

8. COURANTS LITTORAUX ET DYNAMIQUE SÉDIMENTAIRE

8.1 Modèle numérique

Les contraintes de radiation des vagues fournies par le modèle de transformation des vagues du large ont été utilisées pour simuler les courants induits par les vagues le long de la côte des cinq secteurs d'intérêt. Les simulations ont été effectuées avec le module hydrodynamique de MIKE 21 FM et les mêmes 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 (cf. section 7.1.4) et une rugosité des fonds équivalente à celle des sables fins (cf. section 7.1.6).

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 dégager les tendances générales de la dynamique sédimentaire de chaque secteur et émettre certaines recommandations quant aux solutions de protection envisagées.

8.2 Résultats

Les résultats de modélisation des courants littoraux sont présentés selon les cinq secteurs d'intérêt et pour quelques cas de vagues représentatifs des conditions de tempête obtenues à chaque site.

8.2.1 Secteur des étangs aérés

La figure 8.1 présente pour le secteur des étangs aérés les courants littoraux modélisés pour des vagues ayant une période de 12 secondes en provenance du nord, du nord-est (NE) de l'est et de l'est-sud-est (ESE).

Pour les vagues en provenance du nord jusqu'à l'est (figure 8.1a à 8.1c), les courants littoraux devant les étangs aérés sont orientés vers le sud-ouest. Au nord des étangs, les courants sont moins bien organisés et on remarque la présence de nombreux courants de retour. Ce patron d'écoulement est encore plus marqué pour les vagues en provenance de l'est et de l'ESE (figure 8.1c et 8.1d). On remarque pour ces deux directions de nombreux courants de retour, non seulement au nord des étangs, mais également au large de ceux-ci. Aucune direction dominante de courant littoral ne peut être identifiée pour les vagues en provenance de l'ESE (figure 8.1d).

Les patrons d'écoulement obtenus par modélisation numérique sont relativement complexes, et leur précision peut difficilement être évaluée sans données de validation. Il est toutefois intéressant de souligner la présence de figures sédimentaires (zones d'accumulation) sur l'image de haute résolution des fonds produite par les relevés du CIDCO dans les zones de courants de retour au large des étangs aérés (figure 8.5a).

Les courants littoraux et de retour notés sur les figures pourraient jouer un rôle négatif important sur la stabilité des sédiments placés lors d'un projet de recharge de plage qu'on pourrait tenter de mettre en œuvre dans le secteur. Ces courants ont tous tendance à

Érosion côtière baie de Plaisance

« extraire » les sédiments du secteur et les envoyer plus au sud ou plus au large. Une étude approfondie de la circulation des sédiments de recharge de plage devrait être effectuée avant de réaliser tout projet de ce type devant les étangs aérés.

8.2.2 Secteur de Gros-Cap

La figure 8.2 présente pour le de Gros-Cap les courants littoraux modélisés pour des vagues ayant une période de 12 secondes en provenance du nord, du nord-est (NE) de l'est et de l'est-sud-est (ESE).

Pour les vagues en provenance du nord et du NE (figures 8.2a et 8.2b), les courants littoraux sont orientés vers le sud. Pour les vagues en provenance de l'est et de l'ESE (figures 8.2c et 8.2d), les courants sont principalement orientés vers le nord, à l'exception de la portion nord du secteur, où les courants sont moins bien organisés et de directions variables. Pour ces deux directions de vagues, on observe également au large la formation de grands courants de retour, qui semblent être cohérents avec les figures sédimentaires présentes sur la bathymétrie de haute résolution (figure 8.6b).

On remarque qu'à mi-chemin de la figure le long de la côte, la zone où la route se situe très près de la falaise en érosion est le site d'intenses courants littoraux lors des tempêtes d'est et d'ESE. Cette particularité pourrait expliquer une partie des problèmes d'érosion spécifiques à cet endroit de la côte de Gros-Cap.

Un peu plus au nord, les sédiments devant la plage de la Garderie ont tendance à être évacués vers le large lors des tempêtes du NE, de l'est et de l'ESE. L'intensité des courants littoraux devant la plage indique que des épis perpendiculaires à la côte seraient indispensables pour stabiliser des sédiments de recharge de plage qu'on tenterait de mettre en place à cet endroit. Une étude approfondie de la circulation des sédiments de recharge de plage devrait être effectuée avant de réaliser tout projet de ce type devant la plage de la Garderie.

8.2.3 Secteur de La Martinique

Les figures 8.3 et 8.4 présentent respectivement les courants littoraux obtenus dans les secteurs du chemin des Chalets et de la Pointe de la Martinique.

Dans les deux secteurs, les courants littoraux sont orientés systématiquement vers le sud-ouest. Ce résultat s'applique non seulement pour les quatre cas de vagues illustrés aux figures 8.3 et 8.4, mais aussi à tous les scénarios de vagues modélisés (voir autres images sur le cd-rom du rapport).

Les résultats de modélisation numérique pour ce secteur concordent bien avec l'analyse des photos aériennes du site qui, par la dérive du ruisseau visible sur les photos, révèle aussi un transport littoral prédominant vers le sud-ouest.

Pour les tempêtes du NE, de l'est et de l'ESE, on voit très bien l'intense courant littoral qui se développe dans le « chenal » parallèle au rivage à proximité de la plage et qui empêche les sédiments de se déposer sur la plage. Pour les tempêtes d'est et d'ESE, l'intensité des courants littoraux plus au large est remarquable et les courants deviennent particulièrement violents (>0,5 m/s) à l'extrémité sud de la Pointe de la Martinique. Tout sédiment qui se trouverait

Érosion côtière baie de Plaisance

ailleurs qu'en eau très peu profonde serait entraîné loin au sud lors de ces tempêtes. L'intensité de ces courants littoraux indique que les projets de recharge de sable devant le chemin des Chalets ou la Pointe de la Martinique sont pratiquement voués à l'échec, à moins de mettre en œuvre un important système d'épis perpendiculaires à la côte.

8.2.4 Secteur de La Grave

La figure 8.5 présente pour le secteur de La Grave les courants littoraux modélisés pour des vagues ayant une période de 12 secondes en provenance du nord, du nord-est (NE) de l'est et de l'est-sud-est (ESE).

Les courants littoraux présentent les mêmes tendances générales en termes d'intensité et de direction de courants pour tous les cas de vagues simulés. Les courants les plus importants sont observés de part et d'autre du Cap des Demoiselles, et à l'extrémité ouest de la Pointe Shea. Des courants de sens opposés se rencontrent environ au centre de la plage, ce qui crée une zone de faibles vitesses dirigées vers le large.

Les quatre figures présentent un patron remarquablement constant du point de vue de la mobilité des sédiments. Du côté est de la plage de La Grave, les sédiments sont arrachés de la Pointe Shea, mais n'ont pas tendance à se déposer dans la partie est de la plage, les courants les portant plutôt vers le centre de la plage, puis vers le large. Du côté ouest, la tendance est au transport vers le centre de la plage de La Grave des sédiments détachés de la Butte de la Croix (au pied de la Colline des Demoiselles). Tous ces sédiments convergent vers le centre de la plage, ce qui explique relativement bien la stabilité apparente de cette partie centrale de la plage de La Grave.

Du point de vue des projets de stabilisation qui pourraient être envisagés pour la plage de La Grave, cette étude des courants engendrés par les vagues montre que tout projet de rechargement de la plage à l'aide de sable ou de sable et gravier devra se pencher sur la stabilisation de ces sables dans la partie est de la plage, sous peine d'augmenter la fréquence des interventions récurrentes de rechargement de plage. Une structure de protection située sur la partie ouest de la Pointe Shea devrait probablement améliorer cette stabilité, mais l'ampleur de cette structure reste à déterminer suite à des études hydrodynamiques. Il faudra en particulier s'assurer qu'une telle structure de protection n'empirera pas les choses du point de vue de la dynamique sédimentaire de la plage de La Grave.

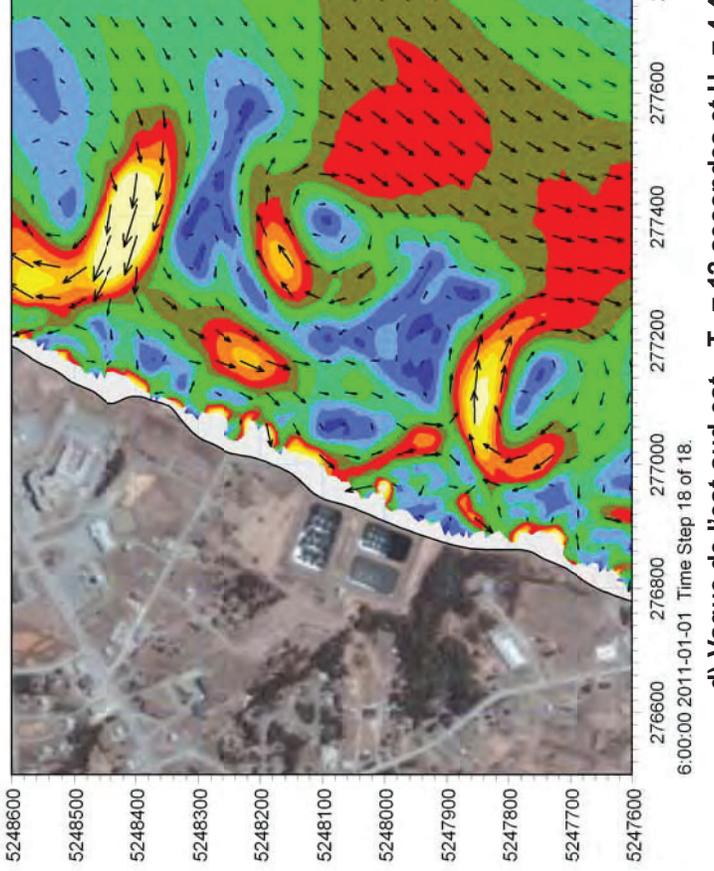
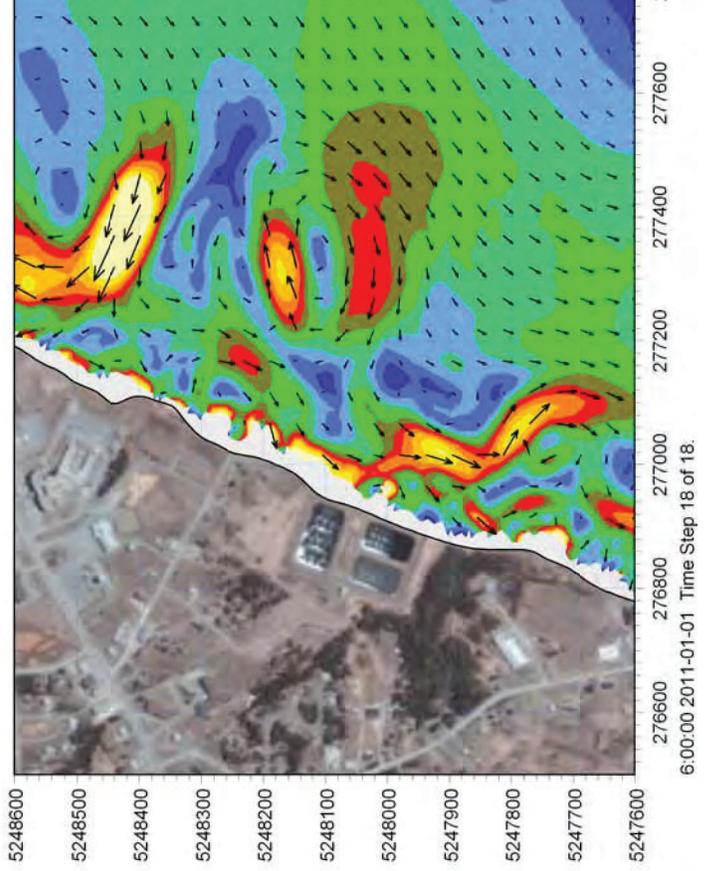
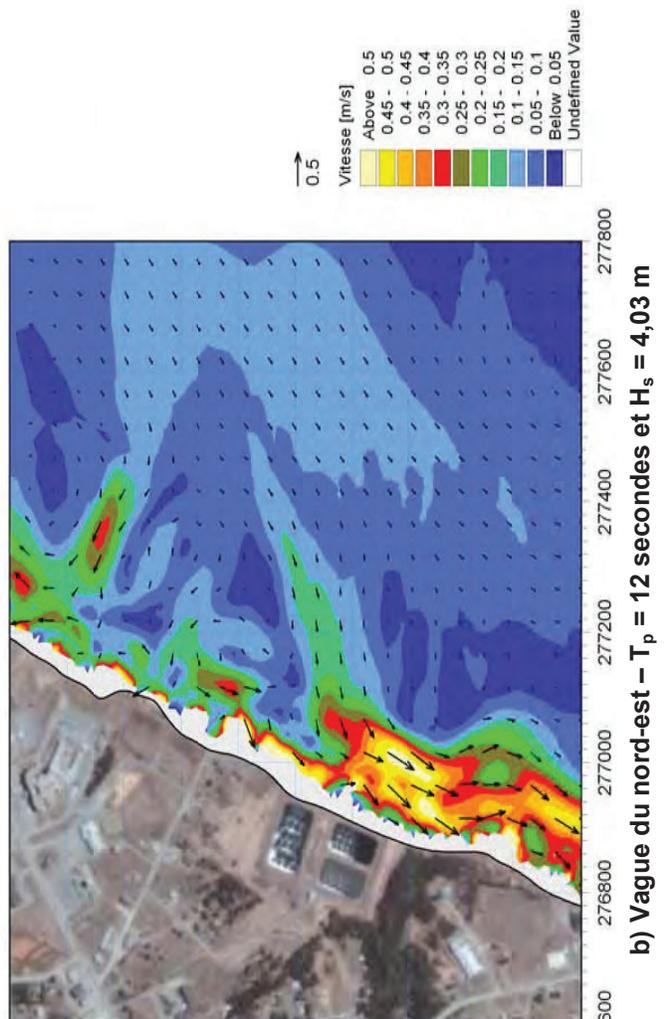
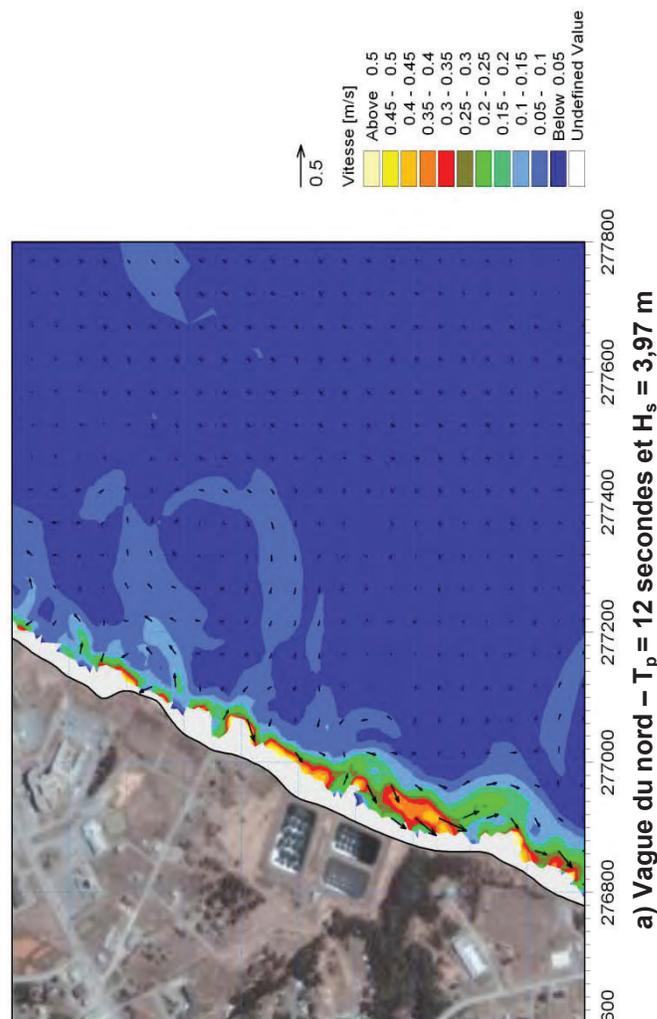
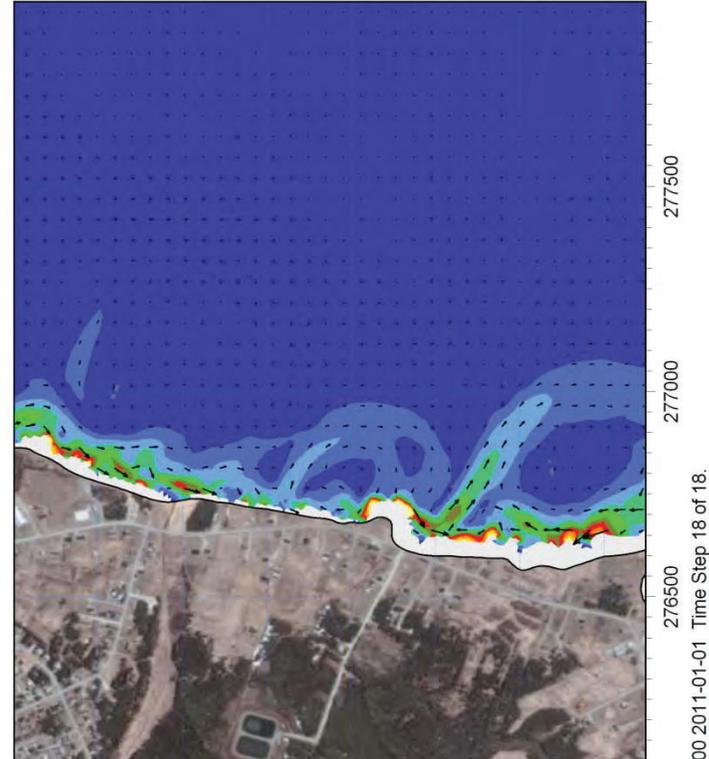
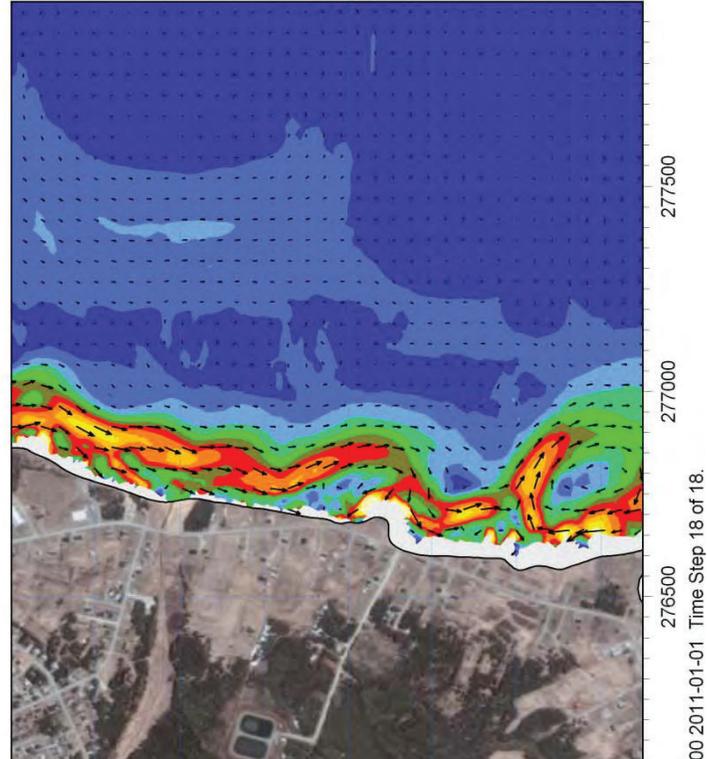


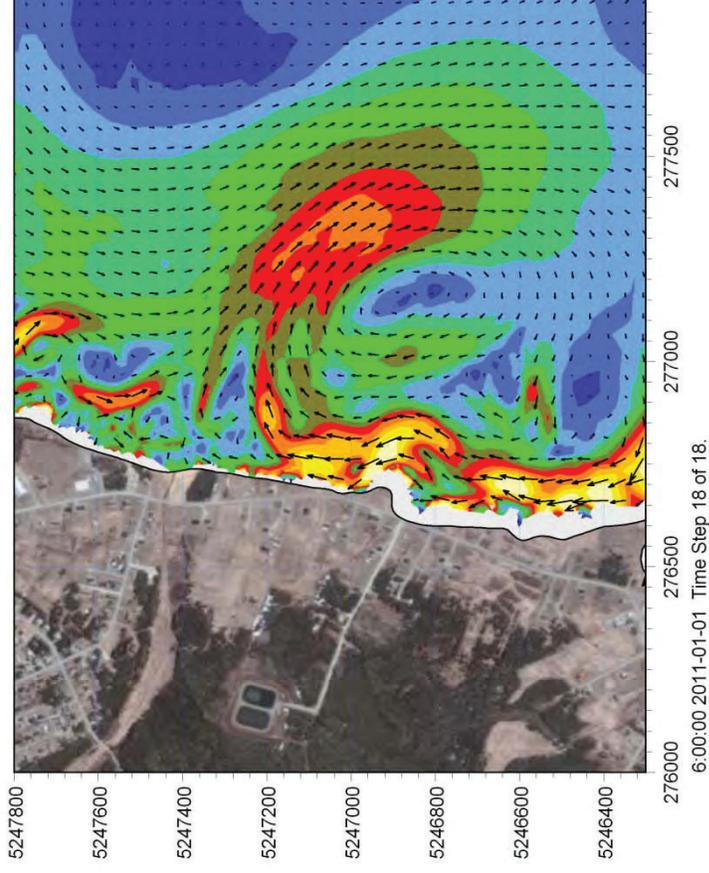
Figure 8.1 : Courants littoraux dans le secteur des étangs aériés



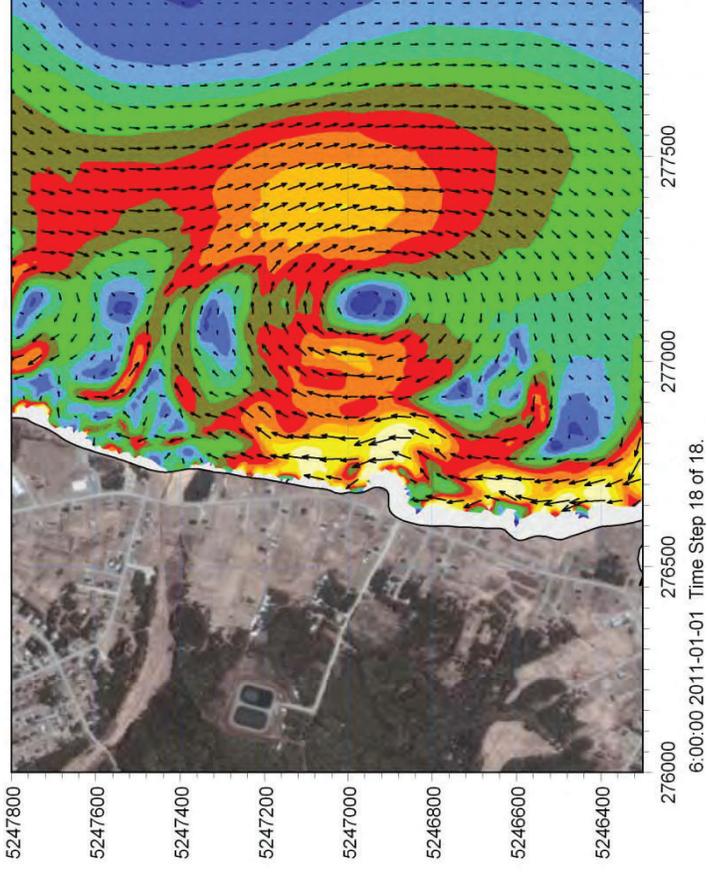
a) Vague du nord – $T_p = 12$ secondes et $H_s = 3,97$ m



b) Vague du nord-est – $T_p = 12$ secondes et $H_s = 4,03$ m



c) Vague de l'est – $T_p = 12$ secondes et $H_s = 3,99$ m



d) Vague de l'est-sud-est – $T_p = 12$ secondes et $H_s = 4,4$ m

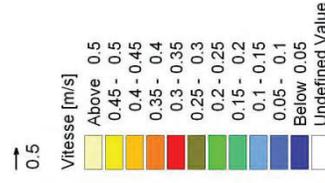
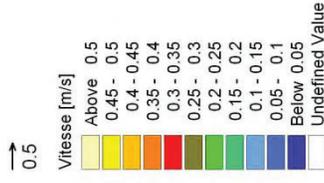


