Par contre, le MTQ a fait plusieurs interventions dans le secteur de Pointe-aux-Loups pour tenter de sauver la route 199. Ainsi, de l'enrochement a été placé le long du rivage et du rechargement de plage a été fait à l'aide de sable et gravier. De plus, des épis isolés ont été testés.

Aucune de ces interventions ne semble avoir donné de résultats à long terme. Les épis et les enrochements sont encore en place par endroits, mais n'ont pas réussi à protéger la route et surtout pas à renforcer la plage. Les rechargements à l'aide de sable et gravier se font très rapidement éroder à la moindre tempête du secteur ouest.



Figure 2.46 Rechargement de plage au nord de Pointe-aux-Loups



Figure 2.47 Fissure d'érosion dans le rechargement de plage au nord de Pointe-aux-Loups



Figure 2.48 Épi et enrochement au nord de Pointe-aux-Loups

3.0 MODÈLE NUMÉRIQUE DE TERRAIN

La première étape de l'étude consistait à mettre au point un modèle numérique d'élévation de terrain intégrant tous les relevés topographiques et bathymétriques disponibles dans la zone à l'étude.

Afin de pouvoir utiliser le même modèle de terrain pour la modélisation de la transformation des vagues du large, un modèle d'ensemble allant jusqu'à des profondeurs de -40 m a d'abord été mis au point. Ce modèle utilise un maillage flexible qui permet de varier la résolution des mailles de calculs. Le modèle présente ainsi des mailles de quelques centaines de mètres au large et des mailles de l'ordre de 10 à 15 m dans les secteurs d'intérêt (section 3.3).

Pour l'extraction des transects de plage, nécessitant une représentation beaucoup plus précise des fonds, les données bathymétriques et topographiques ont été traitées à l'aide d'un maillage aux différences finies (cellules rectangulaires) offrant une résolution de l'ordre du mètre (section 3.5).

3.1 Données bathymétriques et topographiques

Quatre principales sources de données ont été utilisées pour mettre au point le modèle numérique d'élévation de terrain :

- Levé LIDAR effectué par l'université du Québec à Rimouski (UQAR) en 2009 sur la zone couvrant la partie terrestre, incluant l'arrière côte, la plage et l'estran à marée basse (réf. [4]). Dans les secteurs des étangs aérés, Gros-Cap, Baie de Plaisance et La Grave¹, le levé LIDAR comptait près de 4,6 millions de points ;
- Levé bathymétrique au sonar interférométrique relevé par le Centre Interdisciplinaire de Développement en Cartographie des Océans (CIDCO) pour la zone immergée entre les isobathes -2 m et -10 m (niveaux marégraphiques) (réf. [3]). Ce levé a été réalisé à la demande du Service de l'atténuation des risques du Ministère de la Sécurité publique (SAR-MSP) et comptait près de 77,8 millions de points ;
- Levés hydrographiques fournis par le Service hydrographique du Canada (SHC) pour couvrir les zones plus au large et la bande de données manquante entre les données LIDAR et les données bathymétriques du CIDCO. Une grille de résolution de 50 m par 50 m intégrant les levés les plus récents a été fournie par le SHC ;
- Dessin en format AutoCAD « idm_topo_a.dwg » obtenu auprès de la municipalité des Îles de la Madeleine pour la ligne de rivage. Dans les secteurs d'intérêt, cette ligne de rivage a par la suite été modifiée pour inclure les relevés topographiques du LIDAR.

Toutes les données bathymétriques et topographiques disponibles ont été combinées dans l'interface de pré-traitement MikeZero. Comme les données du SHC couvraient la zone entière du modèle

¹ Noms des fichiers utilisés : BaiePlaisance1_grd.xyz, BaiePlaisance2_grd.xyz, BaiePlaisance3_grd.xyz, BaiePlaisance4_grd.xyz, Havre-Aubert2_grd.xyz, GrosCap1_grd.xyz et GrosCap2_grd.xyz.

numérique et se superposaient à certains endroits aux données de haute résolution du CIDCO, les données du CIDCO, plus précises et plus récentes, ont été privilégiées.

3.2 Zéro des cartes et niveau moyen des mers

L'équivalence entre le zéro des cartes (ZC) et le niveau moyen des mers (NMM) est établie par le SHC à trois endroits différents dans la zone à l'étude (tableau 3.1). Compte tenu de la superficie importante couverte par le modèle numérique, la valeur moyenne des équivalences ZC-NMM a été utilisée pour convertir les niveaux référencés d'un système à l'autre. Ainsi, sur la base des informations données par le SHC, il faut soustraire 0,65 m à un niveau marégraphique (ou ZC) pour le convertir en niveau géodésique (ou NMM).

Tableau 3.1 : Équivalences ZC et NMM dans le secteur de la Baie de Plaisance

Station	ZC (m)	NMM (m)	ZC - NMM
79KZ130 (Cap-aux-Meules)	3,206	2,441	0,765
79KZ090 (Havre-Aubert)	14,096	13,477	0,619
M01L9062 (Île d'Entrée)	3,291	2,727	0,564
		moyenne	0,65 m

Il est à noter que l'UQAR et le CIDCO ont également utilisé cette équivalence moyenne pour la conversion de leurs données (réf. [4]).

3.3 Modèle d'ensemble

Le nombre de données bathymétriques et topographiques disponibles dans la zone d'ensemble du modèle dépassait largement la capacité d'interpolation du modèle numérique et les données ont dû être filtrées. Pour les données LIDAR et les données bathymétriques du CIDCO en eau peu profonde, la résolution finale des données est de 5 m. Plus au large, la résolution finale des données du CIDCO est de 15 m. L'espacement des données du SHC (50 m) n'a pas été modifié.

Les élévations du LIDAR et du sonar interférométrique du CIDCO étaient déjà exprimées en niveau géodésique. Les données du SHC, initialement référencées par rapport au zéro des cartes, ont donc été converties en niveaux géodésiques (voir section précédente). Toutes les coordonnées en plan ont été référencées selon le système de projection MTM4 NAD83.

La bathymétrie numérique du modèle d'ensemble est illustrée à la figure 3.1 et aux abords des secteurs des étangs aérés, de Gros-Cap et de La Martinique à la figure 3.3. Les figures 3.2 et 3.4 présentent le maillage correspondant dans chacune de ces zones. Le secteur de La Grave est illustré à la figure 3.5. Tel que mentionné précédemment, le modèle d'ensemble présente des mailles de

quelques centaines de mètres au large et des mailles de l'ordre de 10 à 15 m dans les secteurs d'intérêt.

Finalement, une vue tridimensionnelle de la bathymétrie dans la Baie de Plaisance est illustrée à la figure 3.6.

3.4 Précision des données bathymétriques et topographiques

Le modèle numérique de terrain présenté à la section précédente résulte de l'interpolation des données disponibles dans le secteur de l'étude. Tel que mentionné à la section 3.1, les levés LIDAR et les relevés CIDCO utilisés dans le montage du modèle numérique sont tous deux récents et comptent chacun plusieurs millions de points. La précision du terrain modélisé dans les zones couvertes par ces relevés est donc excellente.

Entre les relevés LIDAR et CIDCO, la précision du modèle numérique de terrain est toutefois discutable. En effet, la modélisation de la bathymétrie dans cette zone repose entièrement sur les données du SHC, qui comportent plusieurs sources d'incertitude :

- Le fichier gridé de bathymétrie fourni par le SHC est lui-même une extraction d'un modèle de terrain intégrant toutes les données disponibles au SHC. La résolution et la provenance des données brutes à l'origine de cette grille ne nous ont pas été précisées;
- Bien que le fichier gridé ne soit pas spécifiquement daté, la plupart des levés hydrographiques réalisés par le SHC dans la baie de Plaisance datent des années 1984-1985. Les relevés du SHC ayant servi à l'élaboration du modèle de terrain datent donc probablement de plus de 25 ans.

Compte tenu de la date des relevés du SHC, il est possible qu'ils ne reflètent plus avec exactitude la bathymétrie des fonds. De plus, il est possible qu'un certain degré d'imprécision provienne de la façon dont le fichier gridé est produit.

En l'absence d'autres données, il a tout de même été décidé d'utiliser les données du SHC dans la zone comprise entre les relevés LIDAR et CIDCO. Il convient toutefois de souligner que la précision de cette source de données est incertaine et que le modèle numérique de terrain qui en résulte présente le même degré d'imprécision.

Pour mieux connaître la bathymétrie des fonds en eau peu profonde et valider les données du SHC, il serait recommandé d'effectuer un sondage bathymétrique au sondeur électronique standard (si les profondeurs d'eau le permettent) ou des transects de plage à intervalles réguliers.

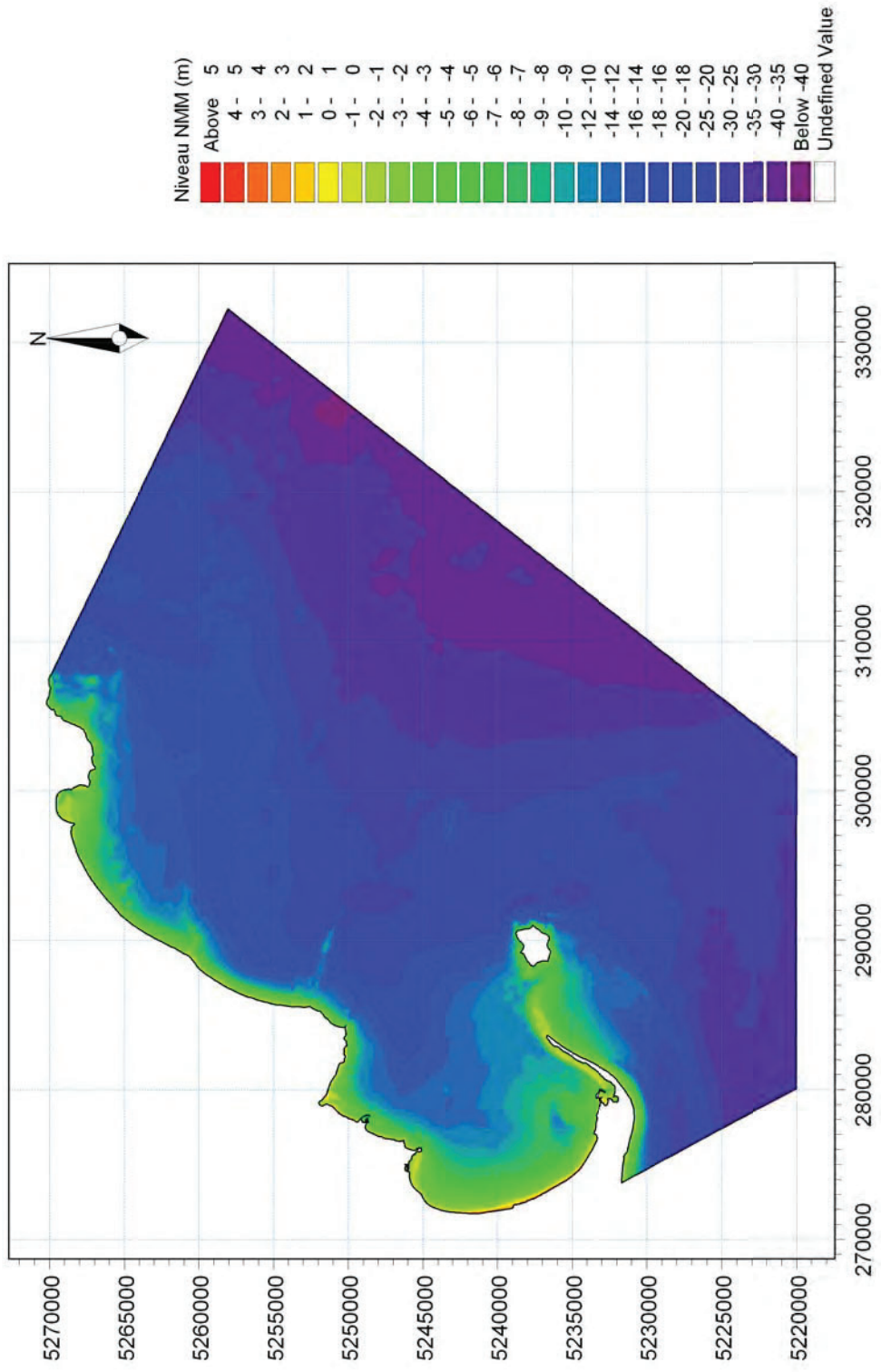


Figure 3.1 : Bathymétrie numérique dans la zone d'étude globale

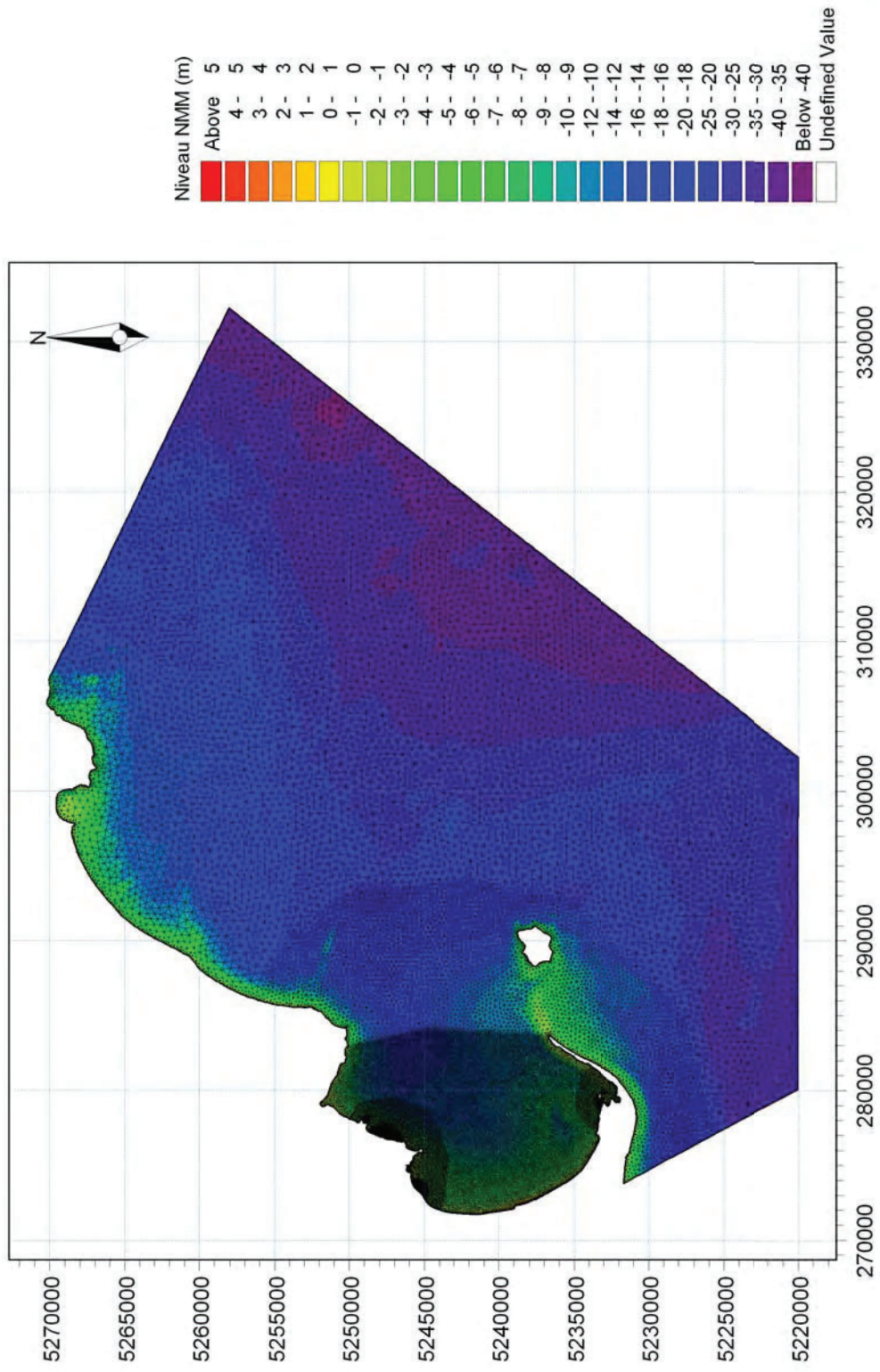


Figure 3.2 : Densité du maillage dans la zone d'ensemble

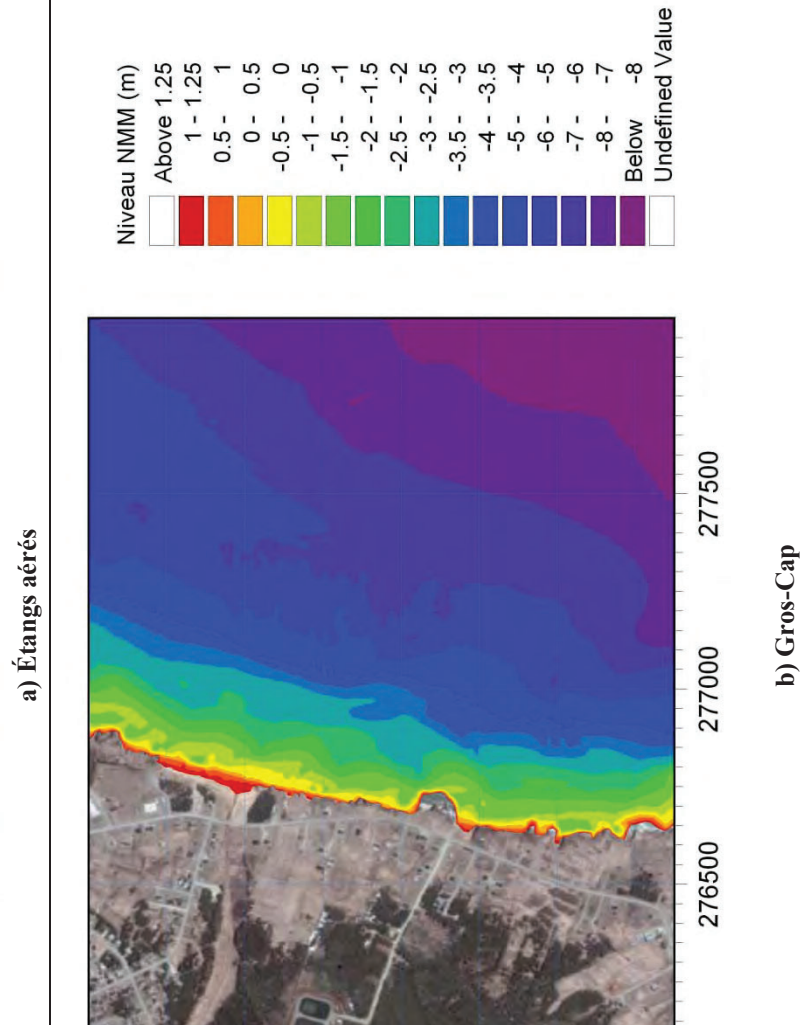
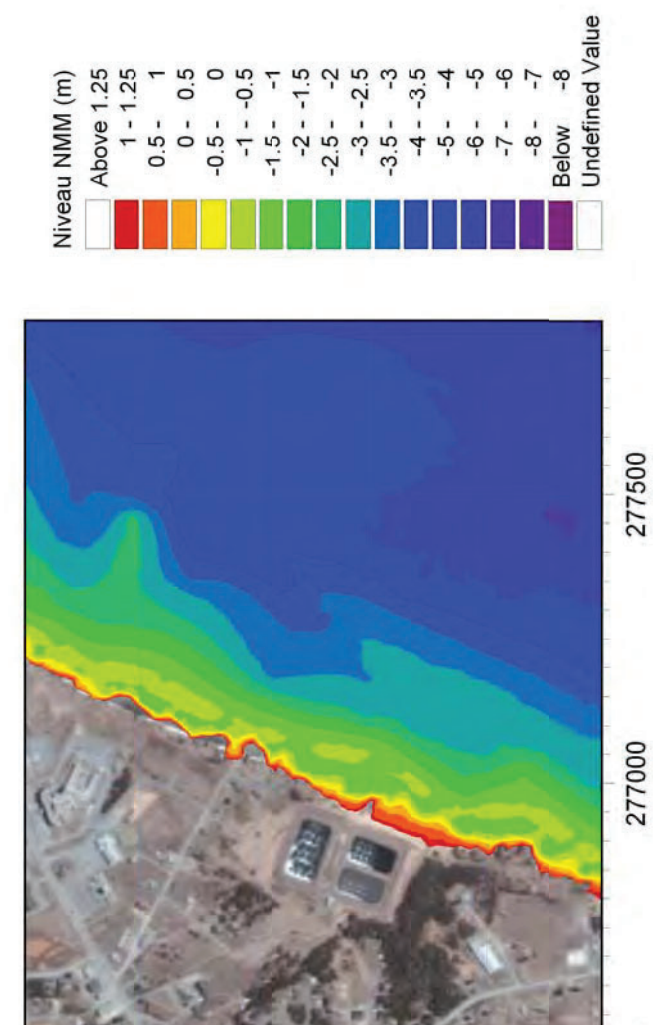
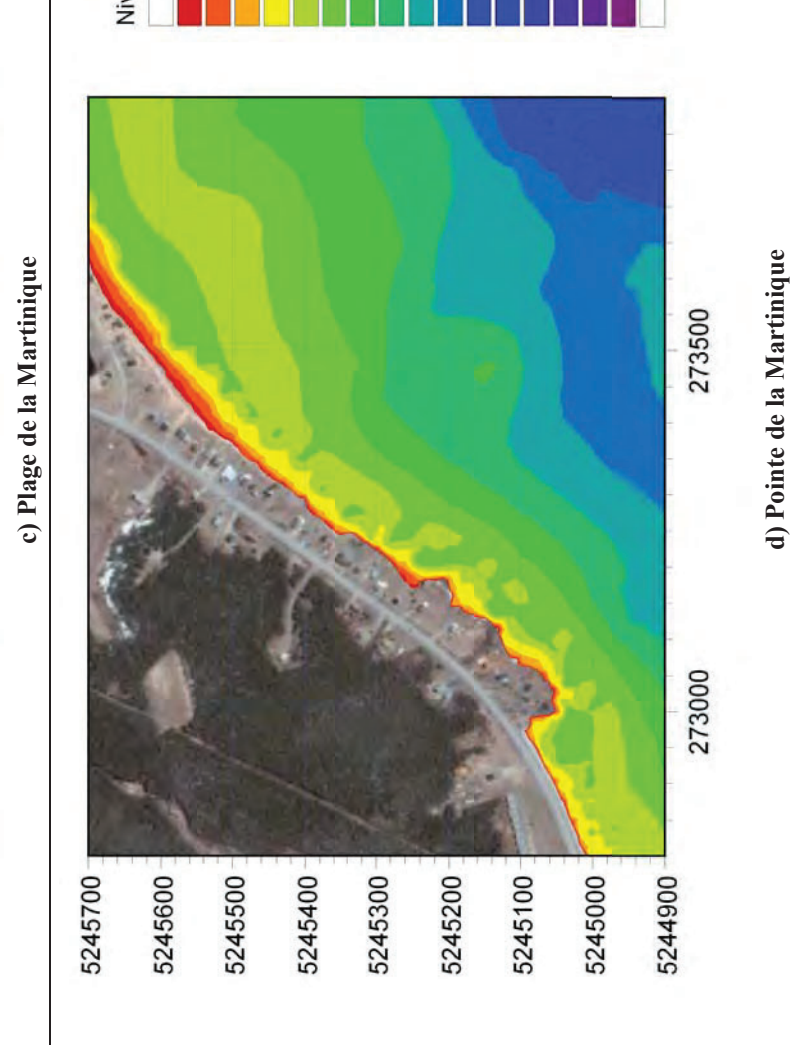
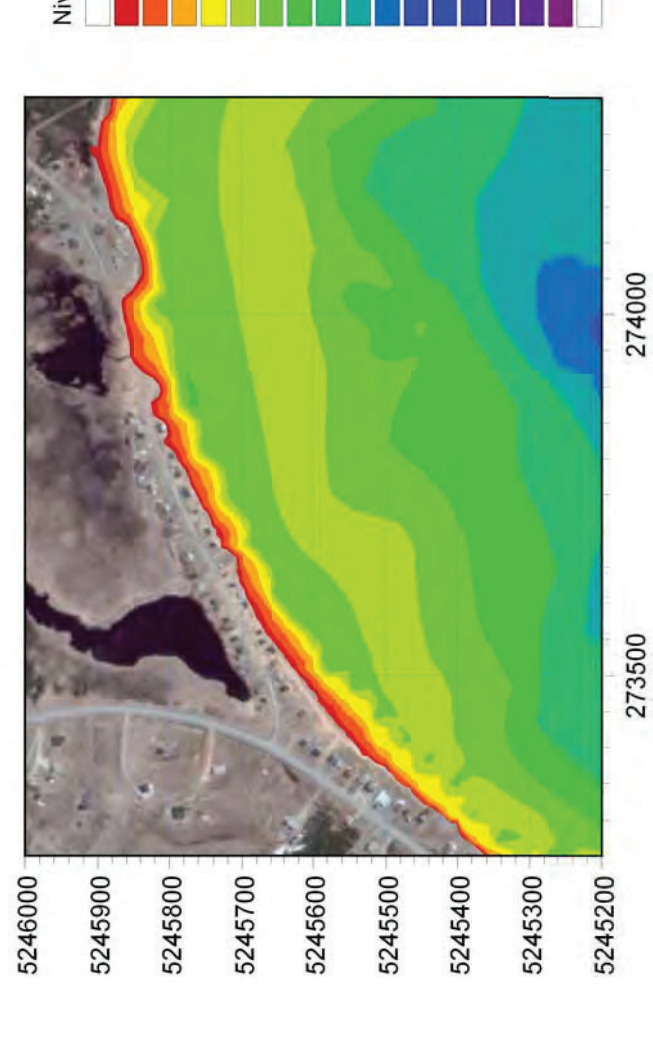