Figure 8.2 : Courants littoraux dans le secteur de Gros-Cap

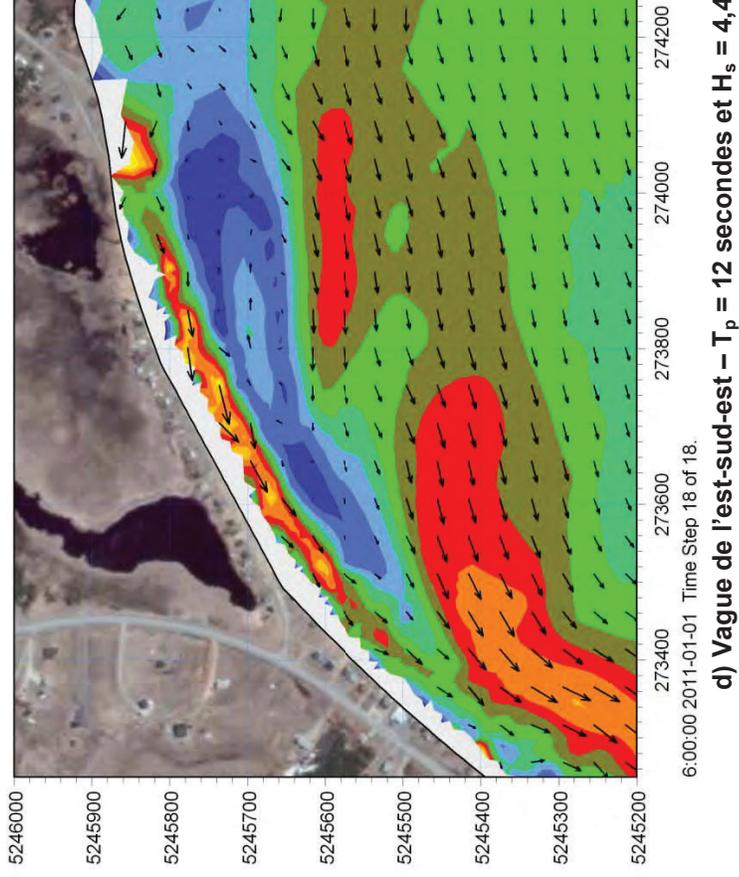
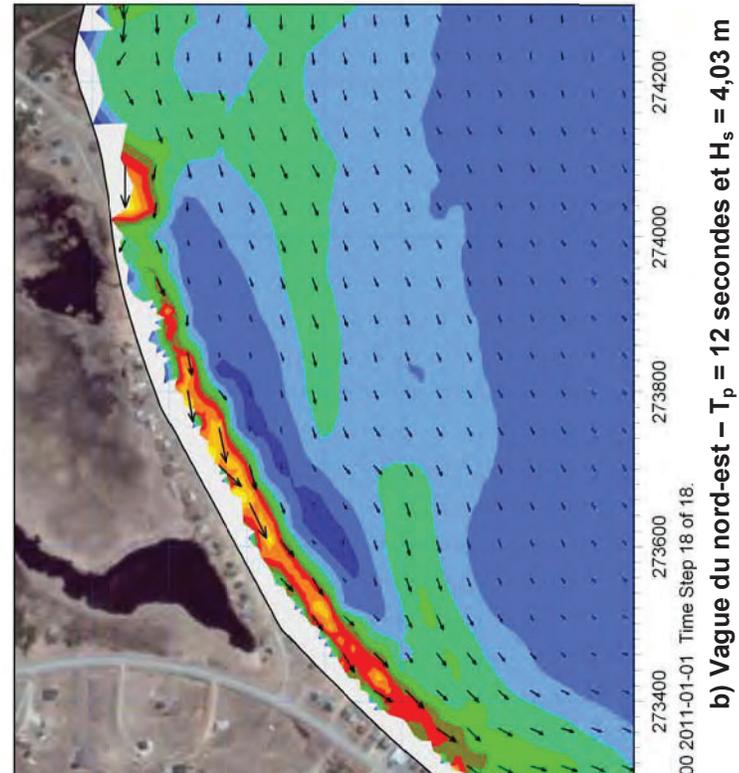
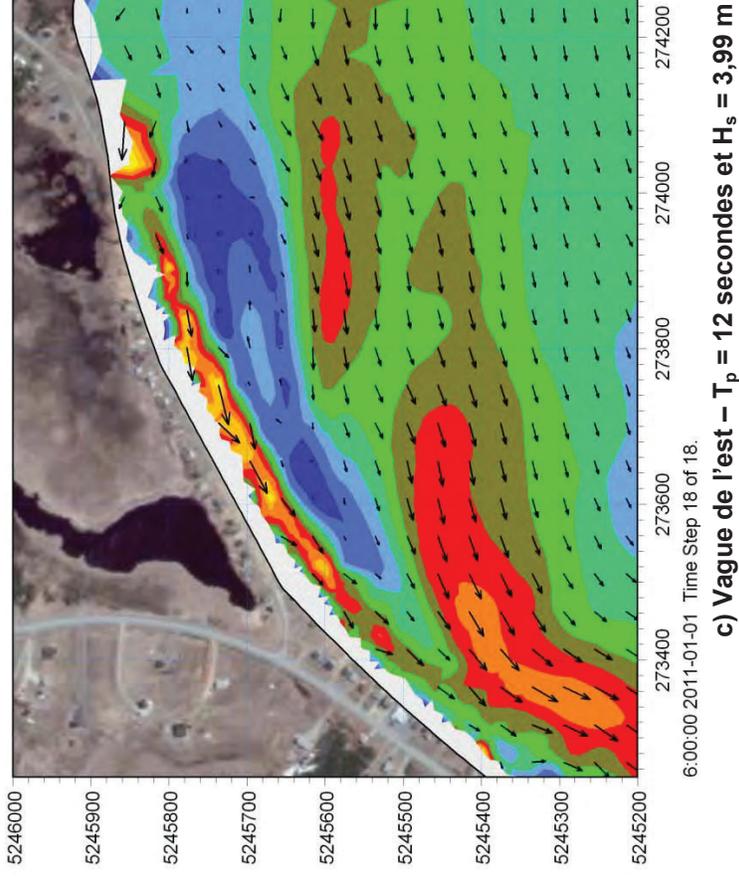
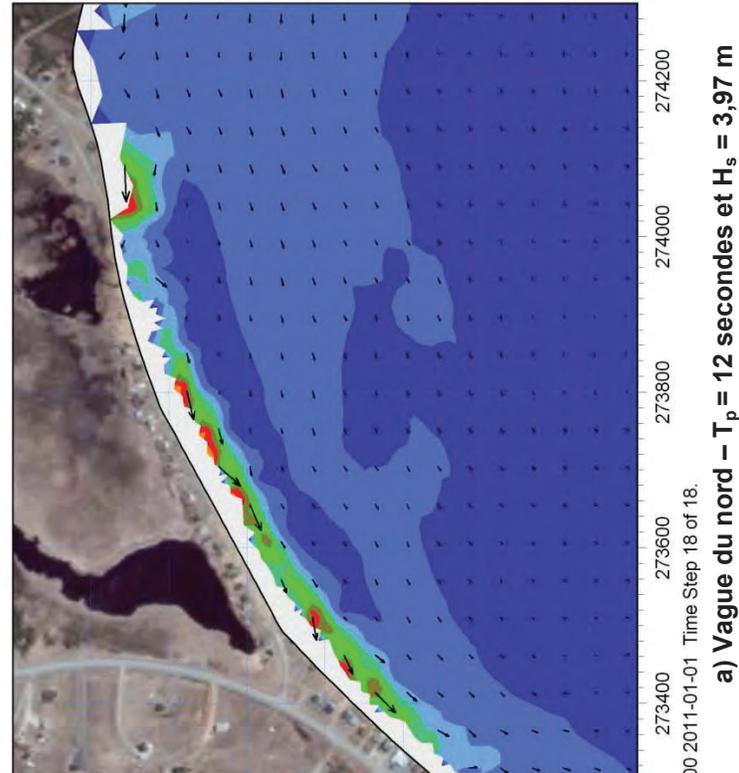
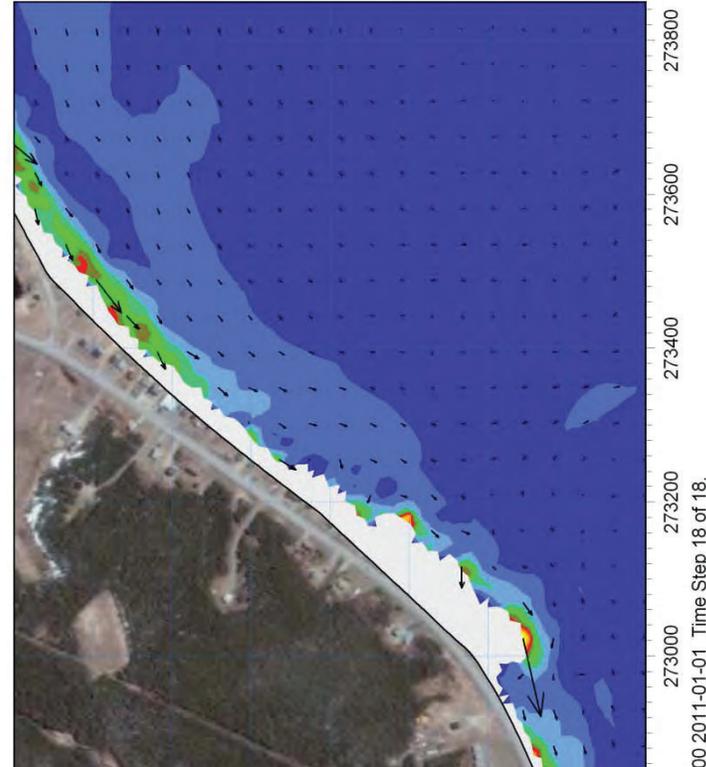
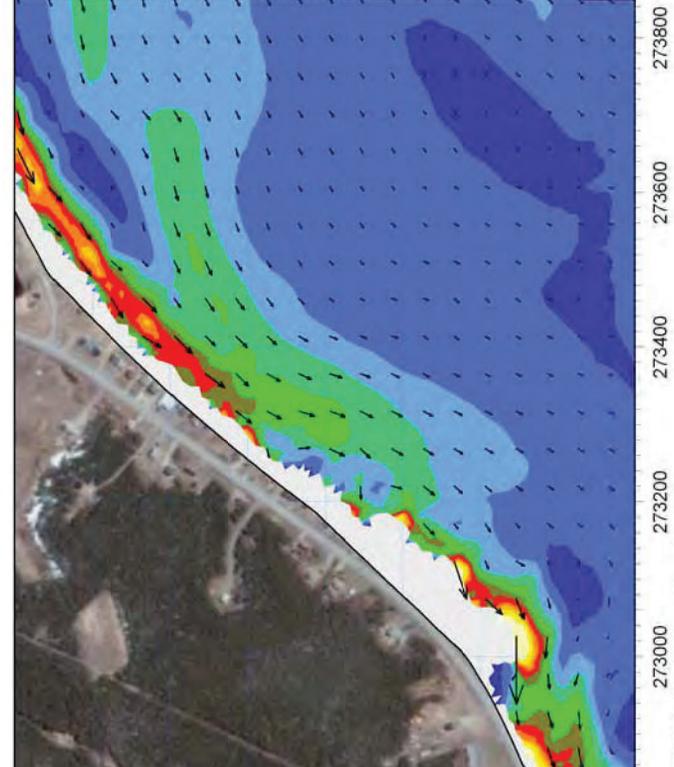


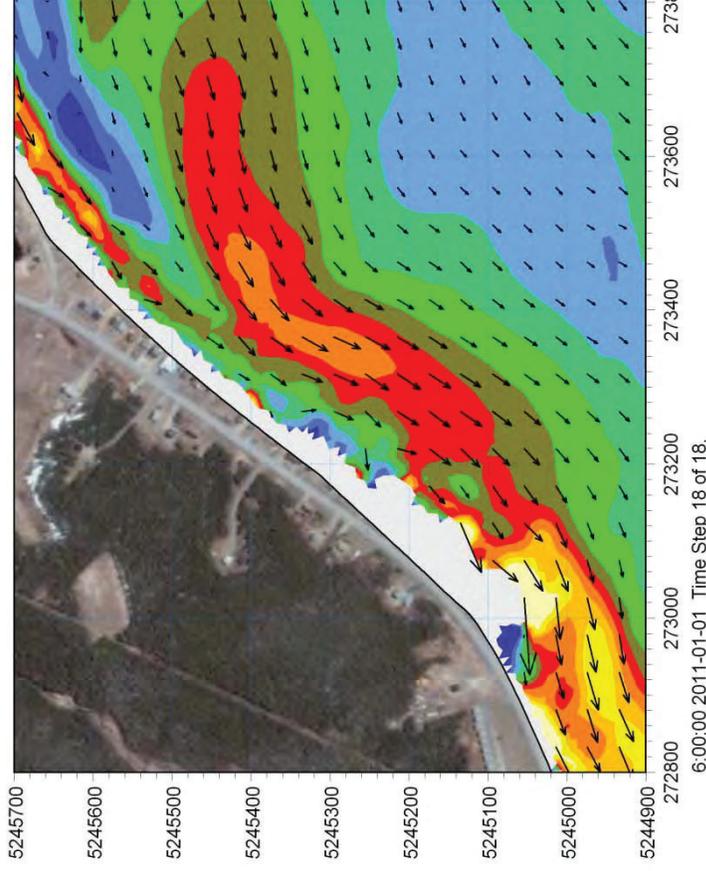
Figure 8.3 : Courants littoraux dans le secteur de la Plage de la Martinique



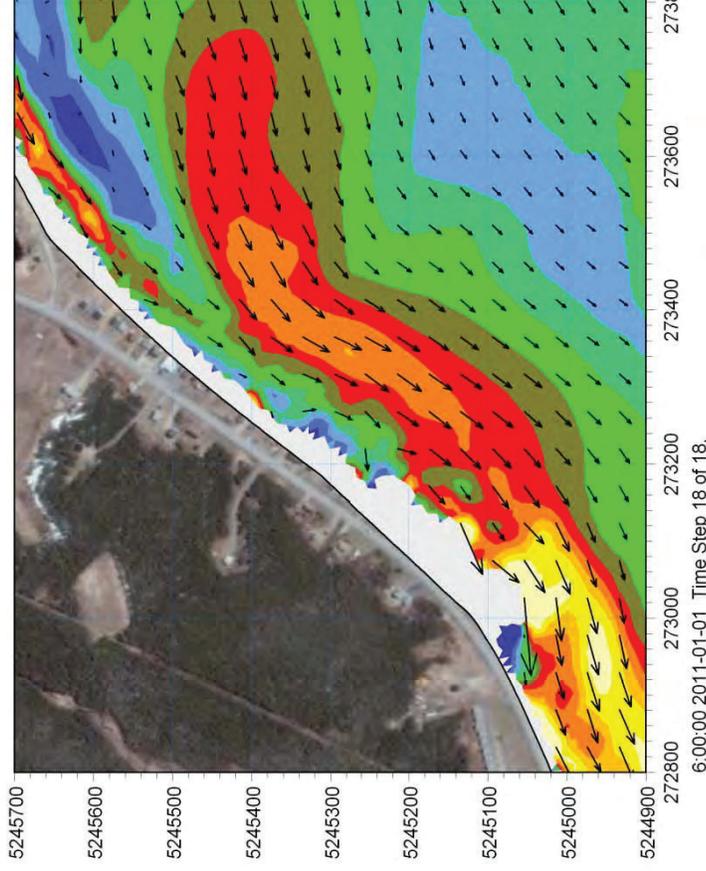
a) Vague du nord - $T_p = 12$ secondes et $H_s = 3,97$ m



b) Vague du nord-est - $T_p = 12$ secondes et $H_s = 4,03$ m



c) Vague de l'est - $T_p = 12$ secondes et $H_s = 3,99$ m



d) Vague de l'est-sud-est - $T_p = 12$ secondes et $H_s = 4,4$ m

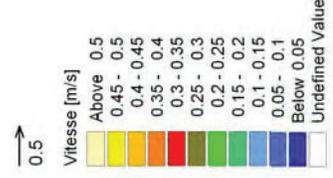
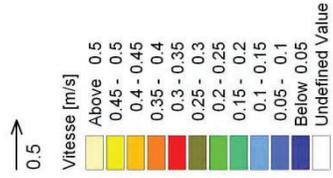


Figure 8.4 : Courants littoraux dans le secteur de la Pointe de la Martinique

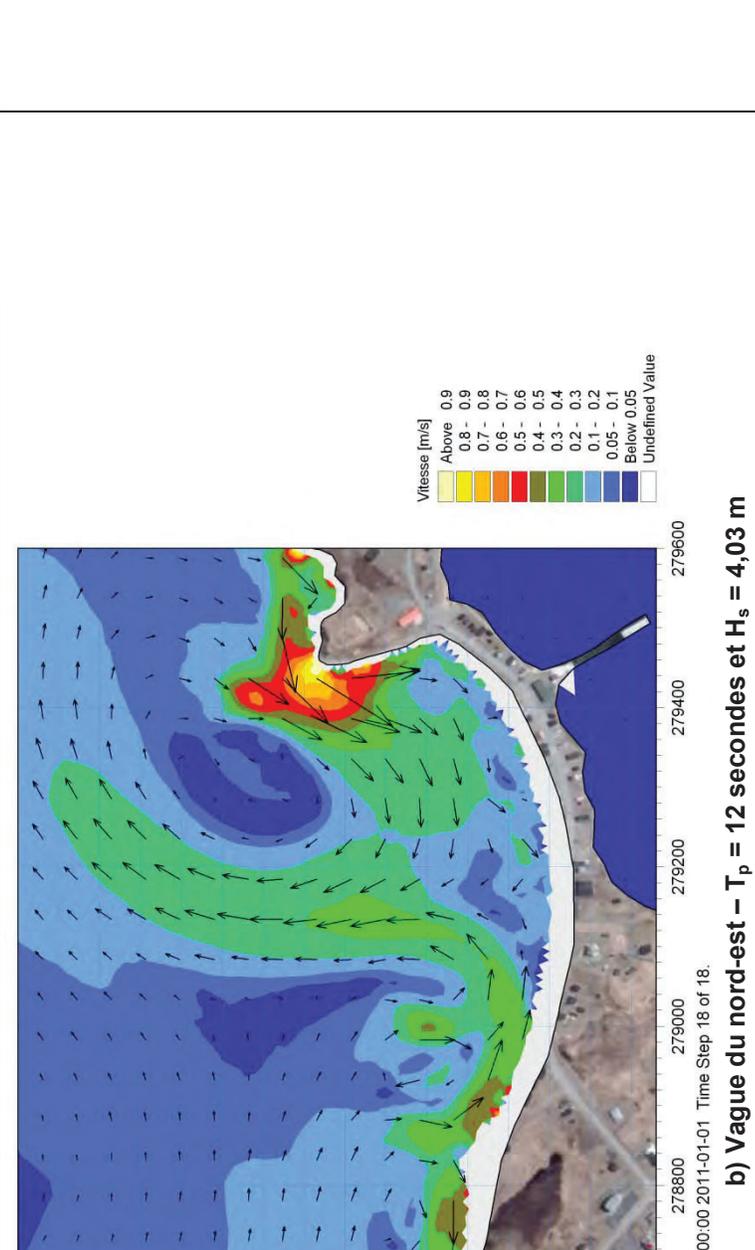
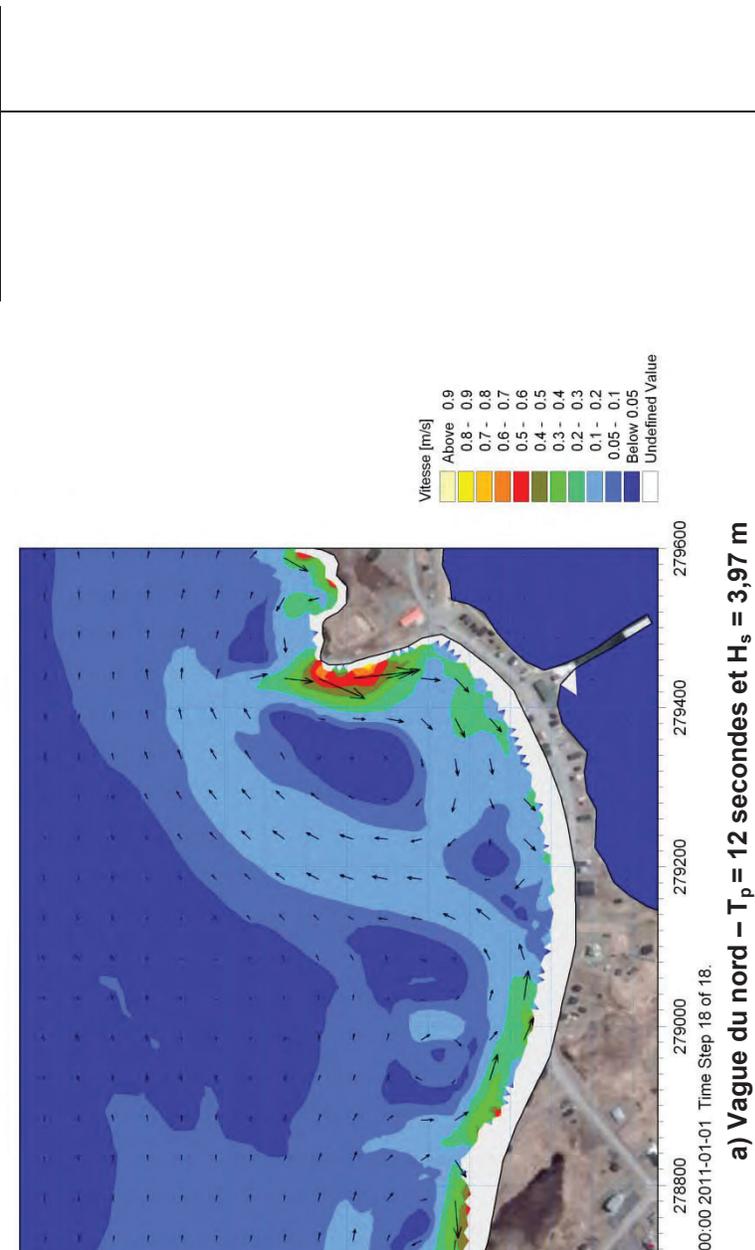
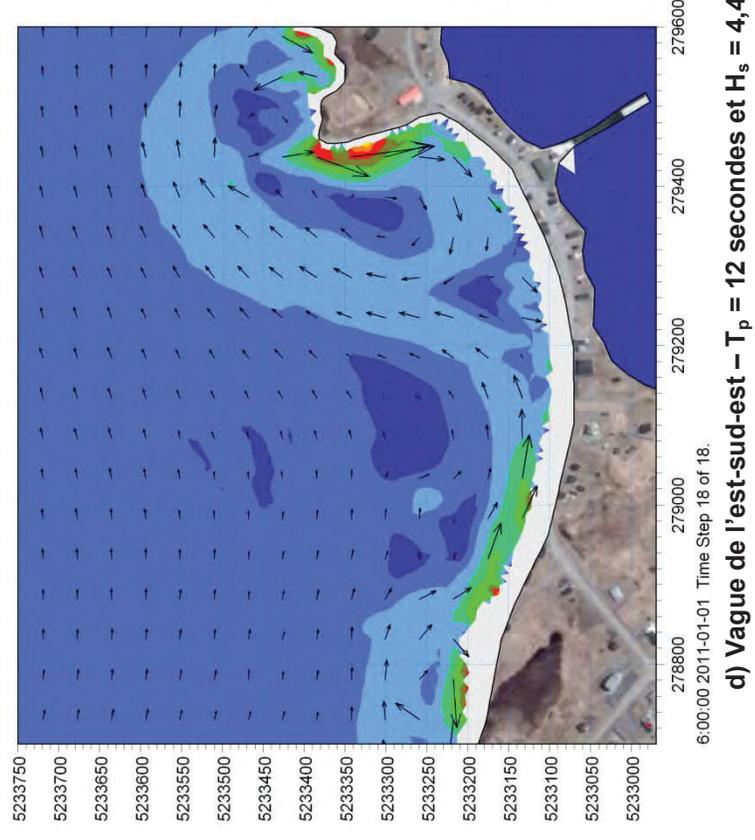
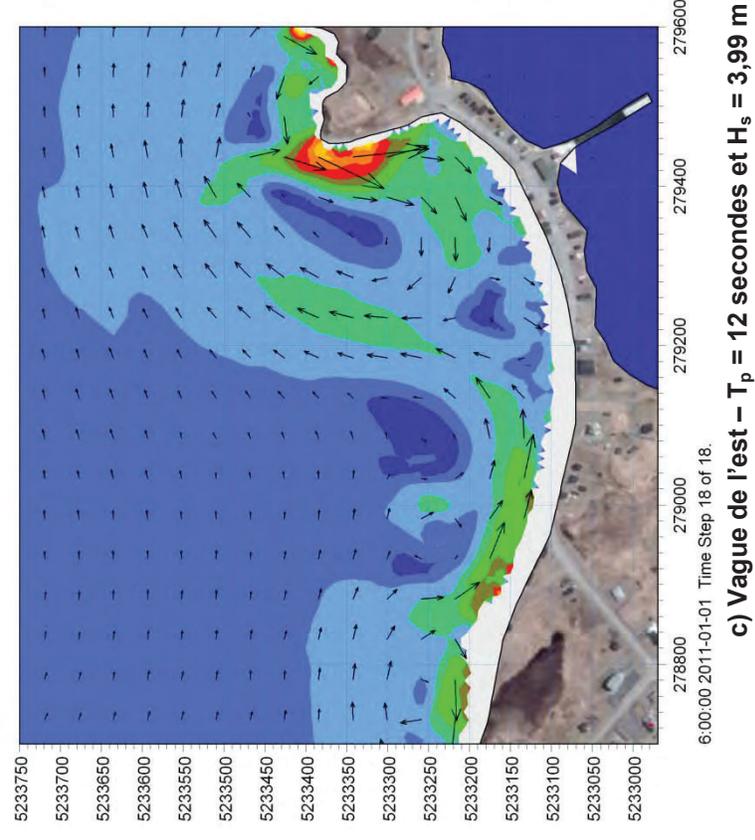
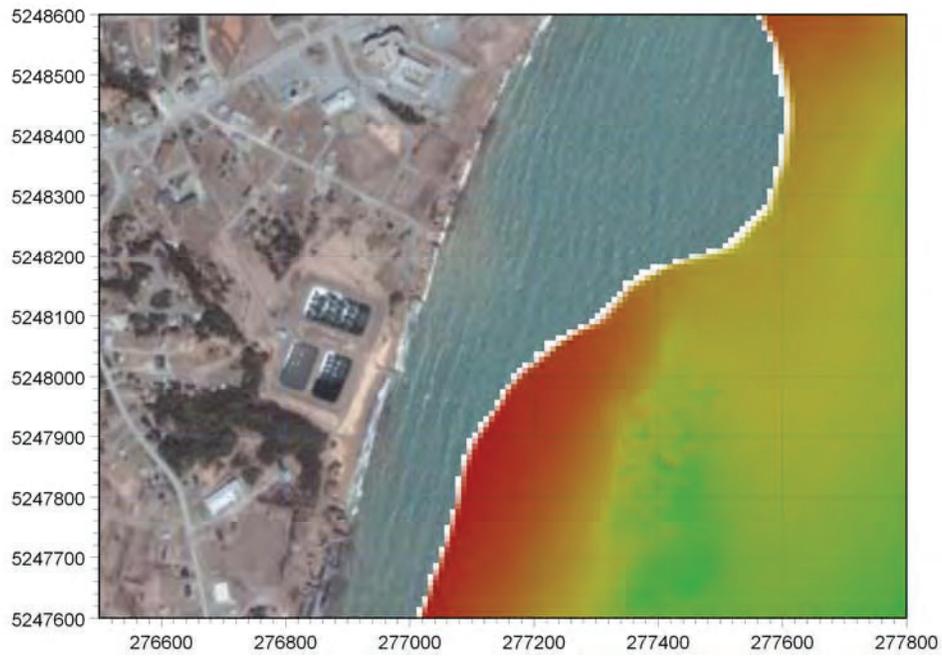
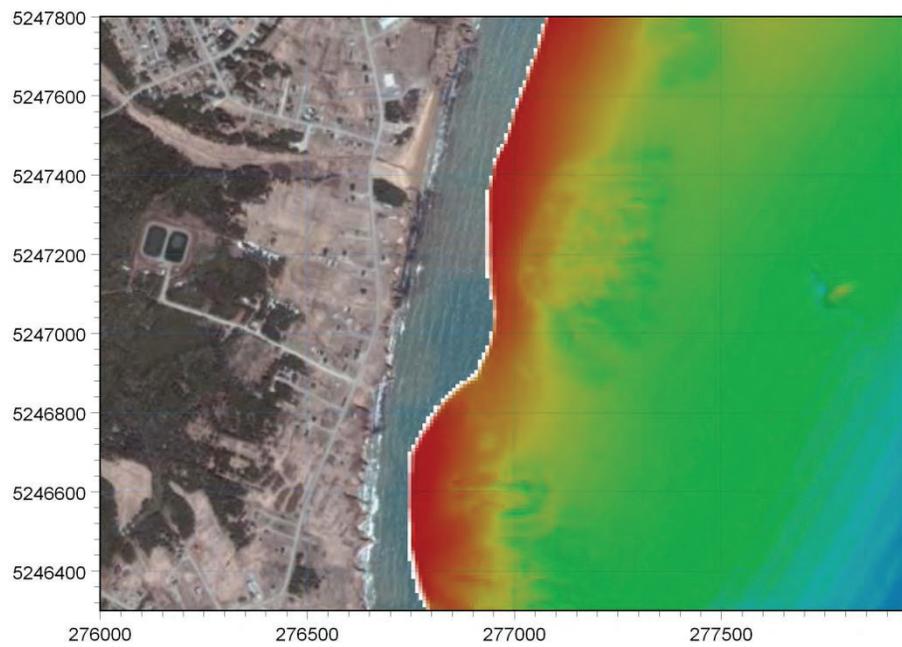


Figure 8.5 : Courants littoraux dans le secteur de La Grave



a) Secteur des étangs aérés



b) Secteur de Gros-Cap

Figure 8.6 : Bathymétrie à haute résolution dans les secteurs d'intérêt

9. PROTECTION DE LA BERGE – SECTEUR DES ÉTANGS AÉRÉS

9.1 Mécanisme d'érosion probable

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 (voir photos aériennes de 1963 et 1975),
- la décroissance de l'érosion des falaises de Cap-aux-Meules, suite à la construction du port 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.

Il n'y a malheureusement aucun relevé qui permettrait de le confirmer, mais il est probable qu'une baisse du niveau de la plage devant les étangs aérés s'est produite au cours des dernières décennies.

L'influence de la construction du havre de Cap-aux-Meules sur la dynamique sédimentaire du secteur de Gros-Cap date de nombreuses années, soit dès la construction du premier quai dans les années 1950. La construction du havre vers 1970 n'a fait qu'accélérer la tendance en soustrayant de façon efficace tout le secteur du Cap aux Meules de l'érosion provoquée par les vagues de tempête. L'extension actuelle du port de pêche ne joue qu'un rôle très marginal dans la dynamique sédimentaire du secteur de Cap-aux-Meules et Gros-Cap, car les modifications prévues concernent un secteur déjà protégé des vagues du large, celles qui sont les plus actives dans l'érosion des falaises.

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 à la construction du port de Cap-aux-Meules et 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.

9.2 Protection en enrochement

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.

Le transect critique pour le dimensionnement des enrochements est le transect EA6 pour lequel la profondeur de 1 m sous le NMM se présente en pied de falaise. La mise en place des enrochements devant les bassins aura pour conséquence la diminution d'altitude de l'ensemble de la plage et la profondeur de 1 m sous le NMM deviendra également pertinente pour ces profils après la mise en place d'une protection en enrochement, même si actuellement l'élévation de cette plage est plutôt de l'ordre de +0,5 m NMM.

Une évaluation des phénomènes de déferlement et de remontée des vagues sur l'enrochement de protection envisagée a été faite en fonction des conditions combinées des paramètres « vagues » et « niveaux d'eau » correspondant à une durée de vie utile de 35 ans. Pour les niveaux d'eau supérieurs à +1,6 m ZC (+0,85 m NMM), les vagues correspondantes ne sont pas limitées par le déferlement. Par contre, pour des niveaux d'eau inférieurs à +1,6 m ZC, la profondeur d'eau limite la hauteur de vague pouvant atteindre la protection en enrochement. Ce phénomène a été pris en compte dans l'évaluation de la hauteur maximale des vagues en vue du dimensionnement des enrochements ($H_s \text{ max} = 1,79 \text{ m}$) et dans la remontée de ces vagues sur l'enrochement pour en déterminer l'élévation de la crête.

Le graphique suivant présente les résultats du calcul de la remontée des vagues sur l'enrochement (runup à 10%). Selon ces résultats, il faudrait placer la crête d'un enrochement à l'élévation +3,2 m NMM au pied des bassins ou des falaises de part et d'autre des bassins des étangs aérés pour empêcher les vagues de trop le franchir.

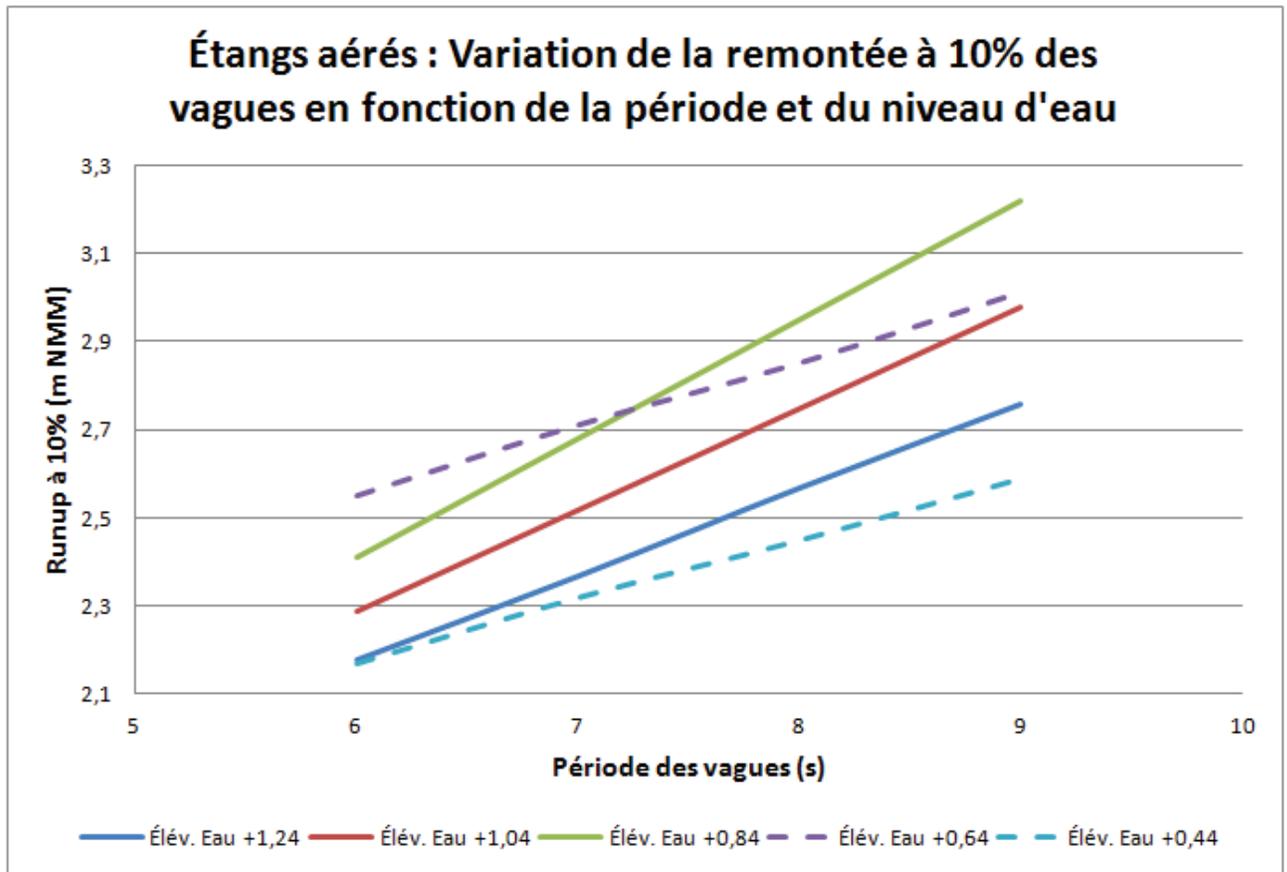


Figure 9.1 Remontée des vagues sur un enrochement près des étangs aérés

Une vérification de l'élévation optimale de la crête de l'enrochement a été faite à l'aide des formules de calcul du débit de franchissement. Deux équations proposées dans le Coastal Engineering Manual (C.E.M.) du U.S. Army Corps of Engineers ont été retenues pour réaliser la présente évaluation. Ce sont les équations de Bradbury-Allsop (1988) et Pedersen (1996). Les deux équations s'appliquent relativement bien au cas de la Baie de Plaisance. Elles présentent l'inconvénient d'être basées sur l'hypothèse selon laquelle les vagues ne sont pas limitées par la profondeur. Ceci n'est pas tout à fait le cas de la protection de berge de la Baie de Plaisance pour les houles de dimensionnement, ce qui pourrait induire des problèmes dans l'interprétation de certains résultats.

Le C.E.M. donne les taux de franchissement critiques pour un ouvrage de protection en fonction des dommages appréhendés et des infrastructures à protéger (Table VI-5-6 – page VI-5-20). Cette information provenant d'un grand nombre d'essais et d'observations est reproduite dans la figure ci-dessous.

Table VI-5-6
Critical Values of Average Overtopping Discharges

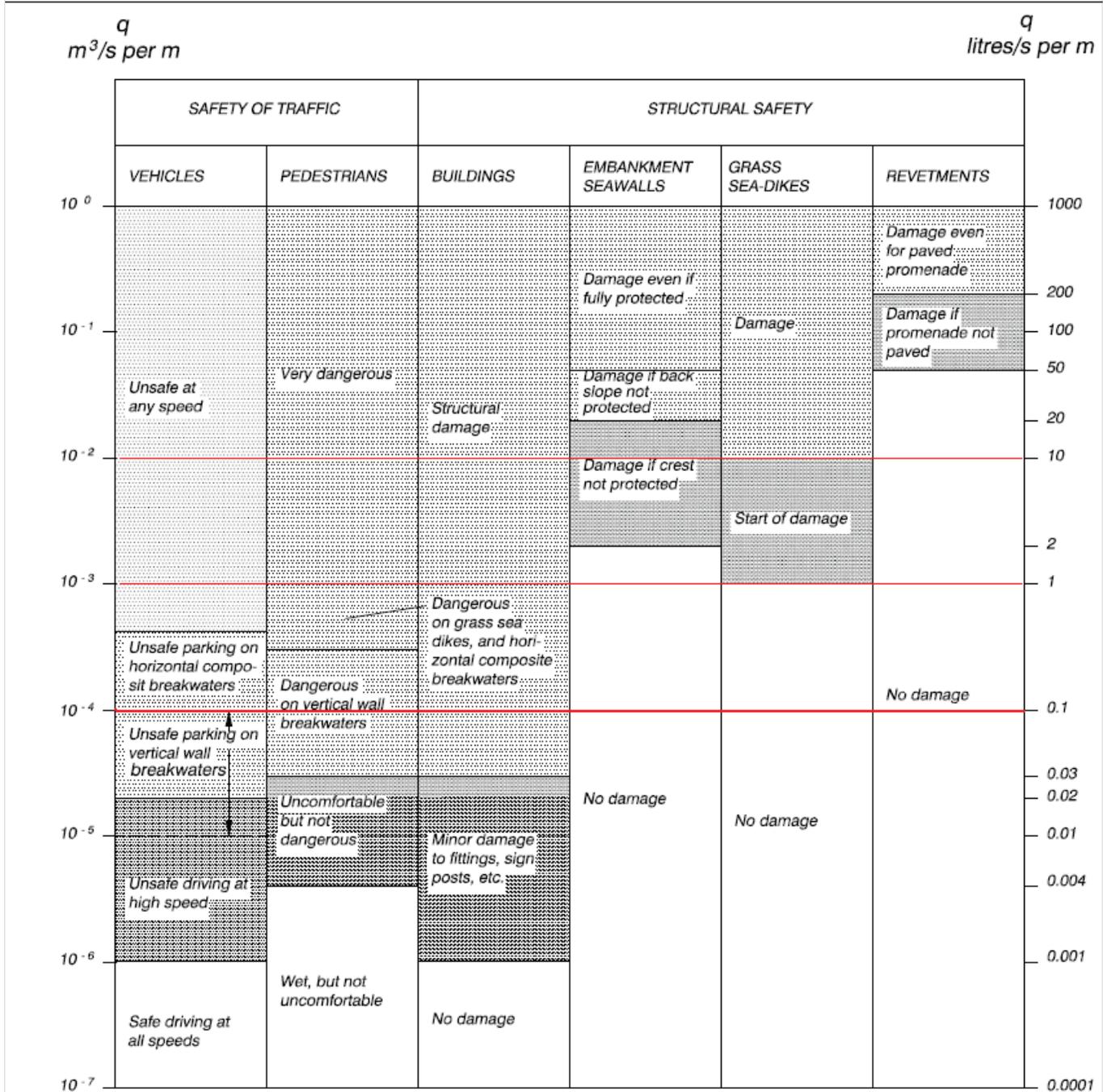


Figure 9.2 Tableau des valeurs critiques des taux moyens de franchissement d'une digue du C.E.M.

On constate sur cette figure qu'au-delà de :

- 0,1 l/s/m, la circulation des piétons près de l'enrochement n'est pas recommandée,
- 1 l/s/m, la circulation des piétons près de l'enrochement devient dangereuse,
- 2 l/s/m, la structure des enrochements pourrait être endommagée.

La valeur cible de 1 l/s/m a été retenue compte tenu des incertitudes concernant les différents paramètres de dimensionnement (dont la combinaison vague / niveaux d'eau).

Les calculs de quantité de franchissement de la protection ont été faits pour différentes combinaisons de niveau d'eau, de hauteur et de période de vagues correspondant à la récurrence de 35 ans.

Les résultats de ces calculs apparaissent dans la figure suivante pour une crête placée à l'élévation +3,2 m NMM. Le pire cas de franchissement correspond à un niveau d'eau de +1,6 m ZC (0,84 m NMM) et à une période de pointe des vagues de 9 secondes.

Dans la légende de la figure, les abréviations « EA » correspondent à Étangs aérés, « BA » à Bradbury-Allsop, « P » à Pedersen et les chiffres 7, 8 et 9 à la période de pointe des vagues.

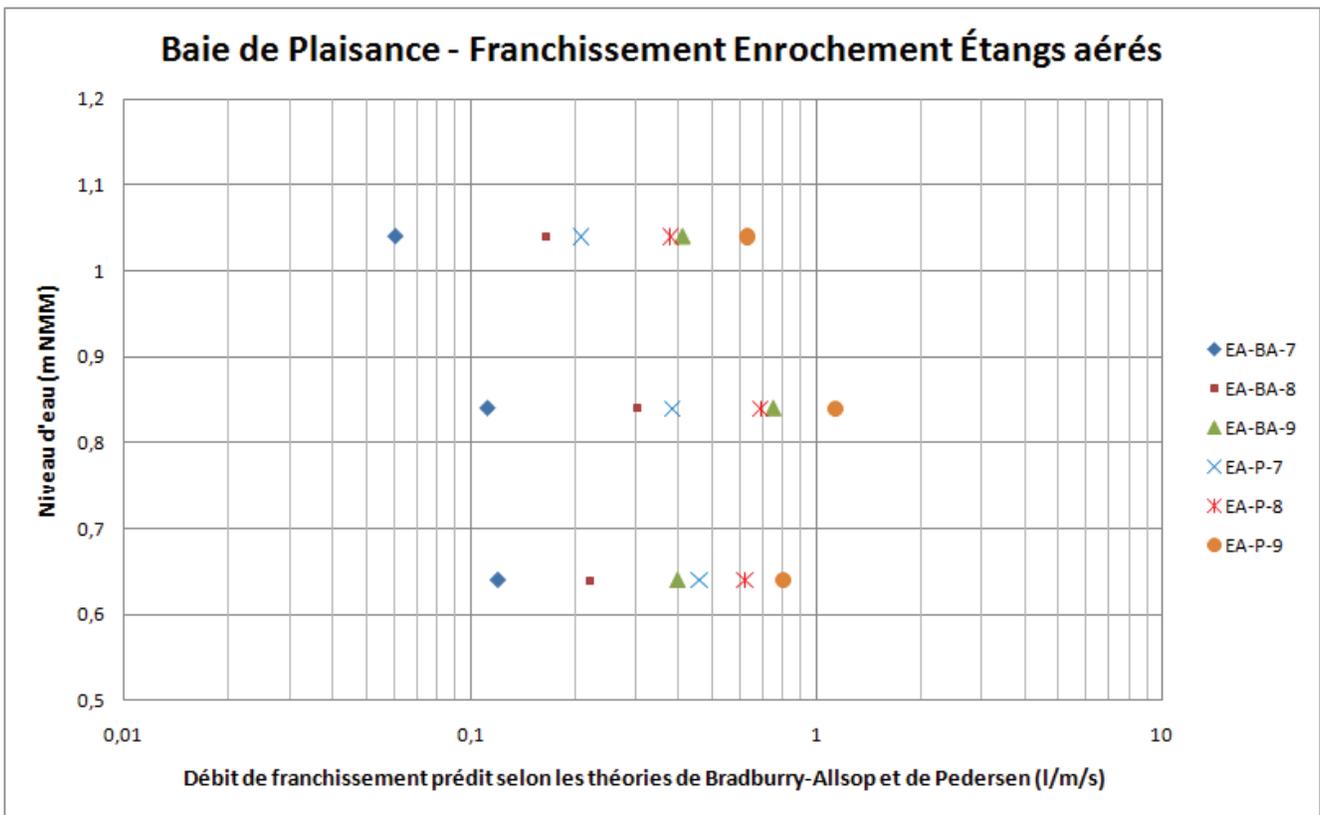


Figure 9.3 Débits de franchissement d'un enrochement dont la crête est à +3,2 m NMM

L'élévation de +3,2 m NMM a donc été retenue pour la crête de l'enrochement de protection de la zone des étangs aérés. 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.

Avec la vague de conception retenue (Hs max = 1,79 m de hauteur), la formule de Hudson appliquée avec les paramètres suivants au dimensionnement des enrochements donne :

- Poids unitaire des enrochements : 2,6 t/m³
- Poids unitaire de l'eau : 1,02 t/m³
- Pente de la structure : 3H / 2V
- Coefficient de stabilité des enrochements K_D (tronc, déferlant, S.P.M.84¹⁰) : 2,0
- Poids des unités de carapace calculé par la formule de Hudson : **1 à 2 tonnes**

Cette pierre devrait être placée sur une épaisseur de 1,7 m et la crête devrait avoir une largeur minimale de 2,6 m. La pierre-filtre à installer sous cette carapace serait de la pierre de 100 à 200 kg sur une épaisseur de 0,8 m. Les figures suivantes illustrent l'installation de cette protection en enrochement au droit des bassins et du pied de la falaise près des étangs aérés.

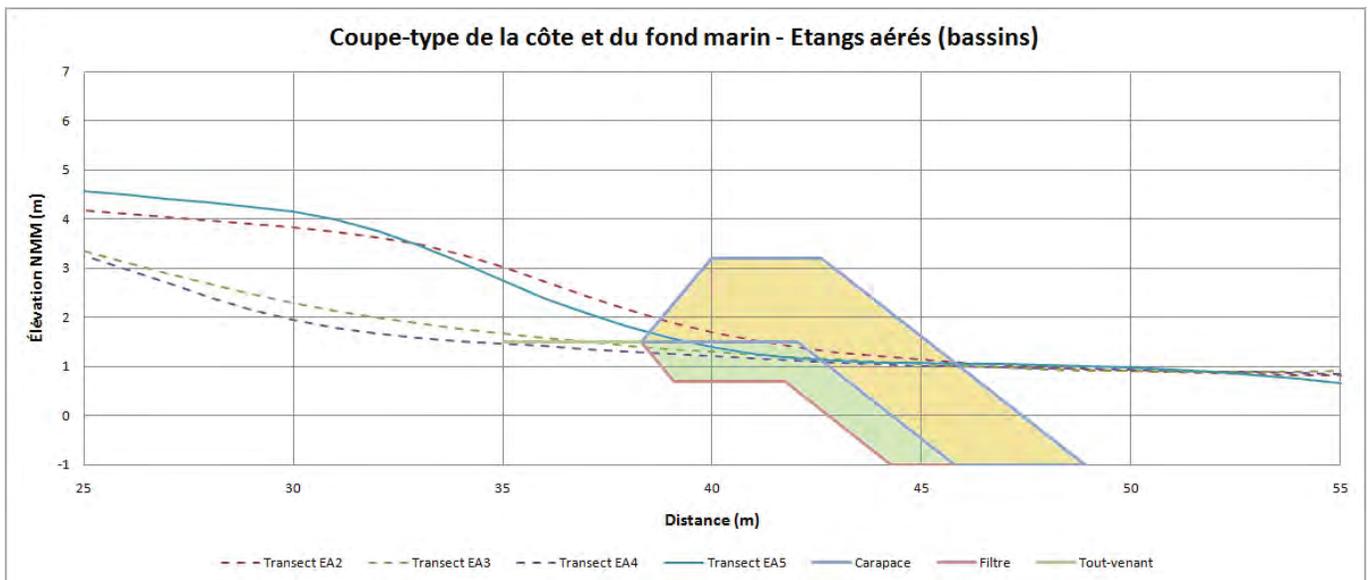


Figure 9.4 Coupe type d'un enrochement de protection au droit des bassins des étangs aérés

¹⁰ Shore Protection Manual 1984 – U.S. Army Corps of Engineers

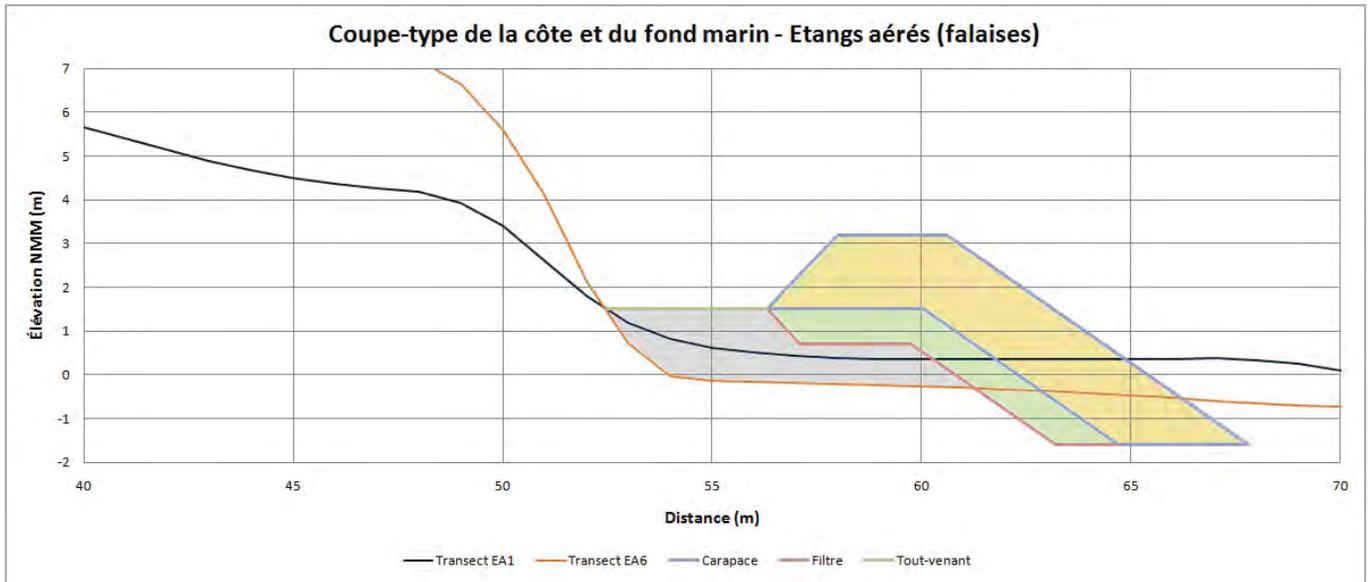


Figure 9.5 Coupe type d'un enrochement de protection de part et d'autre des étangs aérés

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. Cette voie d'accès n'est pas nécessaire en face des bassins. 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.

9.3 Stabilité du pied des protections en enrochement

L'ancrage des pierres du pied de l'enrochement pose un problème qui ne pourra être résolu que suite à un relevé géotechnique détaillé des zones à protéger par enrochement. De nombreux affleurements rocheux apparaissent au pied des falaises (voir photos suivantes) et, même si c'est du sable qui se retrouve au pied de ces falaises, l'épaisseur de cette couche de sable pourrait être très mince. Des pierres de carapace directement posées sur du roc affleurant sont instables (voir photo 9.8), à cause des efforts provoqués par les vagues et les glaces. Il faut ancrer les premières pierres au pied de la pente pour s'assurer de 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 mise en place d'une butée au pied de l'enrochement. Les deux méthodes ajoutent des coûts relativement importants aux travaux.

Érosion côtière baie de Plaisance

Pour les besoins de l'évaluation des coûts du concept de protection en enrochement, une tranchée de 1,2 m (moitié dans les sédiments ; moitié dans le roc) a été considérée, cette tranchée étant comblée à l'aide d'une butée de pied en pierres de carapace.



Figure 9.6 Roc affleurant au pied des falaises de Gros-Cap près des étangs aérés



Figure 9.7 Roc affleurant au pied des falaises de la Pointe de la Martinique



Figure 9.8 Instabilité des pierres posées directement sur du roc affleurant au pied des falaises de la Pointe de la Martinique

9.4 Crête des enrochements

Afin de valider l'élévation de la crête préconisée pour les enrochements de protection des berges le long de la Baie de Plaisance, des observations ont été faites sur les pentes des étangs aérés en place. Deux zones de dommages, en relation avec le franchissement de la promenade par les vagues, ont été identifiées entre l'exutoire des étangs aérés et le ruisseau situé au sud des étangs aérés. Les photos suivantes illustrent ces deux zones de dommages sur les pentes des talus externes des étangs aérés, dommages qui avaient été réparés au moment de la prise des photos (12 octobre 2011).



Figure 9.9 Dommage infligé par le franchissement des vagues sur le talus des étangs aérés



Figure 9.10 Dommage infligé par le franchissement des vagues sur le talus des étangs aérés

Des vérifications ont été faites pour définir l'élévation à laquelle les vagues avaient frappé les talus des étangs aérés lors des tempêtes de l'hiver 2010-2011. On s'aperçoit sur la figure suivante que l'élévation de la promenade le long de la zone endommagée par les franchissements est de +3,9 à +4,0 m NMM et que la zone d'impact des vagues s'étend entre +4,0 m et +5,5 m NMM. Les dommages observés n'ont pas remis en cause la stabilité des talus des étangs aérés (en fonction d'une intervention relativement rapide de la municipalité pour réparer ces dommages). Il semble cependant évident que l'élévation de la crête des enrochements préconisée plus haut (+3,2 m NMM) est loin d'être exagérée. Cette crête proposée si situe environ 700 mm plus bas que la crête des enrochements récemment mis en place par la Municipalité le long de la promenade devant les étangs aérés (photos précédentes).

Il est même probable que l'hypothèse d'indépendance statistique des événements de niveaux d'eau extrêmes et de fortes vagues de tempête considérée dans cette étude tend à sous-évaluer les dommages potentiels que le franchissement des vagues imposera aux futures infrastructures côtières. Il est fortement recommandé de vérifier autant que faire se peut la récurrence combinée des événements de niveaux d'eau extrêmes et de fortes vagues dans le secteur de la baie de Plaisance dans le cadre du dimensionnement final de ce genre de protection.

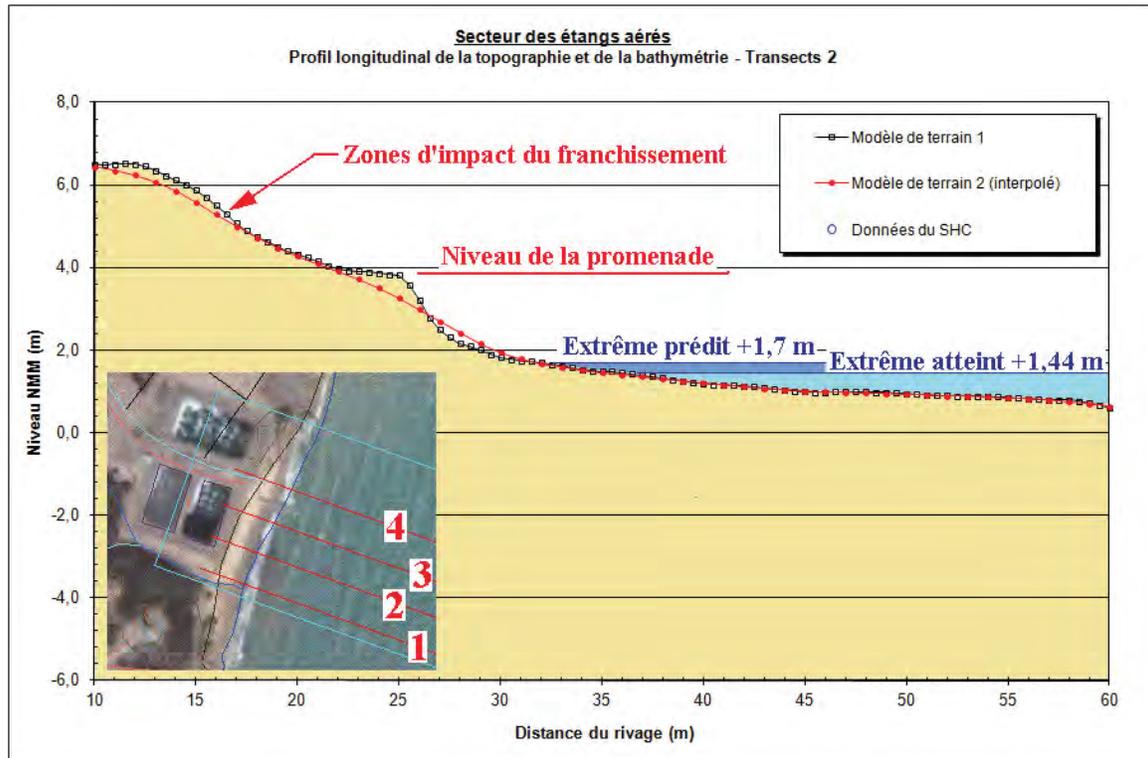


Figure 9.11 Coupe type de la berge au niveau des étangs aérés avec les élévations NMM des différentes parties de cette berge

9.5 Consolidation des falaises avec du béton

La protection du pied des falaises à l'aide de béton devrait respecter les critères de l'enrochement en termes d'élévation de la crête du mur et de stabilité du pied. Étant donné l'étanchéité du béton et le fort coefficient de réflexion des vagues sur une telle protection, la remontée des vagues est légèrement plus forte et il faut prévoir que l'érosion en pied du mur sera plus intense.

L'ancrage du mur dans le roc dont sont constituées les 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 dans le roc

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.

De façon à dimensionner l'élévation de la crête du mur de béton à placer devant le pied des falaises de part et d'autre des étangs aérés, la formule de franchissement de Franco & Franco 1999 a été utilisée¹¹. Le débit maximal de franchissement qui a été retenu pour le dimensionnement de cette crête de mur est de 2 l/s/m correspondant au début de dommage sur des enrochements. Étant donné la nature friable et sensible aux cycles de gel/dégel du roc dont sont constituées ces falaises, même ce débit pourrait se révéler excessif.

La figure 9.6 illustre les calculs de franchissement pour une crête de mur située à +3,6 m NMM.

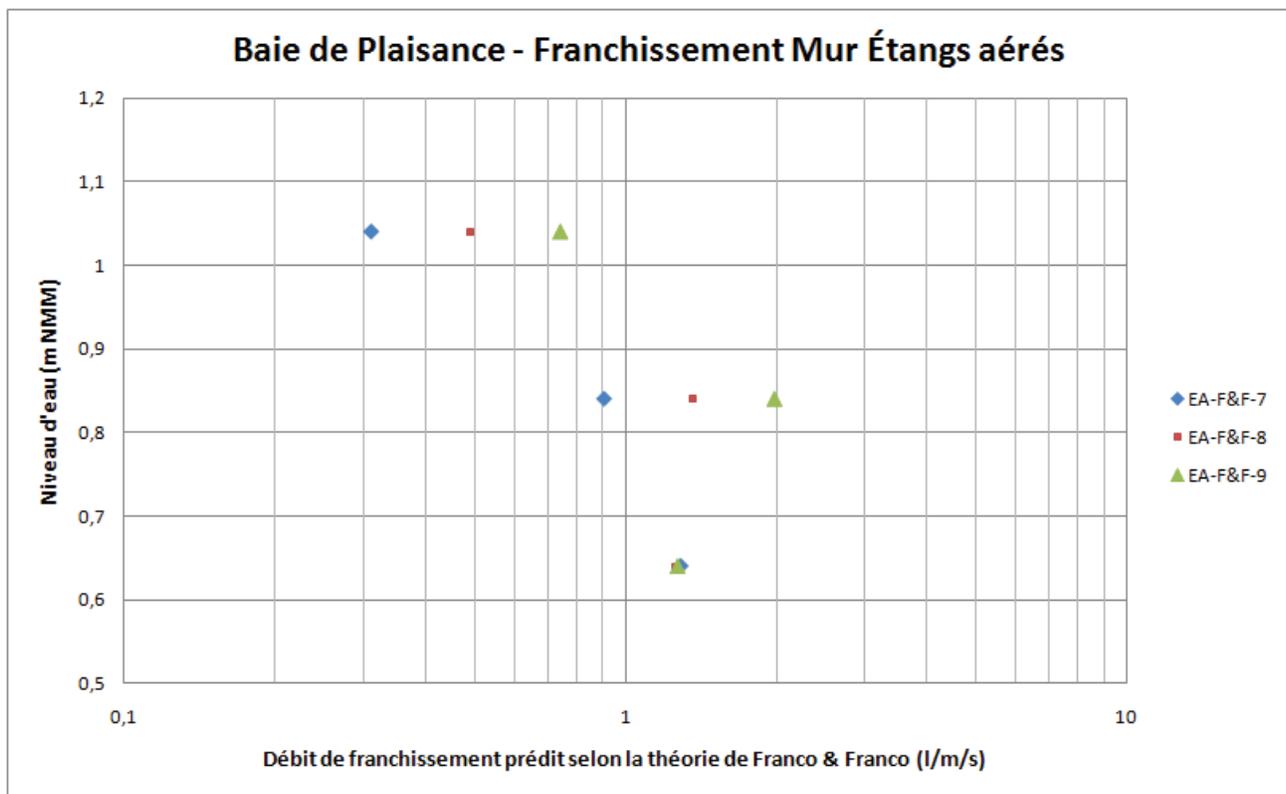


Figure 9.12 Débits de franchissement d'un mur dont la crête est située à +3,6 m NMM

La figure suivante illustre la coupe type d'une protection en béton armé placée au pied de la falaise de part et d'autre des étangs aérés.