Figure 3.3 : Bathymétrie numérique dans les secteurs d'intérêt

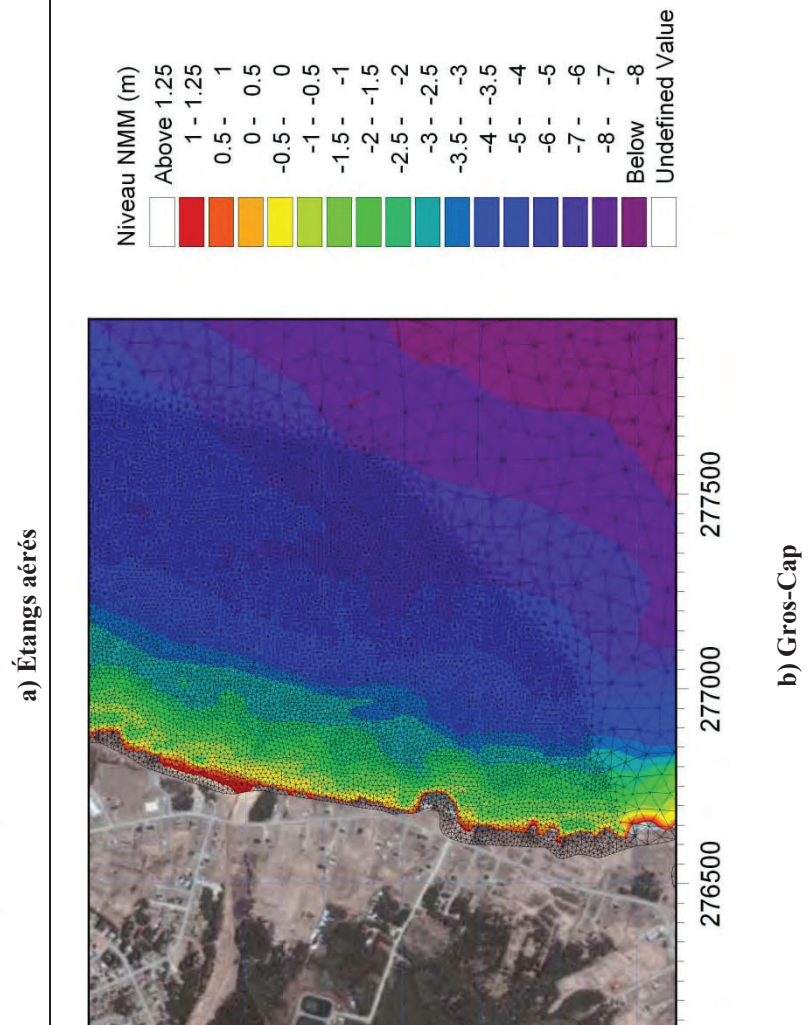
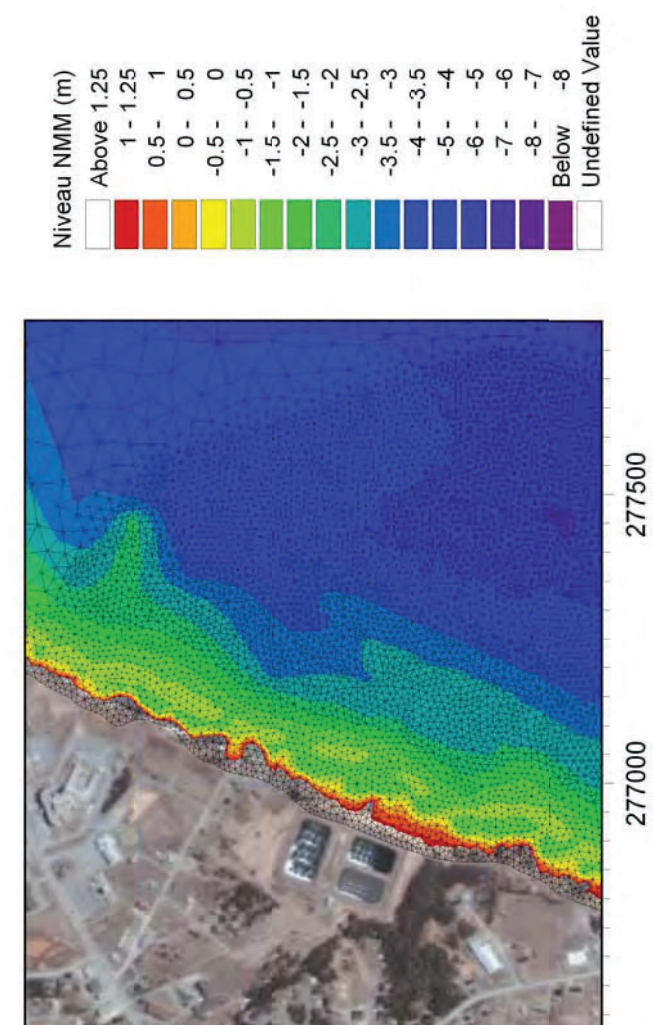
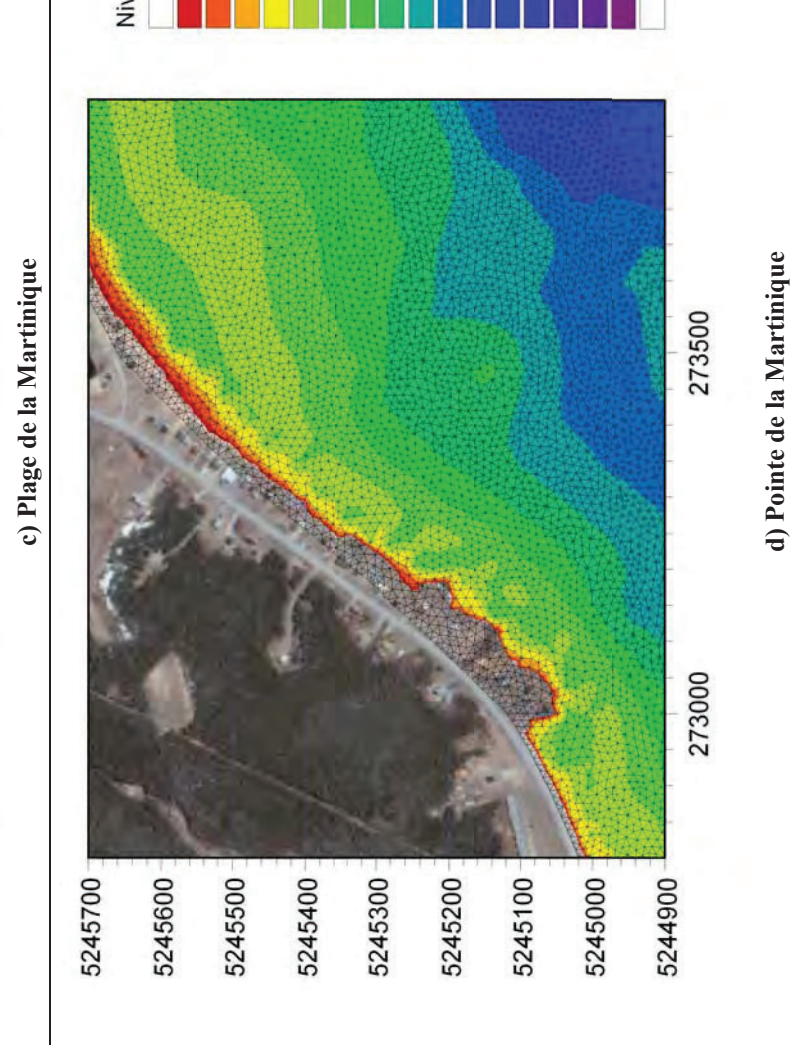
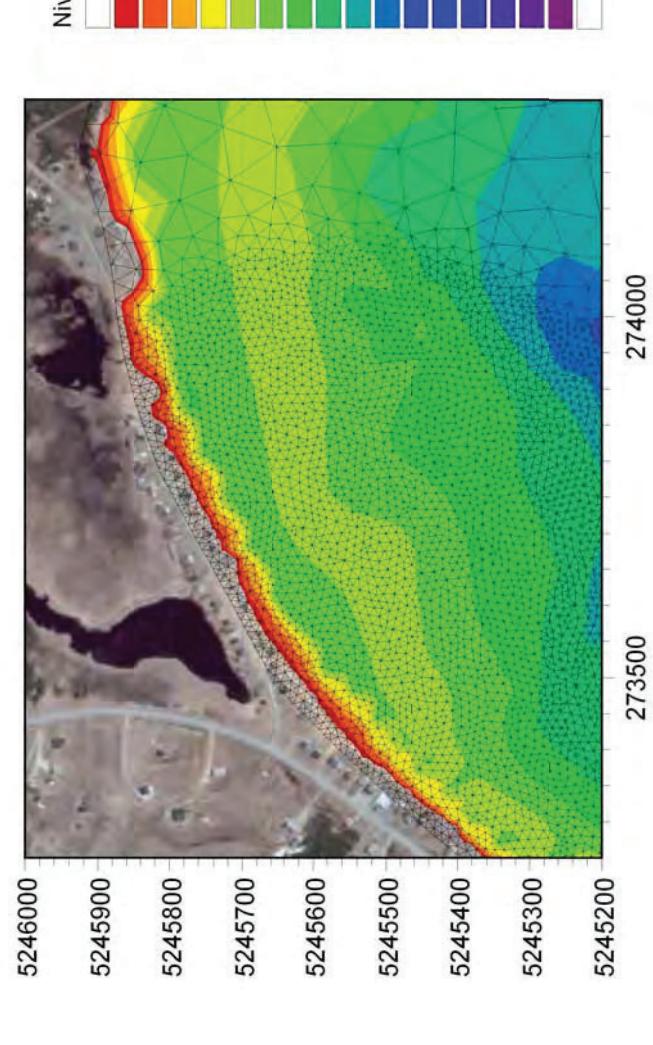


Figure 3.4 : Densité du maillage dans les secteurs d'intérêt

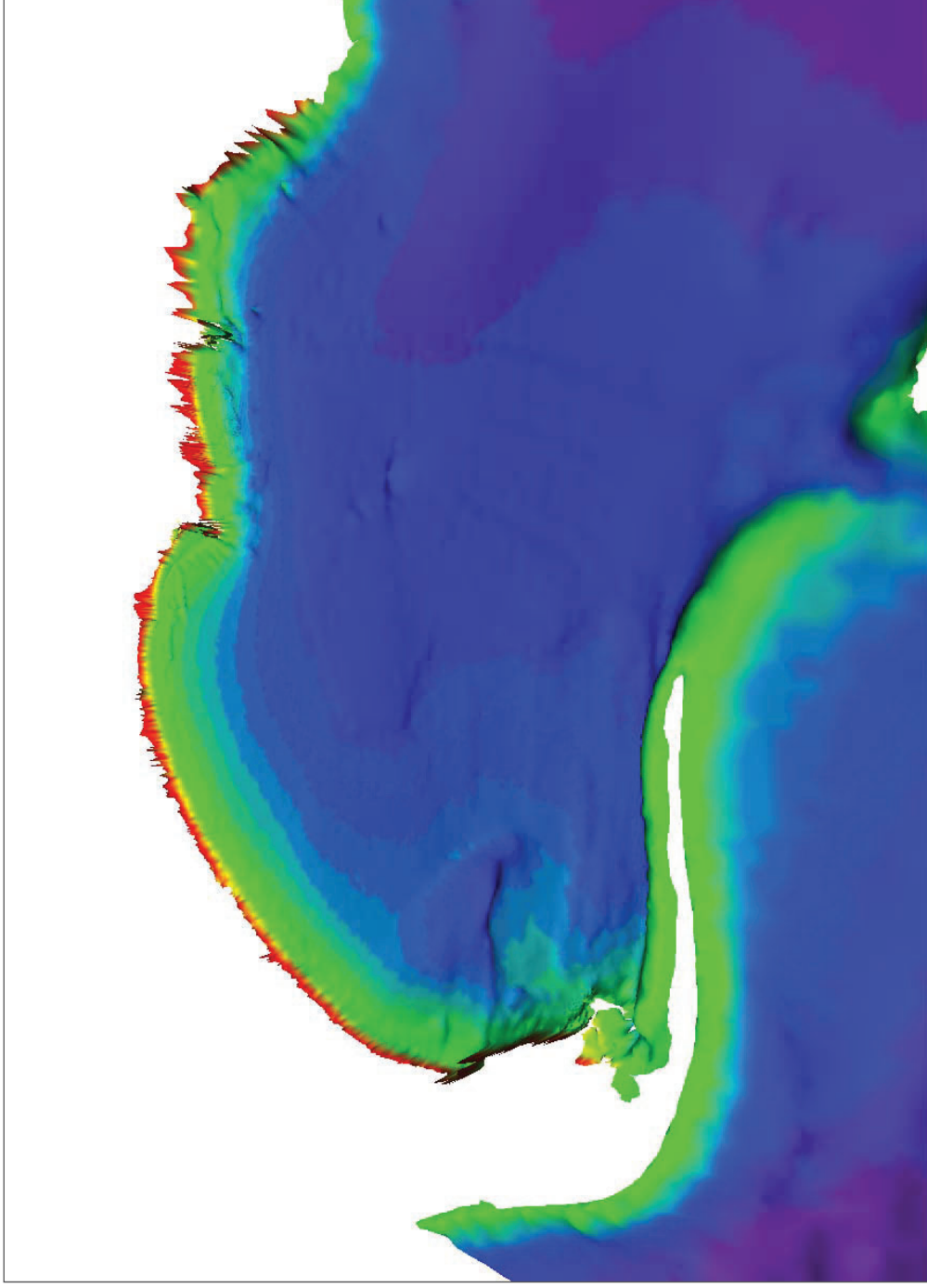


Figure 3.5 : Vue tridimensionnelle de la bathymétrie de la Baie de Plaisance

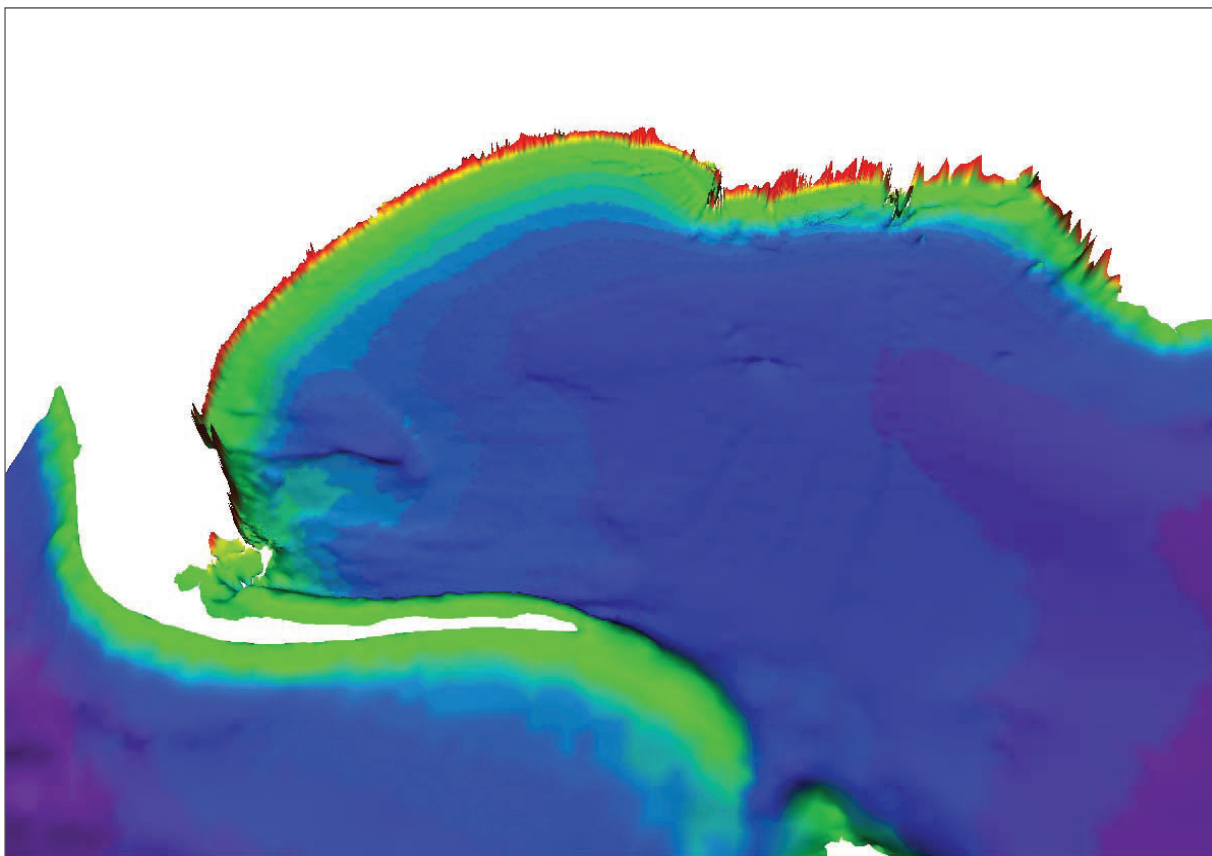


Figure 3.6 : Vue tridimensionnelle de la bathymétrie de la Baie de Plaisance

3.5 Transects

Le modèle numérique de terrain d'ensemble décrit à la section 3.3 a été mis au point selon un maillage flexible permettant d'optimiser les temps de calculs pour la modélisation numérique de la transformation des vagues du large et des courants littoraux. Les mailles du modèle numérique près de la côte sont ainsi de l'ordre de 10 à 15 m.

Pour offrir une représentation plus détaillée de la topographie et de la bathymétrie près de la côte, notamment la position des falaises et des dunes littorales, des modèles de terrain plus précis ont été mis au point pour chaque secteur d'intérêt. Les données LIDAR et du CIDCO n'ont pas été filtrées, et des cellules carrées de 1 m par 1 m ont été utilisées pour modéliser le terrain. La résolution de la grille (1 m) ne doit pas ici être confondue avec la résolution des données de base, qui est du même ordre pour les données LIDAR et CIDCO (1 m), mais beaucoup plus grossière pour les données du SHC (50 m).

Les figures 3.7 et 3.8 et les tableaux qui les accompagnent présentent la position des transects de chacun des secteurs. La distance couverte par les relevés topographiques et bathymétriques le long de chaque transect est également indiquée. Cette information permet de cibler les tronçons de transects qui sont moins précis (i.e. basés sur les données du SHC). On remarque ainsi que ce sont les transects dans le secteur de la Martinique qui sont le moins précis, les données du CIDCO étant situées dans la majeure partie des cas à plus de 600 m du rivage.

La description des transects obtenus pour chaque secteur à l'étude est présentée aux sections suivantes.

Nom du transect	Extrémité côte (MTM4)		Extrémité large (MTM4)	
	X1 (m)	Y1 (m)	X2 (m)	Y2 (m)
EA1	276949.13	5248141.62	277992.68	5247793.77
EA2	276909.59	5248053.26	277473.41	5247848.04
EA3	276892.49	5248006.27	277456.31	5247801.06
EA4	276877.10	5247963.98	277440.92	5247758.77
EA5	276847.36	5247858.88	277890.91	5247511.03
EA6	276809.09	5247752.56	277852.56	5247404.74
GC1	276772.64	5247649.11	277821.58	5247317.87
GC2	276740.63	5247540.36	277804.42	5247260.42
GC3	276710.00	5247420.00	277764.00	5247165.00
GC4	276692.65	5247342.76	277752.52	5247048.36
GC5	276659.94	5247188.61	277738.58	5246972.88
GC6	276629.94	5247011.61	277708.58	5246795.88
GC7	276606.72	5246780.48	277683.12	5246553.87
GC8	276583.00	5246533.00	277683.00	5246490.00
GC9	276583.00	5246368.00	277683.00	5246390.00
LM1	273878.89	5245869.35	274210.13	5244820.42
LM2	273772.51	5245823.00	274180.00	5244790.00
LM3	273649.22	5245753.55	274141.16	5244769.68
LM4	273559.01	5245701.19	274093.21	5244739.62
LM5	273467.00	5245655.00	274020.00	5244690.00
LM6	273339.06	5245538.01	274059.48	5244706.75
LM7	273254.51	5245437.00	273995.00	5244700.00
LM8	273215.00	5245392.00	273970.00	5244680.00
LM9	273171.91	5245337.00	273945.00	5244645.00
LM10	273115.96	5245265.70	273870.00	5244590.00
LM11	273058.00	5245176.00	273640.00	5244200.00
LM12	272985.00	5245121.75	273560.00	5244205.00
LM13	272905.00	5245096.68	273440.00	5244160.00

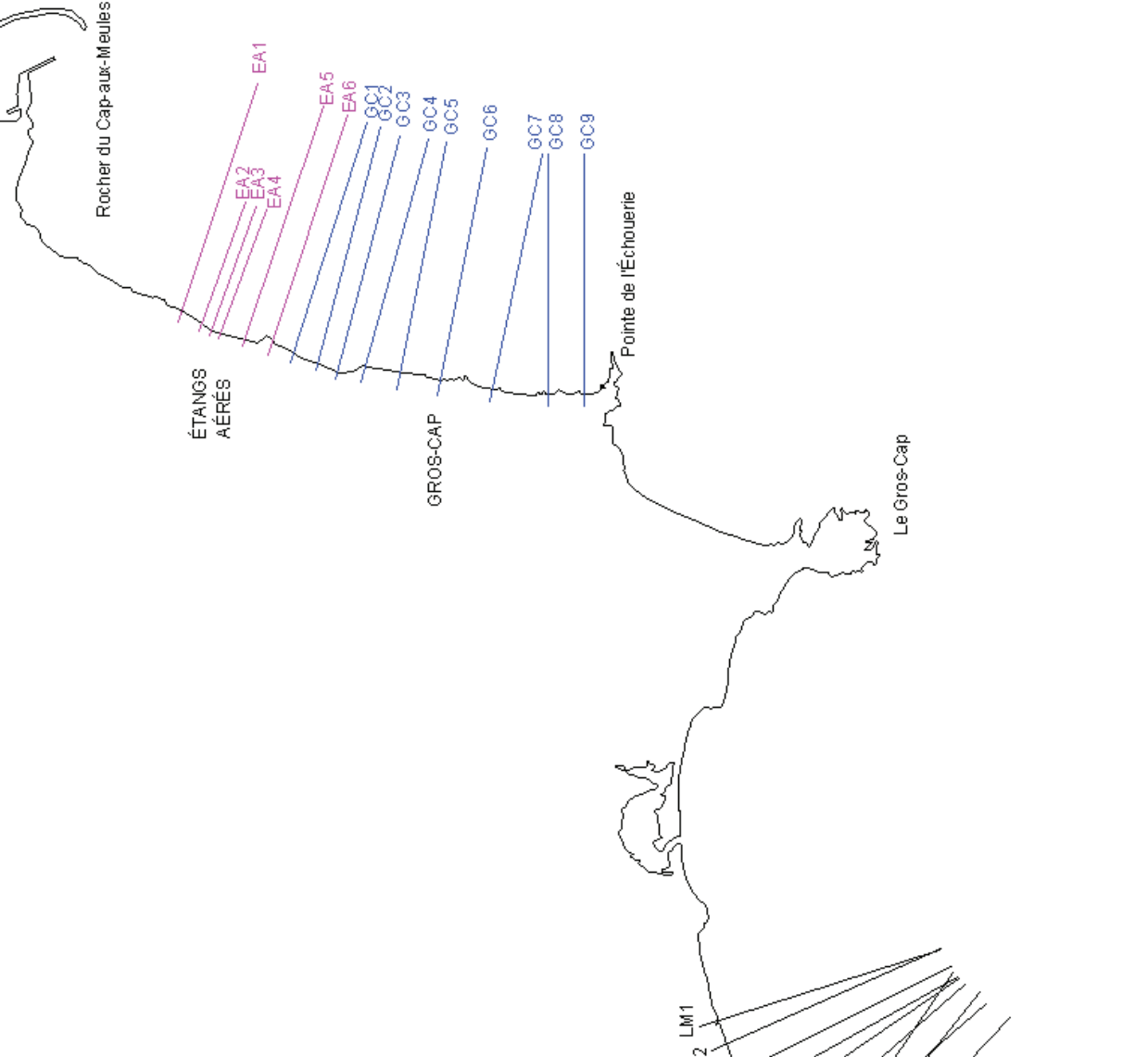
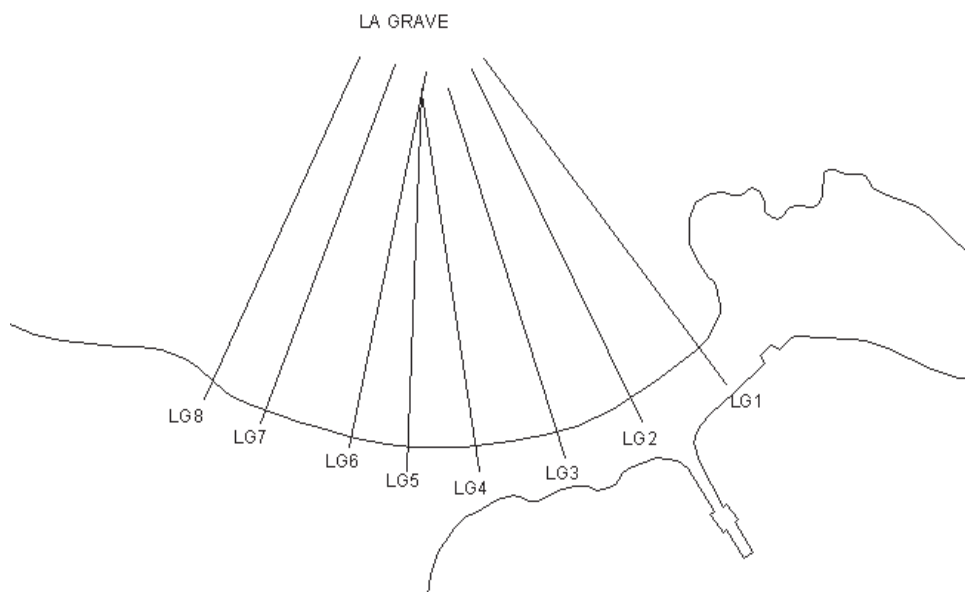


Figure 3.7 : Localisation des transects extraits du modèle de terrain numérique



Nom du transect	Extrémité côte (MTM4)		Extrémité large		Couverture des données		
	X1 (m)	Y1 (m)	X2 (m)	Y2 (m)	LIDAR	SHC	SONAR
LG1	279485	5233177	279203	5233550	0 - 55 m	55 - 335 m	> 335 m
LG2	279388	5233133	279190	5233538	0 - 20 m	20 - 340 m	> 340 m
LG3	279297	5233092	279162	5233516	0 - 35 m	35 - 350 m	> 350 m
LG4	279198	5233076	279130	5233510	0 - 35 m	35 - 345 m	> 345 m
LG5	279114	5233076	279131	5233516	0 - 45 m	45 - 350 m	> 350 m
LG6	279046	5233104	279136	5233534	0 - 30 m	30 - 325 m	> 325 m
LG7	278944	5233132	279099	5233543	0 - 25 m	25 - 305 m	> 305 m
LG8	278878	5233160	279059	5233552	0 - 35 m	35 - 285 m	> 285 m

Figure 3.8 : Localisation des transects extraits du modèle numérique - Secteur de La Grave

3.5.1 Bathymétrie des différents secteurs

Tel que déjà expliqué, la reconstitution de la bathymétrie des différents secteurs a été faite à partir de l'information disponible, soit le relevé LIDAR (zones émergées), la bathymétrie récente de CIDCO (interféromètre) et la bathymétrie du Service hydrographique du Canada (utilisée pour tenter de pallier au manque d'information dans la zone sans données récentes entre le LIDAR et le relevé de CIDCO). Dans l'exemple de la figure suivante, on se retrouve avec environ 200 m sans données de bathymétrie récente devant les étangs aérés, de la zone de marnage jusqu'à une élévation de 2,5 m sous le niveau moyen des mers.

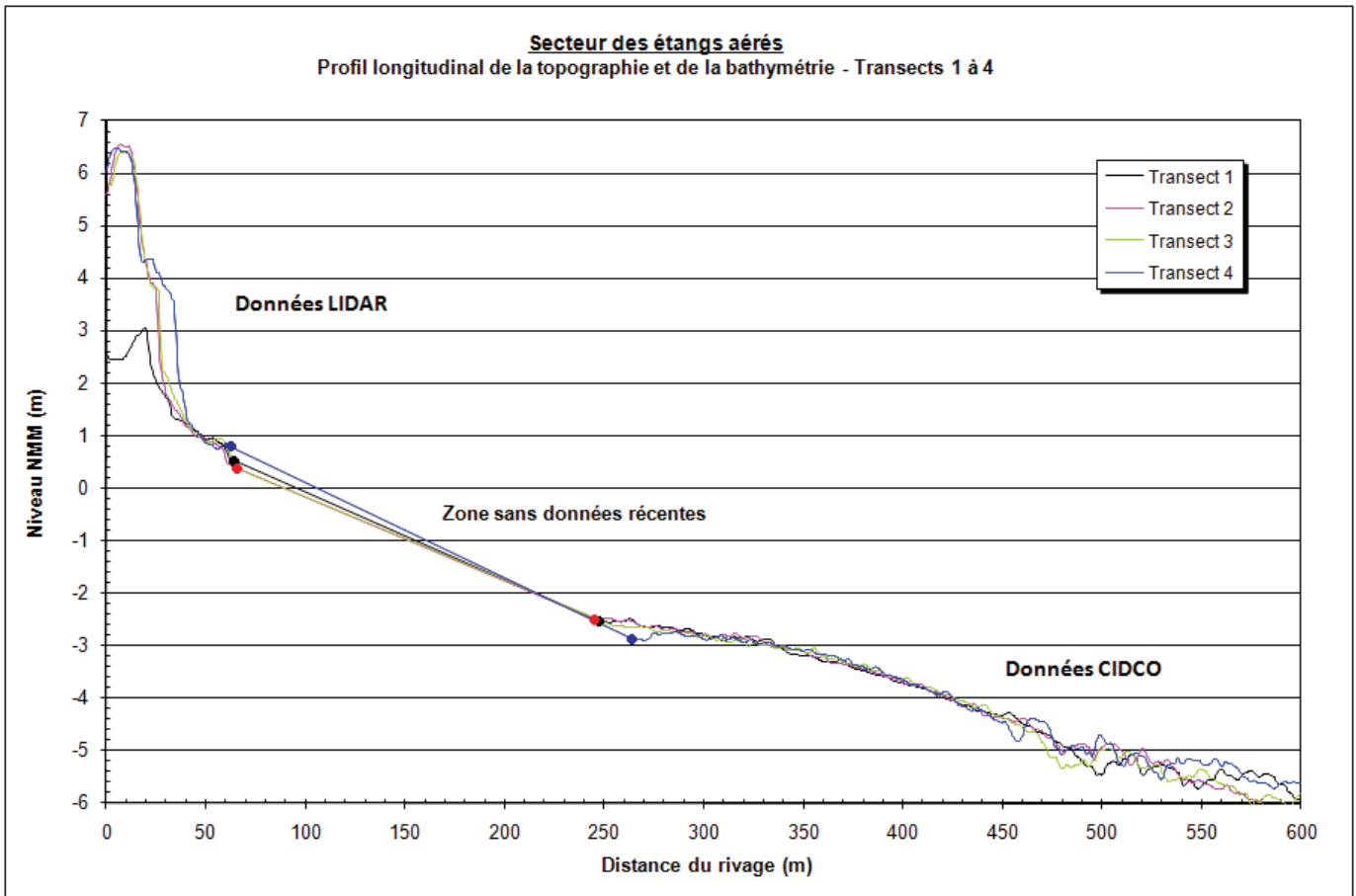


Figure 3.9 Exemples de transects, secteur des étangs aérés

Il est important de noter que la bathymétrie et la topographie des sites à l'étude évoluent rapidement et de façon cyclique au cours d'une année. Il est donc recommandé de prendre cette information avec prudence, surtout en ce qui concerne la position des falaises et des dunes littorales. Il est également connu que des barres littorales se retrouvent en avant de certaines plages et qu'elles évoluent de façon significative avec les saisons et les tempêtes.

3.5.2 Secteur des étangs aérés

Le secteur des étangs aérés a été décrit par six transects, dont le dernier EA6 est plutôt apparenté au secteur de Gros-Cap, mais permet de montrer les conditions aux limites du secteur des étangs aérés.

La bathymétrie de ce secteur se caractérise par une zone relativement horizontale de 500 m à 1 km au large de la côte à la profondeur de 5 à 6 m sous le niveau moyen des mers (NMM). De 200 à 500 m du rivage, la pente moyenne du fond marin est de 0,9 % et dans les 200 premiers mètres du rivage, la pente moyenne est de 1,5 %. Certains transects comme EA4, EA5 et EA6 présentent une dépression près de la côte, par contre cette information est à prendre avec précaution, car elle provient des données éparses et relativement anciennes du SHC.

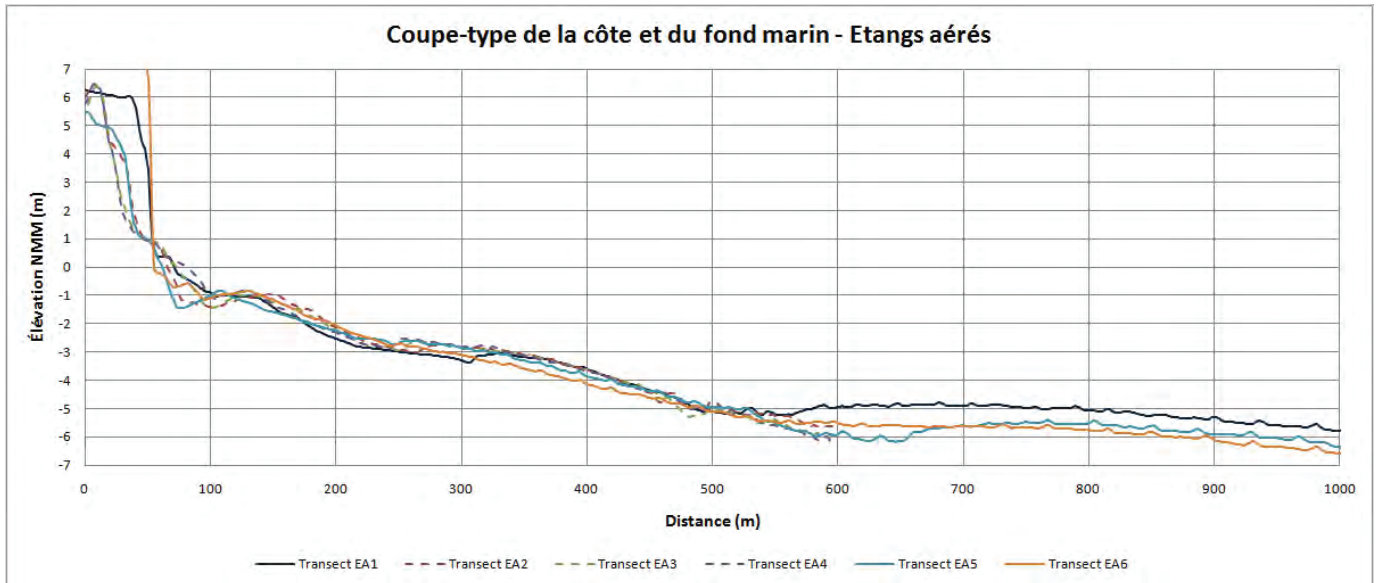


Figure 3.10 Coupe type de la côte et du fond marin – Étangs aérés

3.5.3 Secteur de Gros-Cap

Le secteur de Gros-Cap a été décrit par huit transects (GC1 à GC9, excluant GC3).