¹¹ Coastal Engineering Manual, U.S. Army Corps of Engineer, - Table VI-5-13 page VI-5-29

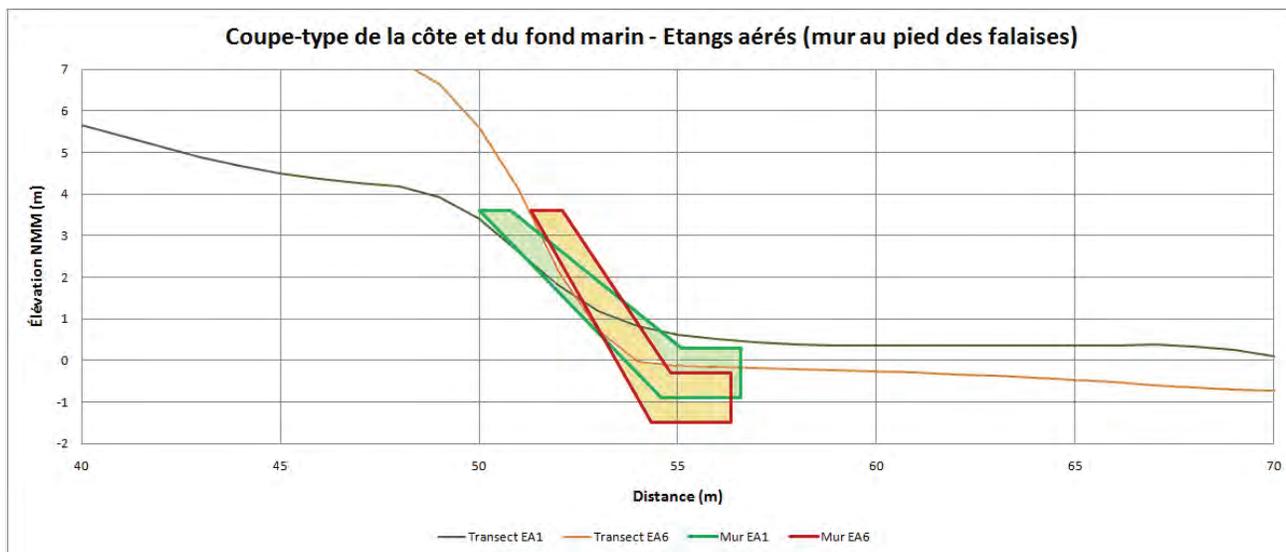


Figure 9.13 Coupe type d'une protection en béton armé de part et d'autre des étangs aérés

La solution d'un confortement en béton du pied de la falaise sera difficile à mettre en œuvre. La durabilité d'un tel concept reste à démontrer et d'importants effets de bout pourraient apparaître aux extrémités des zones bétonnées. Il s'agit de plus d'un ouvrage complexe à réaliser dans l'eau à cause de l'exigence de durabilité de l'ouvrage qui implique que la fondation soit excavée dans le roc au pied de la falaise, sous le zéro des cartes marines.

9.6 Rechargement de plage

Le CEM¹² donne certaines indications concernant la stabilité d'une plage naturelle et d'un rechargement de plage. Pour le diamètre caractéristique des sédiments de la zone à l'étude (0,25 mm), le profil naturellement stable de la plage est reproduit sur les figures suivantes pour la zone des bassins et celle de part et d'autre des bassins.

¹² Coastal Engineering Manual, U.S. Army Corps of Engineer, Chapitre III-3-3

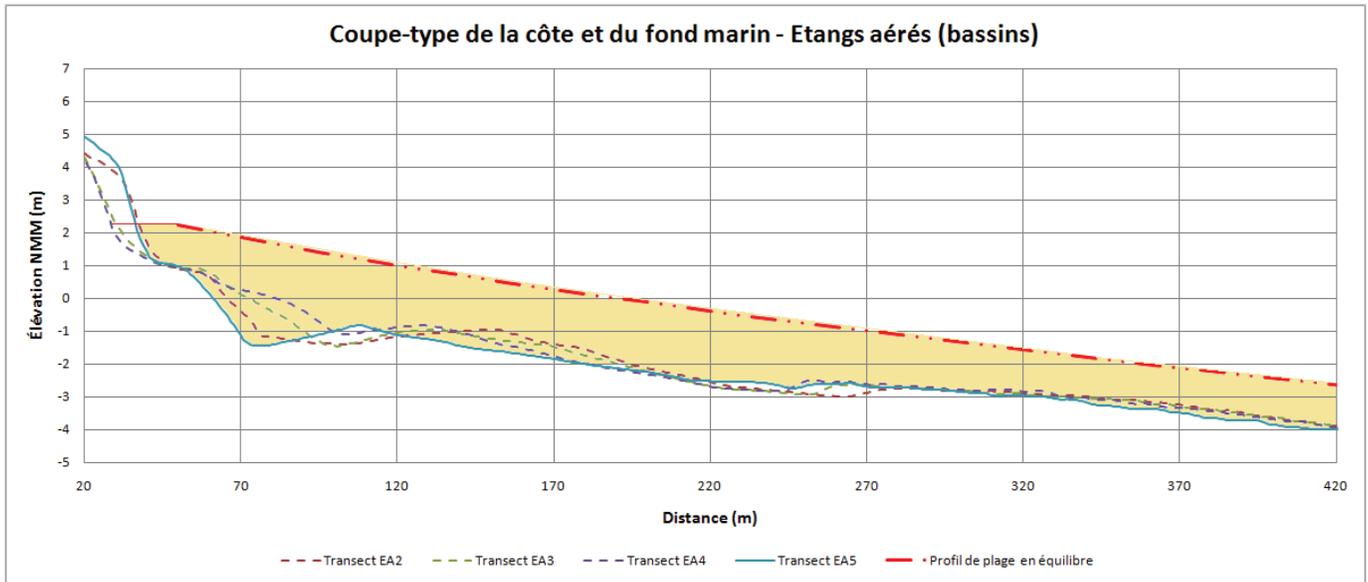


Figure 9.14 Coupe type d'une plage en équilibre devant les bassins des étangs aérés

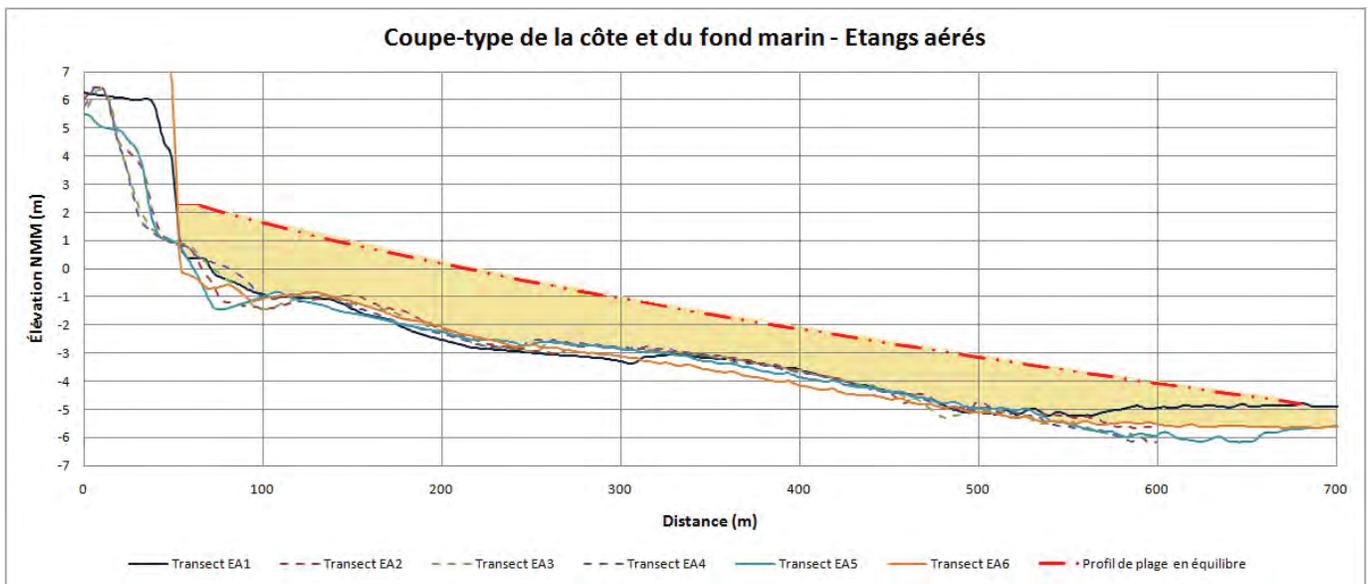


Figure 9.15 Coupe-type d'une plage en équilibre de part et d'autre des bassins des étangs aérés

La partie supérieure de la plage a été placée à l'élévation +2,2 m NMM et la largeur de la partie horizontale de cette partie de la plage 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 0,5 m de la plage par rapport aux niveaux d'eau extrêmes étant faible.

Dans les deux cas, le profil d'une plage en équilibre est relativement loin de celui du fond naturel actuel devant les bassins des étangs aérés. La distance entre le profil théorique et les profils mesurés peut dépasser plusieurs mètres par endroits.

Le chapitre III-3-3-f du C.E.M. donne certains moyens d'évaluer un peu plus précisément les caractéristiques que devrait avoir un rechargement de plage dans le cas de la zone des étangs aérés. Pour commencer à avoir une intersection des profils de la plage « rechargée » et du fond naturel, il faudrait 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).

Devant les bassins, il faudrait envisager plus de 800 m³/m de sable pour recharger la plage (à condition d'être en mesure de retenir ce sable devant les étangs aérés). Même avec ces volumes et un sable présentant 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 800 m³/m de sable de rechargement sur une largeur minimale de 235 m de plage, on parle de 160 000 m³ de sable plus grossier que le sable en place à installer devant les étangs aérés. 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 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. L'hypothèse de récurrence des rechargements de plage a été de placer un quart de la quantité initiale tous les 5 à 7 ans. Des études spécifiques devraient être entreprises pour confirmer ces hypothèses si cette solution est sérieusement envisagée.

9.7 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 détruisent pas rapidement cette butée de pied. Par contre, plus on place cette butée dans une profondeur 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.

La figure suivante illustre la coupe type d'un rechargement de plage sous la forme d'une « plage suspendue » dont le pied serait protégé par une butée qui pourrait être en enrochement ou en géotubes. Deux exemples de butée de pied sont illustrés, soit une butée dont la crête serait à 0,0 m NMM et une butée dont la crête serait à -1,5 m NMM.

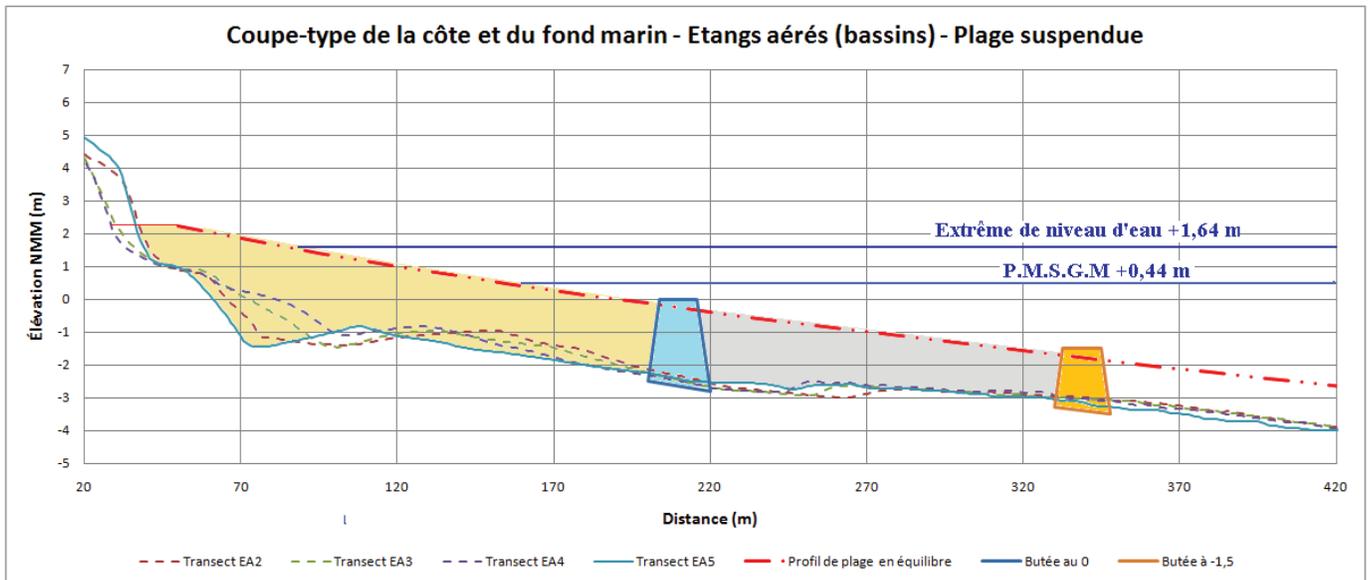


Figure 9.16 Coupe type d'une plage suspendue devant les étangs aérés

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'un chaland. À cause des contraintes mécaniques auxquelles sera soumise cette pierre, il est requis d'aller la chercher à l'extérieur des Îles de la Madeleine pour obtenir une qualité minimale des matériaux et une durabilité acceptable de l'ouvrage.

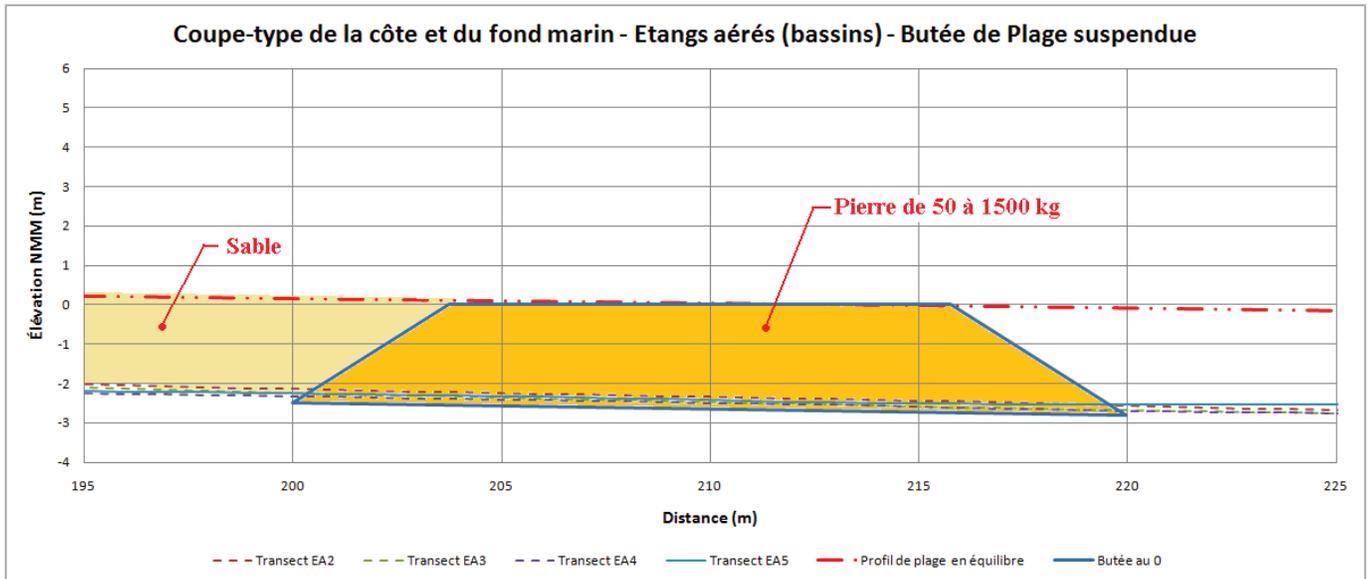


Figure 9.17 Coupe type d'une butée de pied de plage suspendue en enrochement au zéro NMM

L'autre méthode de réalisation d'une butée de pied de plage serait l'utilisation de géotubes remplis d'un sable qui pourrait être plus fin que le sable en place puisque contenu dans les géotubes. Cette méthode a l'avantage d'utiliser du géotextile et du sable (disponible sur place alors que la pierre devra être importée). Par contre ne serait-ce qu'à cause de la méthode de mise en place et des contraintes de vagues et de glace, il est difficilement envisageable de placer les géotubes avec la crête au niveau moyen des mers (sans parler du point de vue esthétique). Même une mise en place avec le dessus des géotubes à 1,5 m sous le NMM posera 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 du géotextile par rapport aux contraintes induites par les vagues. L'expérience des géotubes mis en place à Tuktoyaktuk (Nunavut) dans les années 80 ont clairement identifié le vandalisme et l'impact des débris flottants projetés par les vagues comme causes de la détérioration du géotextile. Enfin il reste l'inconnue que représentent les glaces dans le processus de dégradation des géotubes. Il serait impératif de protéger le géotextile contre les rayons ultra-violets (UV), les vagues, les débris flottants et les glaces, soit en utilisant un géotextile renforcé (par exemple avec du Kevlar), soit en recouvrant le géotextile d'un matelas de béton articulé. Même ces méthodes de protection des géotubes sont expérimentales, aucun exemple d'installation dans un environnement similaire n'ayant pu être trouvé. La figure suivante montre trois géotubes de 34 pieds (10,4 m) de circonférence placés côte à côte pour assurer une redondance à ce système relativement expérimental. Un tapis antiaffouillement est prévu sous les géotubes. Il est possible que deux géotubes soient suffisants et la compagnie Tencate/Terratube considère la possibilité de n'en mettre qu'un seul. Une décision devra être prise quant au niveau de risque et à la durabilité acceptable d'un tel système.

Érosion côtière baie de Plaisance

Îles-de-la-Madeleine

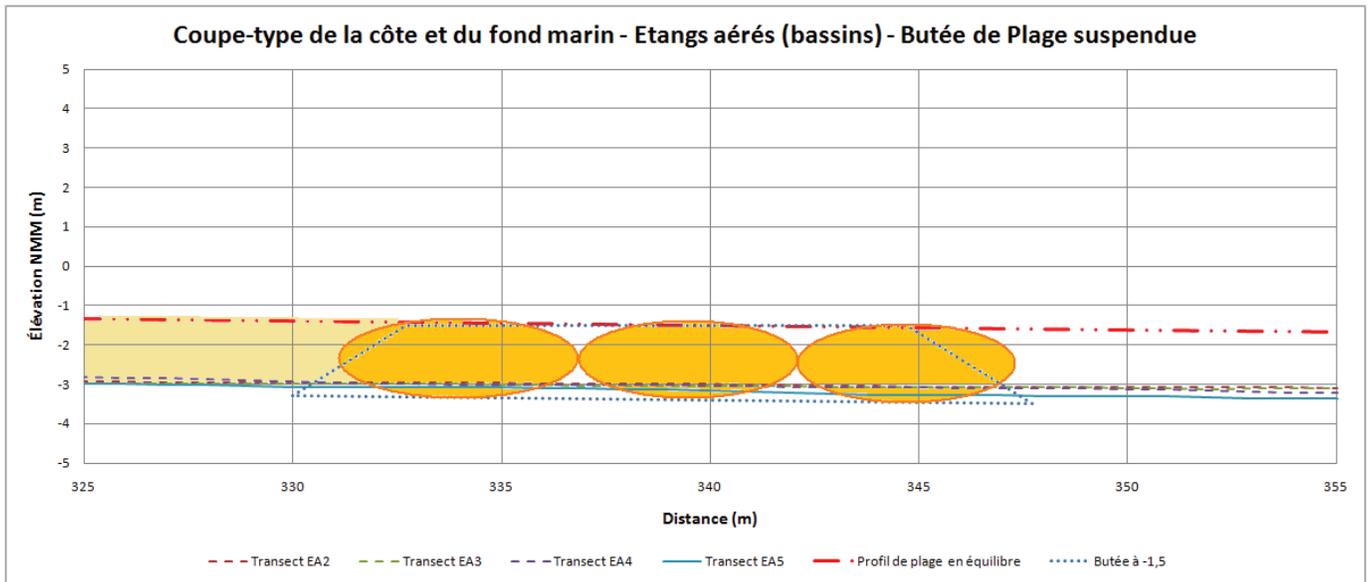


Figure 9.18 Coupe type d'une butée de pied de plage suspendue en géotubes à -1,5 m NMM

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 en géotubes du bas de plage (butée de pied de plage) parce que la géométrie de la plage et en particulier sa pente ne sont pas propices à une stabilité d'un rechargement en sable sans cette protection.

La mise en place de ce rechargement de plage pourrait prendre les dimensions illustrées à la figure 9.16 (cas de la butée en pierre au zéro NMM). Non seulement la butée de pied de plage devra être mise en place, mais il serait également nécessaire de placer des protections (en pierre) de part et d'autre de la zone rechargée en sable pour contenir ce sable latéralement et lui permettre de protéger le secteur des étangs aérés. 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. Le contexte de déficit sédimentaire de la zone implique également que les opérations de rechargement de plage seront requises de façon plus fréquente que pour un projet plus traditionnel de rechargement de plage,

9.8 Rechargement de plage en matériaux grossiers

Du rechargement de plage en tout-venant de carrière des Îles (rip-rap), en galets, en gravier ou en sable et gravier pourrait être plus intéressant que du rechargement en 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 (distance de transport, retombées locales). Les

matériaux en provenance des îles étant très sensibles à la dégradation avec le temps, 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 grossiers locaux auraient l'avantage d'alimenter les plages adjacentes en sédiments identiques aux sédiments en place à travers leur processus de dégradation. Bien que certaines données préliminaires aient pu être obtenues dans le cadre de la présente étude, une étude plus approfondie de disponibilité de pierre locale de type « rip-rap » ou de galets importés devra également être réalisée.

La géométrie requise pour que cette protection de berge en matériaux grossiers soit efficace a été définie en fonction de la remontée des vagues sur une plage présentant une pente de 10 %. 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.

Le calcul de la grosseur de la pierre de type « rip-rap » à mettre en place a été effectué à l'aide de l'équation proposée par le C.E.M. (chapitre VI-5-3-7, page VI-5-84). Avec une vague déferlante de 1,79 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 devrait avoir un poids compris 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 locaux 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.

Il a en particulier fallu faire une hypothèse sur la largeur de la crête de la protection en matériaux grossiers locaux. Il se pourrait que la largeur de 20 à 22 m retenue dans les calculs préliminaires soit trop pessimistes et qu'une largeur de 10 à 15 m soit suffisante pour assurer la protection de la rive, réduisant significativement les quantités de matériaux locaux requises dans ce genre de projet. 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.

Ce concept a fait l'objet d'études sous l'appellation « plage de gravier », « bermes en blocs » ou « revêtements dynamiques » en Californie¹³. Le concept s'inspire de configurations naturelles de plages constituées non pas de sable, mais d'éléments de la taille de graviers ou de cailloux, qui sont stables selon des pentes beaucoup plus raides que du sable. 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.). L'un de ces exemples se situe d'ailleurs aux Îles-de-la-Madeleine, derrière le Château Madelinot (Figure 9.22).

Les plages illustrées ci-dessous montrent qu'un concept de plage de galets réalisé à l'aide de galets importés ayant une durabilité améliorée par rapport aux matériaux locaux requerrait nettement moins de matériaux à mettre en place et impliquerait potentiellement 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 des plages de rip-rap ou galets à mettre en place pour protéger la côte.



Figure 9-19 Plage naturelle de galets au Cap-Breton (Nouvelle-Écosse)

¹³ Alan, J.C., Geitgey, R. & Hart, R. «Dynamic revetements for coastal erosion in Oregon», August 2005



Figure 9-20 Plage naturelle de galets dans la Baie Georgienne (Ontario)



Figure 9-21 Plage naturelle de galets à Hawaï



Figure 9.22 – Plage naturelle de galets aux Îles-de-la-Madeleine (derrière le Château Madelinot)

La figure suivante illustre la coupe type proposée dans le cas d'une telle protection de berge dans le secteur des étangs aérés, réalisée à l'aide de matériaux locaux. La pierre de type rip-rap 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.

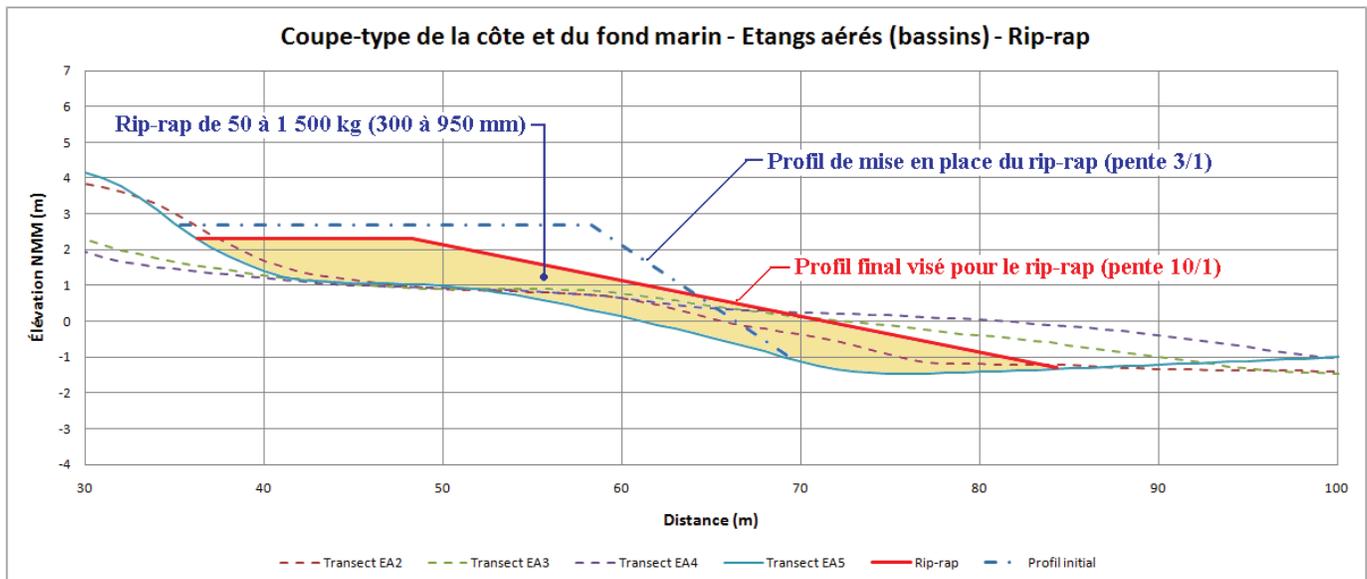


Figure 9.23 Coupe type d'une protection de berge en matériaux grossiers devant les étangs aérés

9.9 Rechargement de plage avec épis

Du rechargement de plage en sable 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 expliquée dans les chapitres précédents (à moins de mettre en place des épis d'au moins un demi-kilomètre de longueur). Le sable de recharge de plage placé entre des épis trop courts fuirait par l'extrémité la plus au large des épis et cette fuite de matériel risquerait de ne même pas servir de protection au rivage en aval.

Une autre raison de ne pas envisager l'utilisation d'épis seuls pour retenir les sédiments est la trop faible quantité de sable qui semble circuler devant la plage des étangs aérés avec 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. Une démonstration du peu d'intérêt de cette solution est faite par l'exutoire actuel des étangs aérés qui ne retient pas vraiment de sable, ni d'un côté, ni de l'autre des enrochements.

Par contre, ces épis perpendiculaires au rivage peuvent (et doivent probablement) être envisagés pour retenir une recharge de plage faite devant les étangs aérés (avec butée de pied de plage).

De plus, une recharge de plage devant les étangs aérés pose le risque de réduire la capacité d'évacuation de l'eau en provenance du ruisseau situé au sud des étangs aérés. Une façon de réduire ce risque serait de construire un épi au nord du ruisseau sur la plage pour assurer son écoulement en tout temps.

9.10 Brise-lames submersibles au large

La mise en place d'un brise-lames submersible ou d'une série de brise-lames submersibles 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.

Le fait de viser un brise-lames submersible (dont la crête se trouverait au maximum au zéro des cartes marines) fait en sorte que ce brise-lames 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 tout à fait inefficace pour arrêter l'action érosive des vagues lors de ces très hauts niveaux d'eau. De plus, ce 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. Tout au plus verrait-on une certaine accumulation se produire immédiatement en amont du brise-lames, loin de la zone de marnage.

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

glaces. De plus, ils retiendraient l'eau à marée basse, ce qui n'est en général pas recommandé par les biologistes à cause des impacts négatifs sur les organismes pris au piège de ces accumulations d'eau (assèchement progressif, réchauffement de l'eau retenue, prédation par les oiseaux, etc.). Cette option n'a donc pas été retenue.

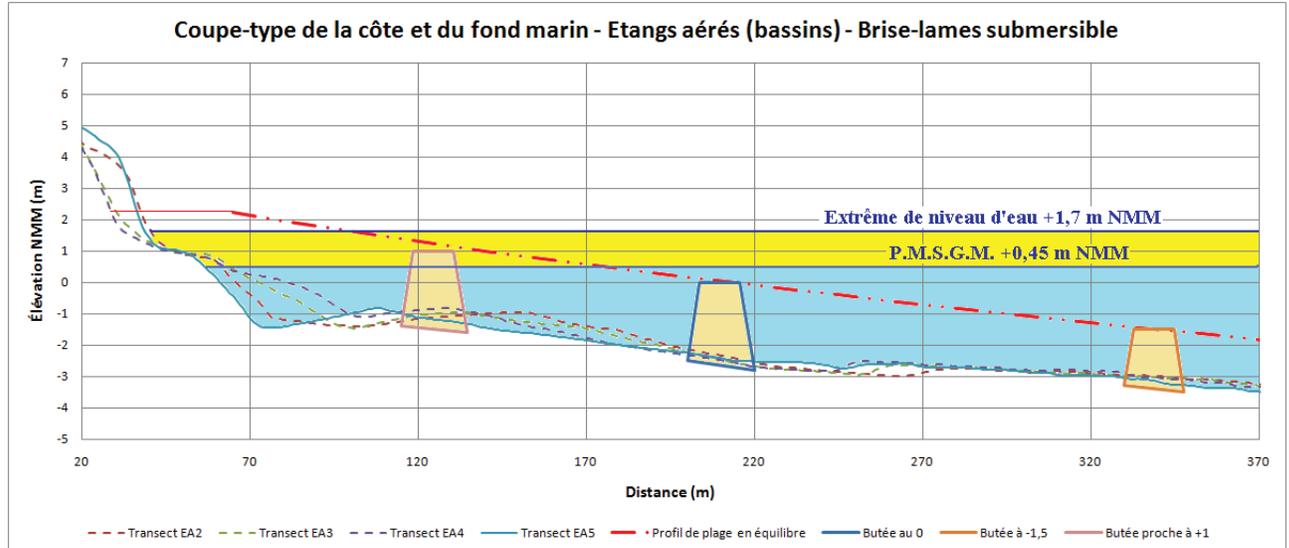


Figure 9.24 Positions possibles pour un brise-lames submersible devant les étangs aérés

9.11 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.

9.12 Solutions de protection contre l'érosion pour les 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** (Solution 1 – voir figure 9.25) ou la solution de **rechargement avec des matériaux grossiers** (rip-rap local ou plage de galets importés) (Solution 3 – voir figure 9.27 pour le rip-rap). La solution en enrochement serait du type « permanent » (35 ans de vie utile sans intervention majeure, à condition de s'assurer de la stabilité du pied de l'enrochement) alors que la solution en rip-rap extrait des carrières des îles de la Madeleine ou en galets importés de l'extérieur des îles serait une solution nécessitant des rechargements périodiques (plus fréquents pour le rip-rap). 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 la plage (et les plages adjacentes) à travers le processus de dégradation des pierres constituant le rip-rap. La solution en plage de galets n'a pas les inconvénients de la solution en enrochement linéaire, mais n'offre pas le bénéfice de la solution en rip-rap. Un autre inconvénient significatif de la solution de protection à l'aide d'un enrochement linéaire est le risque très important de réclamation en cours de travaux

(géotechnique, tempêtes) et de dépassement de coûts alors que la solution de rechargement avec des matériaux grossiers ne comporte pratiquement aucun risque de cette nature.

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 renforcés) et d'épis transversaux (Solution 2 – voir figure 9.26).

La solution d'un confortement en béton de la falaise n'est pas vraiment une solution dans le cas des étangs aérés puisqu'elle ne s'applique pas au droit des étangs.

La solution d'un brise-lames submersible au large de la côte n'est pas une solution « en soi » étant donné la faible efficacité d'un tel ouvrage à arrêter les processus d'érosion, à moins de placer la crête de ce brise-lames au niveau de la marée haute ou plus haut, ce qui revient à la solution de l'enrochement linéaire.

Les estimations de coûts de ces trois solutions sont présentées en annexe. Elles se résument comme suit (taxes en sus) – la solution en plage de galets n'a pas pu être évaluée faute de modèle paramétrique permettant de la dimensionner :

<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 \$	

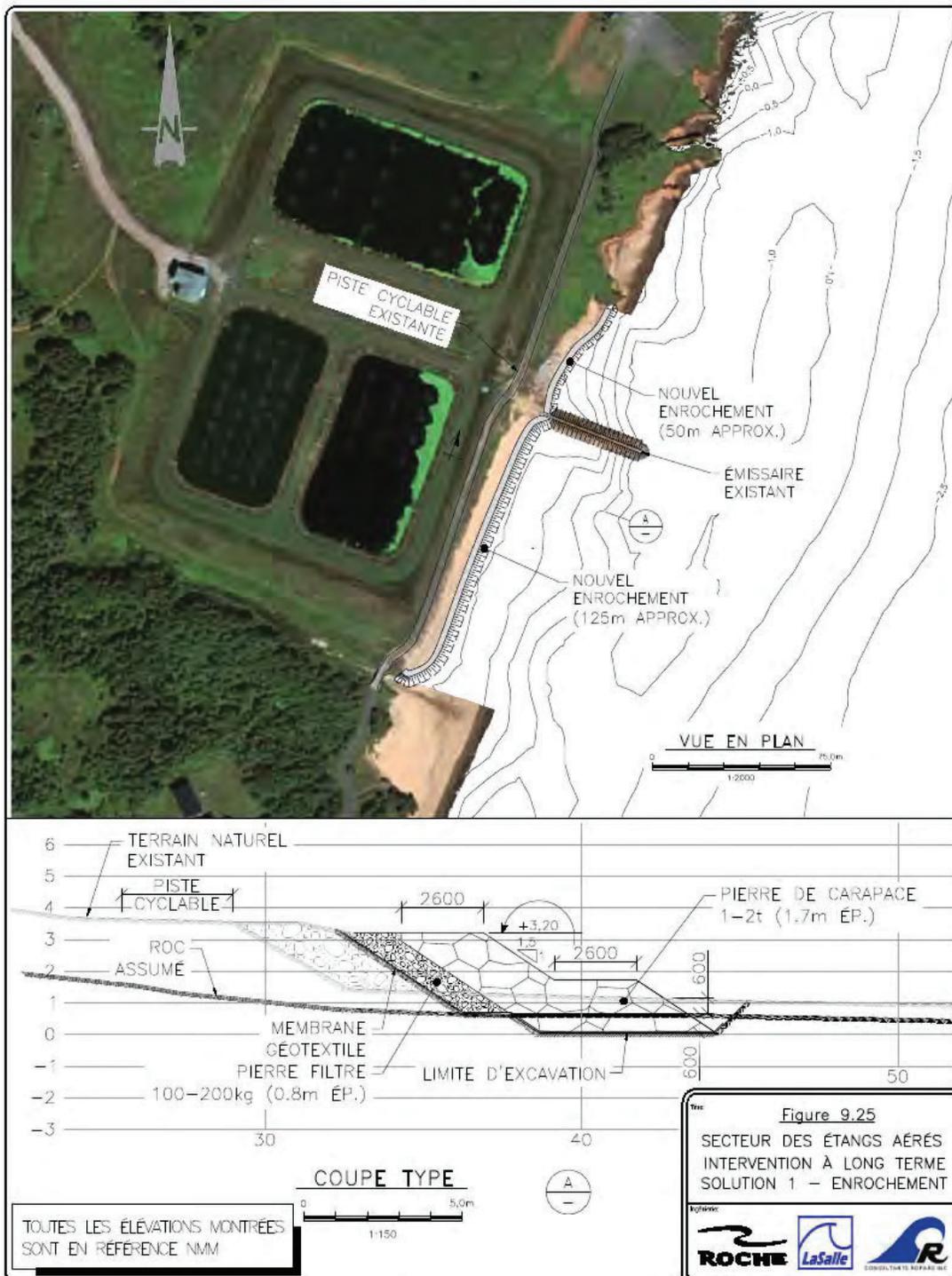


Figure 9.25 – Intervention à long terme - Solution 1 - Enrochement

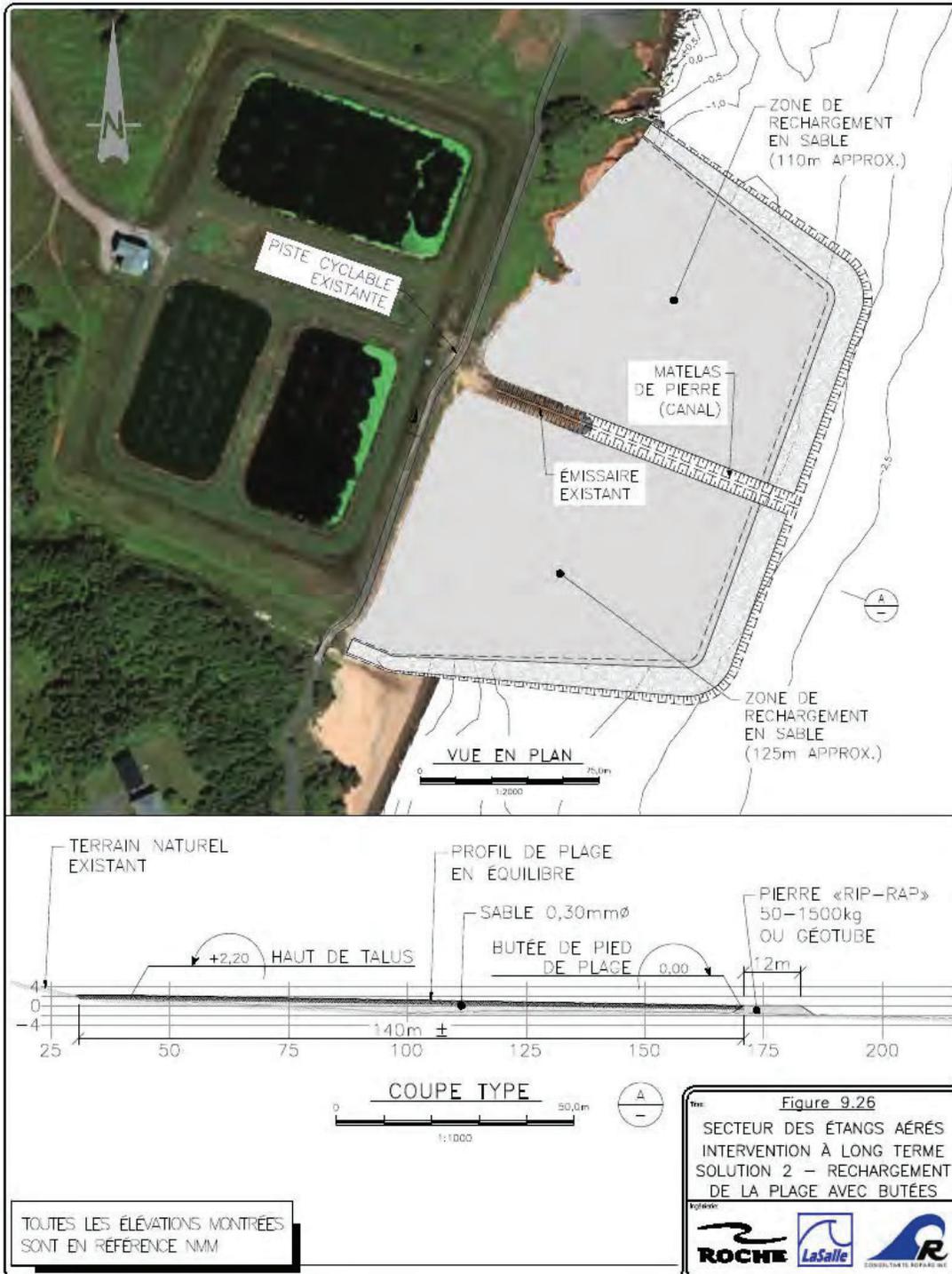


Figure 9.26 – Intervention à long terme - Solution 2 - Rechargement de la plage avec butées

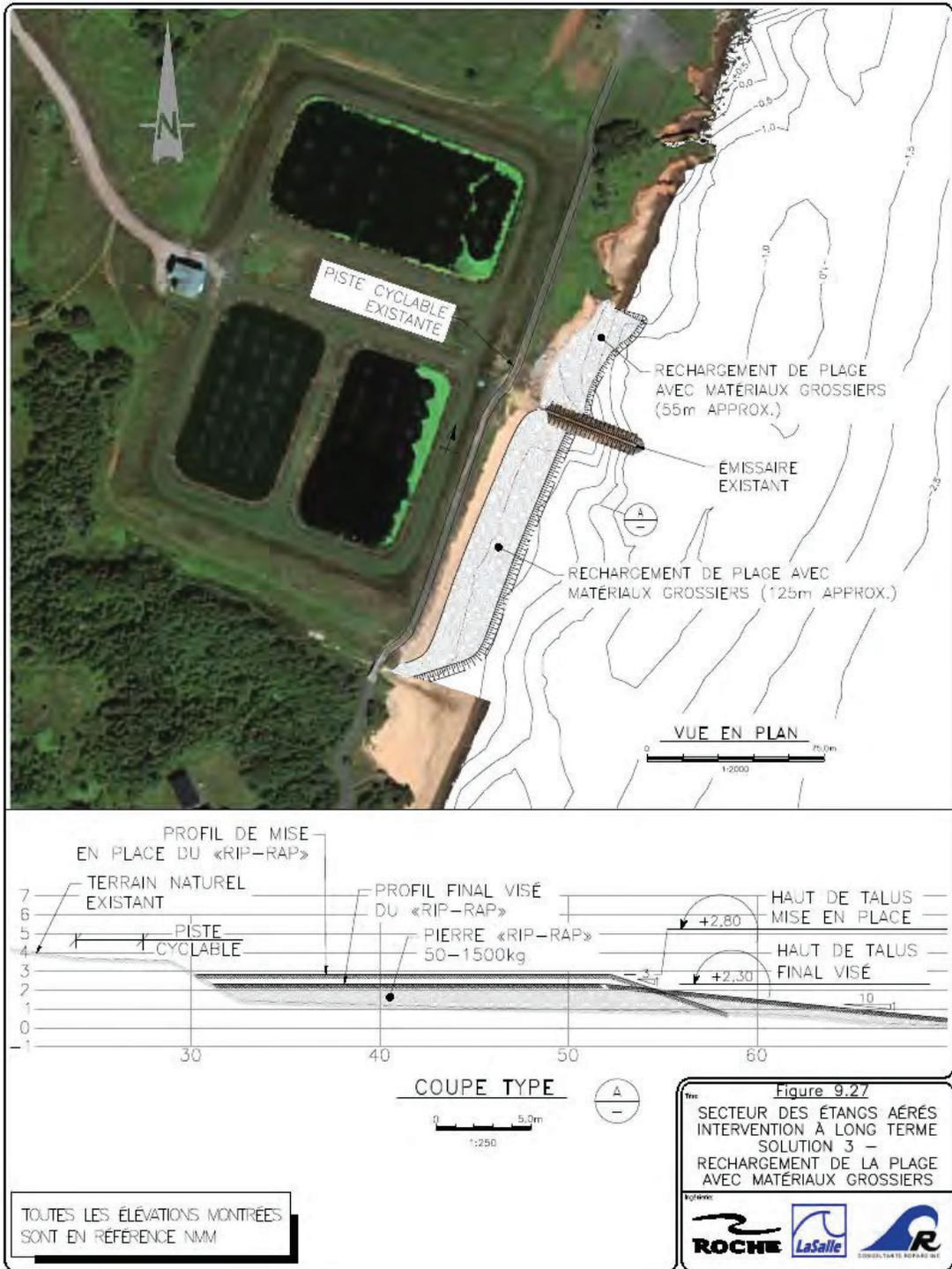


Figure 9.27 – Intervention à long terme - Solution 3 - Rechargement de la plage avec matériaux grossiers

9.13 Intervention à court terme (solution d'urgence)

9.13.1 Plan d'action préconisé

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.

Le plan d'action proposé est une intervention dans les prochains mois pour empêcher la promenade de disparaître au pied des étangs aérés et une brèche de se produire dans l'étang aéré le plus au sud. Il en résulterait le déversement d'au moins une partie des eaux des étangs aérés dans la baie de Plaisance et des problèmes sérieux de fonctionnement de ce système d'épuration des eaux usées de la Municipalité.

Cette intervention d'urgence serait conçue pour permettre d'attendre la réalisation des travaux de protection de berge à long terme qui seraient les plus appropriés pour le secteur.

Il y a toutefois lieu de noter que la Ville a déjà réalisé, en août 2011, des travaux de renforcement de l'enrochement déjà en place, en ajoutant 204 tonnes de pierres 600 -1000 kg. Ces travaux ont été réalisés dans le but de contrer les effets possibles de l'ouragan Irène qui s'est produit le 26 août 2011.

9.13.2 Protection temporaire urgente de la berge

La protection de berge recommandée en urgence sera 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 et est illustré sur les figures 9.25 et 9.26. Cette plage protège la berge au nord de l'exutoire de façon marginale à cause de son élévation de crête trop basse. Par contre, elle évite à cette partie du rivage de se retrouver dans l'état de dégradation qu'on constate du côté sud de l'exutoire. Cette protection sommaire aurait été mise en place vers 1995, ce qui donne une idée de la durée de vie utile d'un tel concept.

On remarque sur la plage de galets au nord de l'exutoire la présence de blocs de béton et de quelques pierres nettement plus grosses que des galets. Ces deux types de matériaux seraient a priori exclus des matériaux envisagés pour créer la protection temporaire requise en attendant de définir la solution de protection à long terme, ne serait-ce que d'un point de vue esthétique (proximité d'une promenade populaire auprès des Madelinots et des touristes).

Les matériaux constituant la plage de galets pourraient provenir de carrières de grès des Îles, la qualité de la pierre n'étant pas un enjeu majeur en regard de la durabilité requise (quelques mois). La dégradation avec le temps de ces matériaux fournira de petites quantités de sable aux plages en érosion dans le secteur.



Figure 9.28 Plage de « galets » au nord de l'exutoire des étangs aérés (vu du dessus de l'exutoire)



Figure 9.29 Plage de « galets » au nord de l'exutoire des étangs aérés (vu de la plage)

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. Un contrôle minimal de la granulométrie des matériaux devra être fait dans la carrière et sur le site pour s'assurer d'un minimum de durabilité de cette protection.

La mise en place de ces matériaux devrait se faire à l'aide d'un boueur sur chenille qui étalerait les pierres déversées des camions, de façon à obtenir une pente régulière et homogène sur l'ensemble de la zone à protéger. L'ancrage des pierres au pied de la pente ne serait pas requis. Une provision en termes de quantités de matériaux est prévue pour éviter d'avoir à faire ces travaux d'excavation.

Cette conception tient compte d'un coût des matériaux raisonnable. Si la Municipalité ne réussit pas à s'entendre avec les propriétaires de carrière des Îles pour obtenir un coût raisonnable de ces matériaux, d'autres solutions devront être envisagées (comme la solution de la plage de galets importés).

Le secteur de côte à protéger de façon temporaire fait environ 150 m de longueur, dont 125 m au sud de l'exutoire et 25 m au nord de l'exutoire. La falaise d'érosion au pied de la promenade fait environ 2 m de hauteur.

Selon le schéma présenté sur la figure 9.26, il faudrait prévoir environ 3 000 m³ de pierre de 0 à 500 kg pour réaliser la protection temporaire de la berge devant les étangs aérés. Le coût de cette intervention est estimé à 304 000 \$ (taxes en sus), tel que détaillé en annexe.

9.13.3 Évaluation environnementale

Le projet d'intervention d'urgence est normalement soumis comme tout projet sur le bord de l'eau à une évaluation environnementale qui, tout en étant relativement rapide dans un tel cas, pourrait prendre plusieurs semaines, le temps d'obtenir tous les avis et commentaires des autorités concernées. Il sera important pour la municipalité de démontrer l'urgence d'intervenir et la possibilité de rendre acceptables les impacts négatifs potentiels de l'intervention (identification et prise en compte lors de la conception, précautions lors des travaux, mesures de mitigation, etc.).

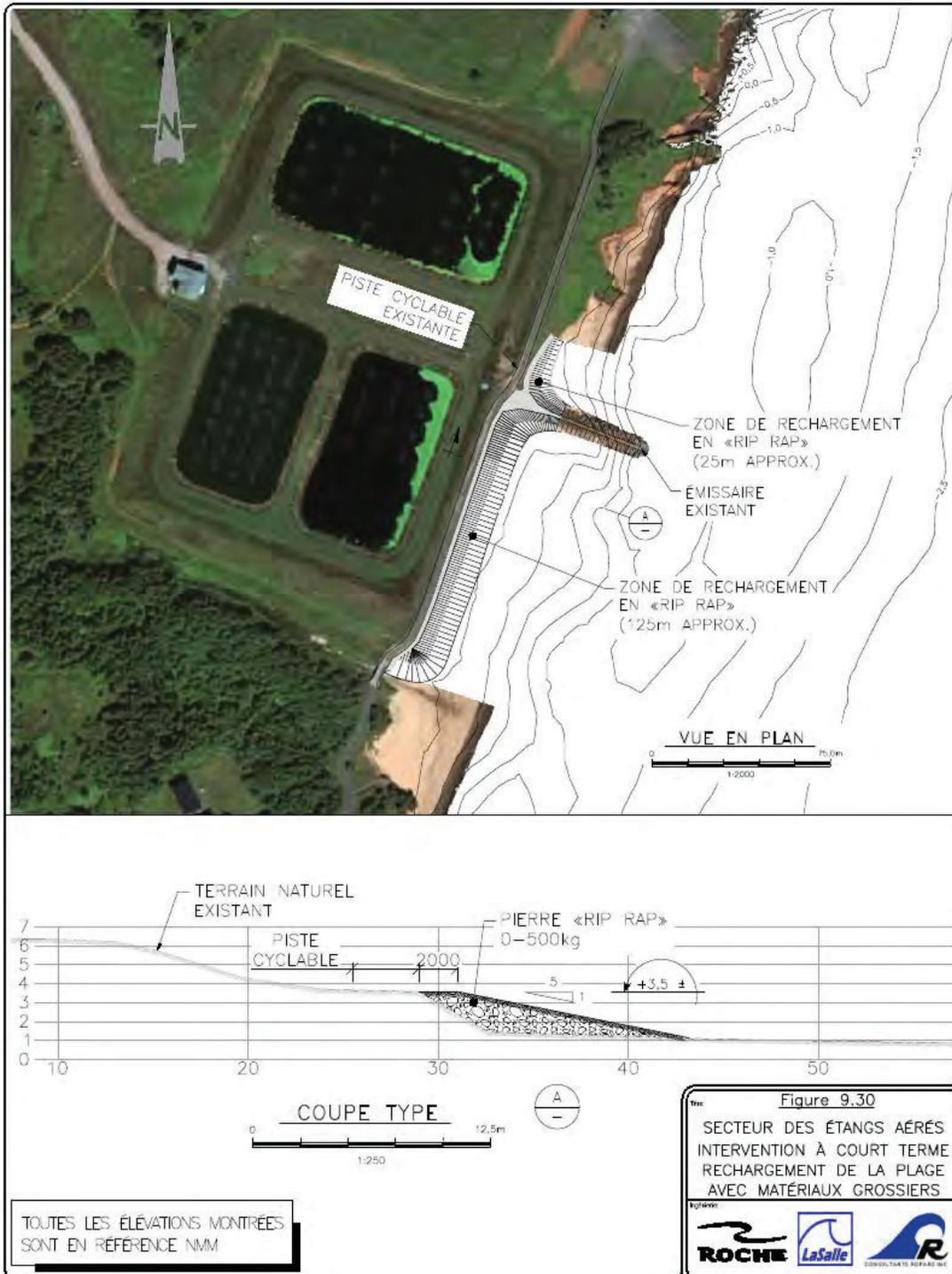


Figure 9.30 – Intervention à court terme - Rechargement de la plage avec matériaux grossiers

10. PROTECTION DE LA BERGE – SECTEUR DE GROS-CAP

10.1 Mécanisme d'érosion probable

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.

Enfin, la protection de certaines parties de la côte a empiré le déficit sédimentaire et probablement provoqué une baisse de l'élévation combinée à une réduction de la largeur des plages (comparaison des photos aériennes de 1963 et de 2010, surtout à l'extrémité sud de la plage de la garderie) ainsi qu'une intensification de l'action érosive des vagues de tempête.

Ces phénomènes déstabilisent des falaises constituées de matériaux relativement fragiles.

10.2 Protection en enrochement

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. Le transect critique pour le dimensionnement des enrochements est le transect GC8 pour lequel la profondeur de 1 m sous le NMM se présente en pied de falaise.

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. Pour les niveaux d'eau supérieurs à +0,8 m NMM, les vagues correspondantes ne sont pas limitées par le déferlement. Par contre, pour des niveaux d'eau inférieurs à +0,8 m NMM, la profondeur d'eau limite la hauteur de vague pouvant atteindre la protection en enrochement. Ce phénomène a été pris en compte dans l'évaluation de la hauteur maximale des vagues en vue du dimensionnement des enrochements ($H_s \text{ max} = 1,83 \text{ m}$) et dans la remontée de ces vagues sur l'enrochement pour en déterminer l'élévation de la crête.

Le graphique suivant présente les résultats du calcul de la remontée des vagues sur l'enrochement (runup à 10%). Selon ces résultats, il faudrait placer la crête d'un enrochement au pied des falaises de Gros-Cap à l'élévation +3,3 m NMM pour empêcher les vagues de le franchir en trop grande quantité.