La bathymétrie de ce secteur se caractérise par une zone relativement horizontale de 500 m à 1 km au large de la côte à la profondeur de 6 m sous le niveau moyen des mers (NMM). De la côte à 500 m du rivage, la pente moyenne du fond marin est de 1,1 %, mais dans les 60 premiers mètres à partir du rivage, plusieurs transects présentent une dépression.

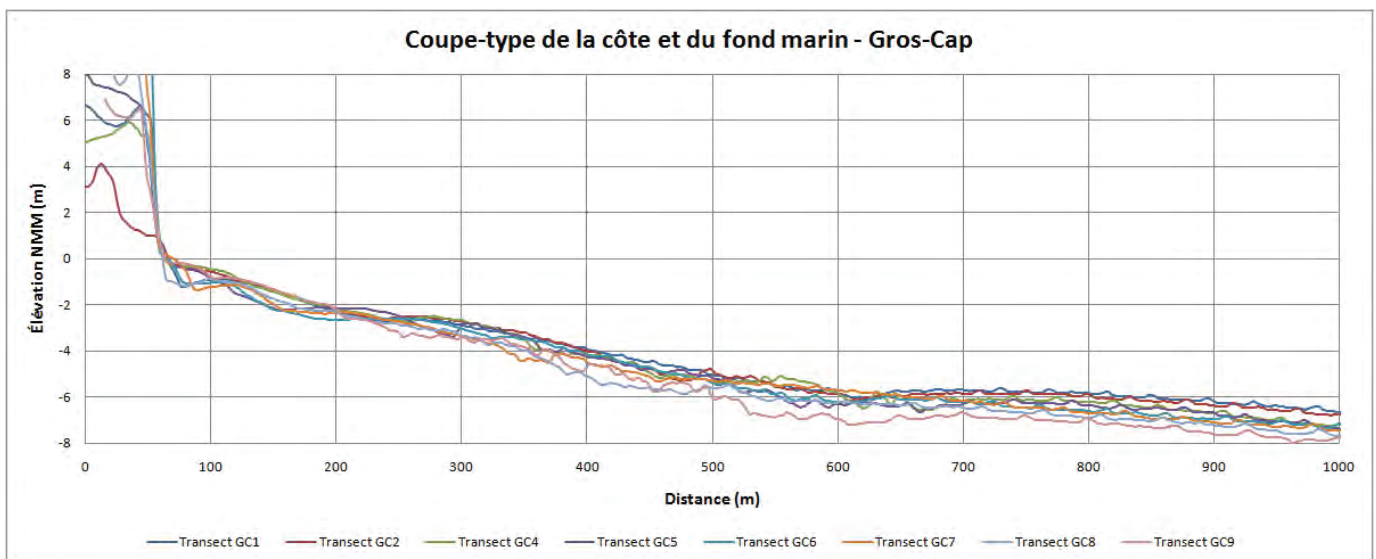


Figure 3.11 Coupe type de la côte et du fond marin – Gros-Cap

3.5.4 Secteur de la plage du chemin des Chalets

Le secteur de la plage du chemin des Chalets a été décrit par cinq transects (LM1 à LM5).

La bathymétrie de ce secteur se caractérise par une zone de fond probablement rocheux à 550 m de la rive à une profondeur de 3 à 4 m sous le NMM. De 550 à 150 m du rivage, le fond monte avec une pente moyenne de 0,6 %.

À 150 m de la rive, on observe sur tous les profils une dépression d'environ 0,7 m de profondeur qui induit une pente de plage de 7 % dans la zone de marnage.

Tel que mentionné précédemment, cette représentation des fonds est toutefois à prendre avec précaution, car elle provient des données éparées et relativement anciennes du SHC.

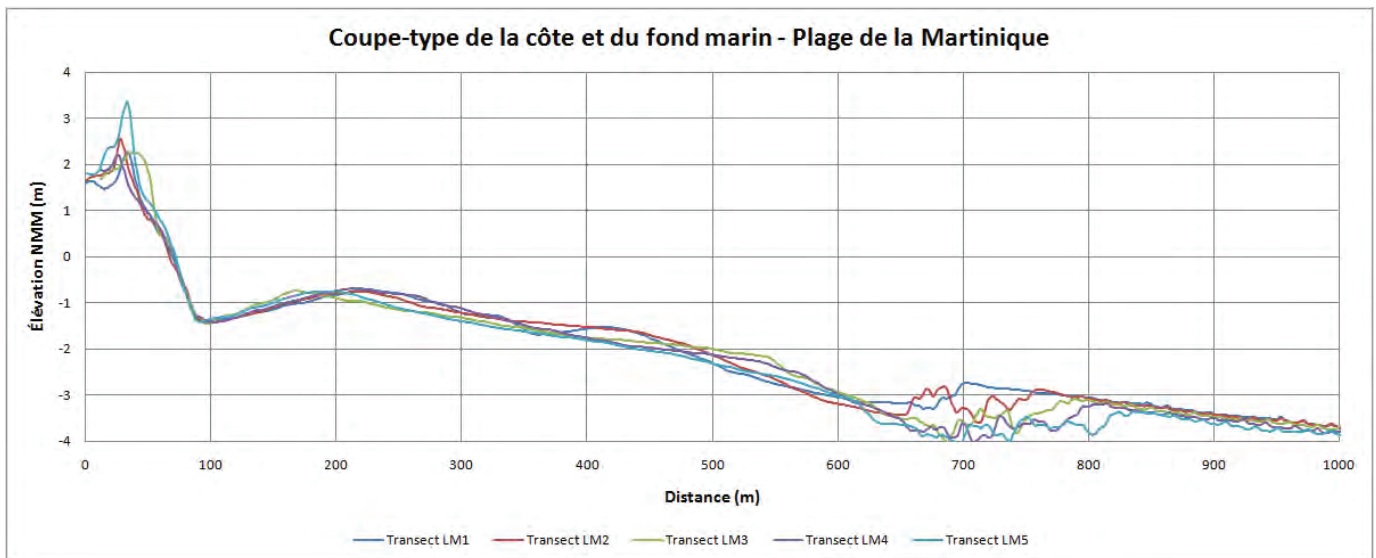


Figure 3.12 Coupe type de la côte et du fond marin – Plage du chemin des Chalets

3.5.5 Secteur de la Pointe de la Martinique

Le secteur de la Pointe de la Martinique a été décrit par sept transects (LM6 à LM12).

La bathymétrie de ce secteur se caractérise par une zone relativement horizontale autour de 4 m sous le NMM (et probablement rocheuse) du fond marin à plus de 650 m de la rive. De 550 m à 420 m de la rive se trouve une autre zone relativement horizontale autour de 3 m sous le NMM. Ensuite, le fond marin présente une pente moyenne de 0,6 % jusqu'au pied de la falaise en érosion.

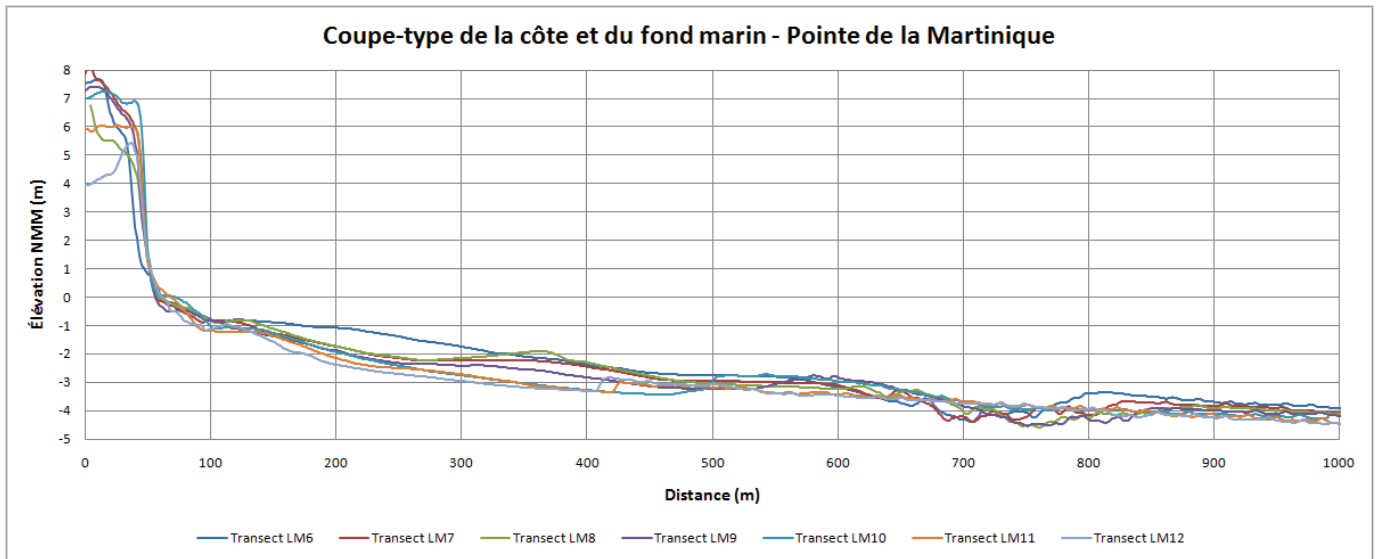


Figure 3.13 Coupe type de la côte et du fond marin – Pointe de la Martinique

3.5.6 Secteur de La Grave

Le secteur historique de La Grave a été décrit par huit transects (LG1 à LG4 pour le secteur Est et LG5 à LG8 pour le secteur Ouest). La bathymétrie des zones à faible profondeur d'eau est sujette à caution. Les données disponibles ne sont ni récentes ni détaillées et devraient être réactualisées en vue de projet de construction.

La bathymétrie de ce secteur se caractérise par une plage à pente relativement abrupte à l'extrémité orientale de la plage, s'adoucissant un peu vers le centre du secteur et disparaissant en allant vers l'ouest pour faire place à des falaises en érosion. Sous le zéro des cartes marines, la pente du fond marin est faible (en moyenne de l'ordre de 0,8 % du côté est et de 1,1 % du côté ouest). À un peu plus de 300 m au large de la plage, le fond marin semble devenir rocheux.

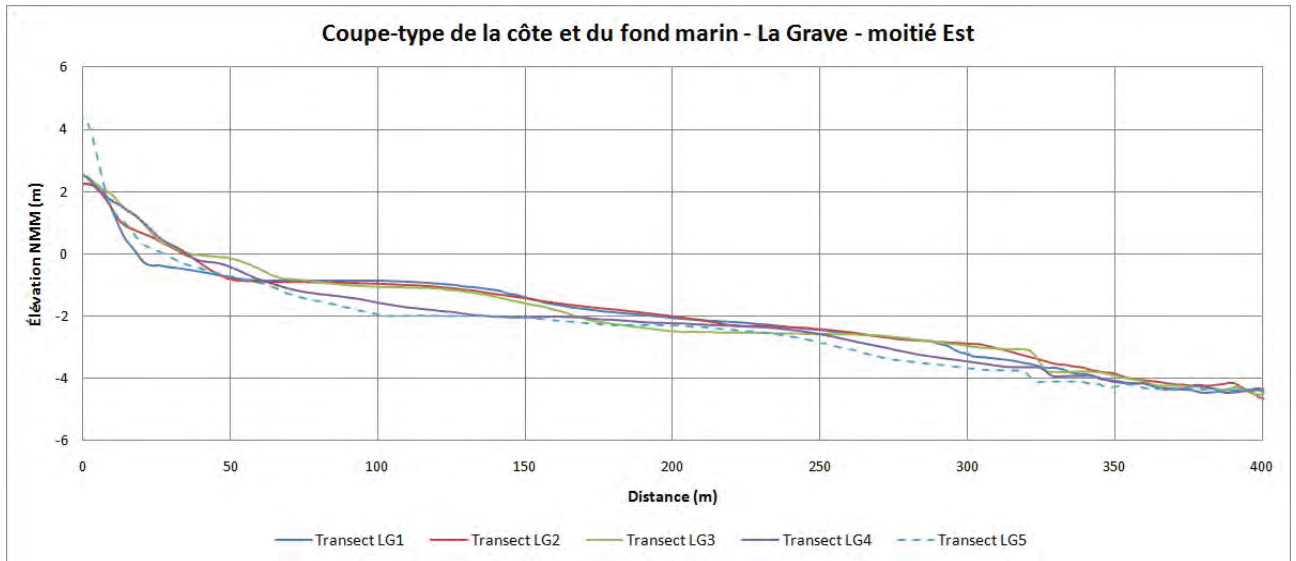


Figure 3.14 Coupe type de la côte et du fond marin – La Grave secteur Est

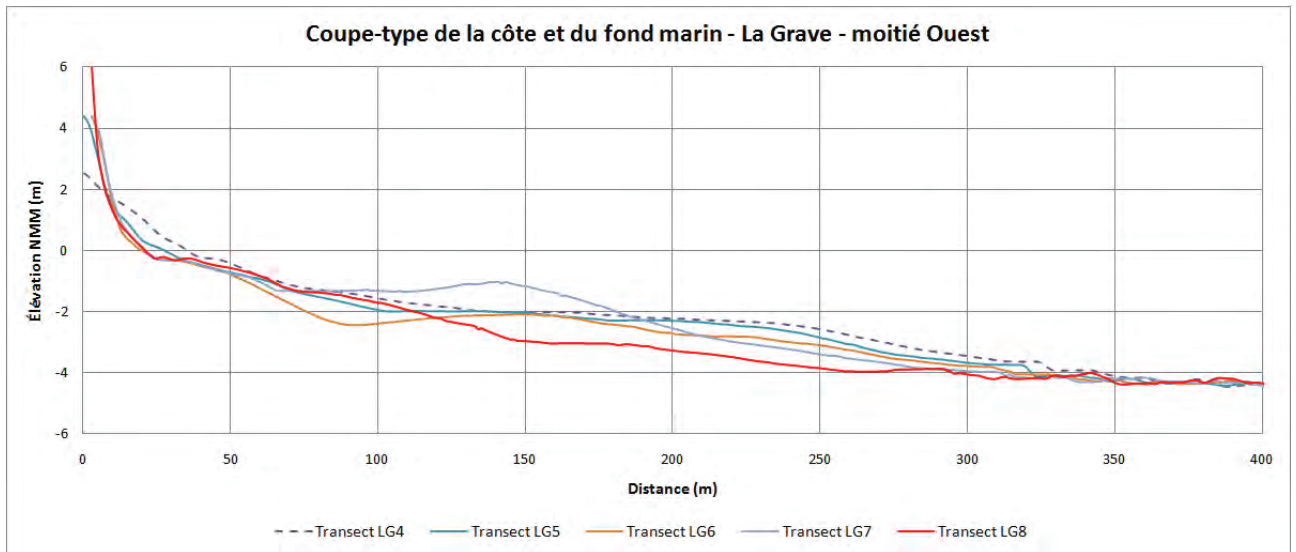


Figure 3.15 Coupe type de la côte et du fond marin – La Grave secteur Ouest

4. ANALYSE DES NIVEAUX D'EAU

4.1 Avertissement concernant les niveaux d'eau dans la baie de Plaisance

Les informations de niveau d'eau et de bathymétrie fournies par le Service hydrographique du Canada (SHC) pour la baie de Plaisance sont référencées par rapport au Zéro des Cartes marines (ou ZC) établi par le SHC. Ces informations de niveau d'eau et les bathymétries fournies par le SHC ne sont cohérentes ni dans l'espace, ni dans le temps.

Par exemple, les informations du SHC indiquent une différence d'élévation géodésique de l'ordre de 15 cm entre le Zéro des Cartes de Cap-aux-Meules et celui de Havre-Aubert.

Le Zéro des Cartes de Cap-aux-Meules a été établi en 1964 et on estime à environ 20 cm le décalage entre l'élévation géodésique du ZC établie en 1964 et celle qu'on pourrait mesurer en 2011 (remontée du niveau moyen des océans et affaissement isostatique des îles).

Il est hors de portée du présent mandat de résoudre les différentes incohérences des informations de base fournies par le SHC. Malgré les efforts faits pour tenir compte de ces incohérences dans ce rapport, il est probable que les différentes informations d'élévation qui apparaissent dans ce rapport ont été établies avec une marge d'erreur d'au moins 10 cm.

4.2 Niveaux d'eau à Cap-aux-Meules

Les informations générales de niveau d'eau fournies par le Service hydrographique du Canada (SHC) pour Cap-aux-Meules sont les suivantes (par rapport au zéro des cartes marines ou ZC) :

Tableau 4.1 Données du SHC à Cap-aux-Meules (m ZC)

Localité	Cap-aux-Meules		
Port de référence	Pictou		
Carte marine no	4950,51		
Type de marées	Mixte semi-diurne		
Marnage	Marée moyenne	0,7 m	
	Grande marée	1,1 m	
Hauteur	Pleine mer supérieure	Marée moyenne	1,0 m
		Grande marée	1,2 m
	Basse mer inférieure	Marée moyenne	0,3 m
		Grande marée	0,1 m
Extrêmes enregistrés	Extrême de pleine mer	2,4 m	
	Extrême de basse mer	-0,5 m	
Niveau moyen de l'eau	0,7 m		

Pour évaluer la probabilité de dépassement des niveaux d'eau exceptionnellement hauts qui pourraient affecter les côtes de la baie de Plaisance en termes d'érosion, il faut disposer de données de niveaux d'eau à long terme ou de résultats de modélisation. Les données de niveaux d'eau à long terme sont disponibles pour le port de Cap-aux-Meules qui se situe raisonnablement près des zones à l'étude pour qu'il soit possible d'utiliser directement cette information dans le cadre de cette étude. Des relevés de niveaux d'eau ont été faits depuis 1964 par la GDSI² au port de Cap-aux-Meules. Cette information sera utilisée pour interpréter les niveaux d'eau dans la zone à l'étude.

4.3 Niveaux d'eau enregistrés à Cap-aux-Meules

Les données de niveaux d'eau du SHC³ (GDSI) pour la station de Cap-aux-Meules (# 1970) sont disponibles aux heures entre 1964 et 1988. Des données aux quinze minutes sont disponibles à Cap-aux-Meules entre 1995 et 2001. Enfin, depuis 2007, les niveaux d'eau sont disponibles toutes les trois minutes à Cap-aux-Meules.

Pour obtenir une série homogène de données et établir des statistiques de dépassement de niveaux d'eau, une analyse des données horaires disponibles de 1964 à 2010 a été faite pour la station de la GDSI à Cap-aux-Meules.

² Gestion scientifique des données intégrées – Service hydrographique du Canada - Pêches et des Océans Canada

³ Service hydrographique du Canada – Pêches et Océans Canada

4.4 Niveaux d'eau moyens à Cap-aux-Meules

L'évaluation des niveaux d'eau moyens à Cap-aux-Meules s'est faite à partir de la banque de données horaire de niveaux d'eau de la GDSI depuis 1964 (128 809 valeurs). La figure suivante illustre l'évolution de ces niveaux d'eau moyens. On constate que le niveau moyen a de façon générale augmenté en moyenne de 4,4 mm par année sur cette période. La figure ne permet pas de mettre en lumière de modification évidente de cette tendance à la hausse sur la période pendant laquelle les données horaires de niveaux d'eau sont disponibles.

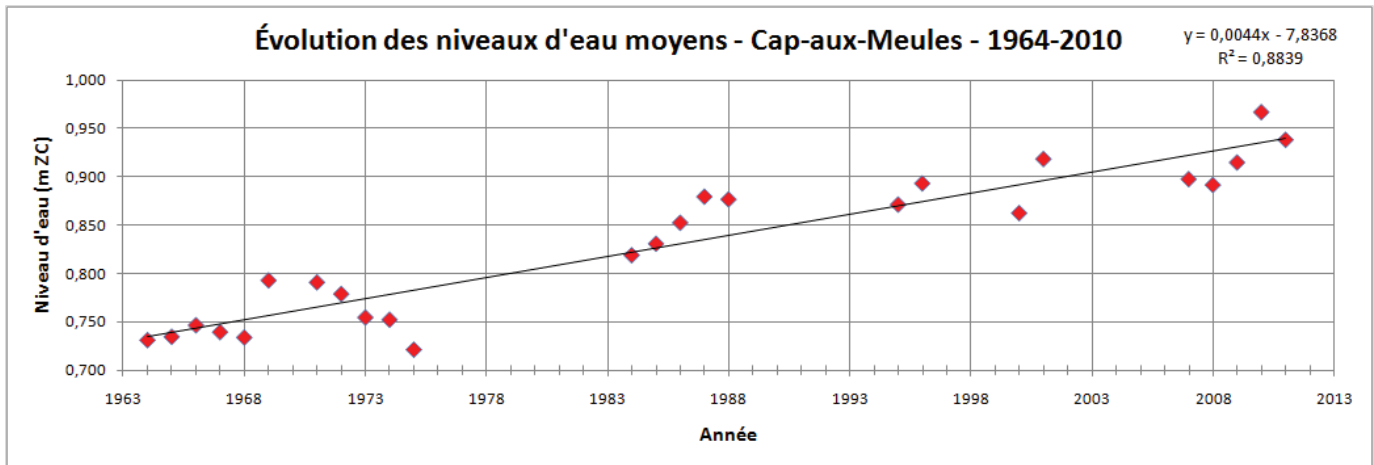


Figure 4.1 Niveaux d'eau moyens annuels à Cap-aux-Meules

Une partie non négligeable de cette remontée des eaux est due à une baisse généralisée de l'altitude des Îles de la Madeleine (phénomène relié à l'ajustement de la croûte terrestre suite à la dernière glaciation). L'information obtenue de Ressources naturelles Canada⁴ indique une subsidence des Îles de la Madeleine de l'ordre de 1,6 mm/an d'après des relevés réalisés à l'aide de GPS de haute précision.

4.5 Niveaux d'eau hauts à Cap-aux-Meules

Les données du SHC (GDSI) ont été utilisées pour analyser l'évolution des niveaux d'eau extrêmes hauts.

Le graphique suivant montre la courbe de dépassement des niveaux d'eau hauts obtenue avec la base de données disponible. On constate sur cette courbe que le niveau d'eau de +2,2 m devrait être dépassé une fois tous les dix ans.

⁴ Communication personnelle – Michael Craymer – Ressources naturelles Canada - 2011/03/07

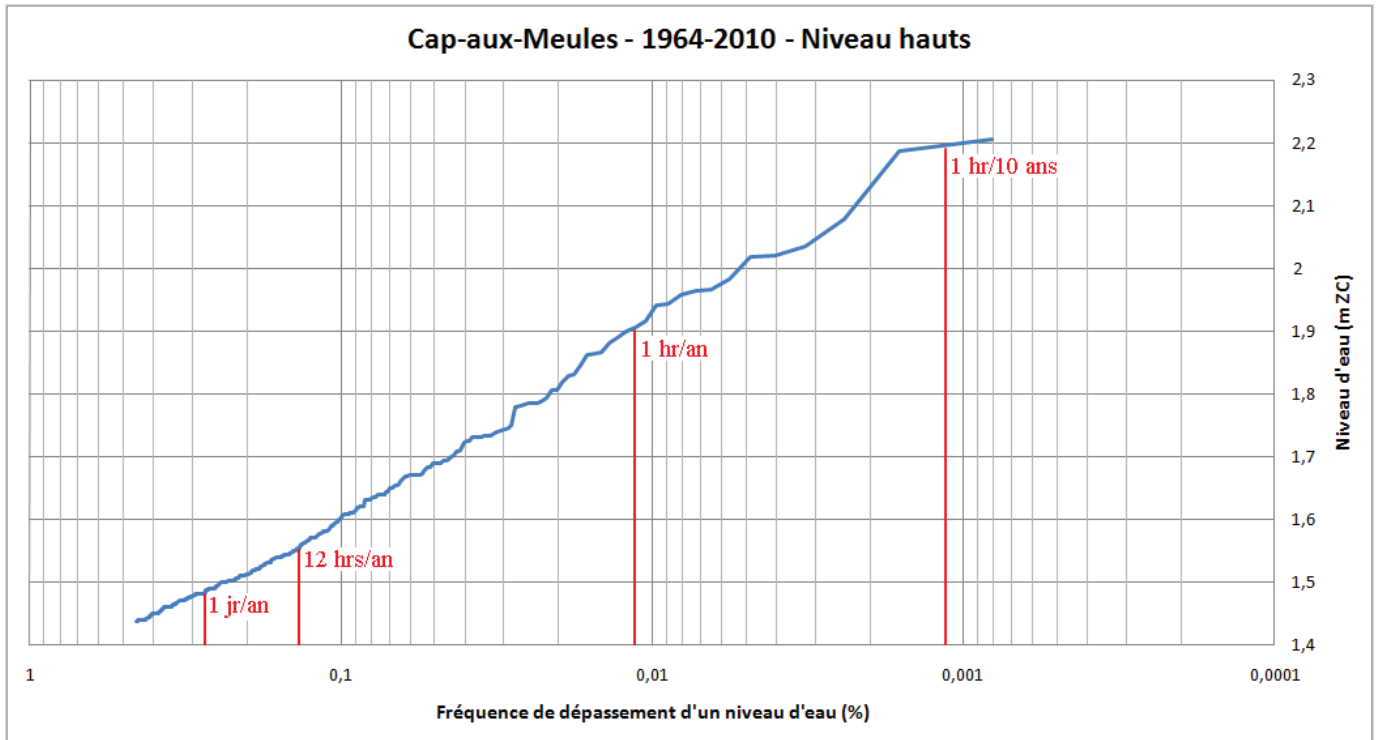


Figure 4.2 Fréquence de dépassement des niveaux d'eau hauts à Cap-aux-Meules (1964-2010)

Par contre, cette analyse est probablement faussée du point de vue statistique par le phénomène de remontée des niveaux d'eau moyens et probablement par la disparition progressive des glaces du Golfe du Saint-Laurent. Les quatorze plus hauts niveaux d'eau horaires de la base de données se sont tous produits depuis décembre 2007.

Dans le cadre du dimensionnement d'un ouvrage pour les 30 à 50 prochaines années, il faudrait au moins ajouter à la valeur de niveau d'eau (correspondant à une récurrence donnée) la prédiction de la remontée du niveau moyen de l'eau dans le Golfe sur cette période. Ce calcul sera fait plus loin.

La figure suivante illustre l'évolution des niveaux d'eau hauts (extrême, moyenne des six plus hauts niveaux et moyenne des douze plus hauts niveaux) pour chacune des années pour lesquelles des informations sont disponibles à Cap-aux-Meules. On constate sur cette figure la surreprésentation des dernières années en termes de niveaux d'eau très hauts. La tendance à la hausse des niveaux d'eau extrêmes suit celle des niveaux moyens, soit en moyenne 3,3 mm par année. Par contre, le coefficient de corrélation de cette régression linéaire est très faible.

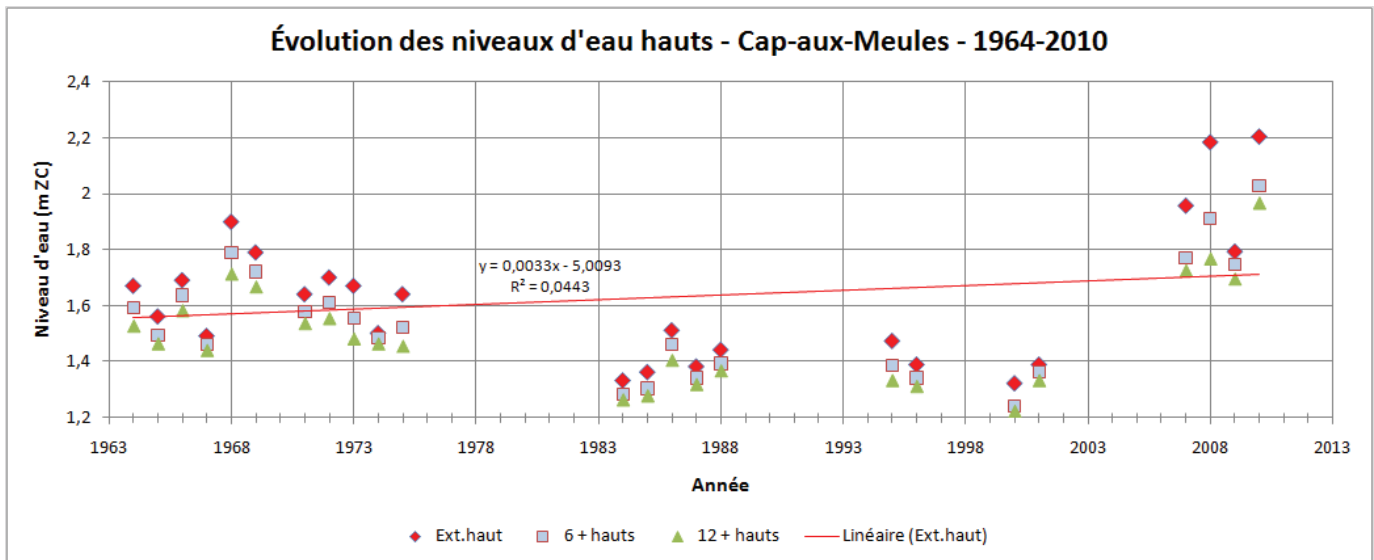


Figure 4.3 Évolution des niveaux d'eau hauts à Cap-aux-Meules

4.6 Niveaux d'eau hauts historiques à Cap-aux-Meules

Les données horaires de niveaux d'eau enregistrés à Cap-aux-Meules ont été plus particulièrement analysées à l'occasion de tempêtes qui ont produit des rehaussements importants du niveau d'eau et des dommages qui ont marqué les îliens. Les tempêtes remarquables suivantes se sont produites en même temps que des dépassements importants des niveaux d'eau prédits à la station de Cap-aux-Meules. Les figures suivantes illustrent ces phénomènes. Par maximum d'élévation du niveau d'eau décroissant, les dates des événements de surcotes récents sont les suivantes :

- 2 janvier 2010 (+2,206 m ZC)
- 22 décembre 2008 (+2,186 m ZC)
- 21 décembre 2010 (+2,034 m ZC)
- 27 décembre 2010 (+2,021 m ZC)
- 4 décembre 2007 (+1,958 m ZC)

Il y a également eu des surcotes significatives aux dates suivantes :

- 21 janvier 2000 (aucune donnée de niveau d'eau disponible à la station du SHC)
- 6 décembre 2010
- 3, 7, 9, 13 et 27 janvier 2011

Les figures suivantes illustrent les variations de niveau d'eau prédites et mesurées à Cap-aux-Meules pour différents événements de surcote importante. On constate sur ces figures que des surcotes de l'ordre du mètre d'amplitude se sont produites à plusieurs reprises au cours des quatre dernières années à Cap-aux-Meules.