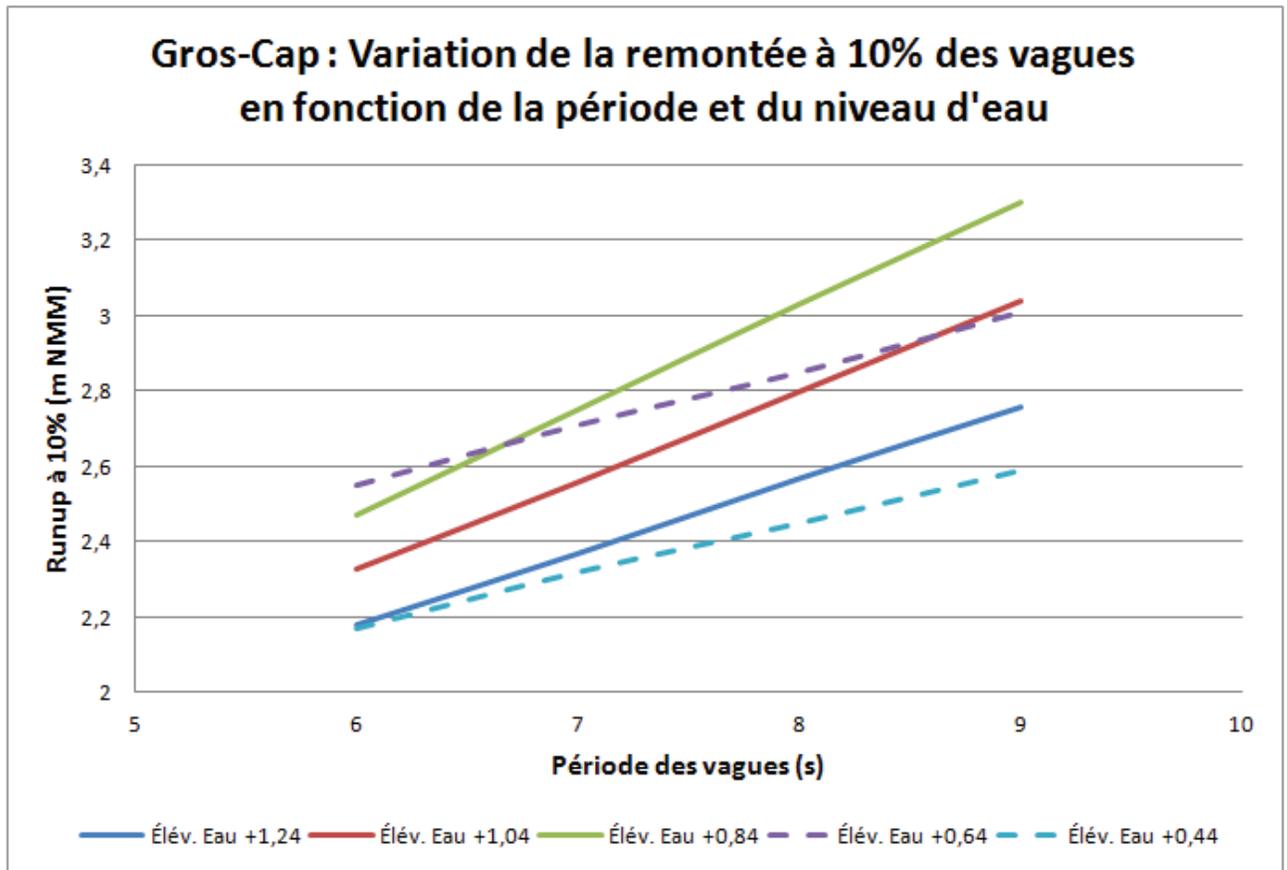


Figure 10.1 Remontée des vagues sur un enrochement à Gros-Cap

Une vérification de l'élévation optimale de la crête de l'enrochement a été faite à l'aide des formules de calcul du débit de franchissement. Deux équations proposées dans le Coastal Engineering Manual (C.E.M.) du U.S. Army Corps of Engineers ont été retenues pour réaliser la présente évaluation. Ce sont les équations de Bradbury-Allsop (1988) et Pedersen (1996). Les deux équations s'appliquent relativement bien au cas de la Baie de Plaisance. Elles présentent l'inconvénient d'être basées sur l'hypothèse selon laquelle les vagues ne sont pas limitées par la profondeur. Ceci n'est pas tout à fait le cas de la protection de berge de la Baie de Plaisance pour les houles de dimensionnement, ce qui pourrait induire des problèmes dans l'interprétation de certains résultats.

La valeur cible de franchissement de 1 l/s/m a été retenue (voir chapitre 9.2) compte tenu des incertitudes concernant les différents paramètres de dimensionnement (dont la combinaison vague / niveaux d'eau).

Les calculs de quantité de franchissement de la protection ont été faits pour différentes combinaisons de niveau d'eau, de hauteur et de période de vagues correspondant à la récurrence de 35 ans.

Les résultats de ces calculs apparaissent dans la figure suivante pour une crête placée à l'élévation +3,3 m NMM. Le pire cas de franchissement correspond à un niveau d'eau de +1,6 m ZC (0,84 m NMM) et à une période de pointe des vagues de 9 secondes.

Dans la légende de la figure, les abréviations « GC » correspondent à Gros-Cap, « BA » à Bradbury-Allsop, « P » à Pedersen et les chiffres 7, 8 et 9 à la période de pointe des vagues.

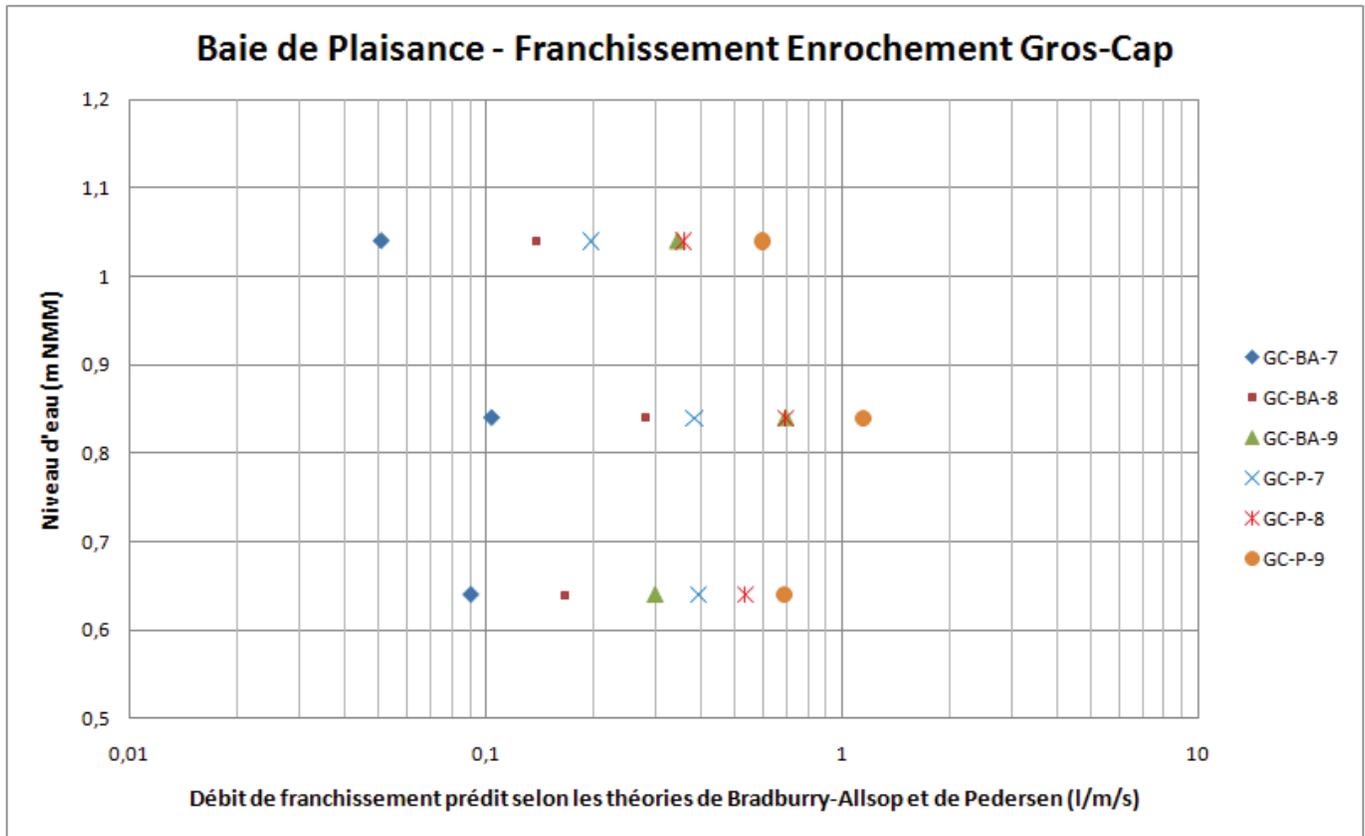


Figure 10.2 Débit de franchissement d'un enrochement dont la crête est à +3,3 m NMM

L'élévation de +3,3 m NMM a donc été retenue pour la crête de l'enrochement de protection de la zone de Gros-Cap. 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. Compte tenu des longueurs de falaise concernées par cette protection de berge et des bénéfices de l'optimisation du concept, ces essais en canal à houle sont recommandés lors de la phase de conception finale des ouvrages si cette solution est retenue.

Avec la vague de conception retenue ($H_s = 1,83$ m de hauteur), la formule de Hudson appliquée avec les paramètres suivants donne :

- Poids unitaire des enrochements : $2,6 \text{ t/m}^3$

- Poids unitaire de l'eau : 1,02 t/m³
- Pente de la structure : 3H / 2V
- Coefficient de stabilité des enrochements K_D (tronc, déferlant, S.P.M.84¹⁴) : 2,0
- Poids des unités de carapace calculé par la formule de Hudson : 1 à 2 tonnes

Cette pierre devrait être placée sur une épaisseur de 1,7 m et la crête devrait avoir une largeur minimale de 2,6 m. La pierre-filtre à installer sous cette carapace serait de la pierre de 100 à 200 kg sur une épaisseur de 0,8 m. La figure 10.3 illustre l'installation de cette protection en enrochement du pied de la falaise de Gros-Cap. 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.

Il est important de noter que la protection du pied des falaises à l'aide d'enrochement n'exclura qu'un type d'érosion de la falaise, soit celui provoqué par les vagues. Les autres types d'érosion (ruissellement, gélifraction, etc.) continueront à agir sur la face de la falaise jusqu'à ce que la pente de cette falaise soit assez douce pour permettre à la végétation de s'installer.

L'ancrage des pierres du pied de l'enrochement pose un problème qui ne pourra être résolu que suite à un relevé géotechnique détaillé des zones à protéger par enrochement. De nombreux affleurements rocheux apparaissent au pied des falaises (voir figures 9.6 et 9.7) et, même si c'est du sable qui se retrouve au pied de ces falaises, l'épaisseur de cette couche de sable pourrait être très mince. Des pierres de carapace directement posées sur du roc affleurant sont instables (voir figure 9.8), à cause des efforts provoqués par les vagues et les glaces. Il faut ancrer les premières pierres au pied de la pente pour s'assurer de 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 mise en place d'une butée au pied de l'enrochement. Les deux méthodes ajoutent des coûts relativement importants aux travaux. Pour les besoins de l'évaluation des coûts du concept de protection en enrochement, une tranchée de 1,2 m (environ un tiers dans les sédiments et deux tiers dans le roc) a été considérée, cette tranchée étant comblée à l'aide d'une butée de pied en pierres de carapace.

¹⁴ Shore Protection Manual 1984 – U.S. Army Corps of Engineers

Une particularité de la zone des falaises de Gros-Cap est la configuration parfois complexe du rivage, avec ses multiples criques et pointes. Il sera difficile de tenir compte de tous ces détours dans la réalisation des travaux de protection en enrochement, ce qui pourrait augmenter significativement les coûts actuellement prévisibles de cette solution de protection de berge. Les risques de réclamations lors des travaux (conditions géotechniques ou météorologiques particulières, dépassement des quantités prévues au contrat) sont jugés relativement élevés dans de telles conditions.

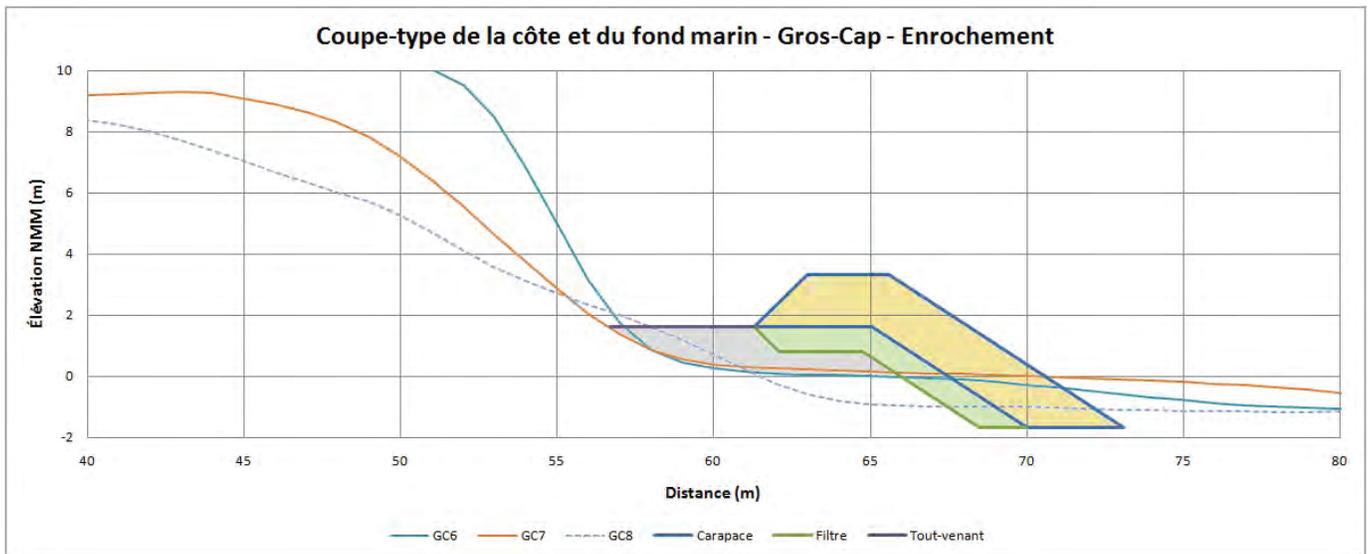


Figure 10.3 Coupe type d'une protection en enrochement à Gros-Cap

10.3 Consolidation des falaises avec du béton

La protection du pied des falaises à l'aide de béton devrait respecter les critères de l'enrochement en termes d'élévation de la crête du mur et de stabilité du pied. Étant donné l'étanchéité du béton et le fort coefficient de réflexion des vagues sur une telle protection, la remontée des vagues est légèrement plus forte et il faut prévoir que l'érosion en pied du mur sera plus intense.

L'ancrage du mur dans le roc dont sont constituées les 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.

Érosion côtière baie de Plaisance

Îles-de-la-Madeleine

De façon à dimensionner l'élévation de la crête du mur de béton à placer devant le pied des falaises de part et d'autre des étangs aérés, la formule de franchissement de Franco & Franco 1999 a été utilisée¹⁵. Le débit maximal de franchissement qui a été retenu pour le dimensionnement de cette crête de mur est de 2 l/s/m correspondant au début de dommage sur des enrochements. Étant donné la nature friable et sensible aux cycles de gel/dégel du roc dont sont constituées ces falaises, même ce débit important pourrait se révéler excessif.

La figure suivante illustre les calculs de franchissement pour une crête de mur située à +3,7 m NMM.

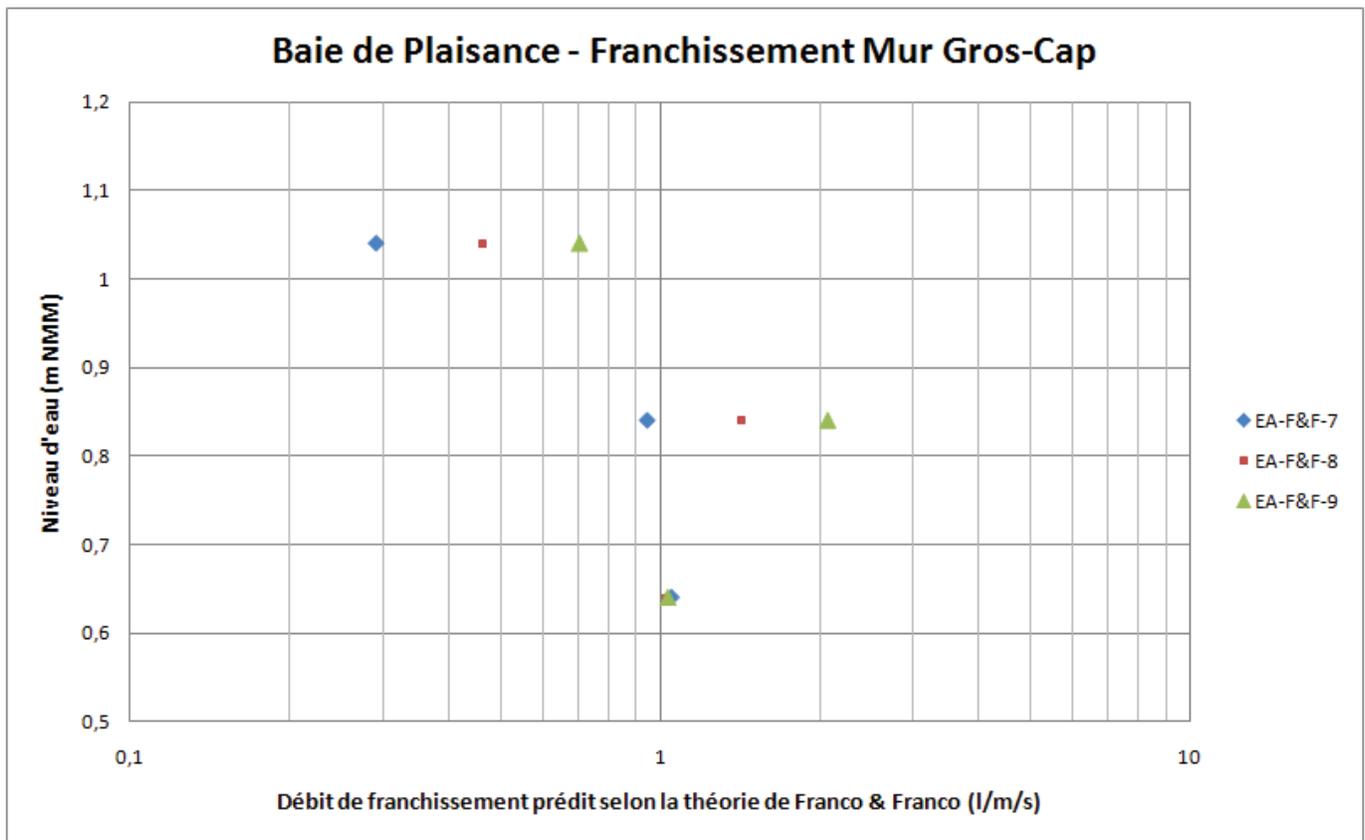


Figure 10.4 Débits de franchissement d'un mur dont la crête est située à +3,7 m NMM

La figure 10.5 illustre la coupe type d'une protection en béton armé placée au pied de la falaise de Gros-Cap.

La solution d'un confortement en béton du pied de la falaise sera difficile à mettre en œuvre et ne répondrait pas vraiment à des impératifs d'intégration esthétique de cette solution de confortement dans les falaises, à cause des contraintes techniques de durabilité, à moins de

¹⁵ Coastal Engineering Manual, U.S. Army Corps of Engineer, - Table VI-5-13 page VI-5-29

faire appel à des artistes qui travailleraient au niveau des formes pour donner une apparence plus naturelle à ce béton, ce qui pourrait faire exploser les coûts.

La durabilité d'un tel concept reste à démontrer et d'importants effets de bout pourraient apparaître aux extrémités des zones bétonnées. Il s'agit de plus d'un ouvrage complexe à réaliser dans l'eau à cause de l'exigence de durabilité de l'ouvrage qui implique que la fondation soit excavée dans le roc au pied de la falaise, sous le zéro des cartes marines, à la merci des intempéries.

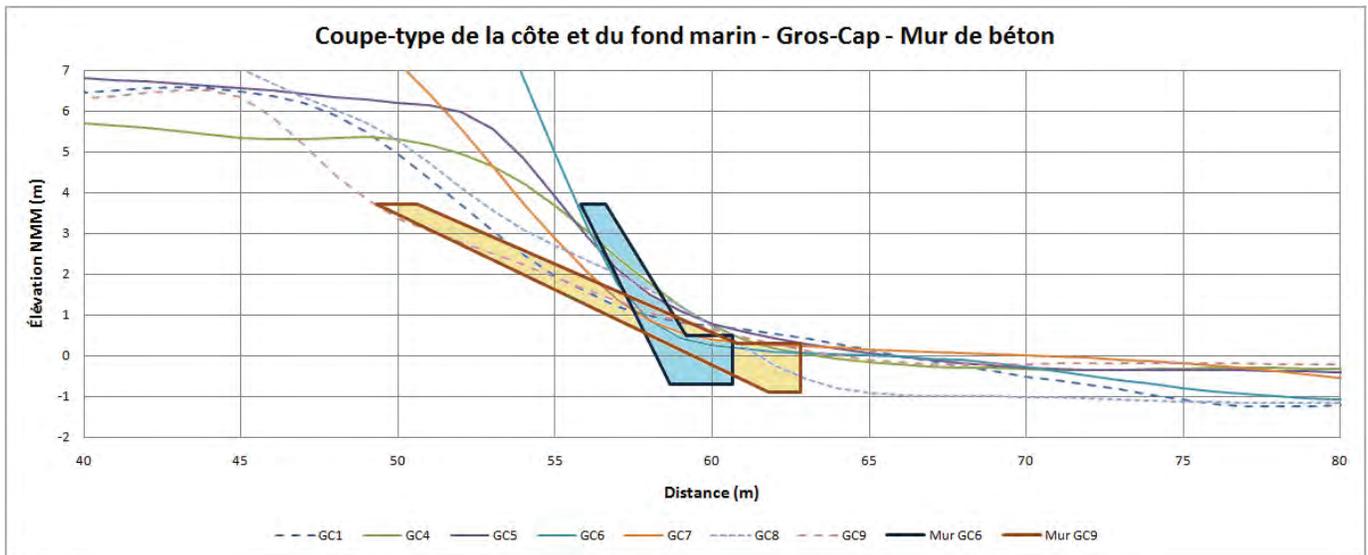


Figure 10.5 Coupe type d'une protection en béton armé du pied des falaises de Gros-Cap

10.4 Rechargement de plage

La stabilité d'une plage naturelle et d'un rechargement de plage a été évaluée à partir des indications du C.E.M. Pour le diamètre caractéristique des sédiments de la zone à l'étude (0,25 mm), le profil naturellement stable de la plage est reproduit sur les figures 10.6 et 10.7 pour la zone des falaises et celle de la plage de la Garderie.

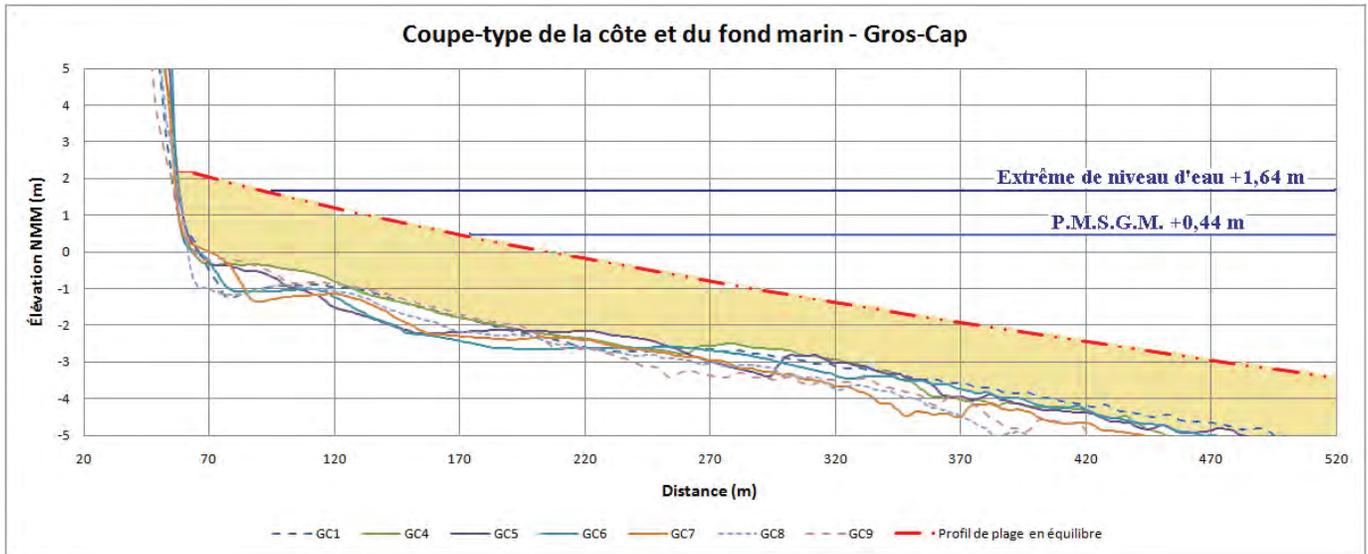


Figure 10.6 Coupe type d'une plage en équilibre devant les falaises de Gros-Cap

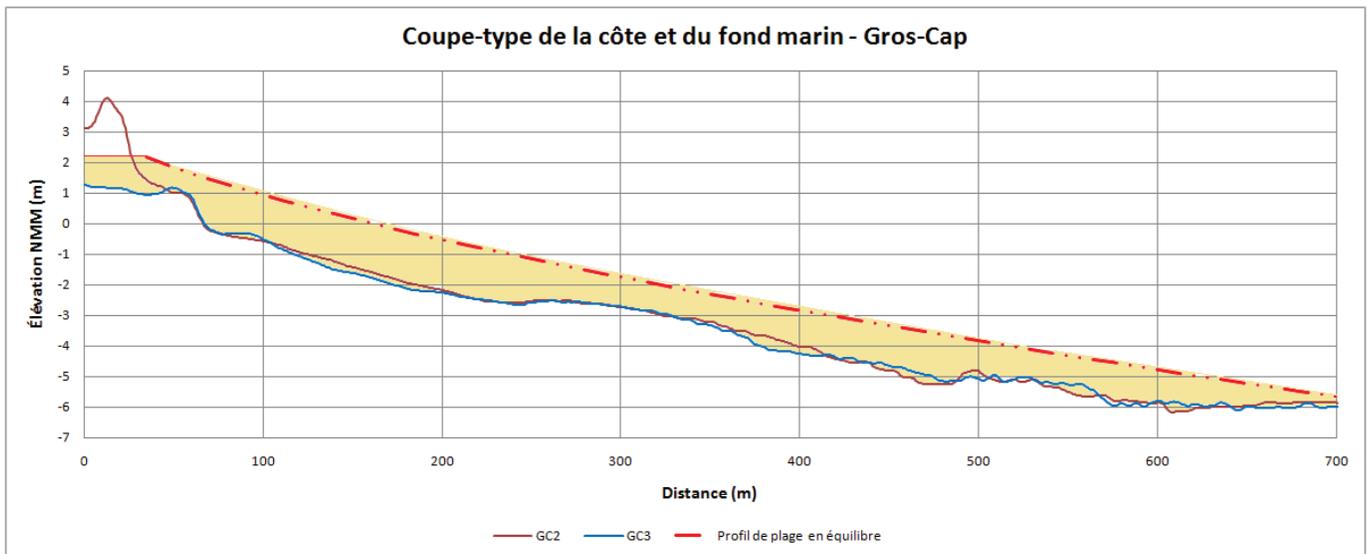


Figure 10.7 Coupe type d'une plage en équilibre au niveau de la plage de la Garderie

La partie supérieure de la plage a été placée à l'élévation +2,2 m NMM et la partie horizontale de cette partie de la plage 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 0,5 m de la plage par rapport aux niveaux d'eau extrêmes étant faible.

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.

Le C.E.M. donne certains moyens d'évaluer un peu plus précisément les caractéristiques que devrait avoir un rechargement de plage dans le cas de la plage de la Garderie. Pour commencer à avoir une intersection des profils de la plage « rechargée » et du fond naturel, il faudrait 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). Le diamètre caractéristique des sédiments dragués dans le havre de Cap-aux-Meules n'étant pas connu, il est difficile de recommander son utilisation dans ce cas.

Devant la plage de la Garderie, il faudrait envisager plus de 800 m³/m de sable pour recharger la plage (à condition d'être en mesure de retenir ce sable devant la plage sans butée de pied). Même avec ces volumes et un sable présentant un diamètre de 0,30 mm, la relation concernant le volume critique de sédiments n'est pas respectée, ce qui laisse entrevoir des problèmes de stabilité de ce rechargement. Les cartes de courants littoraux (chapitre 8) indiquent également un potentiel d'instabilité d'un tel rechargement de plage avec des courants induits par les tempêtes qui emportent les sédiments vers le large.

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 850 m³/m de sable de rechargement sur une largeur minimale de 350 m de plage, on parle de 300 000 m³ de sable plus grossier que le sable en place à installer uniquement devant 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, des épis intermédiaires 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. L'hypothèse de récurrence des rechargements de plage a été de placer 25% de la quantité initiale tous les 5 à 7 ans. Des études spécifiques devraient être entreprises pour confirmer ces hypothèses si cette solution est sérieusement envisagée.

10.5 Rechargement de plage avec butée de pied

La seule façon d'envisager un rechargement de plage devant la Garderie 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. Des épis seraient requis pour assurer la stabilité de la plage dans le sens parallèle 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 détruisent pas rapidement cette butée de pied. Par contre, plus on place cette butée dans profond d'eau, moins elle est efficace pour réduire la hauteur des vagues et plus il faut mettre de sable pour construire la plage suspendue.

La figure 10.8 illustre la coupe type d'un rechargement de plage sous la forme d'une « plage suspendue » dont le pied serait protégé par une butée qui pourrait être en enrochement ou en géotubes. Trois exemples de butée de pied sont illustrés, soit une butée dont la crête serait à +1,0 m NMM, une butée dont la crête serait au 0,0 m NMM et une butée dont la crête serait à -1,5 m NMM.

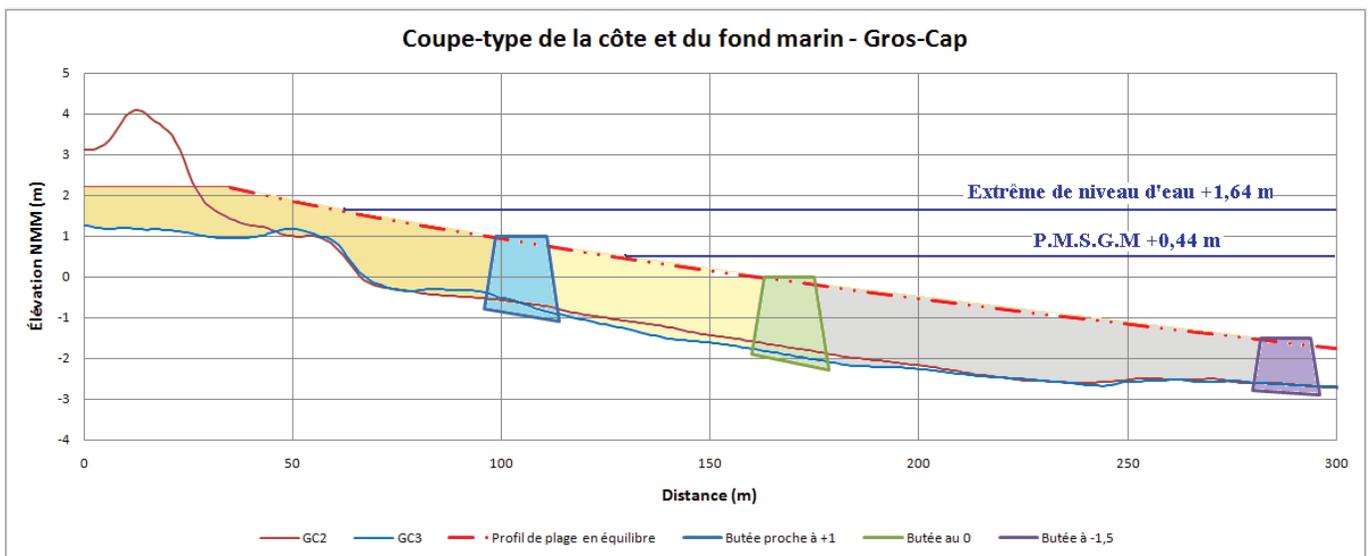


Figure 10.8 Coupe type d'une plage suspendue devant la plage de la Garderie

Pour garder le caractère esthétique d'une plage à 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 (la butée la plus éloignée du rivage sur la figure précédente). Ce dernier choix implique de placer environ 450 m³/m de sable de rechargement sur une largeur minimale de 250 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 devant la plage de la Garderie. L'hypothèse de récurrence des rechargements de plage a été de placer un quart de la quantité initiale tous les 5 à 7 ans. Des études spécifiques devraient être entreprises pour confirmer ces hypothèses si cette solution est sérieusement envisagée.

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'un chaland. À cause des contraintes mécaniques auxquelles sera

soumise cette pierre, il est requis d'aller la chercher à l'extérieur des îles de la Madeleine pour obtenir une qualité minimale des matériaux et une durabilité acceptable de l'ouvrage.

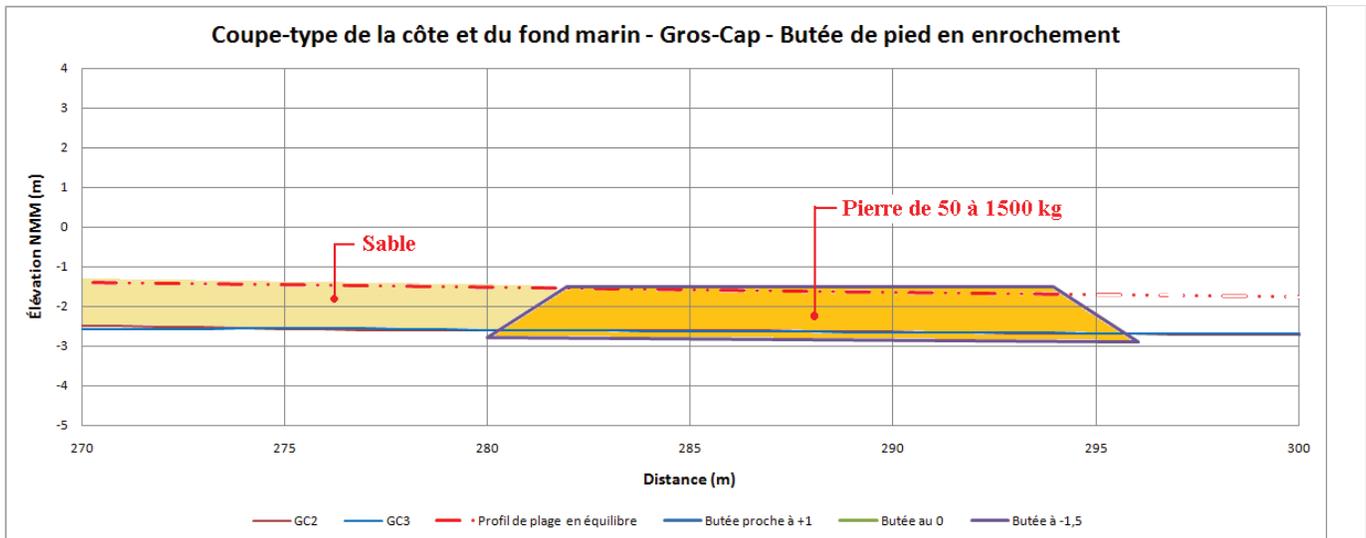


Figure 10.9 Coupe type d'une butée de pied de plage suspendue en enrochement à -1,5 m NMM

L'autre méthode de butée de pied de plage serait l'utilisation de géotubes remplis d'un sable qui pourrait être plus fin que le sable en place puisque contenu dans les géotubes. Le sable utilisé dans les géotubes pourrait provenir du dragage du havre de Cap-aux-Meules. Cette méthode a l'avantage d'utiliser du géotextile et du sable (disponible sur place alors que la pierre devra être importée). Par contre, ne serait-ce qu'à cause de la méthode de mise en place et des contraintes de vagues et de glace, il est difficilement envisageable de placer les géotubes avec la crête au niveau moyen des mers (sans parler du point de vue esthétique). Même une mise en place avec le dessus des géotubes à 1,5 m sous le NMM posera des défis logistiques et de sérieux risques en termes de durabilité. Des expériences de mise en place de géotubes au Mexique¹⁶ (voir figure 10.8) indiquent une fragilité potentielle du géotextile par rapport aux contraintes induites par les vagues. L'expérience des géotubes mis en place à Tuktoyaktuk (Nunavut) dans les années 80 ont clairement identifié le vandalisme et l'impact des débris flottants projetés par les vagues comme causes de la détérioration du géotextile. Enfin il reste l'inconnue que représentent les glaces dans le processus de dégradation des géotubes. Il sera donc indispensable de renforcer la membrane géotextile, soit en utilisant des fibres de Kevlar, soit en recouvrant le géotube d'un matelas de béton articulé. Même ces méthodes de protection des géotubes sont expérimentales, aucun exemple d'installation dans un environnement similaire n'ayant pu être trouvé. La figure 10.8 montre trois géotubes de 34 pieds (10,4 m) de circonférence placés côte à côte pour assurer une redondance à ce système relativement expérimental. Un tapis

¹⁶ <http://www.cenotes.com/save/Report.html>

antiaffouillement est prévu sous les géotubes. Il est possible que deux géotubes soient suffisants et la compagnie Tencate/Terratube considère la possibilité de n'en mettre qu'un seul. Une décision devra être prise quant au niveau de risque et à la durabilité acceptable d'un tel système.



Photo 38 8/09/07

After Hurricane Dean this geotube was found blanketing the reef, 100 meters from the shoreline.

Figure 10.10 Géotube endommagé suite à un ouragan à Riviera Maya (Mexique)

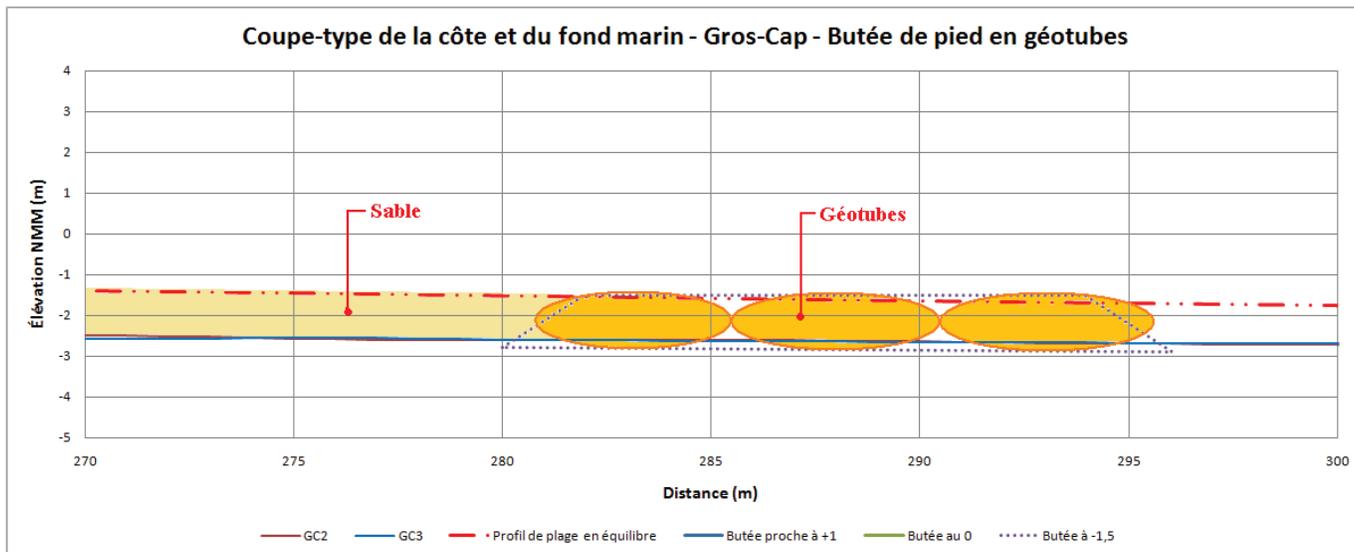


Figure 10.11 Coupe type d'une butée de pied de plage suspendue en géotubes à -1,5 m NMM

Du rechargement de plage ne peut donc raisonnablement s'envisager dans le cas du secteur de la Garderie qu'en parallèle à une protection en enrochement ou géotube du bas de plage (butée de pied de plage) parce que la géométrie de la plage et en particulier sa pente ne sont pas propices à une stabilité d'un rechargement en sable sans cette protection.

Dans le cadre de cette solution de plage suspendue, il faudra résoudre le problème du ruisseau qui arrive du côté sud de la plage de la Garderie et dont l'altitude est d'un mètre inférieure à celle de la crête de la plage préconisée. Cette ouverture pour laisser l'eau s'écouler de ce ruisseau permettra à l'eau de mer de passer de l'autre côté de la rive et d'inonder la route et des terrains si rien n'est fait pour y remédier. Il s'agit d'un obstacle potentiel à ce genre de solution de rechargement de plage.

La mise en place de ce rechargement de plage pourrait prendre les dimensions illustrées sur la figure 10.8 (cas de la butée en pierre au zéro NMM). Non seulement la butée de pied de plage devra être mise en place, mais il serait également nécessaire de placer des protections (en pierre et/ou géotubes) de part et d'autre de la zone rechargée en sable pour contenir ce sable latéralement et lui permettre de protéger le secteur de la plage de la Garderie à Gros-Cap. Il sera également nécessaire de prévoir des épis intermédiaires pour stabiliser les sédiments face au transport littoral. Il s'agirait d'un projet relativement traditionnel, même si en général ce genre de protection se fait sur un secteur plus étendu en longueur et dans un milieu moins déficitaire en sédiments. Des études spécifiques seront requises pour optimiser le concept et la position des épis de protection avant de passer à une éventuelle phase de réalisation.

10.6 Rechargement en bas de falaise avec des matériaux grossiers

Du rechargement de plage en tout-venant de carrière des Îles (rip-rap), en galets, en gravier ou en sable et gravier pourrait être plus intéressant que du rechargement en sable dans le secteur de Gros-Cap, à cause de la pente d'équilibre de la plage qui serait nettement plus raide que celle d'un sable (voir chapitres 9.6 et 9.11). Il y a cependant un problème de durabilité de ce rechargement, qui devrait idéalement provenir des Îles-de-la-Madeleine (distance de transport, retombées locales). Les matériaux en provenance des Îles étant très sensibles à la dégradation avec le temps, aux contraintes hydrodynamiques et à celles de gel/dégel, il est recommandé de bien documenter d'année en année les travaux temporaires de protection des étangs aérés pour obtenir une idée de la vitesse de dégradation de ces matériaux locaux. Ces matériaux grossiers locaux auraient l'avantage d'alimenter les plages adjacentes en sédiments identiques aux sédiments en place à travers leur processus de dégradation. Une étude de disponibilité de pierre de type « rip-rap » local ou de type galets importés devra également être réalisée.

La géométrie requise pour que cette protection de berge en matériaux grossiers soit efficace a été définie en fonction de la remontée des vagues sur une plage présentant une pente de 10 %. La crête de la plage devrait se trouver à l'élévation +2,4 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.

Le calcul de la grosseur de la pierre de type « rip-rap » à mettre en place a été effectué à l'aide de l'équation proposée par le C.E.M. (chapitre VI-5-3-7, page VI-5-84). Avec une vague déferlante de 1,83 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 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.

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 locaux a été de placer un quart 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.

Il a en particulier fallu faire une hypothèse sur la largeur de la crête de la protection en matériaux grossiers locaux. Il se pourrait que la largeur de 20 à 22 m retenue dans les calculs préliminaires soit trop pessimistes et qu'une largeur de 10 à 15 m soit suffisante pour assurer la protection de la rive, réduisant significativement les quantités de matériaux locaux requises dans ce genre de projet. 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.

La figure 10.12 illustre la coupe type proposée dans le cas d'une telle protection de berge dans le secteur des falaises de Gros-Cap. La pierre de rip-rap locale serait mise en place selon une géométrie relativement facile à obtenir pour l'entrepreneur avec des buteurs (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.

Les deux avantages de cette solution de protection de berge par rapport à l'enrochement traditionnel sont :

- l'absence d'exigence concernant la tranchée de stabilisation du pied (à creuser en grande partie dans le roc) et
- la grande flexibilité du concept dans le contexte d'une ligne de rivage présentant beaucoup d'irrégularités (criques et pointes).

Ces deux caractéristiques diminuent significativement le niveau de risque de cette solution en termes de coûts des travaux (difficulté de creuser le roc sous l'eau, à la merci des intempéries, moindre risque de réclamations résultant de conditions géotechniques ou météorologiques particulières, moindre risque de dépassement des quantités de matériaux initialement prévues).

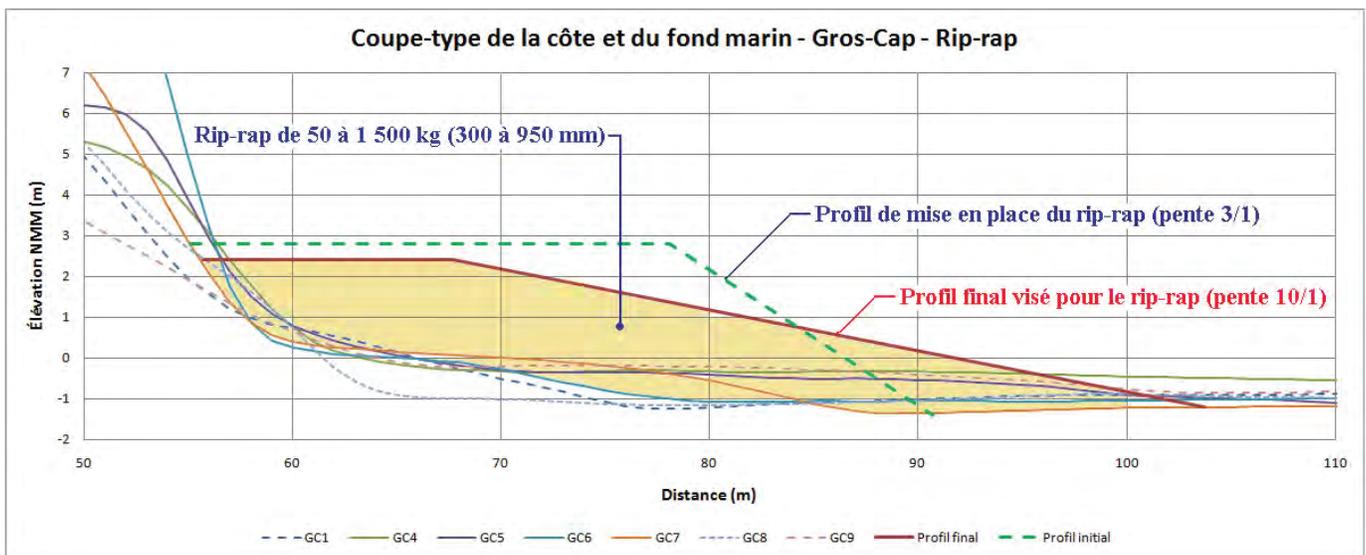


Figure 10.12 Coupe type d'une protection en matériaux grossiers devant les falaises de Gros-Cap

Un concept de plage de galets réalisé à l'aide de galets importés ayant une durabilité améliorée par rapport aux matériaux locaux requerrait nettement moins de matériaux à mettre en place et impliquerait potentiellement une diminution des coûts de ce type de projet par rapport au projet décrit ci-dessus utilisant des matériaux locaux (voir chapitre 9.8). 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 des plages de rip-rap ou galets à mettre en place pour protéger la côte.

10.7 Rechargement du haut de plage en matériaux grossiers

Un rechargement de haut de plage en tout-venant de carrière des Îles (rip-rap), 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 (distance de transport, retombées locales). Les matériaux en provenance des Îles étant très sensibles à la dégradation avec le temps, les contraintes hydrodynamiques et celles de gel/dégel, il est recommandé de bien documenter d'année en année les travaux temporaires de protection des étangs aérés pour obtenir une idée de la vitesse de dégradation de ces matériaux locaux. Bien que certaines données préliminaires aient pu être obtenues dans le cadre de la présente étude, une étude plus approfondie de disponibilité de pierre locale de type « rip-rap » ou de galets importés devra également être réalisée.

La géométrie requise pour que cette protection de berge en matériaux grossiers soit efficace a été définie en fonction de la remontée des vagues sur une plage présentant une pente de 10 %. La crête de la plage devrait se trouver à l'élévation +2,2 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.

Le calcul de la grosseur de la pierre de type « rip-rap » à mettre en place a été effectué à l'aide de l'équation proposée par le C.E.M. (chapitre VI-5-3-7, page VI-5-84). 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 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. Le sable utilisé sur le rip-rap pourrait provenir du dragage du havre de Cap-aux-Meules, à condition que ce sable présente une granulométrie qui ne soit pas trop fine et une qualité minimale (absence de contamination) dans le cadre de son utilisation comme plage accessible au public.

Ce concept de protection de berge s'apparente beaucoup plus 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 locaux a été de placer un quart de la quantité initiale tous les 15 ans. L'hypothèse de récurrence des rechargements en sable a été 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.

La figure suivante illustre la coupe type proposée dans le cas d'une telle protection de berge dans le secteur de la plage de la Garderie. La pierre de rip-rap locale pourrait être mise en place selon une géométrie relativement facile à obtenir pour l'entrepreneur avec des bouteurs (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. Par contre, s'il est requis de redonner sans délai une fonction récréative à la plage (travaux réalisés en début d'été), il serait préférable d'exiger de l'entrepreneur la mise en place des matériaux grossiers selon une pente plus douce que 3/1.

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.

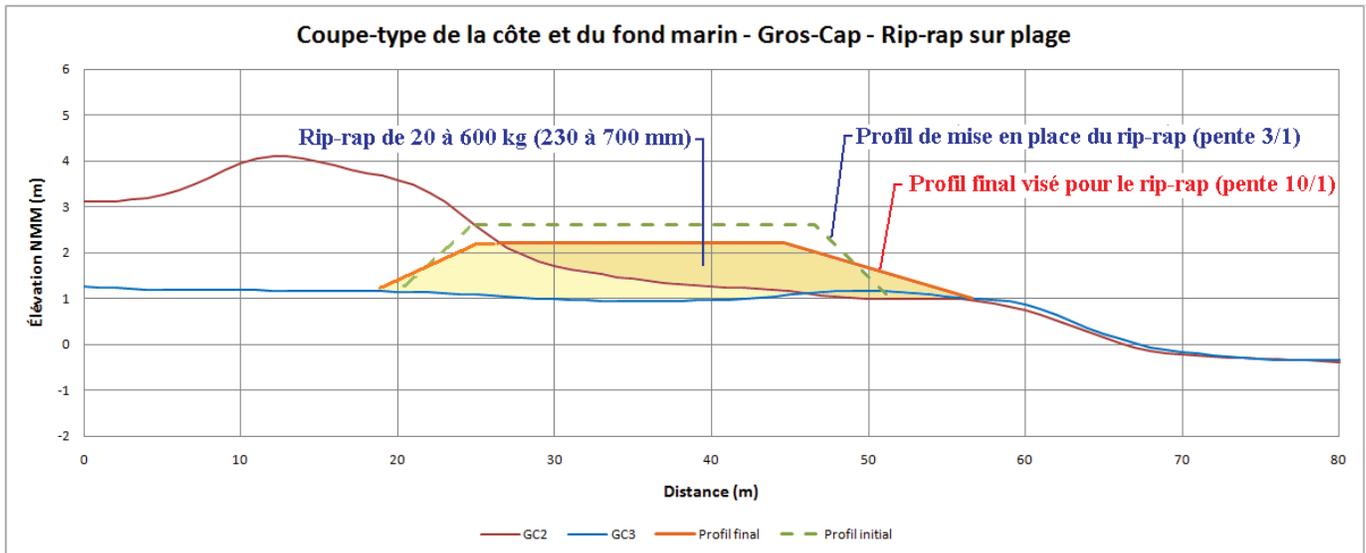


Figure 10.13 Coupe type d'une protection de berge en matériaux grossiers sur la plage de Gros-Cap

Un concept de noyau dur réalisé à l'aide de galets importés ayant une durabilité améliorée par rapport aux matériaux locaux requerrait nettement moins de matériaux grossiers à mettre en place contre la dune littorale de la plage de la Garderie et impliquerait potentiellement une diminution des coûts de ce type de projet par rapport au projet décrit ci-dessus utilisant des matériaux grossiers locaux. La taille du noyau destiné à résister aux événements exceptionnels serait moins grande, de même que les quantités de sable de recouvrement de ces galets. Ce projet serait aussi nettement plus facile à intégrer de façon esthétique au milieu que du rip-rap.

Dans tous les cas (matériaux locaux ou importés), des essais en modèle réduit seront recommandés pour finaliser la géométrie des plages de rip-rap ou galets à mettre en place pour protéger la plage de la Garderie.

10.8 Rechargement de plage avec épis

Du rechargement de plage avec épis sans butée de pied 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 expliquée dans les chapitres précédents. Le sable de recharge de plage placé entre les épis fuirait par l'extrémité la plus au large des épis et cette fuite de matériel risquerait de ne même pas servir de protection au rivage en aval.

Une autre raison de ne pas envisager l'utilisation d'épis pour retenir les sédiments est la trop faible quantité de sable qui semble circuler devant la plage de la Garderie avec 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 (voir chapitre 8). Une démonstration du peu d'intérêt de cette solution est faite par l'exutoire actuel des étangs aérés qui ne retient pas vraiment de sable, ni d'un côté, ni de l'autre des enrochements.

Par contre, ces épis perpendiculaires au rivage peuvent (et doivent probablement) être envisagés pour retenir une recharge de plage faite devant les côtes de Gros-Cap (avec butée de pied de plage).

De plus, une recharge de plage devant la plage de la Garderie pose le risque de réduire la capacité d'évacuation de l'eau en provenance du ruisseau situé au sud de la Garderie. Une façon de réduire ce risque serait de construire un épi au nord du ruisseau sur la plage pour assurer son écoulement en tout temps.

10.9 Brise-lames submersibles 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.

Le fait de viser un brise-lames submersible (dont la crête se trouverait au maximum au zéro des cartes marines) fait en sorte que ce brise-lames 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 tout à fait inefficace pour arrêter l'action érosive des vagues lors de ces très hauts niveaux d'eau. De plus, ce brise-lames se trouverait à une distance entre 150 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. Tout au plus verrait-on une certaine accumulation se produire immédiatement en amont du brise-lames, loin de la zone de marnage.

Il faudrait donc envisager des brise-lames partiellement submersibles (crête au niveau moyen de l'eau ou à +1 m NMM tels qu'illustrés sur la figure suivante). Ces brise-lames seraient donc visibles une grande partie du temps et seraient fortement sollicités par les vagues et surtout les glaces. De plus, ils retiendraient l'eau à marée basse, ce qui n'est en général pas recommandé par les biologistes à cause des impacts négatifs sur les organismes pris au piège de ces

Érosion côtière baie de Plaisance

accumulations d'eau (assèchement progressif, réchauffement de l'eau retenue, prédation par les oiseaux, etc.). Cette option n'a donc pas été retenue.

10.10 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.

Cette hypothèse touche tout particulièrement la route 199 à environ 1 km au sud du ruisseau de la plage de la Garderie. Si une protection de berge n'est pas mise en place bientôt, cette portion de route sera mise en danger par l'érosion et un déplacement de la route vers l'intérieur des terres sera requis.

10.11 Solutions en érosion 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 la protection à l'aide d'un **enrochement linéaire** (voir figures 10.14 et 10.15) ou la solution de **rechargement avec des matériaux grossiers** (rip-rap local ou galets importés) (figures 10.16 et 10.17 pour le rip-rap). La solution en enrochement serait du type « permanent » (35 ans de vie utile sans interventions majeures, à condition de s'assurer de la stabilité du pied de l'enrochement) alors que la solution en rip-rap extrait des carrières des îles de la Madeleine ou en galets importés de l'extérieur des îles serait une solution nécessitant des rechargements périodiques (à tous les 15 ans pour le rip-rap). 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 plage de galets n'a pas les inconvénients de la solution en enrochement linéaire, mais n'offre pas le bénéfice de la solution en rip-rap. Un autre inconvénient significatif de la solution de protection à l'aide d'un enrochement linéaire est le risque très important de réclamation en cours de travaux (géotechnique, tempêtes) et de dépassement de coûts alors que la solution de rechargement avec des matériaux grossiers ne comporte pratiquement aucun risque de cette nature.

Ces solutions devraient être modulées en fonction de l'importance des infrastructures à protéger (en particulier la route), le retrait ou l'absence d'intervention pouvant être des solutions nettement plus économiques 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 (figures 10.18 et 10.19) 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).

La solution d'un confortement en béton du pied de la falaise n'est pas vraiment une solution dans le cas de Gros-Cap. La durabilité d'un tel concept reste à démontrer et d'importants effets de bout pourraient apparaître aux extrémités des zones bétonnées. Il s'agit de plus d'un ouvrage complexe à réaliser dans l'eau à cause de la durabilité requise de l'ouvrage qui exige que la fondation soit excavée dans le roc au pied de la falaise sous le zéro des cartes marines.

La solution d'un brise-lames submersible au large de la côte n'est pas une solution « en soi » étant donné la faible efficacité d'un tel ouvrage à arrêter les processus d'érosion, à moins de placer la crête de ce brise-lames au niveau de la marée haute, ce qui aura un impact visuel très important.