Après vérification de la base de données de vent d'Environnement Canada pour la station météorologique des « Îles de la Madeleine » (station no 7053KGR), tous ces événements de surcote sont associés à des épisodes de forts vents des secteurs est à nord-est. Chaque figure illustrant ci-dessous une surcote est suivie de la figure illustrant la vitesse (km/h) et la direction (dizaine de degrés⁵) du vent correspondant à l'événement de surcote, de façon à illustrer ce phénomène.

⁵ « 36 » correspond à la direction 360 degrés, soit le Nord, « 18 » au Sud

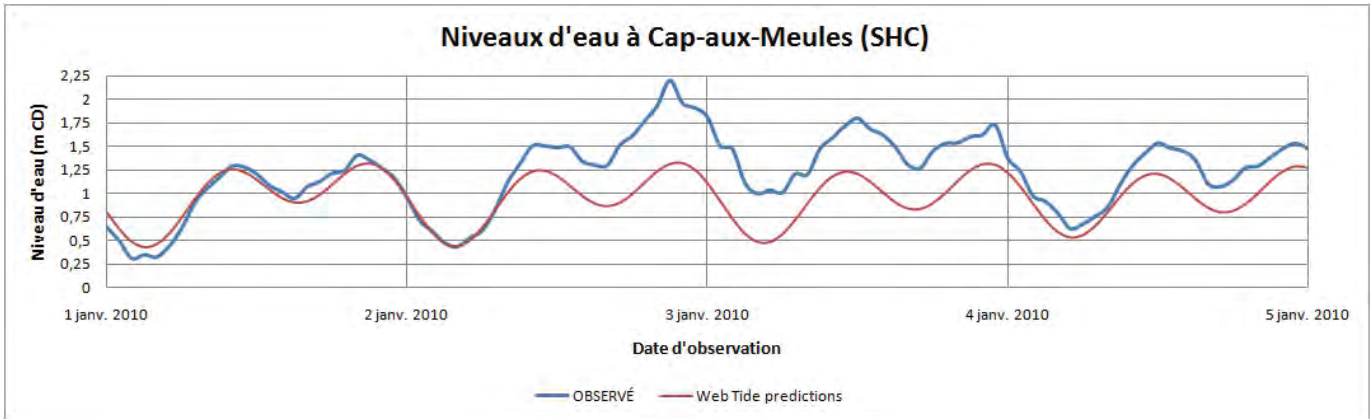


Figure 4.4 Niveaux extrêmes hauts enregistrés à Cap-aux-Meules le 2 janvier 2010

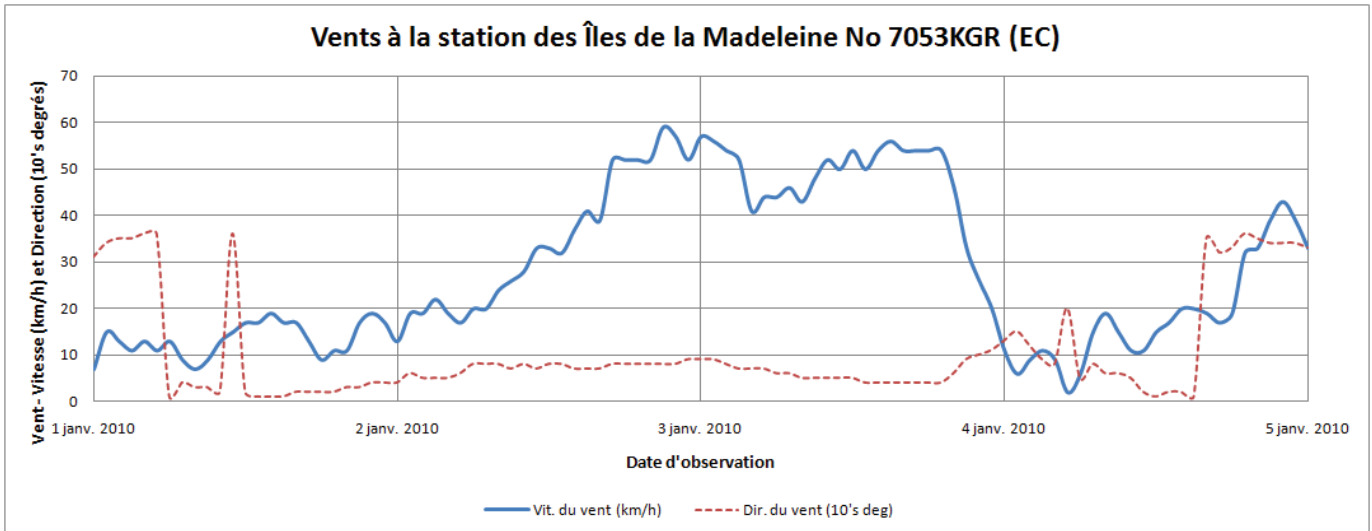


Figure 4.5 Vitesse et direction du vent le 2 janvier 2010

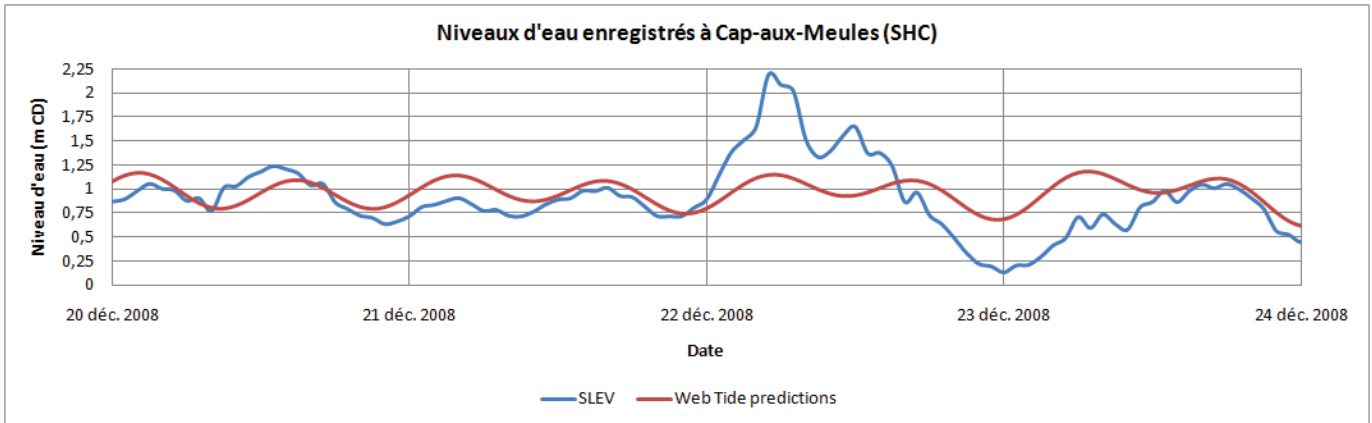


Figure 4.6 Niveaux extrêmes hauts enregistrés à Cap-aux-Meules le 22 décembre 2008

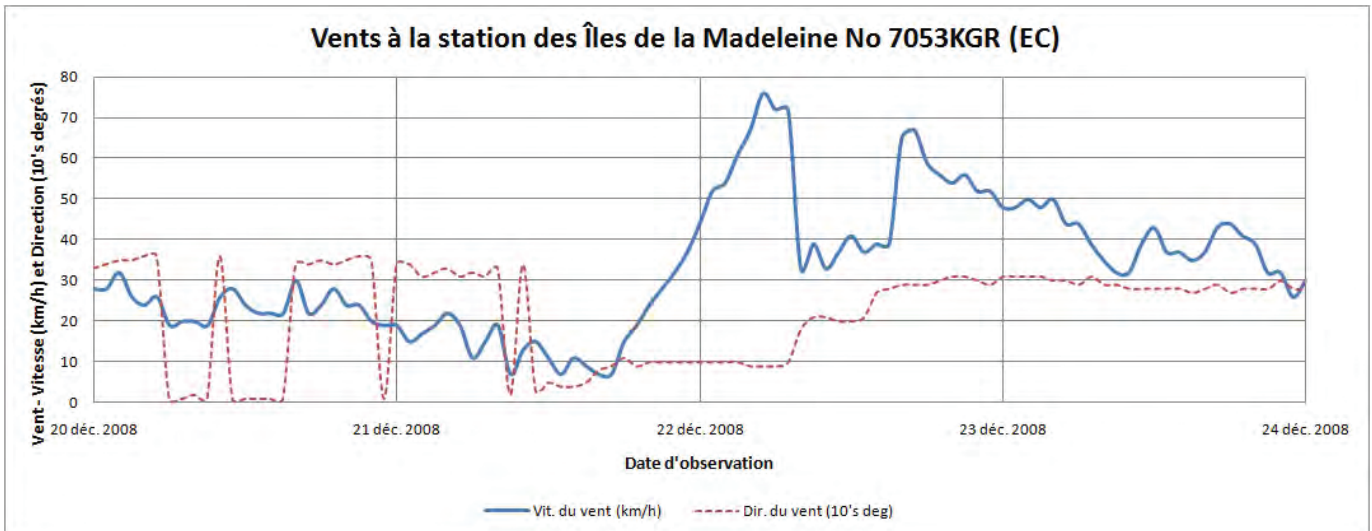


Figure 4.7 Vitesse et direction du vent le 22 décembre 2008

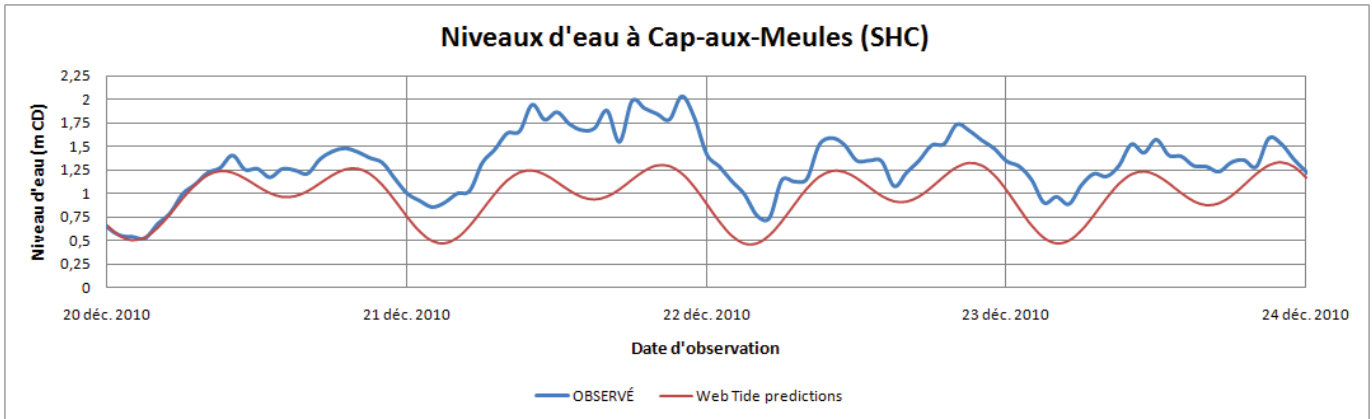


Figure 4.8 Niveaux extrêmes hauts enregistrés à Cap-aux-Meules le 21 décembre 2010

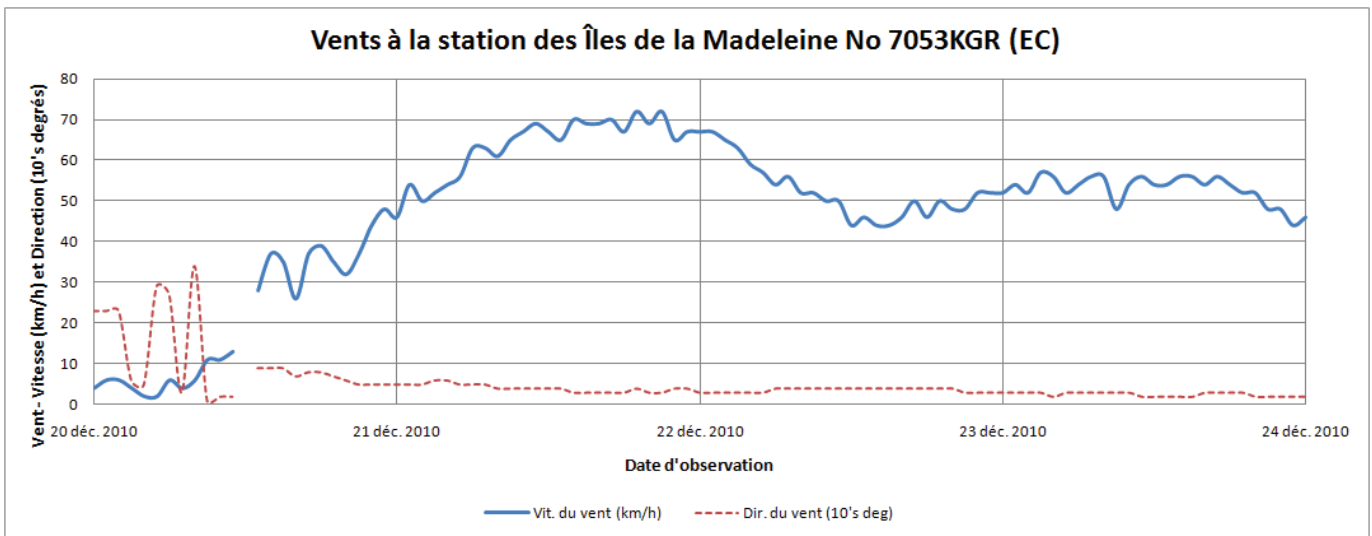


Figure 4.9 Vitesse et direction du vent le 21 décembre 2010

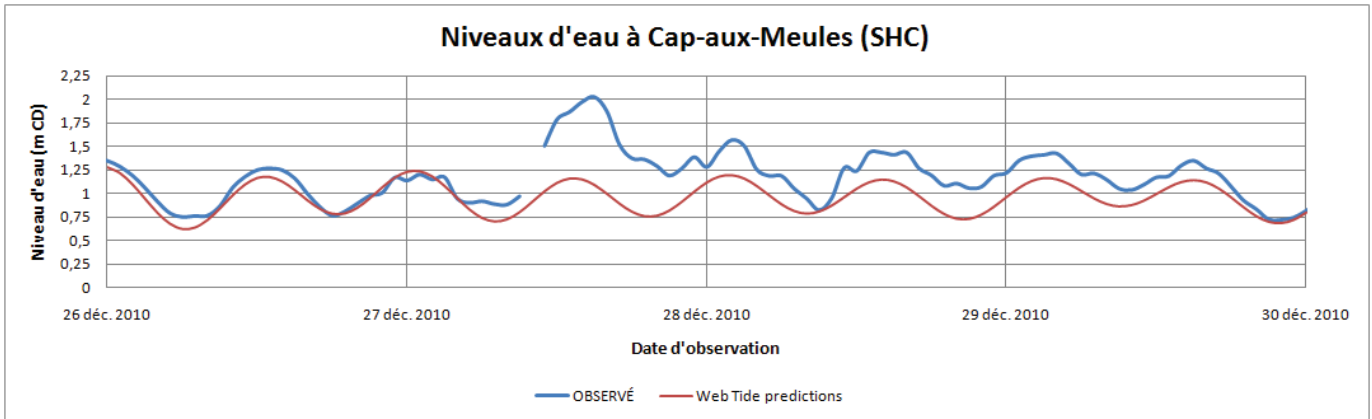


Figure 4.10 Niveaux extrêmes hauts enregistrés à Cap-aux-Meules le 27 décembre 2010

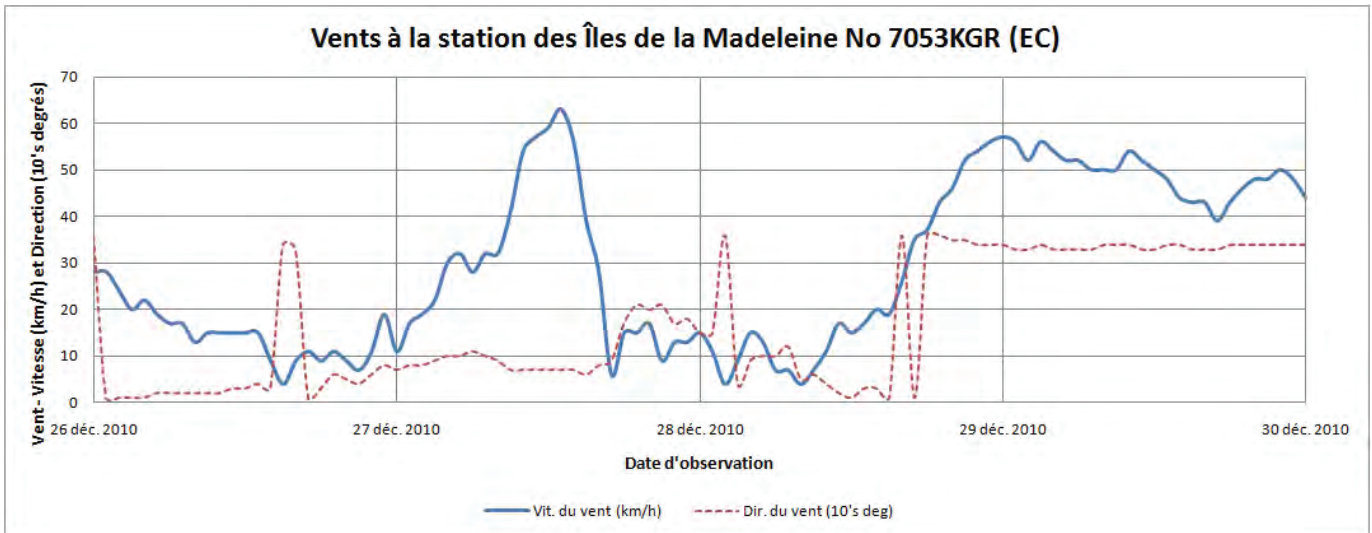


Figure 4.11 Vitesse et direction du vent le 27 décembre 2010

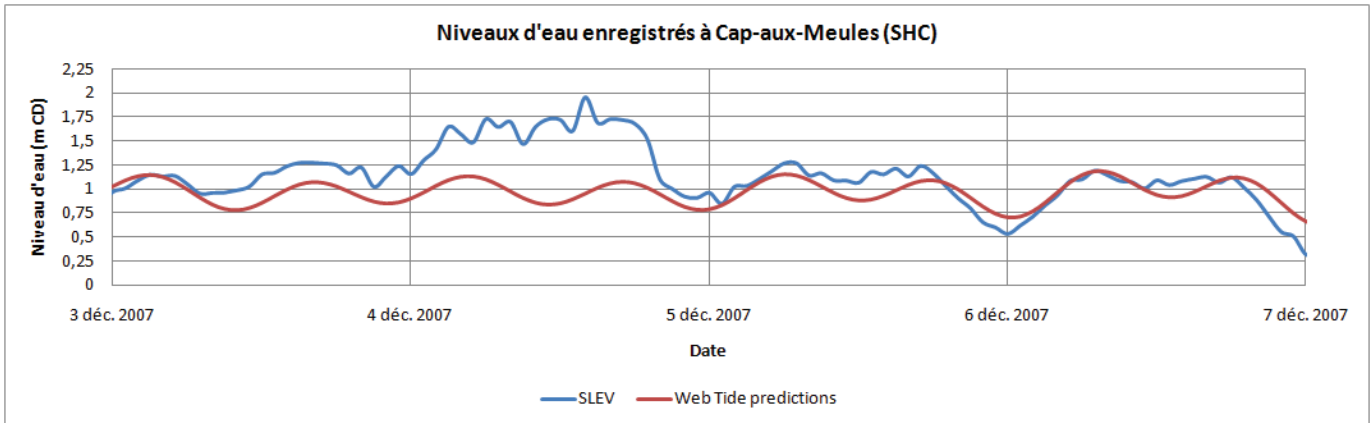


Figure 4.12 Niveaux extrêmes hauts enregistrés à Cap-aux-Meules le 4 décembre 2007

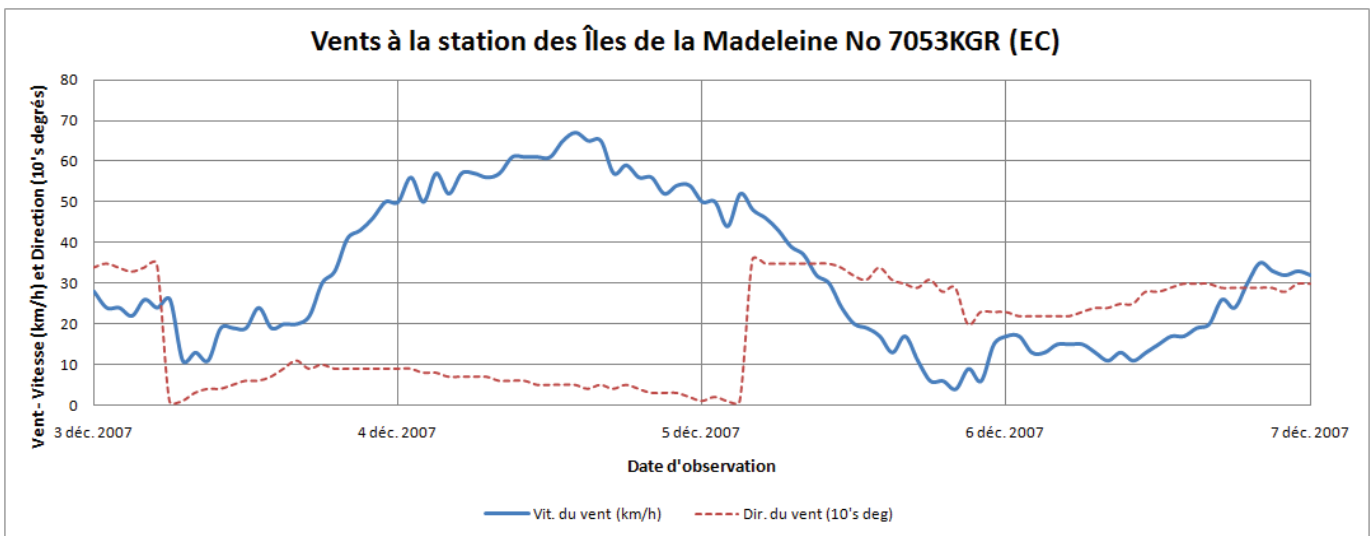


Figure 4.13 Vitesse et direction du vent le 4 décembre 2007

4.7 Niveaux d'eau à Charlottetown

Les données horaires de niveaux d'eau enregistrés à Charlottetown⁶ ont été analysées entre 1960 et 2010 (419 270 valeurs horaires de niveau d'eau). La figure suivante illustre la courbe des niveaux d'eau moyens annuels mesurés à cette station.

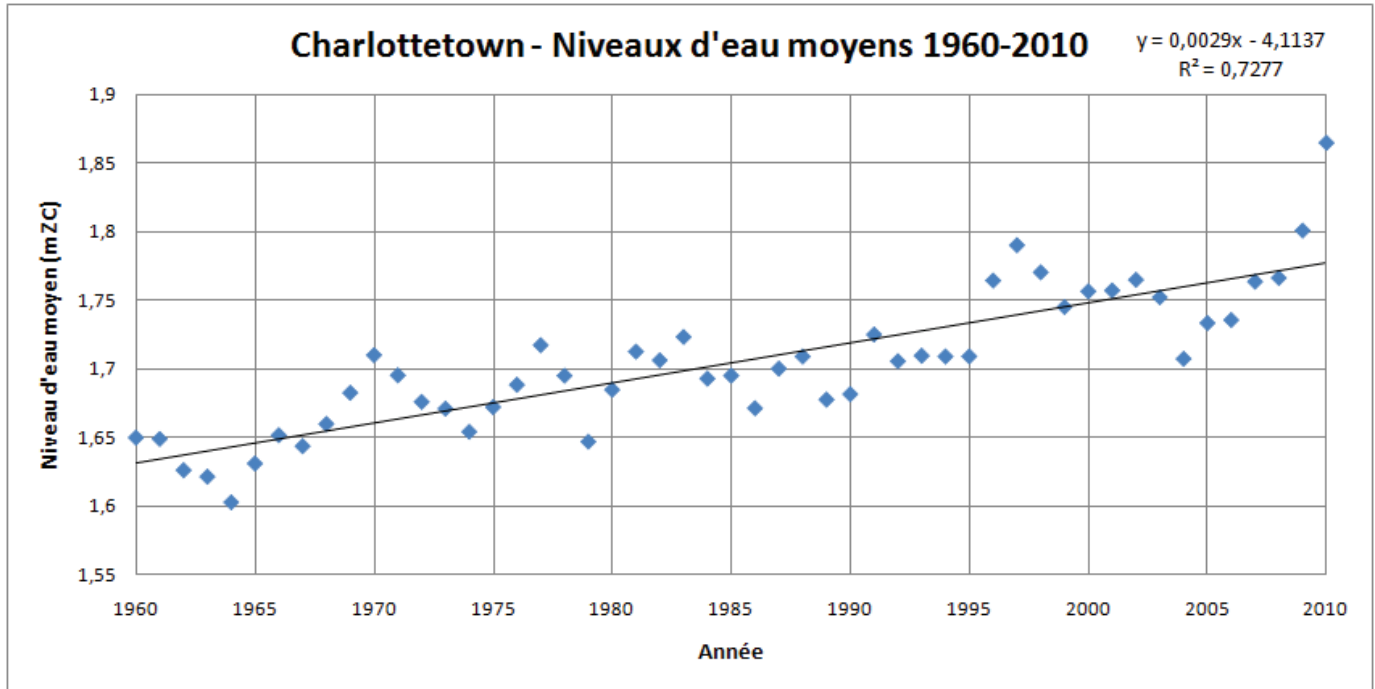


Figure 4.14 Niveaux annuels moyens à Charlottetown depuis 1960

On constate sur la figure précédente que les niveaux annuels moyens sont en hausse constante depuis 1960, à un rythme moyen d'environ 3 mm par année.

On note aussi sur la figure que l'année 2010 a établi un record de niveau moyen, record qui dépasse nettement la variabilité historique de la période considérée. Il est possible que ceci soit une indication que la tendance à la hausse du niveau d'eau s'accélère avec les années.

Si on refait l'analyse de façon distincte sur les périodes 1960-1984 et 1985-2010, on constate sur la figure suivante que la tendance à l'augmentation des niveaux d'eau moyens s'est accélérée depuis 1985. Alors que le taux moyen de hausse du niveau d'eau était de 3,3 mm par année entre 1960 et 1985, il atteindrait 4,4 mm par année depuis 1985.

Il faut noter que cette variation du niveau d'eau fournie par le SHC-SGDI inclut un mouvement d'enfoncement de la croûte terrestre au droit de l'île du Prince-Édouard (de l'ordre de

⁶ Station # 1700 du SHC-SGDI

2,1 mm/an d'après Ressources naturelles Canada⁷), la hausse absolue du niveau d'eau étant inférieure à la hausse totale. Par contre, la tendance à l'augmentation du niveau d'eau moyen avec les années ne devrait aucunement être influencée par ces mouvements tectoniques à l'échelle temporelle considérée.

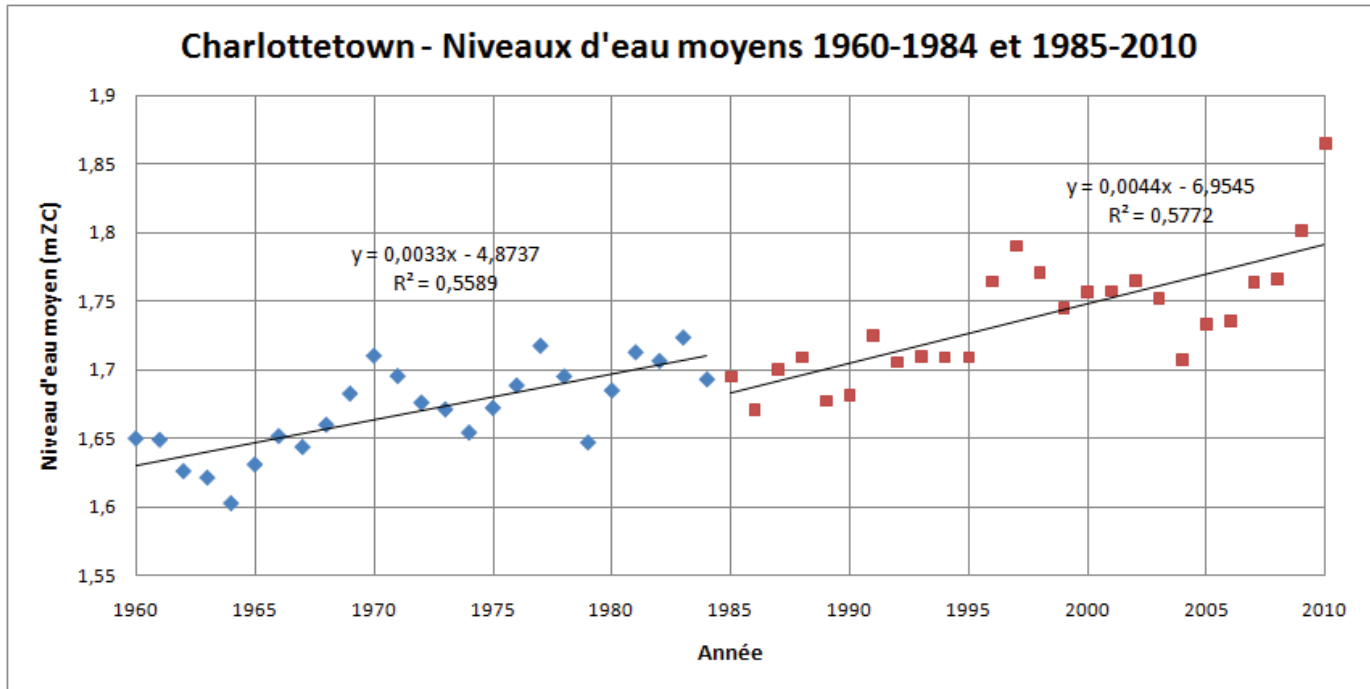


Figure 4.15 Niveaux annuels moyens à Charlottetown de 1960 à 1984 et de 1985 à 2010

4.8 Prédiction de niveaux d'eau hauts à Cap-aux-Meules

Les niveaux d'eau hauts qui devraient être considérés dans les calculs dans la région de Cap-aux-Meules doivent tenir compte du rehaussement du niveau d'eau moyen et de l'affaissement isostatique en cours.

Compte tenu du fait que le taux du rehaussement du niveau moyen des océans devrait augmenter avec les changements climatiques en cours, il est recommandé d'utiliser un taux de rehaussement de 5 mm/an (tenant compte à la fois du rehaussement du niveau moyen des océans et de l'enfoncement général des Îles de la Madeleine).

Ainsi la prédiction actuelle de niveau d'eau pour une récurrence donnée devrait être augmentée de 50 mm dans 10 ans, de 150 mm dans 30 ans et de 250 mm dans 50 ans.

⁷ Communication personnelle – Michael Craymer – Ressources naturelles Canada - 2011/3/7

Une évaluation par la méthode des moments des hauts niveaux d'eau annuels faite à partir de la base de données actuellement disponible pour Cap-aux-Meules indique des niveaux d'eau (ZC) de +1,96 m, +2,18 m et +2,28 m pour respectivement les récurrences de 10, 30 et 50 ans. Par contre, ce type d'analyse des extrêmes annuels ne semble pas du tout adapté à la surreprésentation des extrêmes de niveaux d'eau hauts observés à Cap-aux-Meules ces dernières années.

Une réévaluation par la méthode des moments de tous les extrêmes de hauts niveaux d'eau faite à partir de la base de données actuellement disponible pour Cap-aux-Meules indique plutôt des niveaux d'eau (ZC) de +2,04 m, +2,13 m, +2,20 m, + 2,31 m et +2,36 m pour respectivement les récurrences de 2, 5, 10, 30 et 50 ans.

En tenant compte d'une évaluation éventuellement optimiste (faible) de la remontée du niveau d'eau moyen des océans (changements climatiques) et de l'affaissement isostatique des îles (valeur globale retenue de 5 mm/an), il est recommandé de considérer les niveaux d'eau extrêmes suivants dans la région de Cap-aux-Meules ou Gros-Cap :

⤴ Période de retour d'un jour par an :	+1,48 m ZC ou +0,72 m NMM
⤴ Période de retour de 12 heures par an :	+1,55 m ZC ou +0,79 m NMM
⤴ Période de retour d'un an :	+1,90 m ZC ou +1,14 m NMM
⤴ Période de retour de 2 ans :	+2,03 m ZC ou +1,27 m NMM
⤴ Période de retour de 5 ans :	+2,15 m ZC ou +1,39 m NMM
⤴ Période de retour de 10 ans :	+2,25 m ZC ou +1,49 m NMM
⤴ Période de retour de 30 ans :	+2,46 m ZC ou +1,70 m NMM
⤴ Période de retour de 50 ans :	+2,51 m ZC ou +1,75 m NMM

4.9 Prédiction de niveaux d'eau hauts à Havre-Aubert

Les niveaux d'eau n'ont été enregistrés à Havre-Aubert que sur une très courte période. Il existe une période d'une vingtaine de jours pendant laquelle il est possible de comparer les niveaux d'eau enregistrés à Cap-aux-Meules et ceux enregistrés à Havre-Aubert (du 31 mai au 20 juin 1966). Cette comparaison indique que les niveaux d'eau par rapport au zéro des cartes marines sont décalés d'environ 15 cm en moyenne, les niveaux étant plus bas à Cap-aux-Meules qu'à Havre-Aubert. Comme le zéro des cartes marines n'est qu'un repère local, il faudrait plutôt en déduire que les zéros des cartes marines entre ces deux sites sont décalés de 15 cm en élévation par rapport à un repère plus global tel que le NMM. Cette valeur de 15 cm n'est pas très éloignée des 14,6 cm donnés par le SHC concernant les conversions de niveau marégraphiques en niveaux géodésiques (voir chapitre 3.2). La valeur de 15 cm sera retenue.

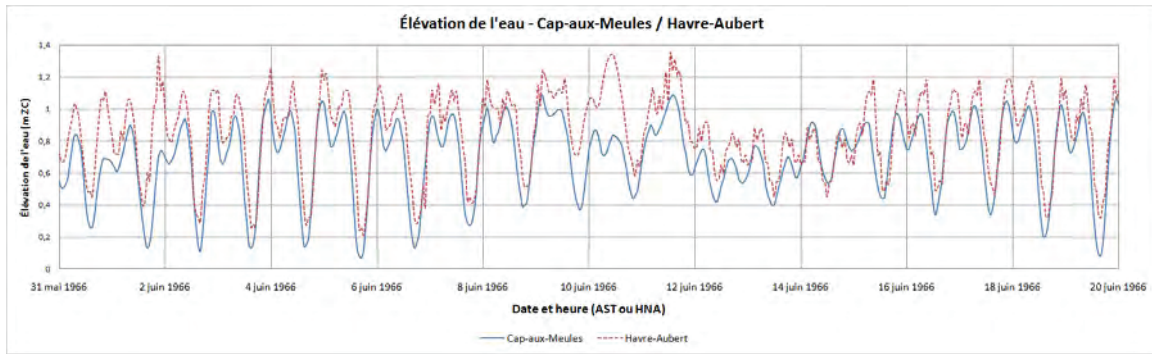


Figure 4.16 Comparaison des niveaux d'eau à Cap-aux-Meules et Havre-Aubert en juin 1966

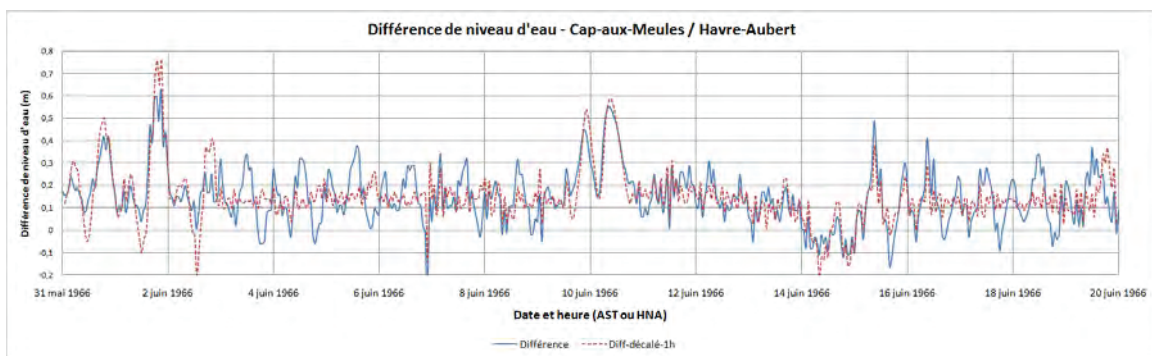


Figure 4.17 Différence de niveau d'eau entre Cap-aux-Meules et Havre-Aubert en juin 1966

Les Tables des marées et courants du SHC (volume 2 – Golfe du Saint-Laurent) indiquent que les niveaux d'eau de pleine mer supérieure de grande marée prédits pour Havre-Aubert sont 9 cm en dessous de ceux prédits pour Cap-aux-Meules. En l'absence de données à long terme concernant les niveaux d'eau à Havre-Aubert, l'hypothèse a été faite que cette différence devrait se reporter sur les niveaux d'eau extrêmes.

En tenant compte d'une évaluation éventuellement optimiste (faible) de la remontée du niveau d'eau moyen des océans (changements climatiques) et de l'affaissement isostatique des îles (valeur globale retenue de 5 mm/an), il est recommandé de considérer les niveaux d'eau extrêmes suivants dans la région de Havre-Aubert :

- ⤴ Période de retour d'un jour par an : +1,39 m ZC ou +0,77 m NMM
- ⤴ Période de retour de 12 heures par an : +1,46 m ZC ou +0,84 m NMM
- ⤴ Période de retour d'un an : +1,81 m ZC ou +1,19 m NMM
- ⤴ Période de retour de 2 ans : +1,94 m ZC ou +1,32 m NMM
- ⤴ Période de retour de 5 ans : +2,06 m ZC ou +1,44 m NMM
- ⤴ Période de retour de 10 ans : +2,16 m ZC ou +1,54 m NMM
- ⤴ Période de retour de 30 ans : +2,37 m ZC ou +1,75 m NMM
- ⤴ Période de retour de 50 ans : +2,42 m ZC ou +1,80 m NMM

Érosion côtière baie de Plaisance

Îles-de-la-Madeleine

5. ANALYSE DE LA GRANULOMÉTRIE

Des cartes bathymétriques (à partir des relevés de CIDCO) et des prélèvements / analyses de sédiments ont été réalisés par l'UQAR dans le secteur de Gros-Cap. La figure suivante illustre l'information disponible dans les secteurs à l'étude.

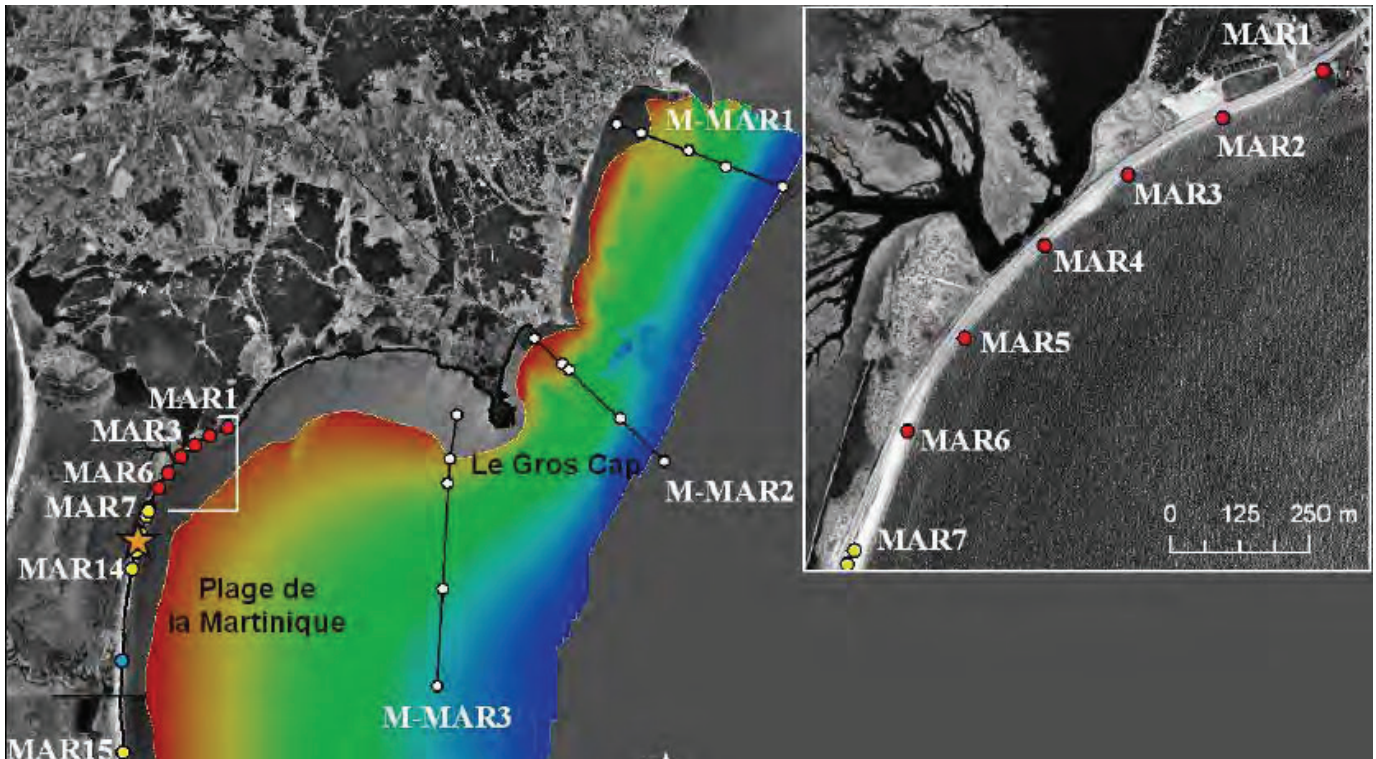


Figure 5.1 Localisation des profils et prélèvements de sédiments dans la baie de Plaisance

La couverture bathymétrique de CIDCO s'arrête par une profondeur de 2,5 à 3 m. Comme les relevés LIDAR ne couvrent pas la zone immergée, ceci laisse de grandes zones peu profondes sans information bathymétrique récente. Seuls quelques points de bathymétrie sont disponibles sur les feuilles d'opération du Service hydrographique du Canada (SHC).

Les analyses de granulométrie des sédiments prélevés par l'UQAR sont présentées dans les deux figures suivantes, soit les sédiments prélevés en mer au large de Gros-Cap (M-MAR1 à M-MAR-3) et les sédiments prélevés sur la plage le long de la route 199 au sud de la Pointe de la Martinique (MAR2, MAR4 et MAR6).

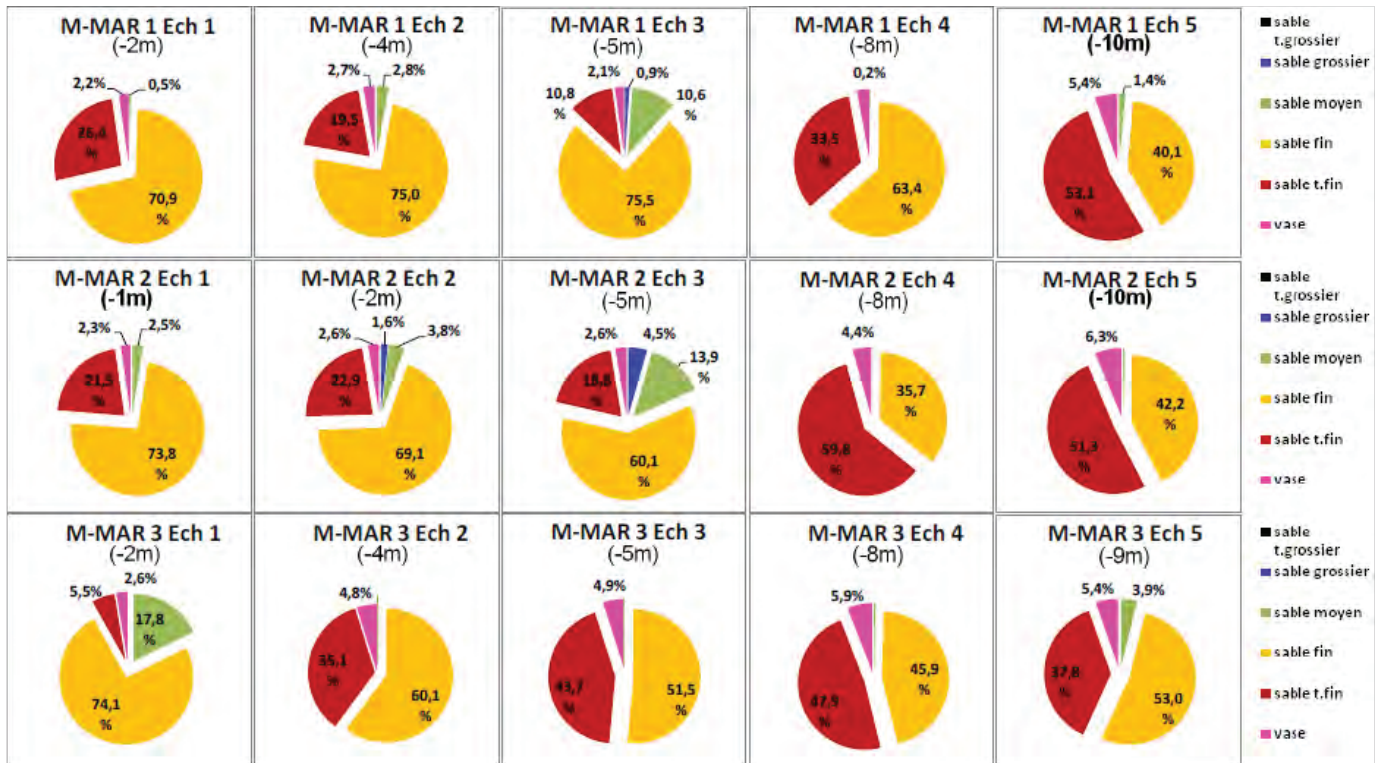


Figure 5.2 Granulométrie des sédiments prélevés au large de Gros-Cap

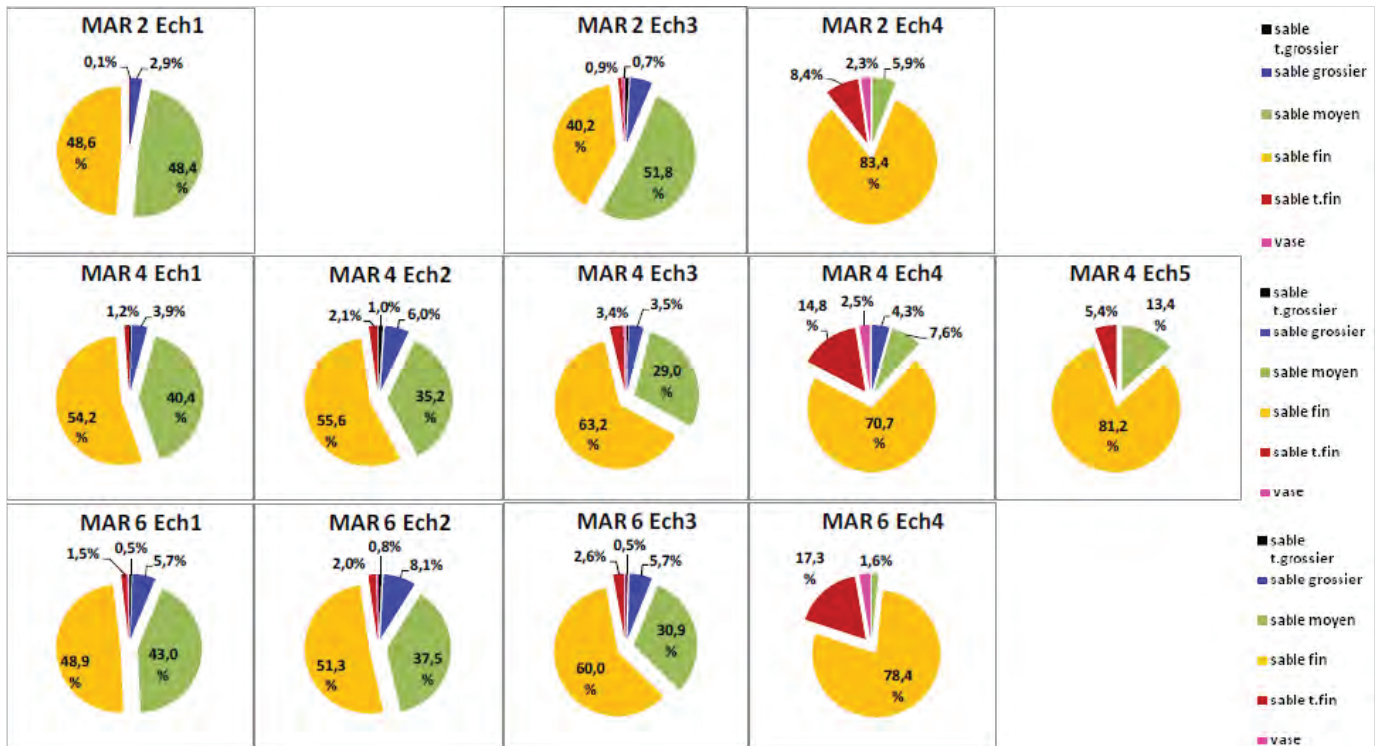


Figure 5.3 Granulométrie des sédiments prélevés sur la plage au sud de la Pointe de la Martinique

Les sédiments prélevés près de la côte devant les falaises de Cap-aux-Meules et Gros-Cap sont en général composé à 90 ou 95 % de sable fin et d'un peu de sable très fin. En s'éloignant de la côte, la proportion des sables fins et très fins s'inverse.

Les sédiments prélevés sur la plage au sud de la Pointe de la Martinique sont essentiellement un mélange de sable fin et de sable moyen où le sable fin prédomine en général.

Pour les besoins de modélisation hydrosédimentaire, les sédiments seront considérés comme des sables fins, soit ayant un diamètre de l'ordre de 0,25 mm.

6. RÉGIME DES VAGUES

6.1 Stratégie d'analyse des vagues

Les vagues qui frappent le secteur de Gros-Cap peuvent provenir de deux zones distinctes, soit le large (surtout secteurs est à nord-est) et l'intérieur de la baie de Plaisance (secteurs sud à sud-est). Le climat des vagues devant Gros-Cap est une combinaison de ces deux ensembles de vagues, celles en provenance du large dominant en termes de hauteur et de période des vagues.

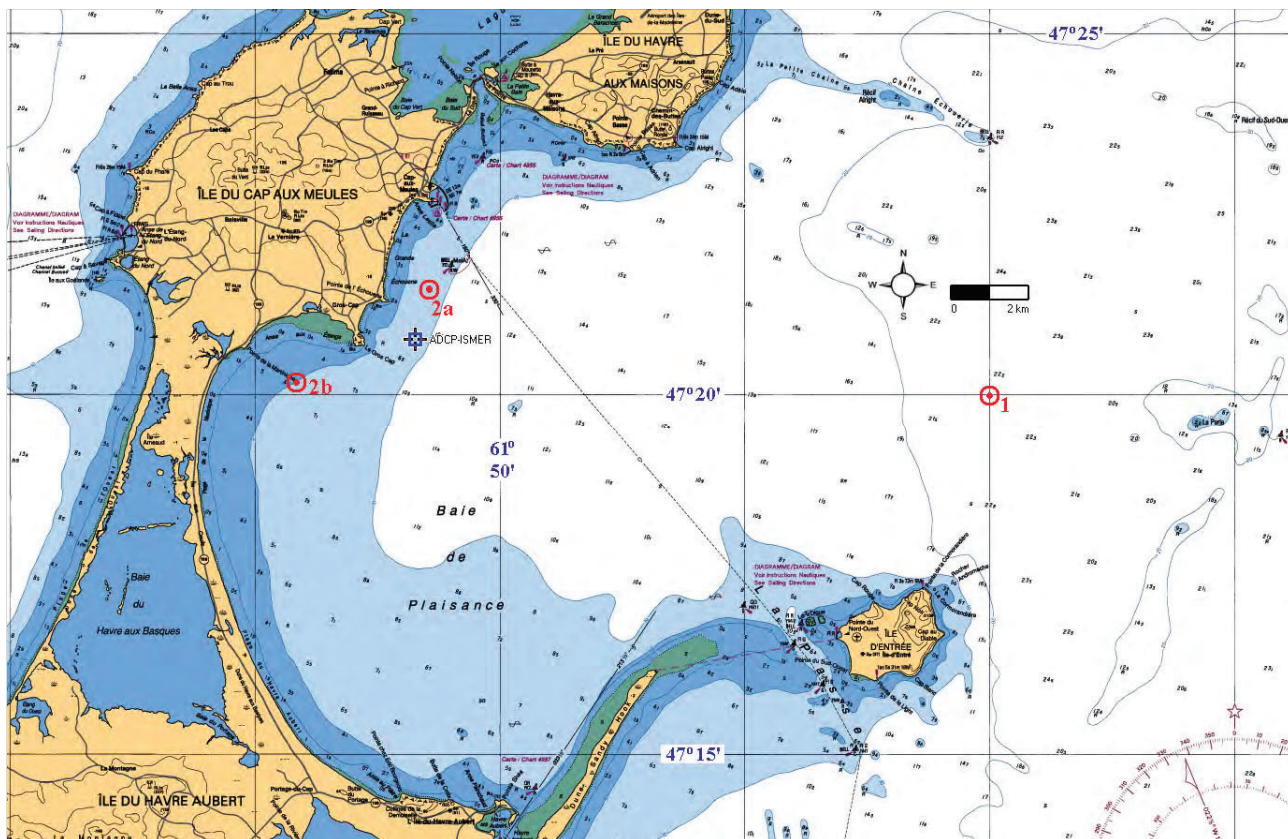


Figure 6.1 Extrait de la carte marine 4024 – Position des points de calcul des fetchs

En utilisant le logiciel Gener, les vagues ont été reconstituées au large de Gros-Cap (point 1 de la figure 6.1) à l'aide d'un modèle mathématique sur ordinateur, à partir des données de vent enregistrées à la station de l'aéroport des Îles de la Madeleine. Ces vagues au large sont ensuite réfractées pour obtenir le climat des vagues près de la côte, qui servira à dimensionner les ouvrages de protection.

Pour s'assurer de bien représenter toutes les vagues qui peuvent affecter la côte, les vagues ont été générées dans la baie de Plaisance (points 2a et 2b de la figure précédente) à partir des vents enregistrés à la station de l'aéroport des Îles de la Madeleine. Ces vagues de la baie ont ensuite été combinées à celles réfractées en provenance du large pour obtenir le climat complet des vagues près de la côte de Gros-Cap.

Érosion côtière baie de Plaisance

Îles-de-la-Madeleine

Des mesures de vagues ont été faites par l'UQAR en 2010 devant Gros-Cap (voir localisation sur la figure 6.1), à l'aide d'un ADCP⁸. À cause d'un problème survenu au cours de la période de mesure, seules les données de niveau d'eau (ou hauteur de vague) de cet instrument sont disponibles du 12 mai au 11 juillet 2010. Les données de direction des vagues ne sont pas disponibles. Malgré leur très courte durée, ces mesures de vagues ont été utilisées pour tenter de valider le modèle de génération de vagues utilisé dans le cadre de cette étude.

6.2 Données de vent

En l'absence de données de mesures de vagues à long terme, le modèle de génération de vagues utilise des données de vent d'une station réelle ou virtuelle située à proximité de la zone d'intérêt pour prédire des vagues.

Les données de vents sur l'année complète (du 1^{er} janvier au 31 décembre) de deux stations d'Environnement Canada aux Îles de la Madeleine ont été comparées, soit :

- les données de la station « Grindstone Island C » entre 1968 et 1982 et
- les données de la station 7053KGR « Îles de la Madeleine (Aut) » entre 1991 et 2010.

Les roses des vents obtenues avec ces séries de données sont reproduites aux figures 6.2 et 6.3.

⁸ Acoustic Doppler Current Profiler
Érosion côtière baie de Plaisance
Îles-de-la-Madeleine

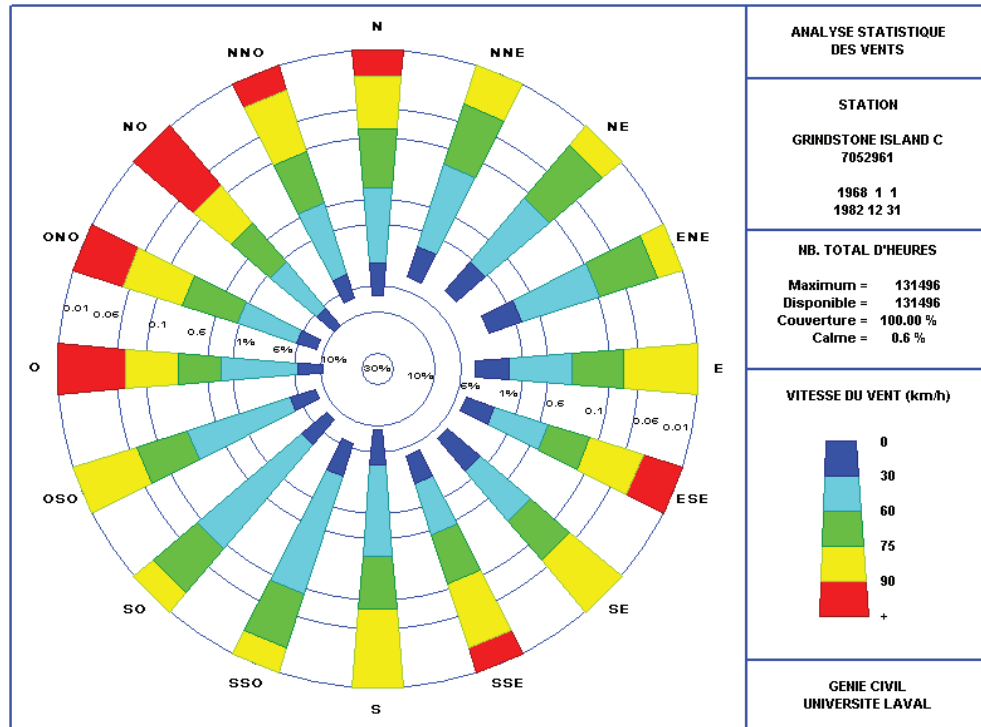


Figure 6.2 Rose des vents – Station Grindstone Island C – 1968 à 1982

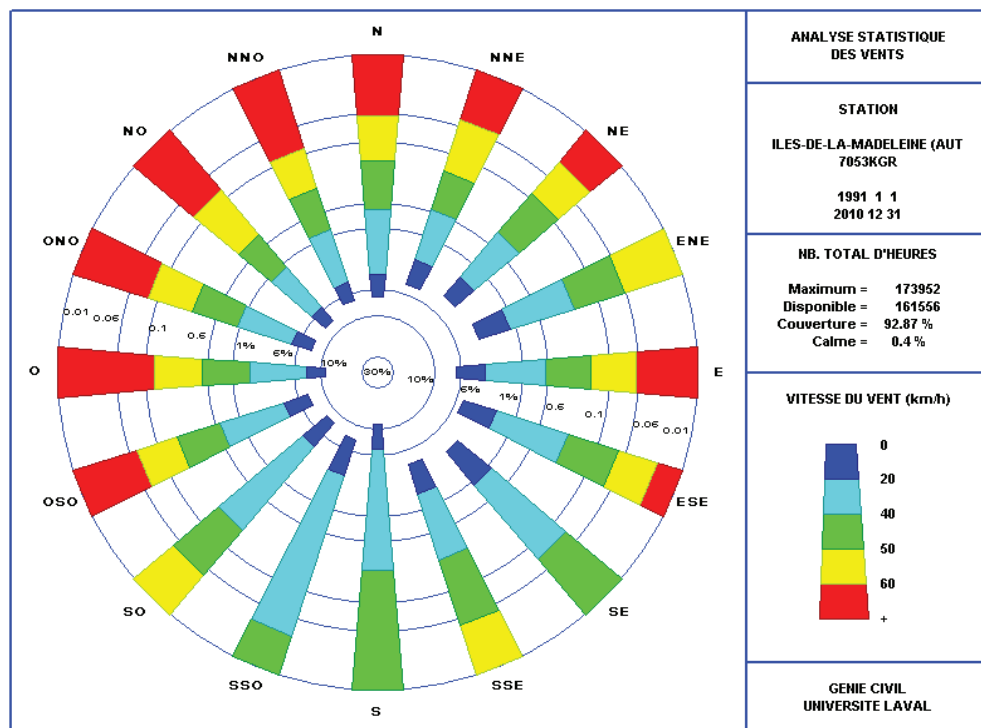


Figure 6.3 Rose des vents – Station Iles-de-la-Madeleine (Aut) – 1991 à 2010

On peut lire sur les figures précédentes, selon les seize directions principales, les fréquences des vents dont la vitesse est supérieure à 0, 20, 40, 50 et 60 km/h. Sur ces figures, les fréquences croissent de l'extérieur vers l'intérieur, passant de 0,01 % à 30 % selon une échelle logarithmique afin de mettre en évidence les vents les plus forts. On y indique aussi le nombre maximal et le nombre disponible de valeurs horaires, le pourcentage de couverture et la période de temps calme.

La comparaison des deux figures indique que la base de données de 1968 à 1982 fournit des vitesses de vent significativement inférieures à celles provenant de la base de données plus récente (1991 à 2010), surtout en provenance des secteurs est et nord-est, ceux desquels proviennent les vagues qui provoquent le plus de dommages le long des côtes de la Baie de Plaisance. C'est donc la série de données les plus récentes qui sera retenue dans la suite des calculs, soit celle de la station « Iles de la Madeleine (7053KGR) ».

Les statistiques globales des vents pour la série de données retenue (1991 à 2010) sont présentées dans le tableau 6.1. La rose des vents correspondante est celle de la figure 6.3.

Tableau 6.1 Statistiques globales des vents de 1991 à 2010

ANALYSE STATISTIQUE DES VENTS																		
STATION : ÎLES-DE-LA-MADELEINE (AUT) POUR LA PÉRIODE ALLANT DU 1991-01-01 AU 2010-12-31																		
ENSEMBLE DES DONNÉES																		
Vit. (km/h)	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSO	SO	OSO	O	ONO	NO	NNO	Total	Total cumulatif
CALME																	0,435	100,000
1 - 5	0,21	0,17	0,18	0,16	0,23	0,17	0,17	0,17	0,28	0,20	0,17	0,17	0,21	0,15	0,14	0,15	2,952	99,565
6 - 10	0,55	0,56	0,40	0,37	0,78	0,59	0,53	0,52	1,08	0,94	0,94	0,76	0,91	0,55	0,56	0,52	10,564	96,613
11 - 15	0,93	0,60	0,44	0,55	1,04	0,90	0,69	0,66	1,90	1,55	1,65	1,17	1,56	1,13	0,90	0,80	16,472	86,049
16 - 20	1,20	0,68	0,55	0,60	1,06	0,92	0,63	0,62	2,68	1,69	1,64	1,15	2,13	1,31	1,18	0,97	18,998	69,577
21 - 25	0,85	0,45	0,38	0,35	0,65	0,53	0,31	0,37	2,00	1,11	1,09	0,83	1,47	0,88	0,93	0,75	12,947	50,579
26 - 30	0,93	0,51	0,43	0,31	0,69	0,51	0,31	0,44	2,04	0,94	1,22	0,96	1,80	1,10	1,19	0,93	14,298	37,633
31 - 35	0,69	0,34	0,34	0,23	0,53	0,34	0,16	0,32	1,25	0,43	0,74	0,77	1,40	0,84	0,98	0,78	10,162	23,335
36 - 40	0,32	0,17	0,17	0,10	0,27	0,14	0,07	0,18	0,42	0,10	0,23	0,35	0,76	0,54	0,51	0,45	4,765	13,173
41 - 45	0,28	0,19	0,16	0,09	0,23	0,11	0,04	0,13	0,18	0,03	0,11	0,29	0,72	0,46	0,48	0,36	3,863	8,408
46 - 50	0,17	0,14	0,09	0,05	0,15	0,06	0,02	0,07	0,05	0,01	0,04	0,13	0,41	0,23	0,32	0,22	2,170	4,545
51 - 55	0,06	0,07	0,03	0,02	0,07	0,03	0,00	0,02	0,01	0,00	0,02	0,06	0,18	0,12	0,16	0,10	0,946	2,376
56 - 60	0,06	0,06	0,03	0,01	0,05	0,02	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,06	0,15	0,07	0,14	0,08	0,772	1,429
61 - 65	0,03	0,02	0,02	0,01	0,03	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,03	0,08	0,04	0,05	0,04	0,374	0,657
66 - 70	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00					0,01	0,02	0,03	0,03	0,01	0,03	0,191	0,282
71 - 75	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00		0,00			0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,052	0,092
76 - 80	0,00	0,00			0,00	0,00						0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,028	0,040
81 - 85	0,00	0,00		0,00							0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,009	0,011
86 - 90													0,00		0,00		0,001	0,002
91 - 95			0,00														0,001	0,001
96 -100																	0,000	0,000
101 -105																	0,000	0,000
106 -110																	0,000	0,000
111 -115																	0,000	0,000
116 -120																	0,000	0,000
121 -125																	0,000	0,000
126 & plus																	0,000	0,000
* TOTAL *	6,29	3,99	3,23	2,86	5,79	4,33	2,94	3,54	11,89	6,99	7,87	6,76	11,82	7,47	7,56	6,22		
Nombre total de valeurs :	173952			Nombre de valeurs disponibles :						161556			Pourcentage de couverture :				92,87%	
Note : Pourcentage de couverture basé sur lenombre devaleurs disponibles																		

6.3 Génération des vagues au large

En l'absence de données de vagues sur une période assez longue, le modèle « GENER⁹ » a été utilisé pour calculer les vagues dans la région de Cap-aux-Meules à l'aide des données de vents de la station « Îles de la Madeleine (7053KGR) » entre 1991 et 2010 et des fetchs, soit les distances sur lesquelles souffle le vent qui forme les vagues dans une direction donnée.

Plusieurs facteurs d'amplification (1,0, 1,1 et 1,2) ont été appliqués aux vitesses des vents pour théoriquement ramener les vents mesurés sur terre à des vents sur l'eau. Cependant, une

⁹ Ouellet, Y., Université Laval

comparaison des quelques données disponibles de la campagne de l'ISMER à l'aide d'un ADCP en 2010 avec les hauteurs de vagues modélisées indique que le facteur multiplicatif le plus plausible est de 1,0 sur les vitesses de vent de la station # 7053KGR. C'est ce facteur multiplicatif qui a été retenu dans les calculs suivants.

Les calculs ont été faits en tenant compte de l'année complète pour s'assurer de tenir compte de l'impact de la disparition des glaces sur la stabilité des ouvrages de protection.

6.4 Fetchs

Les fetchs permettant de calculer la hauteur des vagues au large ont été déterminés à partir des cartes marines. Afin de calculer les deux climats de vagues nécessaires à une évaluation adéquate de ce paramètre, trois positions de calcul des fetchs ont été retenues, soit :

- une position au large ($47^{\circ} 14' N - 61^{\circ} 24' W$) de Cap-aux-Meules (point 1 de la figure 6.1),
- une position près de la côte de Gros-Cap (point 2a de la figure 8.1), devant les étangs aérés ($47^{\circ} 21' 28'' N - 61^{\circ} 51' 26'' W$),
- une position devant la plage de la Martinique (point 2b de la figure 8.1) ($47^{\circ} 20' 11'' N - 61^{\circ} 54' 09'' W$).

Les fetchs utilisés suivant les directions d'intérêt sont calculés à l'aide de la méthode des fetchs effectifs et sont reproduits dans le tableau 6.2 pour la position au large (point 1) et les positions près de la côte (points 2a et 2b). À noter que le fetch utilisé correspond à la moyenne plus un demi-écart-type. Un calcul similaire a été fait pour le secteur de La Grave.

Tableau 6.2 Fetchs effectifs selon les directions au large de Gros-Cap

Fetch (km)	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
Point 1	280	347	306	233	265	180	110	95	128	150	135	150	180	150	75	155
Point 2a	2,7	4,6	29,7	108	213	123	38,1	14,1	12,7	11,0	6,9	2,8	1,3	1,2	1,4	1,9
Point 2b	1,7	1,9	27,4	109	207	93,3	23,6	11,6	8,8	5,7	3,7	2,7	2,2	1,9	1,6	1,7

6.5 Vagues au large (point 1)

À l'aide d'un modèle paramétrique sur ordinateur, les données de vent à l'aéroport des Îles de la Madeleine ont été utilisées pour la reconstitution des vagues près de Gros-Cap. Aucun facteur d'amplification n'a été appliqué aux vitesses du vent. Le modèle applique la méthode S.M.B. (Shore Protection Manual, 1984) de façon séquentielle aux données horaires du vent pour obtenir les statistiques des vagues en un point au large de Gros-Cap. Les données du vent sont préalablement lissées pour éliminer le plus possible les irrégularités présentes dans les données de ce genre.

Érosion côtière baie de Plaisance

Îles-de-la-Madeleine

Le tableau 6.3 donne, pour l'ensemble des directions, les statistiques des vagues reconstituées à partir de la série de données de fetchs au large. Les paramètres utilisés dans les calculs sont indiqués au début du tableau. Les pourcentages calculés à partir des effectifs (nombre de valeurs correspondant à un intervalle de hauteur et de période) sont indiqués pour les hauteurs dans les colonnes de droite libellées A, B et C et pour les périodes dans les lignes du bas libellées de la même façon. Les notes explicatives de ces libellés sont fournies en bas de page. Des tableaux similaires ont été compilés pour chacune des 16 directions, mais n'ont pas été présentés dans ce rapport à cause de leur volume.

Tableau 6.3 Statistiques globales des vagues au large – Vents de 1991 à 2010 (F=1)

Direction des vagues : Ensemble des données																			
Station : Îles de la Madeleine (Aut) (7053KGR)											Correction =		1						
Du 1991-01-01 au 2010-12-01											Fetch		- km						
Projet : BP_IdM-Aut_91-10_10											Profondeur		100 m						
PÉRIODE Tp (secondes)																			
HAUTEUR	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13					
Hs	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	&	TOTAL	A(%)	B(%)	C(%)
(mètres)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	plus	LIGNE				
0,00-0,25	4612	16687	14582	1528	1											37410	23,18	23,16	99,9
0,25-0,50	15	1128	8751	16689	4223	58										30864	19,12	19,1	76,74
0,50-0,75		54	1323	5680	11447	4321	185									23010	14,26	14,24	57,64
0,75-1,00		7	206	1566	4512	7881	3057	42								17271	10,7	10,69	43,39
1,00-1,25		1	19	513	1397	3984	5916	1637	12							13479	8,35	8,34	32,7
1,25-1,50			5	169	457	1524	4136	4033	267							10591	6,56	6,56	24,36
1,50-1,75				47	150	564	1438	4095	1483	40						7817	4,84	4,84	17,81
1,75-2,00				8	58	174	596	1924	3042	197						5999	3,72	3,71	12,97
2,00-2,25					26	78	238	964	2127	753	35					4221	2,62	2,61	9,25
2,25-2,50					10	38	106	262	1023	1320	171					2930	1,82	1,81	6,64
2,50-3,00					1	15	52	159	839	1698	687	43				3494	2,16	2,16	4,83
3,00-3,50						3	12	35	152	371	1047	415	1			2036	1,26	1,26	2,66
3,50-4,00						1	1	5	16	78	520	383	125			1129	0,7	0,7	1,4
4,00-4,50								4	3	20	65	345	124			561	0,35	0,35	0,71
4,50-5,00								1		5	9	161	119	21		316	0,2	0,2	0,36
5,00-5,50									1	1	3	27	49	53		134	0,08	0,08	0,16
5,50-6,00												1	28	58		87	0,05	0,05	0,08
6,00-6,50												1	1	31		33	0,02	0,02	0,03
6,50-7,00														8		8	0	0	0,01
7,00-7,50														1		1	0	0	0
7,50&plus																0	0	0	0
TOTAL COL	4627	17877	24886	26200	22282	18641	15737	13161	8965	4483	2537	1376	447	172		161391			
A(%)	2,9	11,1	15,4	16,2	13,8	11,6	9,8	8,2	5,6	2,8	1,6	0,9	0,3	0,1					
B(%)	2,9	11,1	15,4	16,2	13,8	11,5	9,7	8,1	5,5	2,8	1,6	0,9	0,3	0,1					
C(%)	99,9	97	86	70,6	54,3	40,6	29	19,3	11,1	5,6	2,8	1,2	0,4	0,1					
Nombre de valeurs											Pourcentages selon les lignes et les colonnes basé sur le nombre de valeurs								
Selon cette direction :					161391					A :		Selon cette direction							
Selon l'ensemble des directions :					161556					B :		Selon l'ensemble des directions							
Pourcentage selon cette direction :					99,9%					C :		Pourcentage de dépassement déduit de 'B'							

À partir de ces résultats, on a tracé sur la figure 6.4 la rose correspondante des vagues (échelle de 0 à 3,0 m pour les hauteurs de vagues). L'échelle logarithmique permet de mettre en évidence les fortes vagues.

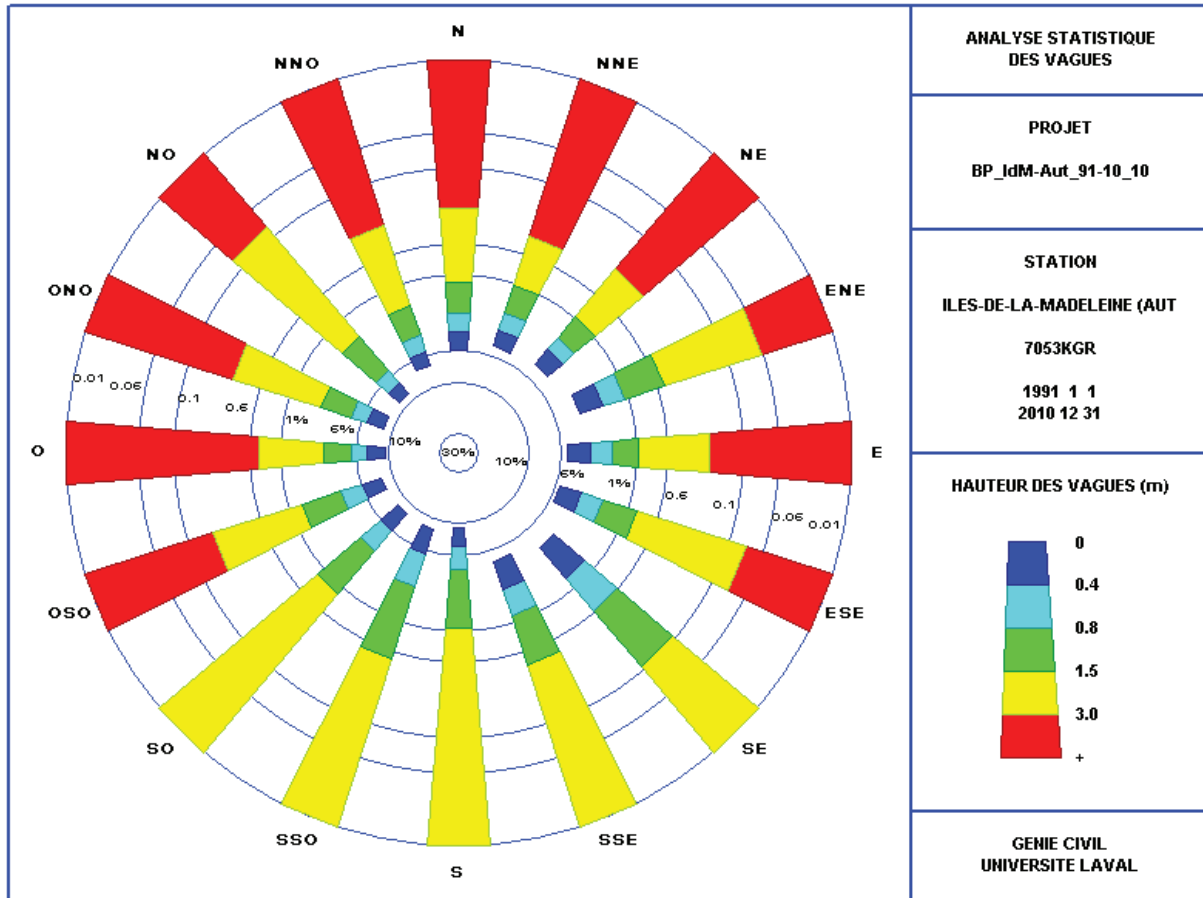


Figure 6.4 Rose des vagues au large de Cap-aux-Meules pour la période 1991 à 2010 (F=1)

6.6 Vagues extrêmes prédites au large

L'évaluation de la hauteur des vagues non réfractées ayant une période de retour de 25 à 100 ans a été faite selon les méthodes de Gumbel et de Weibull pour l'année entière. La figure 6.5 présente les résultats pour la méthode de Gumbel (année) pour les vagues calculées au large de la baie de Plaisance.

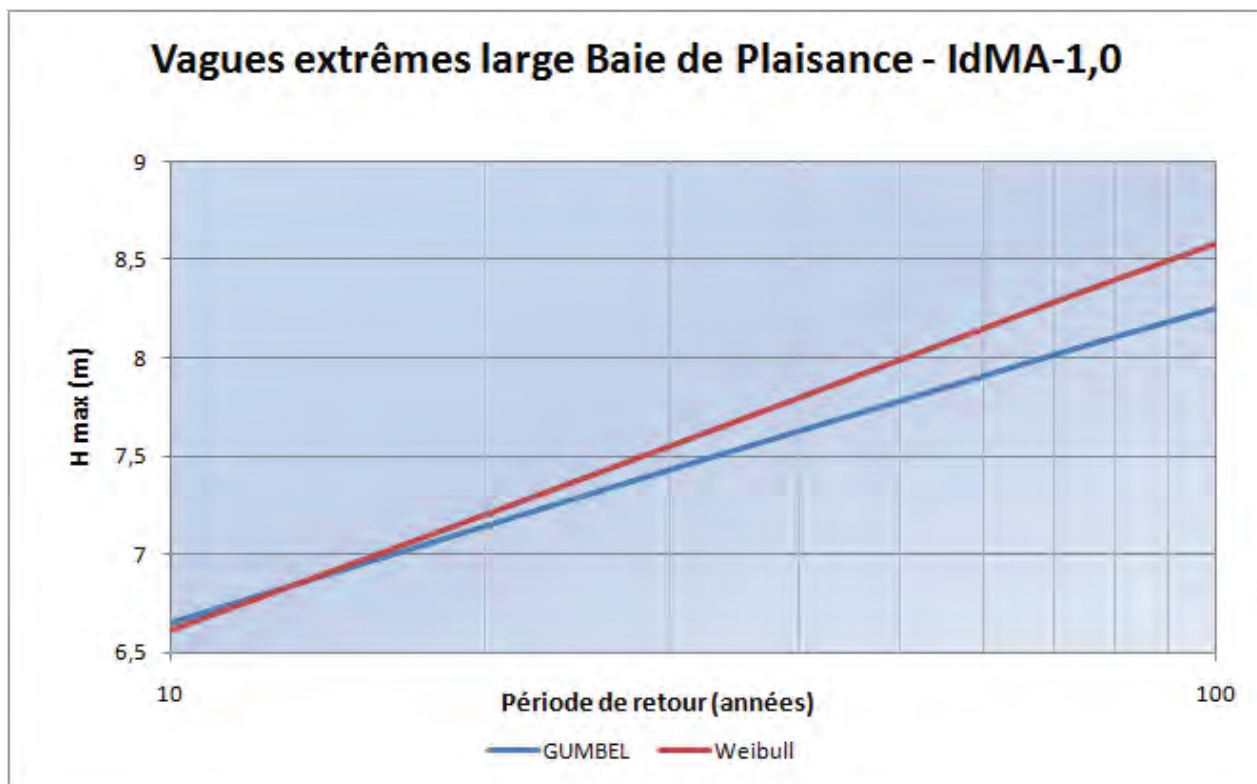


Figure 6.5 Prédiction de Hs au large de Gros-Cap (méthodes de Gumbel et Weibull)

Pour les vagues générées au large de Gros-Cap, la hauteur significative des vagues prédite pour une période de retour de 100 ans est de l'ordre de 8,3 m si on se fie à la série de données de vents de 1991 à 2010, sans facteur de majoration appliqué aux vitesses de vent.

Pour une période de retour de 50 ans, la hauteur significative des vagues prédites est de l'ordre de 7,9 m pour la même série de données de vents de 1991 à 2010 sans facteur de majoration sur la vitesse des vents.

6.7 Conditions de vagues au large considérées pour la réfraction

Suite à l'analyse qui précède, les conditions de vagues au large qui ont été considérées dans l'analyse de la réfraction sont indiquées dans le tableau suivant. L'analyse de réfraction sert à établir le climat de vagues près de la côte ; elle fait l'objet du prochain chapitre.

Tableau 6.4 : Conditions de vagues au large considérées dans la modélisation

Direction	Période T_p (s)	Hauteur significative H_s (m)
Nord	12	3,97
	14	5,92
Nord-nord-est	12	4,12
	14	5,74
Nord-est	12	4,03
	14	5,57
Est-nord-est	10	2,81
	12	4,17
	14	6,00
Est	8	1,97
	10	2,88
	12	3,99
	14	5,71
Est-sud-est	12	4,41
	14	7,08
Sud-est	10	3,01

7. CLIMAT DE VAGUES PRÈS DE LA CÔTE

7.1 Modélisation de la transformation des vagues du large

L'élaboration d'un concept optimal pour la protection des berges contre l'érosion nécessite d'abord de connaître les caractéristiques des vagues aux abords immédiats de la côte. Une modélisation de la réfraction, qui implique la simulation de la transformation de la hauteur et de la direction des vagues du large à l'approche du littoral, a donc été réalisée à l'aide du modèle bidimensionnel MIKE 21 SW (*Spectral Wave*).

7.1.1 Modèle numérique

MIKE 21 SW est un modèle commercial, conçu au Danemark par la firme *DHI Water & Environment*, qui utilise un maillage flexible (éléments triangulaires) permettant d'augmenter la résolution de la modélisation à l'approche du littoral ou des points d'intérêts devant être pris en compte de manière plus précise.

Le module SW intègre les développements les plus récents pour la simulation de la génération et de la transformation des vagues en eaux profondes et côtières. Les simulations permettent de reproduire les phénomènes de réfraction, de dissipation par déferlement et/ou frottement sur le fond, de génération des vagues par le vent, d'interaction non linéaire entre les vagues et d'interaction vagues-courants.

7.1.2 Limites de la zone modélisée

Comme l'indique la figure 3.1, le modèle numérique reproduit la bathymétrie d'une zone d'environ 60 km par 50 km.

7.1.3 Conditions aux limites

Les caractéristiques des vagues ont été reconstituées au large de la Baie de Plaisance à partir des données de vent enregistrées à la station des Îles-de-la-Madeleine (7053KGR) (section 6.2). Seize (16) combinaisons *direction – période – hauteur de vague* ont été considérées (voir tableau 6.4).

Pour chacune des simulations, des conditions de vagues identiques étaient imposées aux trois limites du modèle situées en mer. Le spectre directionnel des vagues était discrétisé avec un angle $D\theta = 22,5^\circ$, sur un secteur de 360° . L'indice d'étalement directionnel des vagues a été fixé à 5, ce qui correspond à un écart-type de $23,28^\circ$ par rapport à la direction de propagation moyenne.

7.1.4 Niveau d'eau

Les simulations ont été effectuées pour un niveau d'eau de +1,9 m ZC, ce qui correspond à un niveau d'eau de +1,25 m en NMM. D'après l'analyse des niveaux d'eau aux Îles-de-la-Madeleine, ce niveau d'eau est atteint avec une récurrence d'une heure/année (section 4.7).

7.1.5 Déferlement

Tous les résultats de simulation ont été obtenus en tenant compte de l'influence du déferlement. MIKE 21 SW simule la dissipation d'énergie due au déferlement selon la formulation proposée par Battjes & Janssen (réf. [5]). Le déferlement est alors contrôlé par trois paramètres pour lesquels les valeurs proposées dans la documentation de MIKE 21 SW ont été conservées:

$$\alpha = 1,0 \quad \gamma_1 = 1,0 \quad \gamma_2 = 0,8$$

Les valeurs de α et γ_2 sont conformes à Battjes & Janssen (réf. [5]) alors que celle de γ_1 est tirée de Holthuijsen et al. (réf. [2]). Les paramètres γ_1 et γ_2 influencent respectivement les limites de cambrure et de profondeur d'eau conduisant au déferlement.

7.1.6 Frottement sur le fond

Compte tenu des profondeurs d'eau relativement faibles caractérisant la zone à l'étude, il a été décidé de concert avec les intervenants du projet de tenir compte de la dissipation d'énergie des vagues attribuable au frottement sur les fonds.

La rugosité des fonds peut être spécifiée dans MIKE 21 SW à l'aide du paramètre de Nikuradse k_n qui peut s'exprimer comme suit:

$$k_n = 2,5 d_{50} \quad [7.1]$$

où d_{50} est le diamètre médian des sédiments, lequel est estimé à 0,25 mm (sable fin) dans la zone à l'étude (section 5.0).

7.2 Définition des points de calcul de la réfraction

Le domaine d'étude de l'érosion côtière défini par le mandat a été caractérisé, des étangs aérés à la Pointe de la Martinique ainsi que dans le secteur de La Grave, par des séries de points d'intérêt situés à des distances variables de la côte, soit une série « a » située à proximité immédiate de la côte (une vingtaine de mètres), une série « b » située un peu plus au large (une quarantaine de mètres) et une série « c » située encore plus au large (environ 175 m de la côte).

Les séries « a » et « b » définissent les conditions pour les ouvrages de génie civil adossés à la côte et la série « c » définit les conditions pour les ouvrages de protection avancée de la côte (brise-lames submersibles, butée de pied de plage, etc.).

Les six figures suivantes illustrent, pour chacune des zones à l'étude, la position des points de calcul de la réfraction ainsi que la position des différents transects permettant de définir la géométrie des fonds marins qui influencent la propagation des vagues vers la côte.

- Six transects (EA1 à EA6) ont été définis devant les étangs aérés,
- Neuf transects (GC1 à GC9) ont été définis dans la zone de Gros-Cap,
- Cinq transects (LM1 à LM5) ont été définis devant la plage du chemin des Chalets,

- Huit transects (LM6 à LM13) ont été définis devant la Pointe de la Martinique,
- Huit transects (LG1 à LG8) ont été définis devant la plage de La Grave.

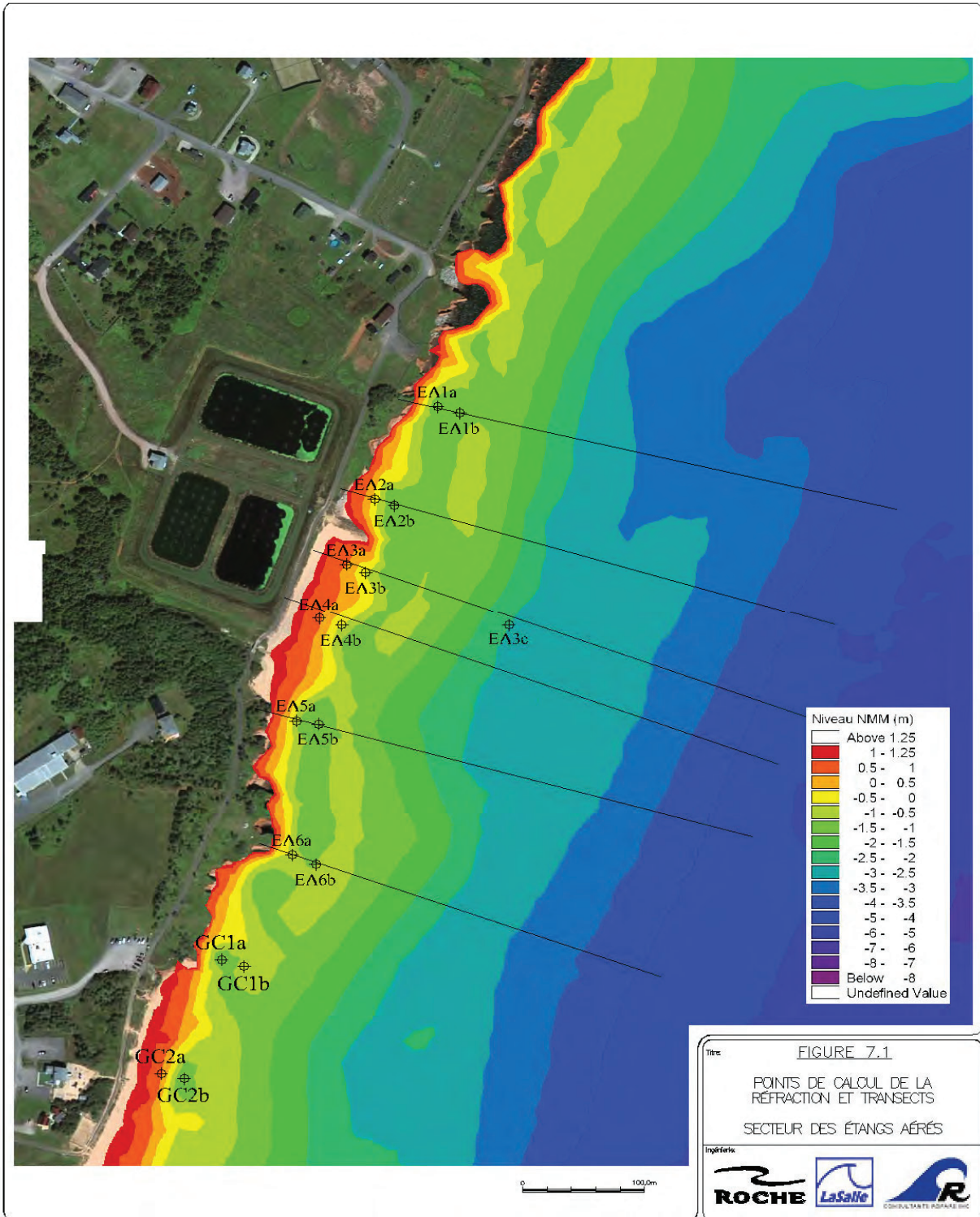


Figure 7.1 – Transects – Secteur des étangs aérés

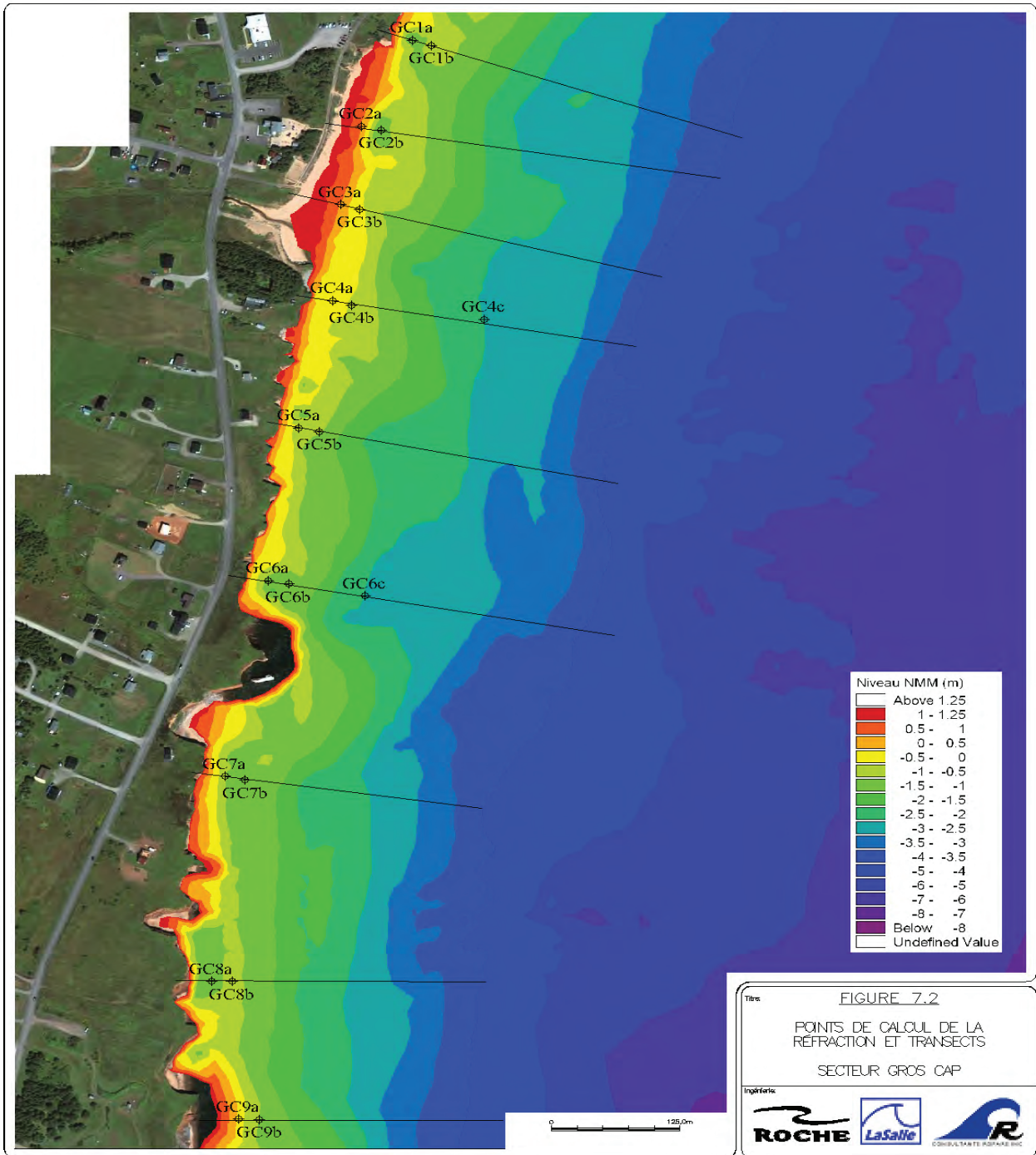


Figure 7.2 – Transects – Secteur de Gros Cap

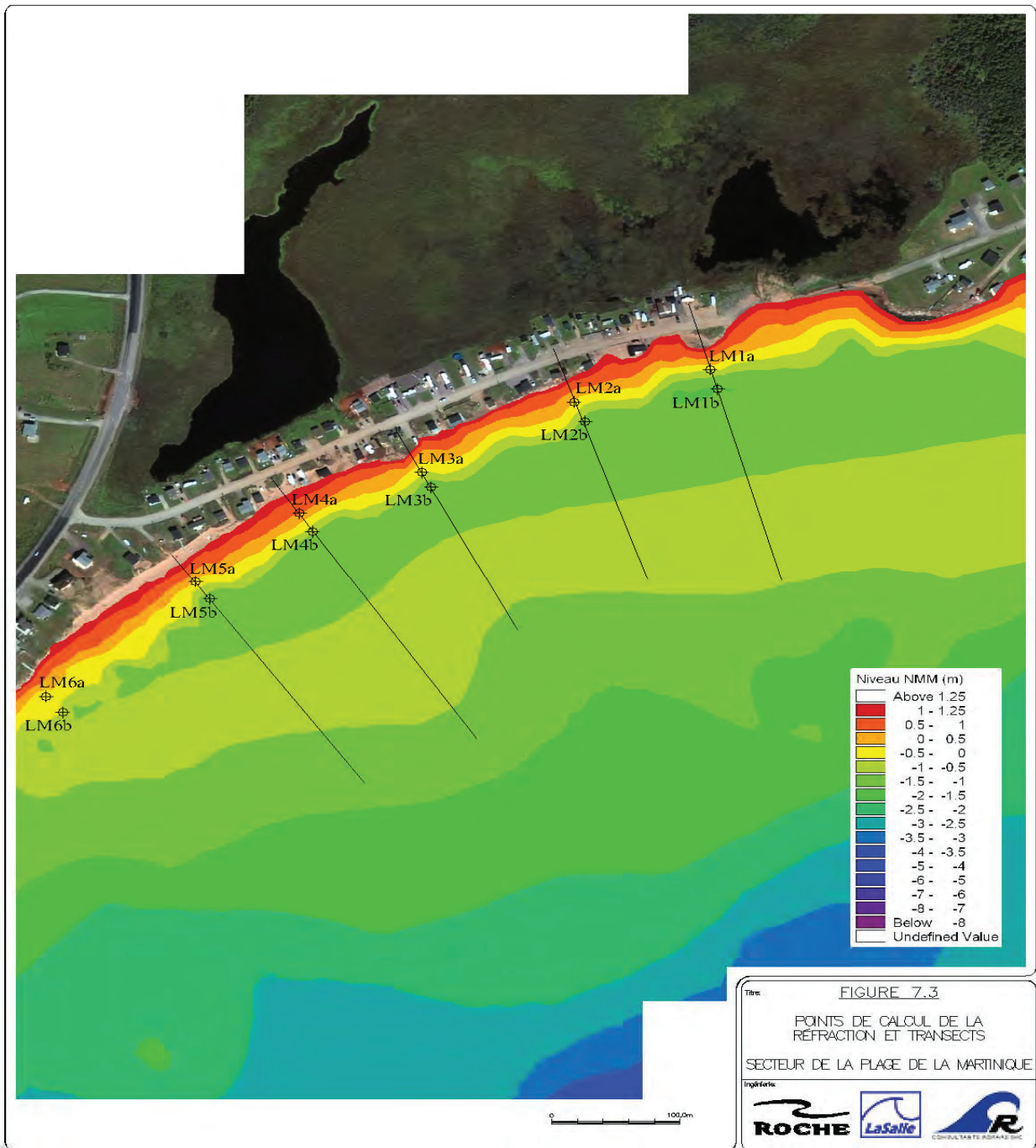


Figure 7.3 – Transects – Secteur de la plage du chemin des Chalets

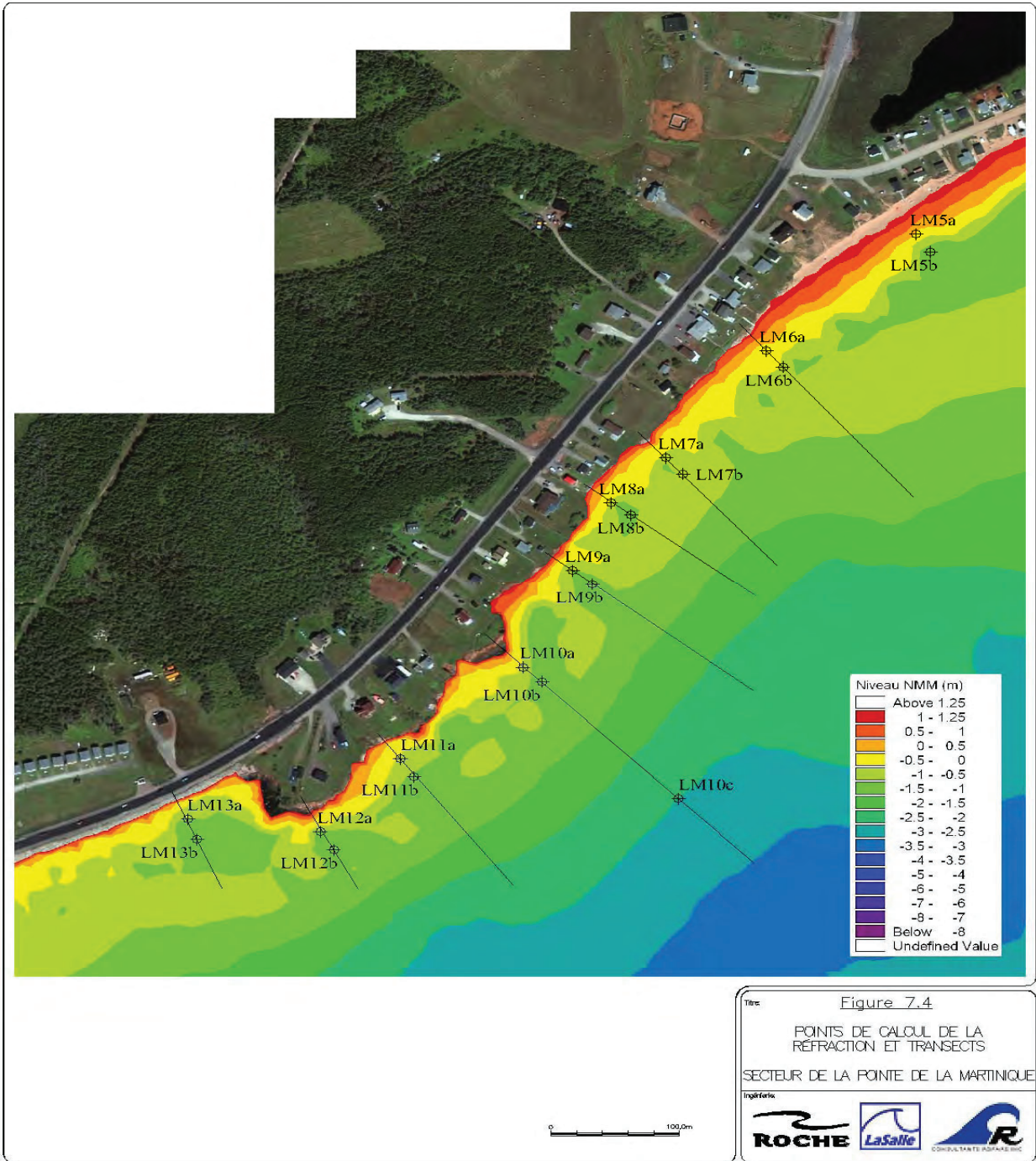


Figure 7.4 – Transects – Secteur de la Pointe de la Martinique

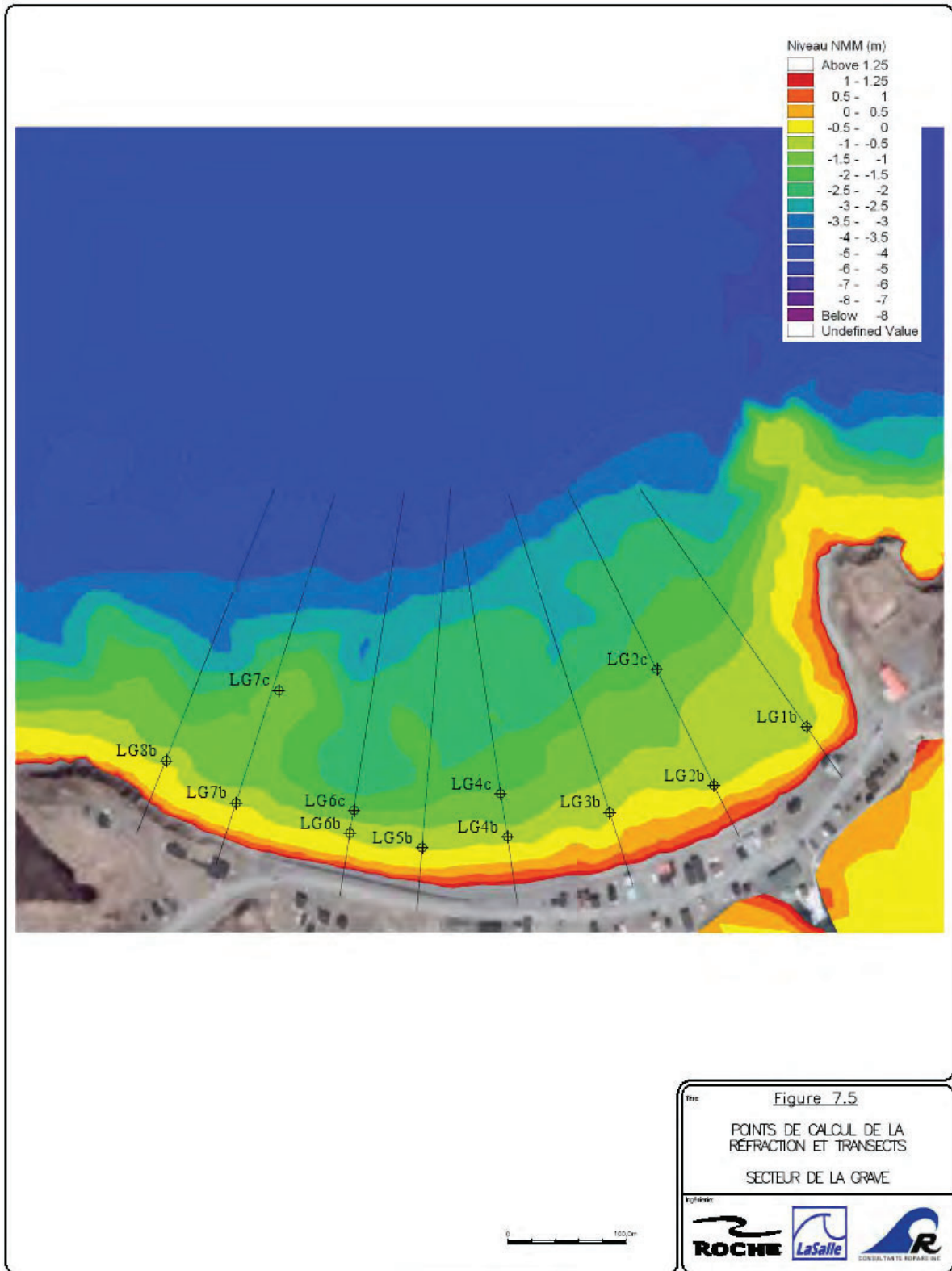


Figure 7.5 – Transects – Secteur de La Grave

Érosion côtière baie de Plaisance

Îles-de-la-Madeleine

Les coordonnées des soixante-douze points de calcul de la réfraction des vagues (MTM4) sont listées dans le tableau suivant. Treize points caractérisent la zone des étangs aérés alors que la zone de Gros-Cap est caractérisée par vingt points et que celle de La Martinique est caractérisée par vingt-sept points. Dix points caractérisent la zone de La Grave.

Tableau 7.1 Localisation des points de calcul de la réfraction

SECTEUR	#	Point	Localisation MTM4 (m)		SECTEUR	#	Point	Localisation MTM4 (m)	
			X	Y				X	Y
ÉTANGS AÉRÉS	1	EA1a	277 026	5 248 116	LA MARTINIQUE	34	LM1a	273 903	5 245 793
	2	EA1b	277 044	5 248 110		35	LM1b	273 909	5 245 774
	3	EA2a	276 974	5 248 034		36	LM2a	273 797	5 245 762
	4	EA2b	276 991	5 248 028		37	LM2b	273 805	5 245 744
	5	EA3a	276 951	5 247 977		38	LM3a	273 678	5 245 696
	6	EA3b	276 967	5 247 969		39	LM3b	273 685	5 245 682
	7	EA3c	277 085	5 247 922		40	LM4a	273 583	5 245 658
	8	EA4a	276 929	5 247 928		41	LM4b	273 593	5 245 640
	9	EA4b	276 947	5 247 922		42	LM5a	273 502	5 245 593
	10	EA5a	276 910	5 247 838		43	LM5b	273 513	5 245 577
	11	EA5b	276 928	5 247 835		44	LM6a	273 385	5 245 485
	12	EA6a	276 908	5 247 719		45	LM6b	273 398	5 245 470
	GROS-CAP	13	EA6b	276 926		5 247 713	46	LM7a	273 307
14		GC1a	276 849	5 247 625	47	LM7b	273 320	5 245 371	
15		GC1b	276 868	5 247 619	48	LM8a	273 264	5 245 344	
16		GC2a	276 799	5 247 525	49	LM8b	273 280	5 245 333	
17		GC2b	276 818	5 247 520	50	LM9a	273 235	5 245 281	
18		GC3a	276 778	5 247 433	51	LM9b	273 250	5 245 269	
19		GC3b	276 797	5 247 428	52	LM10a	273 196	5 245 191	
20		GC4a	276 771	5 247 321	53	LM10b	273 211	5 245 177	
21		GC4b	276 789	5 247 316	54	LM10c	273 317	5 245 069	
22		GC4c	276 918	5 247 300	55	LM11a	273 100	5 245 106	
23		GC5a	276 738	5 247 173	56	LM11b	273 111	5 245 089	
24		GC5b	276 758	5 247 169	57	LM12a	273 038	5 245 038	
25		GC6a	276 708	5 246 996	58	LM12b	273 049	5 245 021	
26		GC6b	276 728	5 246 992	59	LM13b	272 935	5 245 050	
27		GC6c	276 802	5 246 978	60	LM13b	272 942	5 245 031	
28		GC7a	276 666	5 246 768	61	LG1b	279 442	5 233 234	
29		GC7b	276 685	5 246 764	62	LG2b	279 363	5 233 184	
30		GC8a	276 653	5 246 530	63	LG2c	279 315	5 233 282	
31		GC8b	276 673	5 246 530	64	LG3b	279 275	5 233 161	
32		GC9a	276 679	5 246 370	65	LG4b	279 188	5 233 140	
33		GC9b	276 699	5 246 370	66	LG4c	279 182	5 233 177	
				67	LG5b	279 116	5 233 131		
				68	LG6b	279 054	5 233 143		
				69	LG6c	279 058	5 233 162		
				70	LG7b	278 958	5 233 169		
				71	LG7c	278 994	5 233 264		
				72	LG8b	278 899	5 233 205		

7.3 Coefficients de réfraction

La série des coefficients de réfraction obtenus du modèle MIKE 21 apparaît dans le tableau 7.2. Cette liste a servi à établir les séries complètes de coefficients de réfraction pour chacun des 72 points de calcul.

L'ensemble des valeurs des coefficients de réfraction ont été analysées de façon comparative par secteurs, pour faire ressortir les points les plus représentatifs d'un secteur donné. Les séries de coefficients étant relativement homogènes, huit points représentatifs ont été sélectionnés pour effectuer l'analyse des solutions en érosion côtière des différents secteurs au nord de la Baie de Plaisance, soit :

- Secteur des étangs aérés : EA1b
- Secteur de Gros-Cap : GC2b, GC6b et GC6c
- Secteur de la plage du chemin des Chalets : LM2b et LM5b
- Secteur de la Pointe de la Martinique : LM10c et LM11b

Pour le secteur de La Grave, deux points représentatifs ont été retenus, soit :

- Secteur est de La Grave : LG4b
- Secteur centre de La Grave : LG7b

Tableau 7.2 : Liste des coefficients de réfraction obtenus du modèle MIKE 21

H _s vague incidente (m)		3.97	5.92	4.12	5.74	4.03	5.57	2.81	4.17	6.00	1.97	2.88	3.99	4.43	5.71
X	Y	N -12 s	N -14 s	NNE -12 s	NNE -14 s	NE -12 s	NE -14 s	ENE -10 s	ENE -12 s	ENE -14 s	E -9 s	E -10 s	E -12 s	E -14 s	ESE
277 026	5 248 116	0.231	0.201	0.283	0.212	0.293	0.219	0.406	0.285	0.203	0.548	0.398	0.297	0.548	0.213
277 044	5 248 110	0.237	0.208	0.294	0.221	0.305	0.228	0.422	0.296	0.211	0.567	0.413	0.309	0.567	0.221
276 974	5 248 034	0.214	0.142	0.191	0.141	0.193	0.146	0.256	0.184	0.134	0.333	0.243	0.191	0.333	0.140
276 991	5 248 028	0.236	0.196	0.275	0.205	0.283	0.211	0.393	0.275	0.196	0.533	0.385	0.288	0.533	0.206
276 951	5 247 977	0.107	0.075	0.107	0.076	0.107	0.079	0.109	0.102	0.073	0.194	0.129	0.108	0.194	0.077
276 967	5 247 969	0.215	0.154	0.214	0.158	0.218	0.163	0.302	0.211	0.150	0.408	0.291	0.220	0.408	0.158
277 085	5 247 922	0.210	0.223	0.330	0.312	0.382	0.328	0.517	0.432	0.316	0.655	0.584	0.461	0.655	0.333
276 929	5 247 928	0.051	0.092	0.079	0.086	0.077	0.091	0.000	0.072	0.082	0.000	0.122	0.102	0.072	0.087
276 947	5 247 922	0.228	0.164	0.225	0.165	0.229	0.171	0.312	0.219	0.157	0.416	0.298	0.227	0.416	0.164
276 910	5 247 838	0.221	0.192	0.271	0.202	0.281	0.209	0.389	0.272	0.194	0.525	0.380	0.284	0.525	0.203
276 928	5 247 835	0.217	0.200	0.285	0.216	0.298	0.224	0.412	0.291	0.207	0.554	0.406	0.304	0.554	0.217
276 908	5 247 719	0.246	0.204	0.286	0.213	0.295	0.220	0.409	0.286	0.220	0.553	0.400	0.298	0.553	0.213
276 926	5 247 713	0.242	0.206	0.289	0.216	0.299	0.223	0.414	0.290	0.206	0.558	0.404	0.302	0.558	0.216
276 849	5 247 625	0.226	0.196	0.278	0.208	0.287	0.214	0.398	0.279	0.199	0.539	0.391	0.293	0.539	0.210
276 868	5 247 619	0.230	0.200	0.283	0.211	0.292	0.218	0.405	0.284	0.202	0.547	0.397	0.297	0.547	0.213
276 799	5 247 525	0.185	0.159	0.225	0.164	0.232	0.169	0.288	0.224	0.157	0.321	0.280	0.233	0.321	0.165
276 818	5 247 520	0.223	0.188	0.265	0.198	0.274	0.205	0.380	0.266	0.189	0.512	0.370	0.276	0.512	0.198
276 778	5 247 433	0.062	0.082	0.052	0.073	0.049	0.079	0.000	0.050	0.069	0.196	0.065	0.030	0.196	0.071
276 797	5 247 428	0.220	0.163	0.226	0.167	0.231	0.172	0.318	0.223	0.159	0.429	0.309	0.232	0.429	0.167
276 771	5 247 321	0.218	0.160	0.223	0.164	0.228	0.170	0.316	0.220	0.157	0.429	0.308	0.230	0.429	0.165
276 789	5 247 316	0.229	0.188	0.262	0.195	0.270	0.201	0.372	0.260	0.186	0.501	0.362	0.272	0.501	0.195
276 918	5 247 300	0.203	0.178	0.324	0.313	0.377	0.331	0.517	0.438	0.323	0.663	0.589	0.469	0.663	0.340
276 738	5 247 173	0.214	0.189	0.266	0.199	0.275	0.206	0.379	0.265	0.190	0.266	0.369	0.278	0.266	0.200
276 758	5 247 169	0.205	0.206	0.297	0.234	0.317	0.242	0.440	0.315	0.226	0.589	0.439	0.330	0.589	0.237
276 708	5 246 996	0.209	0.203	0.291	0.223	0.307	0.232	0.424	0.301	0.215	0.568	0.417	0.313	0.568	0.225
276 728	5 246 992	0.218	0.218	0.314	0.245	0.333	0.253	0.461	0.329	0.235	0.617	0.458	0.344	0.617	0.247
276 802	5 246 978	0.212	0.231	0.343	0.322	0.394	0.322	0.549	0.444	0.337	0.712	0.608	0.471	0.712	0.339
276 666	5 246 768	0.242	0.200	0.280	0.207	0.288	0.215	0.396	0.278	0.198	0.524	0.386	0.290	0.524	0.208
276 685	5 246 764	0.231	0.220	0.314	0.239	0.329	0.247	0.455	0.321	0.229	0.608	0.446	0.335	0.608	0.240
276 653	5 246 530	0.219	0.197	0.279	0.209	0.290	0.216	0.401	0.291	0.199	0.539	0.390	0.292	0.539	0.208
276 673	5 246 530	0.226	0.207	0.294	0.221	0.305	0.228	0.422	0.211	0.221	0.567	0.412	0.309	0.567	0.221
276 679	5 246 370	0.176	0.108	0.139	0.097	0.133	0.099	0.164	0.121	0.090	0.219	0.167	0.126	0.219	0.095
276 699	5 246 370	0.239	0.223	0.318	0.244	0.335	0.254	0.462	0.328	0.235	0.614	0.455	0.343	0.614	0.246
273 903	5 245 793	0.128	0.127	0.183	0.150	0.199	0.156	0.270	0.204	0.146	0.336	0.276	0.214	0.336	0.153
273 909	5 245 774	0.118	0.119	0.172	0.148	0.190	0.154	0.258	0.203	0.146	0.317	0.276	0.215	0.317	0.153
273 797	5 245 762	0.134	0.125	0.177	0.135	0.186	0.139	0.256	0.180	0.128	0.333	0.253	0.188	0.333	0.134
273 805	5 245 744	0.127	0.128	0.185	0.157	0.203	0.163	0.275	0.206	0.154	0.338	0.293	0.227	0.338	0.162
273 678	5 245 696	0.124	0.125	0.181	0.151	0.198	0.157	0.268	0.147	0.147	0.331	0.286	0.220	0.331	0.155
273 685	5 245 682	0.122	0.123	0.179	0.153	0.198	0.159	0.268	0.209	0.149	0.331	0.286	0.220	0.331	0.157
273 583	5 245 658	0.107	0.031	0.048	0.052	0.087	0.055	0.000	0.000	0.030	0.117	0.000	0.000	0.117	0.037
273 593	5 245 640	0.133	0.133	0.193	0.161	0.211	0.168	0.287	0.220	0.158	0.355	0.302	0.232	0.355	0.167
273 502	5 245 593	0.147	0.134	0.189	0.139	0.195	0.146	0.270	0.179	0.128	0.371	0.252	0.185	0.371	0.133
273 513	5 245 577	0.134	0.134	0.194	0.160	0.211	0.166	0.289	0.218	0.156	0.362	0.301	0.230	0.362	0.164
273 385	5 245 485	0.143	0.139	0.200	0.160	0.215	0.166	0.295	0.216	0.154	0.376	0.300	0.227	0.376	0.162
273 398	5 245 470	0.136	0.137	0.200	0.171	0.221	0.178	0.300	0.234	0.177	0.371	0.319	0.248	0.371	0.177
273 307	5 245 386	0.117	0.119	0.172	0.158	0.193	0.165	0.256	0.217	0.160	0.309	0.284	0.233	0.309	0.169
273 320	5 245 371	0.113	0.116	0.168	0.162	0.190	0.172	0.252	0.227	0.174	0.303	0.285	0.249	0.303	0.184
273 264	5 245 344	0.126	0.127	0.187	0.169	0.209	0.176	0.280	0.232	0.169	0.337	0.307	0.247	0.337	0.178
273 280	5 245 333	0.124	0.128	0.184	0.171	0.208	0.179	0.277	0.236	0.175	0.334	0.308	0.254	0.334	0.184
273 235	5 245 281	0.127	0.130	0.190	0.178	0.214	0.187	0.285	0.246	0.183	0.344	0.319	0.265	0.344	0.193
273 250	5 245 269	0.125	0.128	0.187	0.176	0.211	0.185	0.281	0.244	0.182	0.340	0.316	0.264	0.340	0.192
273 196	5 245 191	0.138	0.140	0.204	0.179	0.226	0.186	0.303	0.243	0.175	0.368	0.327	0.257	0.368	0.184
273 211	5 245 177	0.130	0.134	0.195	0.188	0.222	0.199	0.294	0.262	0.200	0.351	0.333	0.287	0.351	0.211
273 317	5 245 069	0.125	0.130	0.190	0.192	0.218	0.207	0.288	0.274	0.240	0.345	0.332	0.318	0.345	0.263
273 100	5 245 106	0.156	0.155	0.224	0.183	0.243	0.190	0.328	0.247	0.176	0.407	0.340	0.259	0.407	0.185
273 111	5 245 089	0.146	0.150	0.218	0.201	0.247	0.211	0.327	0.221	0.204	0.388	0.362	0.296	0.388	0.214
273 038	5 245 038	0.148	0.150	0.217	0.187	0.239	0.194	0.320	0.254	0.183	0.389	0.342	0.268	0.389	0.192
273 049	5 245 021	0.143	0.147	0.214	0.200	0.242	0.210	0.320	0.275	0.204	0.380	0.357	0.296	0.380	0.215
272 935	5 245 050	0.112	0.114	0.165	0.143	0.183	0.149	0.244	0.195	0.142	0.293	0.262	0.207	0.293	0.149
272 942	5 245 031	0.137	0.140	0.202	0.176	0.225	0.183	0.301	0.240	0.182	0.362	0.323	0.254	0.362	0.182
279 442	5 233 234	0.089	0.076	0.104	0.089	0.112	0.094	0.126	0.109	0.087	0.107	0.111	0.104	0.107	0.088
279 363	5 233 184	0.137	0.125	0.170	0.149	0.186	0.157	0.196	0.179	0.145	0.155	0.167	0.165	0.155	0.145
279 315	5 233 282	0.162	0.151	0.207	0.188	0.227	0.202	0.234	0.186	0.178	0.179	0.195	0.197	0.179	0.185
279 275	5 233 161	0.175	0.156	0.230	0.216	0.230	0.180	0.252	0.222	0.167	0.192	0.211	0.210	0.192	0.172
279 188	5 233 140	0.176	0.164	0.226	0.193	0.246	0.202	0.254	0.237	0.187	0.191	0.211	0.215	0.188	0.184
279 182	5 233 177	0.182	0.173	0.238	0.216	0.262	0.230	0.285	0.253	0.212	0.200	0.219	0.224	0.200	0.204
279 116	5 233 131	0.199	0.169	0.235	0.181	0.246	0.181	0.287	0.238	0.187	0.238	0.221	0.232	0.238	0.181
279 054	5 233 143	0.193	0.171	0.238	0.191	0.253	0.198	0.281	0.244	0.183	0.217	0.234	0.230	0.217	0.188
279 058	5 233 162	0.185	0.173	0.240	0.211	0.263	0.224	0.271	0.253	0.206	0.208	0.224	0.227	0.208	0.201
278 958	5 233 169	0.231	0.179	0.249	0.185	0.256	0.191	0.329	0.256	0.177	0.269	0.256	0.252	0.26	

7.4 Calcul des climats de vagues réfractées

La série des coefficients de réfraction obtenus du modèle MIKE 21 a servi à établir le climat des vagues réfractées du large vers la côte au niveau des points retenus pour l'analyse.

Les figures suivantes représentent les courbes de fréquence de dépassement des vagues pour les différents points de calcul, courbes établies à partir des séries temporelles de vagues réfractées.

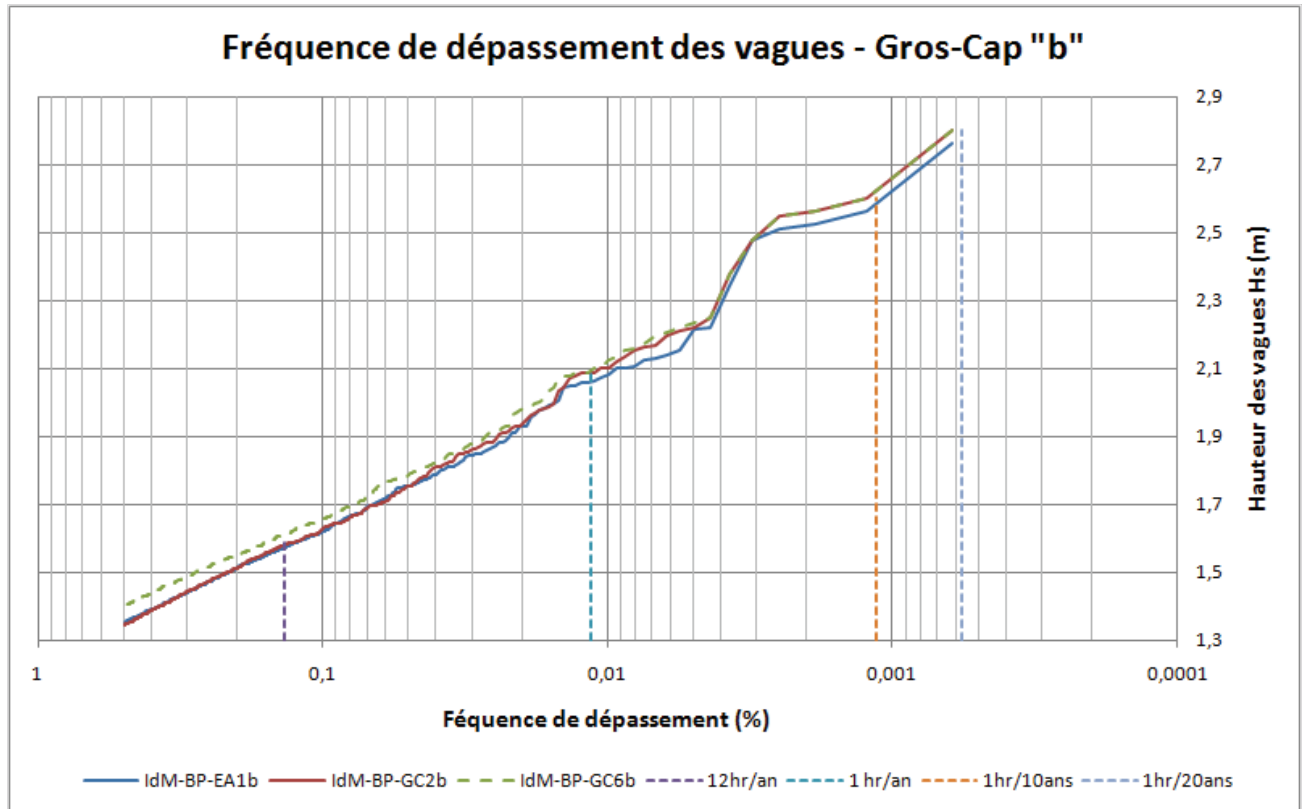


Figure 7.6 Fréquence de dépassement des hauteurs de vague – Secteur de Gros-Cap + Étangs aérés

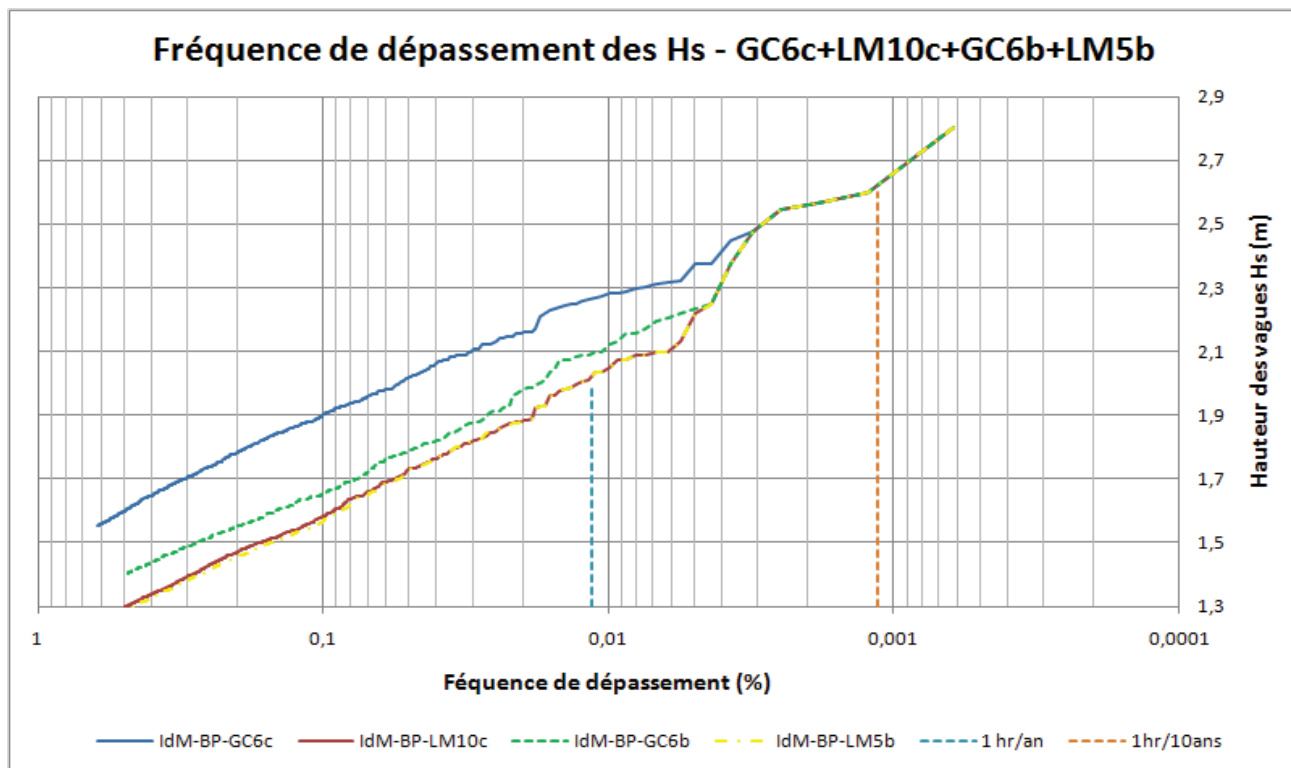


Figure 7.7 Fréquence de dépassement des hauteurs de vague – Secteur Gros-Cap + Martinique

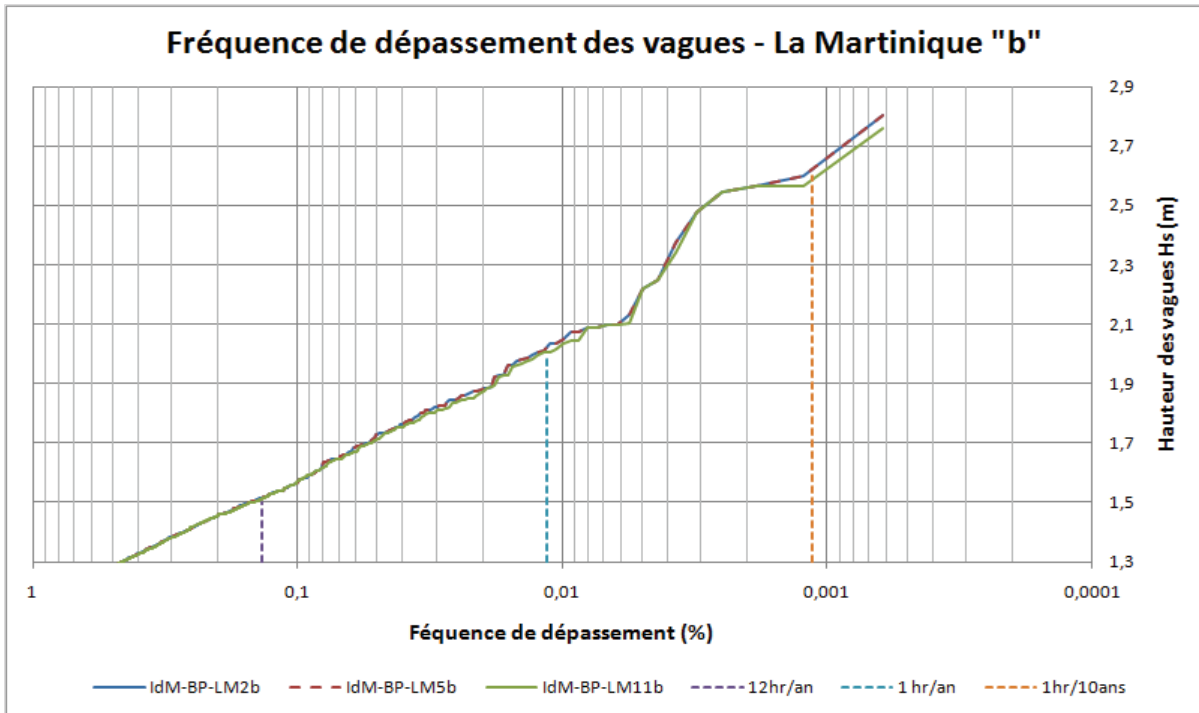


Figure 7.8 Fréquence de dépassement des hauteurs de vague – Secteur de La Martinique

La figure 7.8 met en évidence la quasi-superposition entre les valeurs de fréquence de dépassement des points LM2b et LM5b. Seul le point LM2b sera retenu pour la suite des analyses.

Les calculs de hauteur de vagues prédites pour des périodes de retour jusqu'à 100 ans ont ensuite été faits. La figure suivante présente les fréquences de dépassement des hauteurs de vagues réfractées au niveau des sept points retenus pour l'analyse.

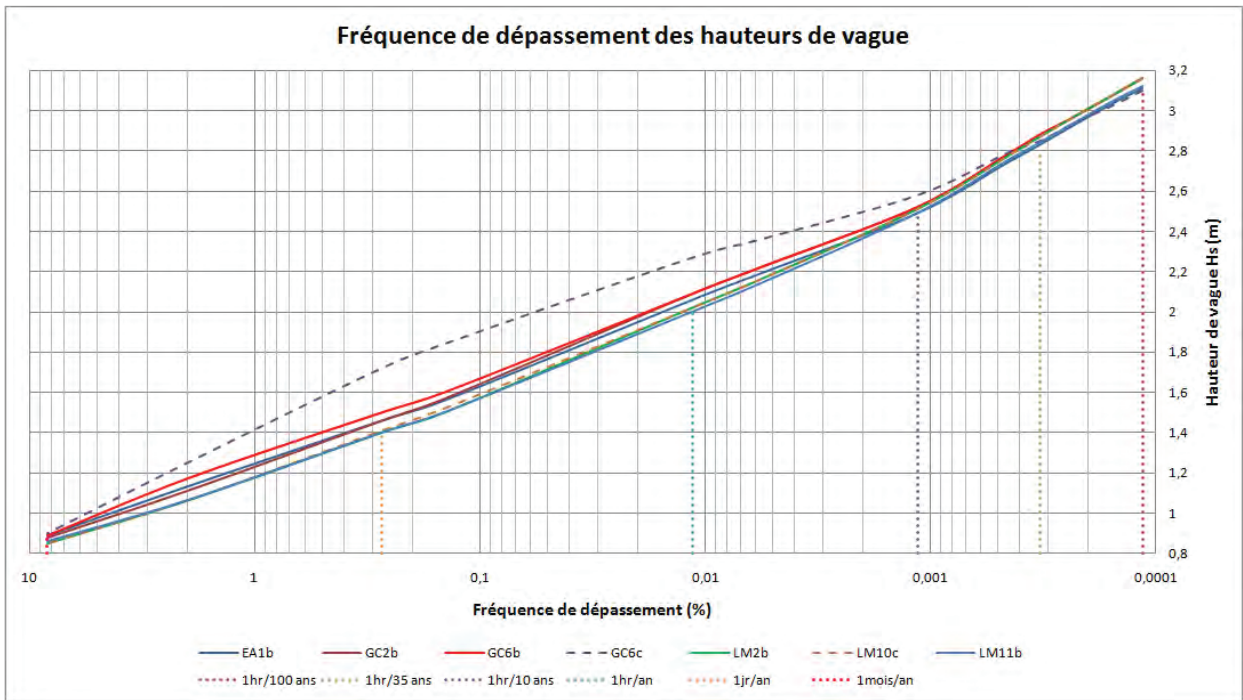


Figure 7.9 Fréquence de dépassement des hauteurs de vague – Secteurs nord de la Baie de Plaisance

La figure précédente permet de mettre en évidence la relative homogénéité des hauteurs de vagues pour tous les points étudiés. Seul le point GC6c situé au large de Gros-Cap se distingue un peu des autres pour les récurrences de 1 jour par an à 1 heure par 10 ans par des hauteurs de vagues légèrement supérieures. Par contre, toutes les stations sont pratiquement identiques au niveau de la prévision de hauteur de vagues pour des périodes de retour supérieures à 10 ans.

On parle donc d'une hauteur de vague réfractée de l'ordre de 0,9 m se produisant une fois par mois à une hauteur de vague de 3,1 m se produisant une fois tous les 100 ans pour le secteur Nord de la Baie de Plaisance.

Pour le secteur de La Grave, les figures suivantes représentent les courbes de fréquence de dépassement des vagues pour les deux points de calcul retenus (LG4b et LG7b), courbes établies à partir des séries temporelles de vagues réfractées, puis les courbes incluant les extrapolations pour des périodes de récurrences allant jusqu'à une heure dans 100 ans.

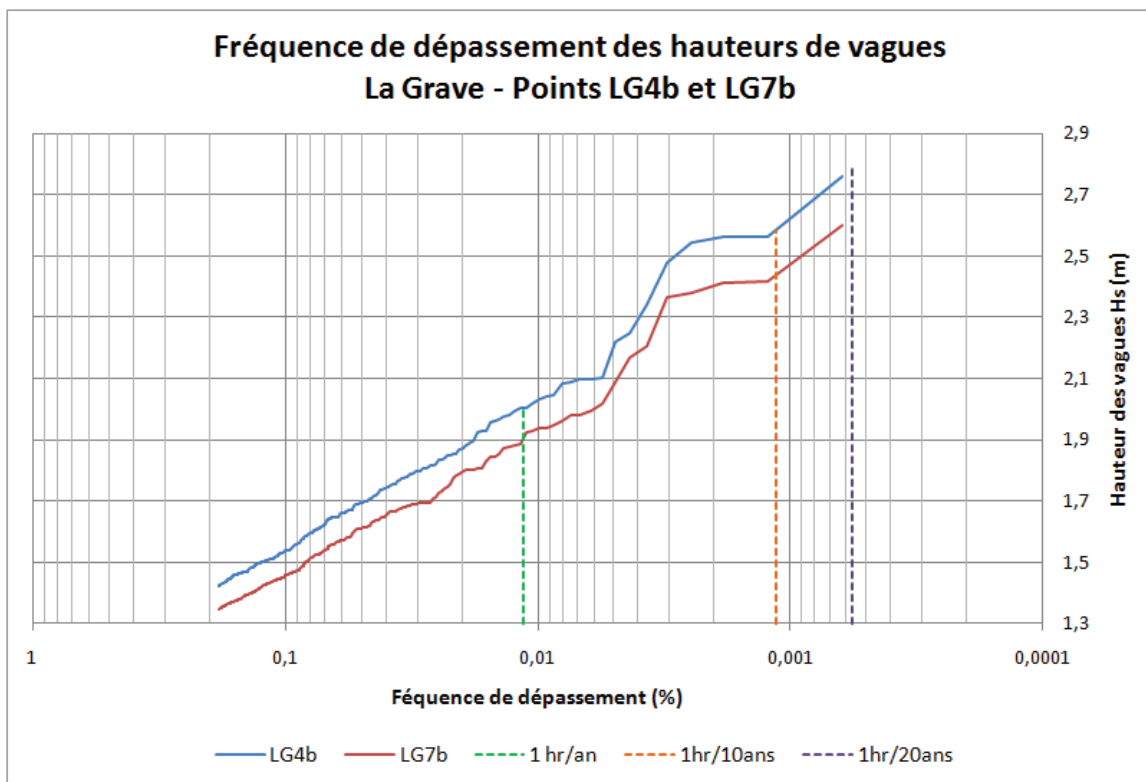


Figure 7.10 Fréquence de dépassement des hauteurs de vague – Secteur La Grave

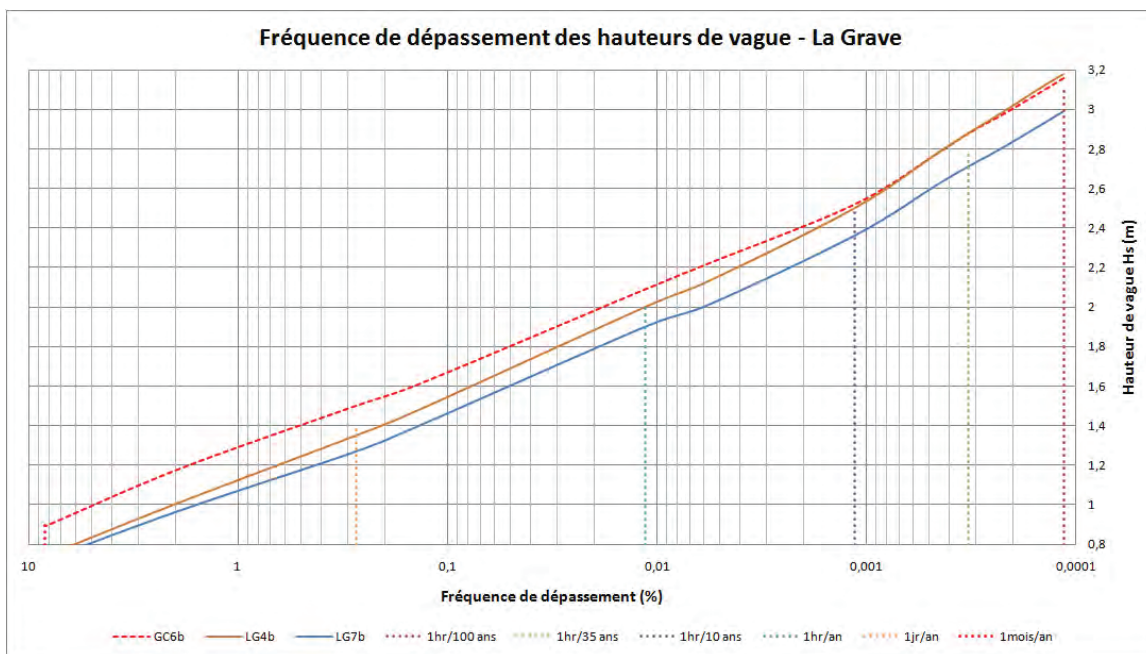


Figure 7.11 Prédiction de dépassement de hauteur de vague – Secteur La Grave

On parle donc d'une hauteur de vague réfractée de l'ordre de 0,7 m se produisant une fois par mois à une hauteur de vague de 3,0 à 3,2 m se produisant une fois tous les 100 ans pour le secteur de La Grave.

7.5 Calcul des fréquences conjuguées des vagues réfractées et des niveaux d'eau

Le calcul de la fréquence conjuguée des vagues et des niveaux d'eau a ensuite été fait à partir de l'étude des récurrences de niveaux d'eau à Cap-aux-Meules et de hauteur de vague en chacun des points de calcul. L'hypothèse d'indépendance complète des deux phénomènes a été faite pour effectuer ces calculs, c'est-à-dire qu'on a considéré que les vagues de tempête et les très hauts niveaux d'eau étaient des événements tout à fait indépendants. La figure suivante représente la fréquence conjuguée des vagues et des niveaux d'eau pour le point GC6b. Des calculs similaires ont été faits pour tous les points d'intérêt.

À chaque fois, les événements combinés (vague + niveau d'eau) correspondant à la récurrence de 35 ans ont été déterminés. La récurrence de 35 ans a été retenue comme correspondant à la vie utile normalement admise pour les ouvrages côtiers, surtout dans un contexte de changements climatiques.

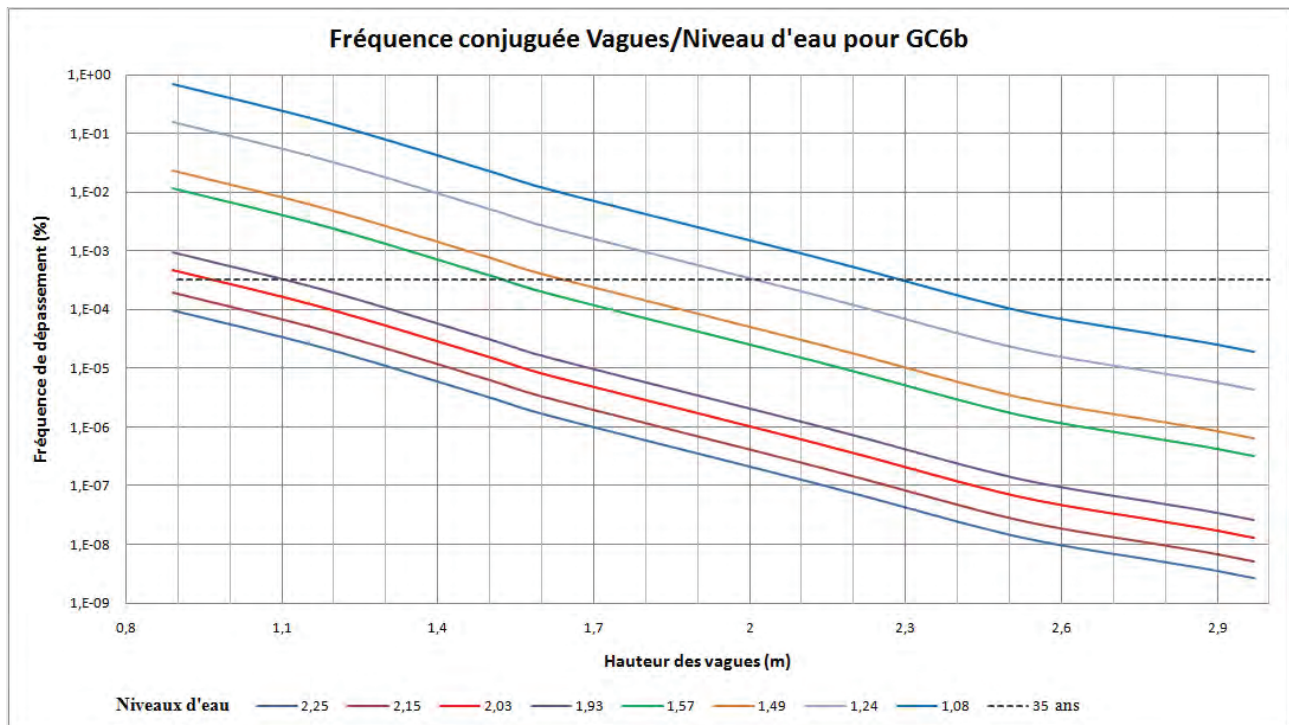


Figure 7.12 Fréquence conjuguée des vagues et niveaux d'eau pour GC6b

La figure suivante indique pour chacun des points d'intérêt la correspondance entre les hauteurs de vagues et les niveaux d'eau correspondant à une récurrence de 35 ans.

À la vue des résultats de ce calcul et en fonction des corrélations constatées entre l'occurrence de très hauts niveaux d'eau et de tempêtes du secteur est (figures 4.4 à 4.13), il n'est pas forcément évident que les hauteurs de vague et les niveaux d'eau extrêmes soient des paramètres tout à fait indépendants en ce qui concerne les côtes de la Baie de Plaisance. Selon la base de données de niveaux d'eau à Cap-aux-Meules, le niveau d'eau de +2,0 m ZC qui a été dépassé six fois depuis 2008 correspondrait à une hauteur de la vague de 1,0 m, ce qui ne semble pas très grand pour le niveau de dommage qui est constaté sur les rives de la Baie de Plaisance. Le niveau d'eau de +1,7 m ZC qui a été dépassé 46 fois depuis 2007 correspondrait à une hauteur de vague de 1,3 m, ce qui ne semble pas non plus très grand.

Pour résoudre cette question, une étude par événement combiné de niveau d'eau et de hauteur de vague serait requise, ce qui est hors de portée du présent mandat (ce genre d'étude relève plutôt d'une étude de maîtrise ou de doctorat). Il est possible que des études en cours à l'ISMER (UQAR) permettent dans quelques années de répondre à cette question.

Certaines précautions seront donc prises par rapport à ces paramètres de dimensionnement des ouvrages côtiers pour tenir compte de la possibilité de leur sous-estimation.

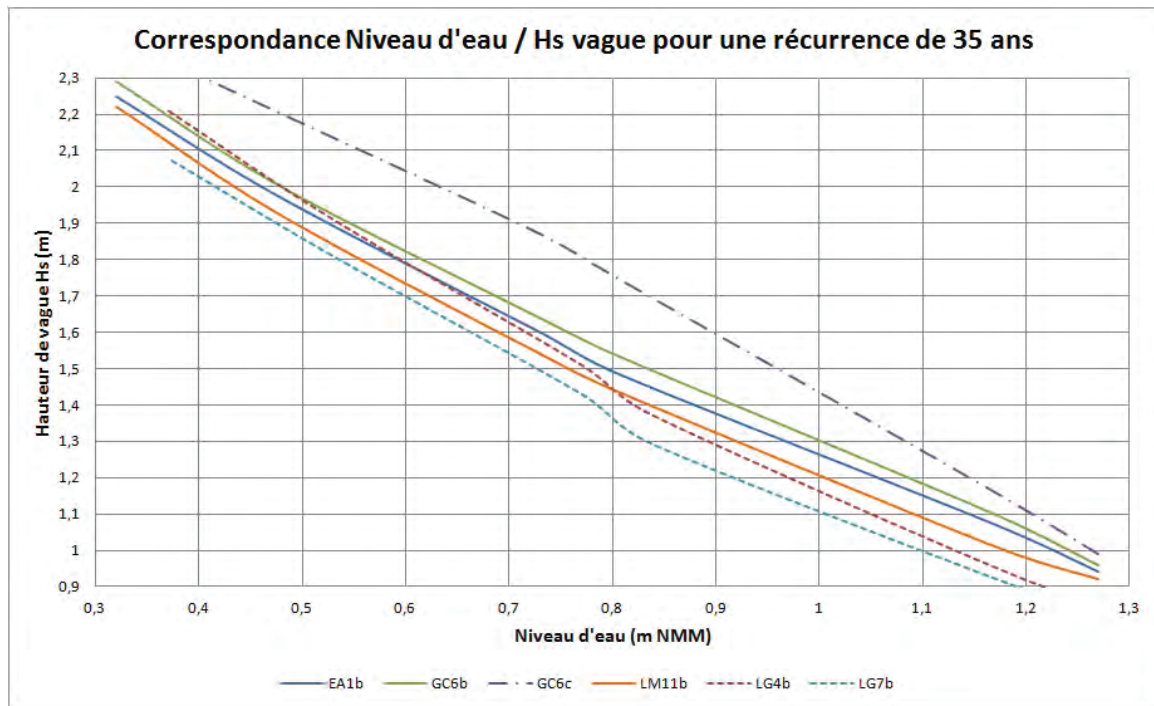


Figure 7.13 Correspondance entre vagues et niveaux d'eau pour une récurrence de 35 ans pour le secteur nord de la Baie de Plaisance et le secteur de La Grave.