Les estimations de coûts de ces trois solutions sont présentées en annexe. Elles se résument comme suit (taxes en sus) – la solution en plage de galets n'a pas pu être évaluée faute de modèle paramétrique permettant de la dimensionner :

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 \$	

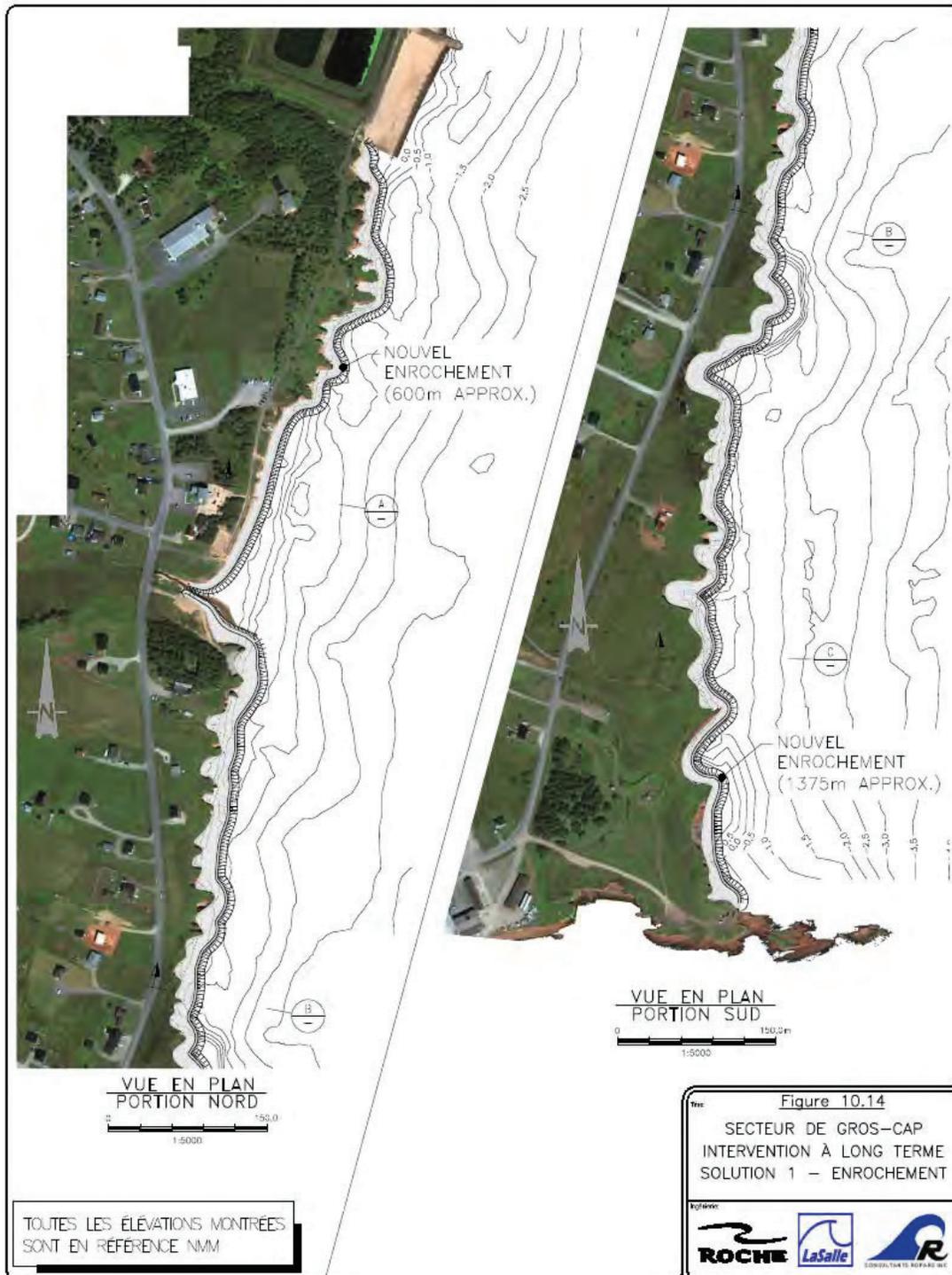


Figure 10.14 – Intervention à long terme – Solution 1 – Enrochement – Vue en plan

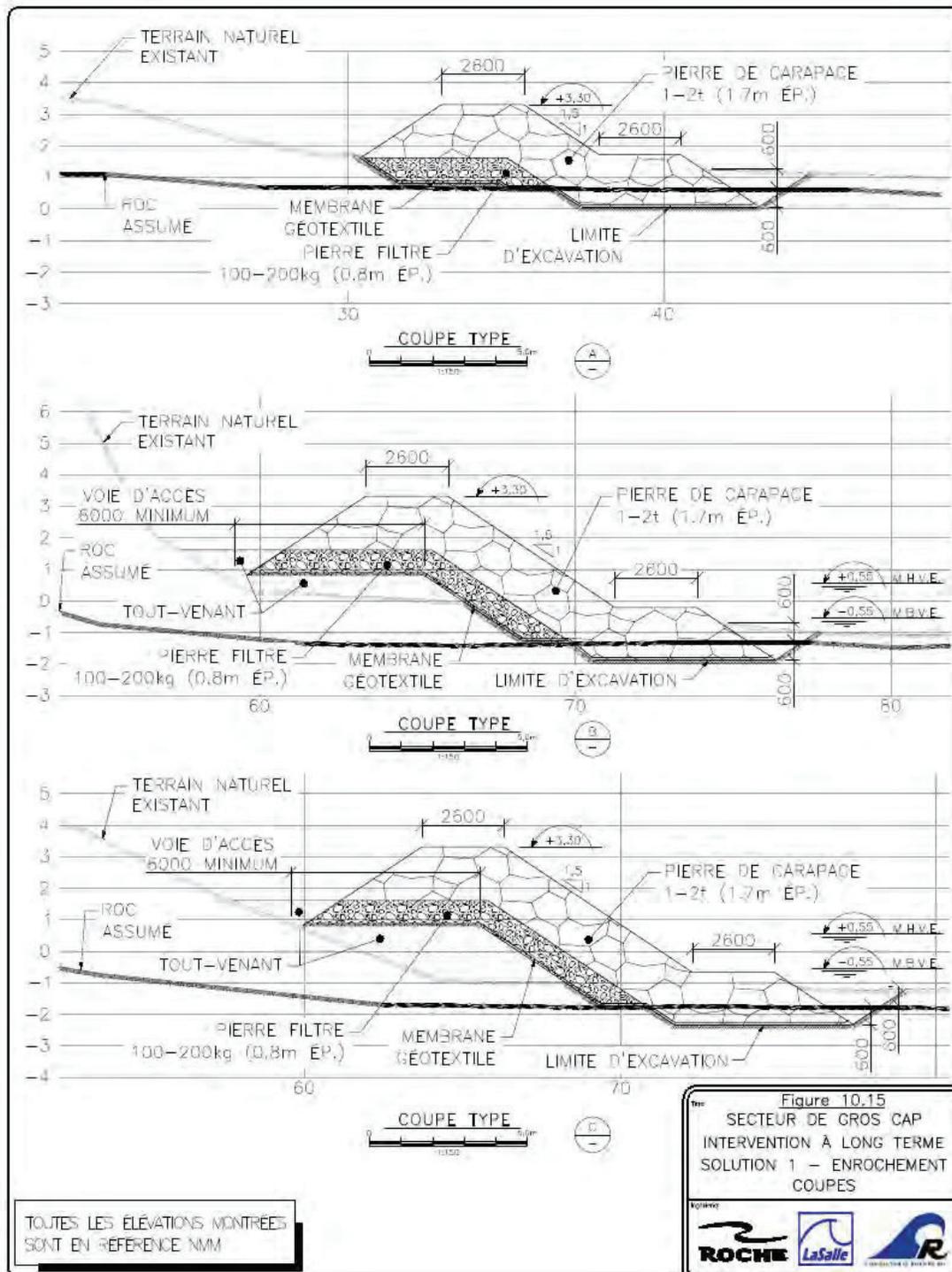


Figure 10.15 – Intervention à long terme – Solution 1 – Enrochement – Coupes types

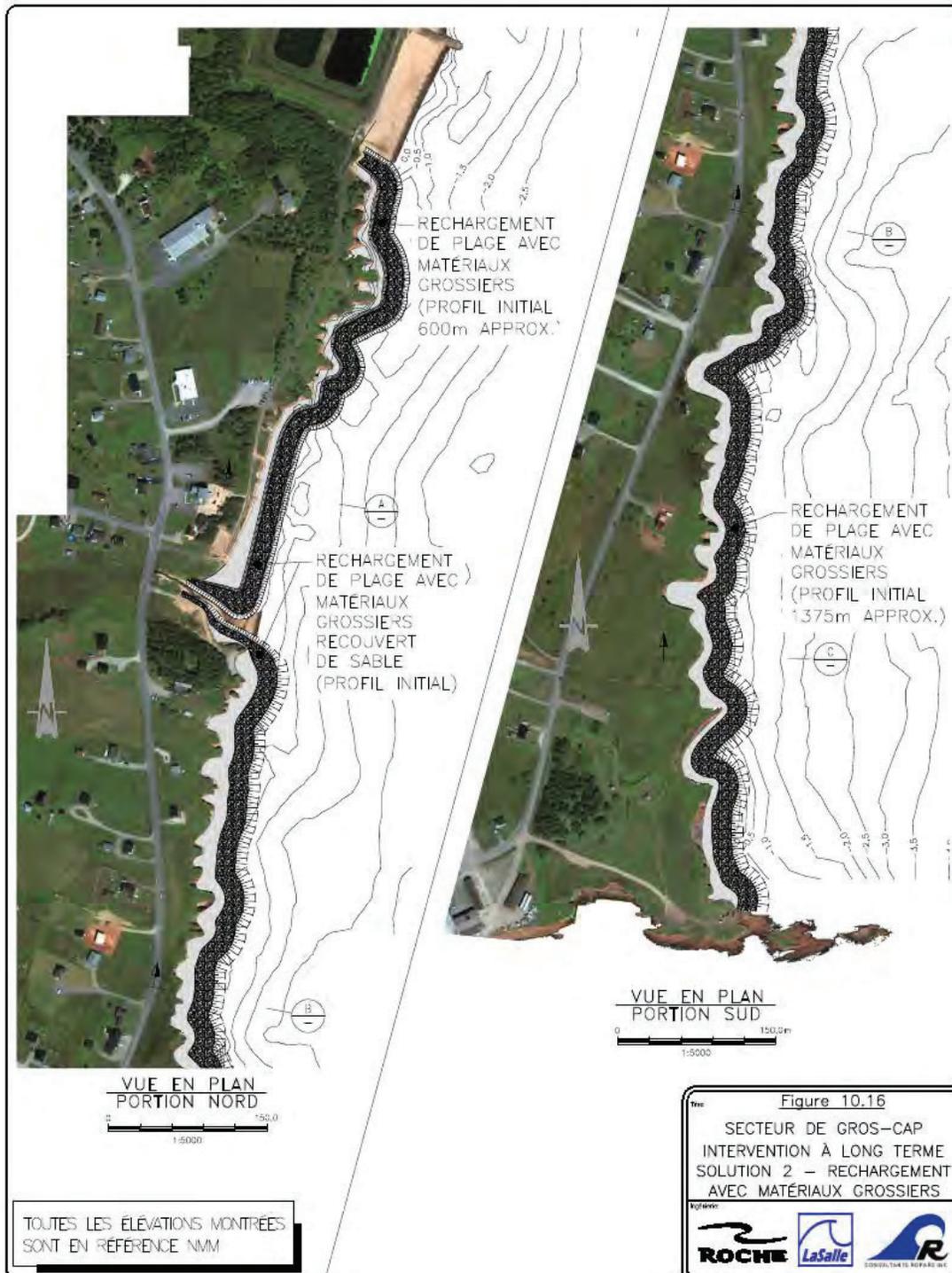


Figure 10.16 – Intervention à long terme – Solution 2 – Rechargement avec matériaux grossiers–
Vue en plan

Érosion côtière baie de Plaisance

Îles-de-la-Madeleine

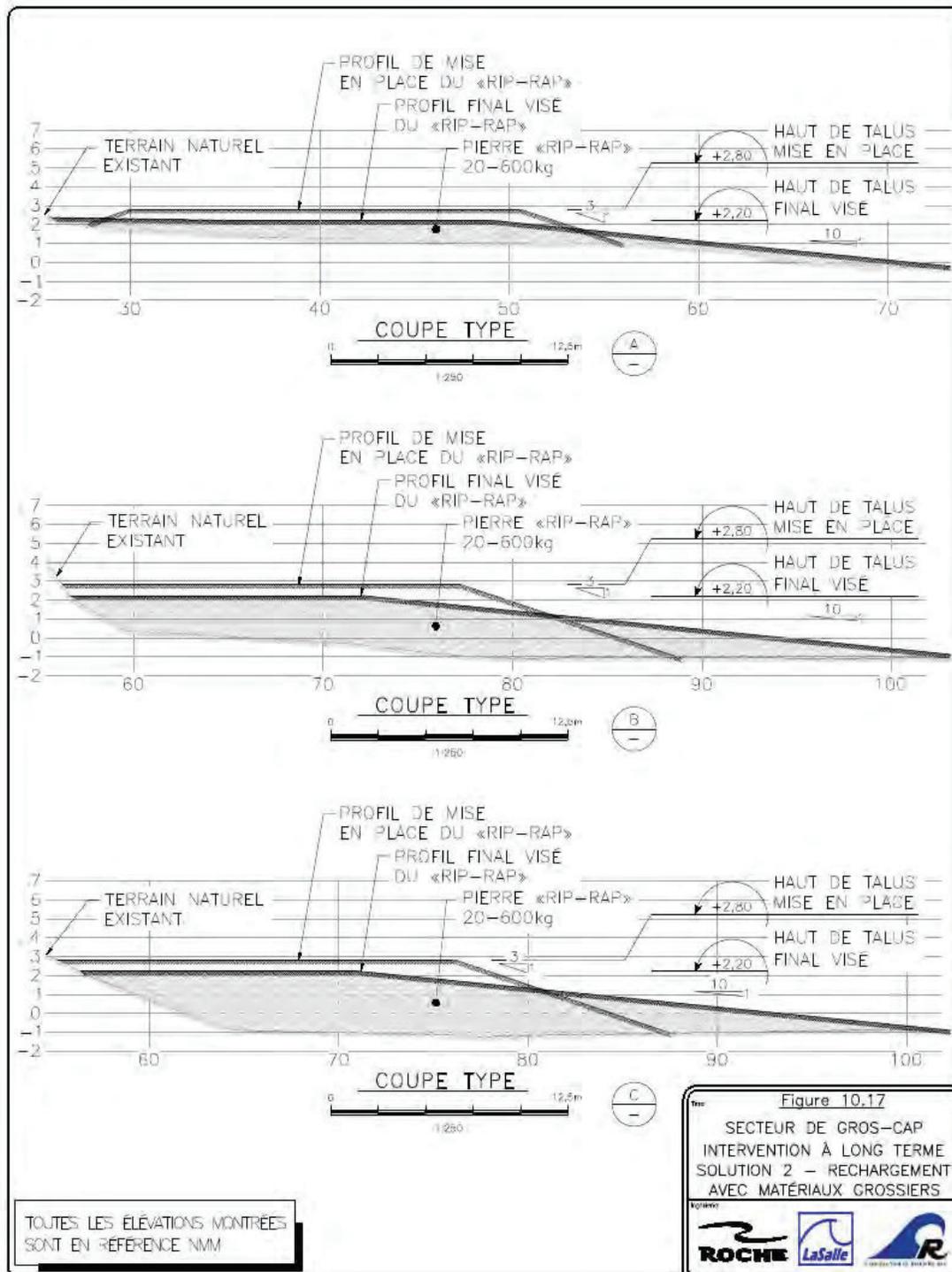


Figure 10.17 – Intervention à long terme – Solution 2 – Rechargement avec matériaux grossiers – Coupes types

Érosion côtière baie de Plaisance

Îles-de-la-Madeleine



Figure 10.18 – Intervention à long terme – Solution 3 – Rechargement de la plage avec butées–
Vue en plan

Érosion côtière baie de Plaisance

Îles-de-la-Madeleine

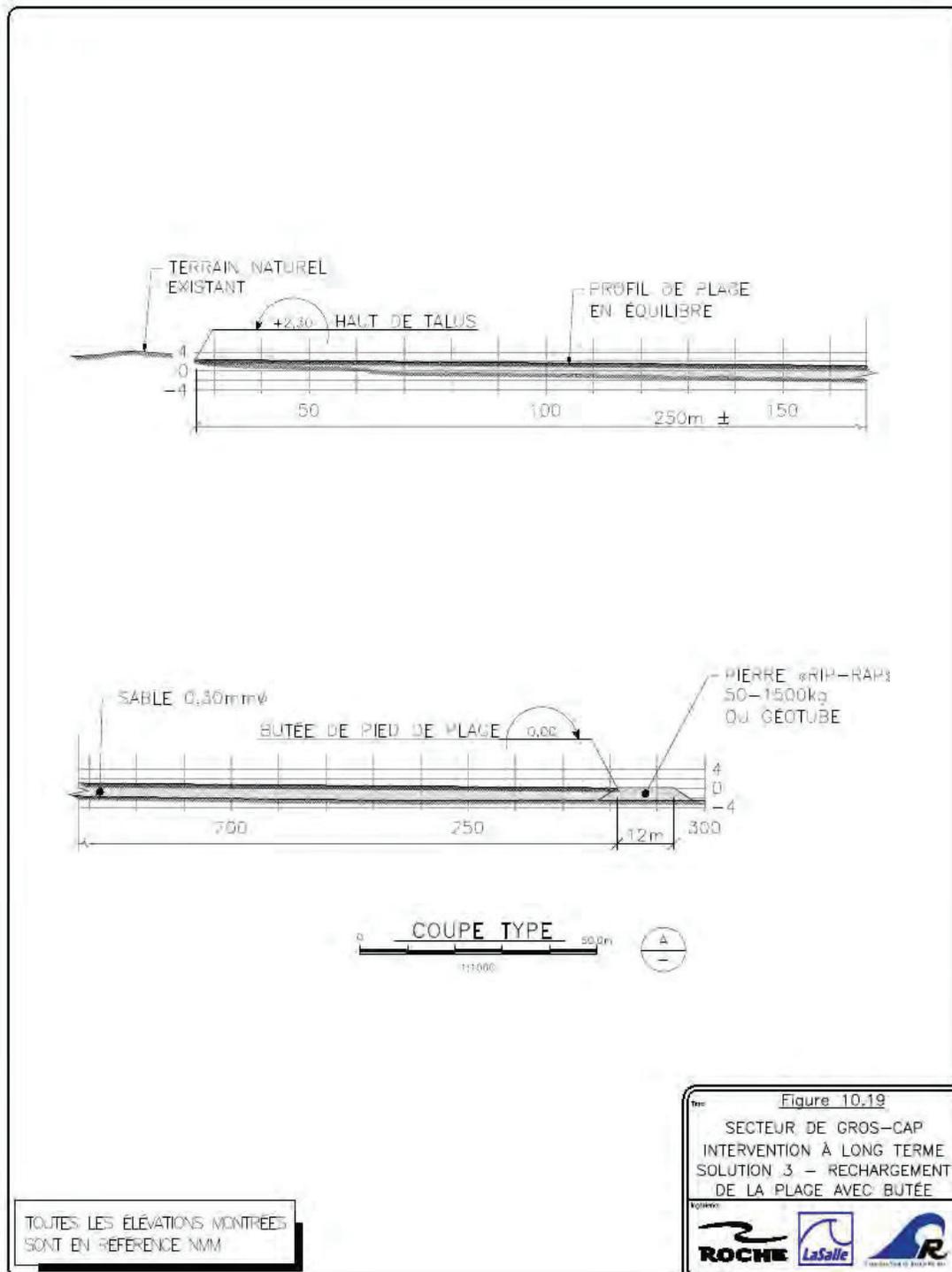


Figure 10.19 – Intervention à long terme – Solution 3 – Rechargement de la plage avec butées – Coupes types

Érosion côtière baie de Plaisance

Îles-de-la-Madeleine

11. PROTECTION DE LA BERGE – SECTEUR DE LA PLAGE DU CHEMIN DES CHALETS

11.1 Mécanisme d'érosion probable

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 de la plage du chemin des Chalets. D'après l'information bathymétrique disponible, la pente de la plage est très forte pour une plage de sable et un canal passerait au pied de cette plage (figure 11.1). Il se peut donc qu'un important transport de sable se produise parallèlement à la côte dans ce canal, ce qui expliquerait encore mieux les problématiques d'érosion de cette plage. Il serait important de valider cette information bathymétrique qui provient essentiellement d'anciennes données du SHC et non des relevés récents (LIDAR et CIDCO). Cette morphologie particulière de la plage pourrait provenir d'un relevé bathymétrique effectué peu de temps après une tempête du secteur est.

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 de l'un des secteurs les 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.

11.2 Protection en enrochement

La protection de la berge à l'aide d'enrochements s'est révélée une très mauvaise solution sur la plage de la Martinique. Appliquée selon les règles de l'art, cette solution consisterait à détruire l'ensemble de la plage de la Martinique en y installant un « mur de pierres » sur la plage.

Selon les calculs faits pour les autres secteurs, l'élévation de la crête de cet enrochement devrait se situer à environ +3,2 m NMM, ce qui correspond pratiquement à l'élévation du vestige de dune littorale se trouvant à l'extrémité sud-ouest de la plage ou à l'élévation du haut des fenêtres de la plupart des chalets.

Sans parler 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.

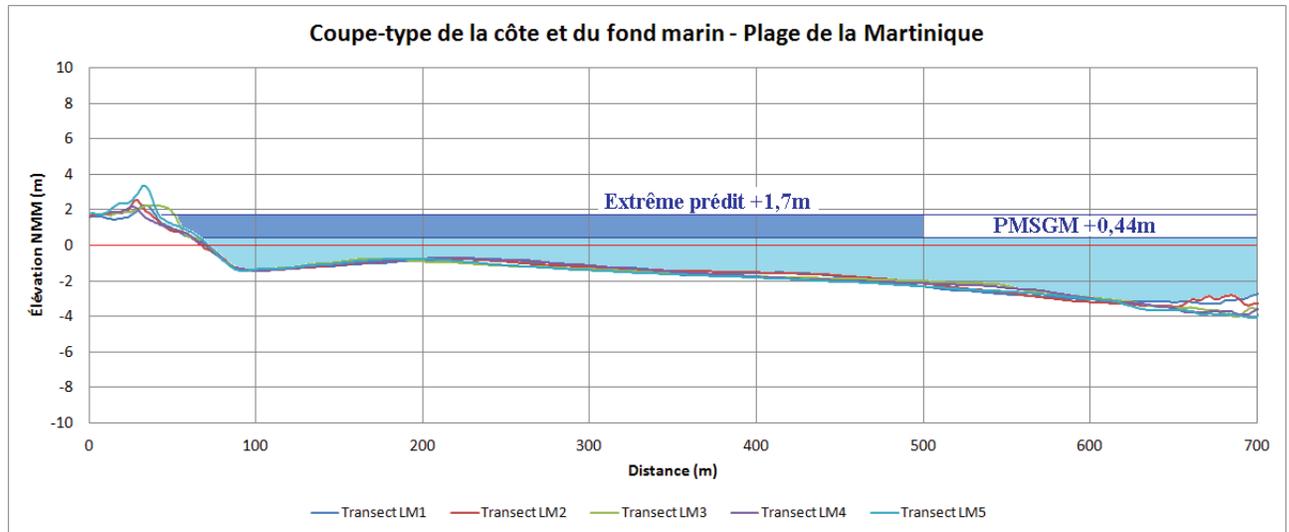


Figure 11.1 Coupe type de la plage de la Martinique

11.3 Rechargement de plage

Le rechargement de la plage de la Martinique semble, d'après la figure suivante, pouvoir s'envisager. Il impliquerait cependant des quantités de sable non négligeables (de l'ordre de $300 \text{ m}^3/\text{m}$) qu'il faudrait placer sur l'ensemble de la plage, y compris le secteur est, soit environ 900 m de longueur (rechargement initial d'environ $270\,000 \text{ m}^3$). Des rechargements récurrents seraient nécessaires pour maintenir la plage. L'hypothèse de récurrence des rechargements de plage a été de placer un quart de la quantité initiale tous les 5 à 7 ans. Des études spécifiques devraient être entreprises pour confirmer ces hypothèses si cette solution est sérieusement envisagée.

Mais le principal problème à résoudre avant de se lancer dans ce genre d'intervention serait de comprendre la raison de la présence de ce canal au pied de la plage et du transit littoral associé, sinon les travaux de rechargement risquent d'être réalisés en pure perte pour la plage. Il est presque acquis que des épis transversaux seront requis pour assurer un minimum de stabilité au rechargement de plage. Une étude approfondie devrait être réalisée pour définir le système d'épis qui correspondrait aux contraintes du système sédimentaire de la plage.

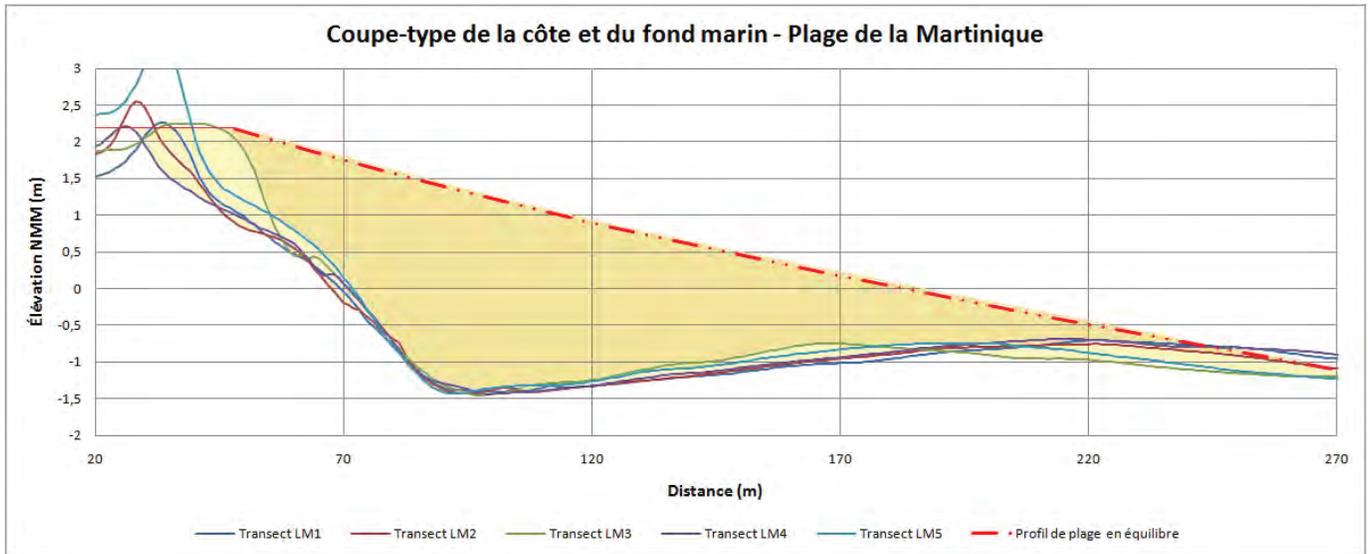


Figure 11.2 Coupe type d'une plage de la Martinique rechargée

11.4 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 exceptionnels¹⁷.

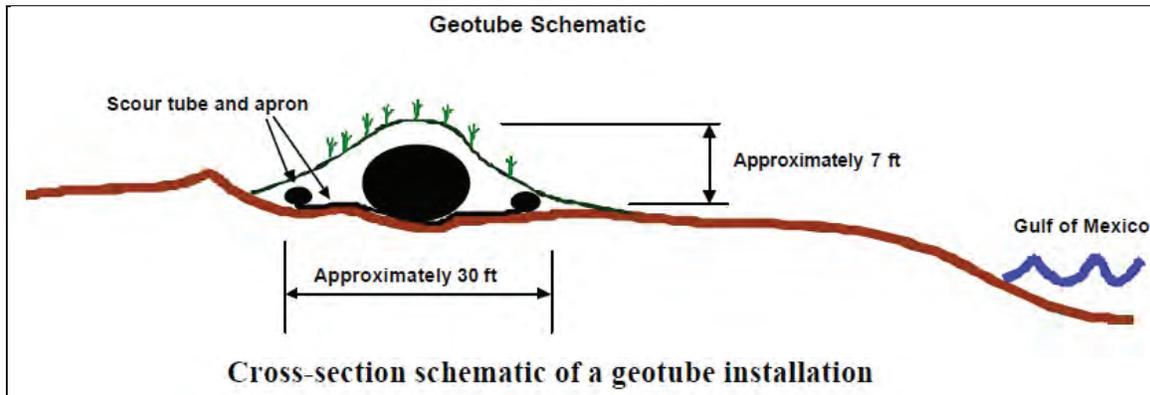


Figure 11.3 Exemple d'installation de géotube en haut de plage

Ce concept est pratiquement impossible à mettre en œuvre dans le cas de la plage de la Martinique 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

¹⁷ Guibeau, J. & al., "Geotubes for temporary erosion control and storm surge protection along the Gulf of Mexico shoreline of Texas", Proceedings of the 13th Biennial Coastal Zone Conference, Baltimore, MD. July 2003

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 n'enlèverait pas tout intérêt à cette solution.

11.5 Déplacement d'infrastructures et renaturalisation du secteur

Le déplacement ou le déménagement des résidences et de certaines infrastructures urbaines (route, services) devrait certainement être envisagé dans le cas de la plage de la Martinique, 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.

La renaturalisation de la plage passerait par un apport minimum de sable en haut de plage pour tenter de reconstituer la dune littorale (figure suivante). Des opérations récurrentes de rechargement seraient par la suite recommandées, sous forme de dépôt de sable en haut de plage à l'extrémité est de la plage, la circulation naturelle redistribuant ce sable sur l'ensemble de la plage.

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.

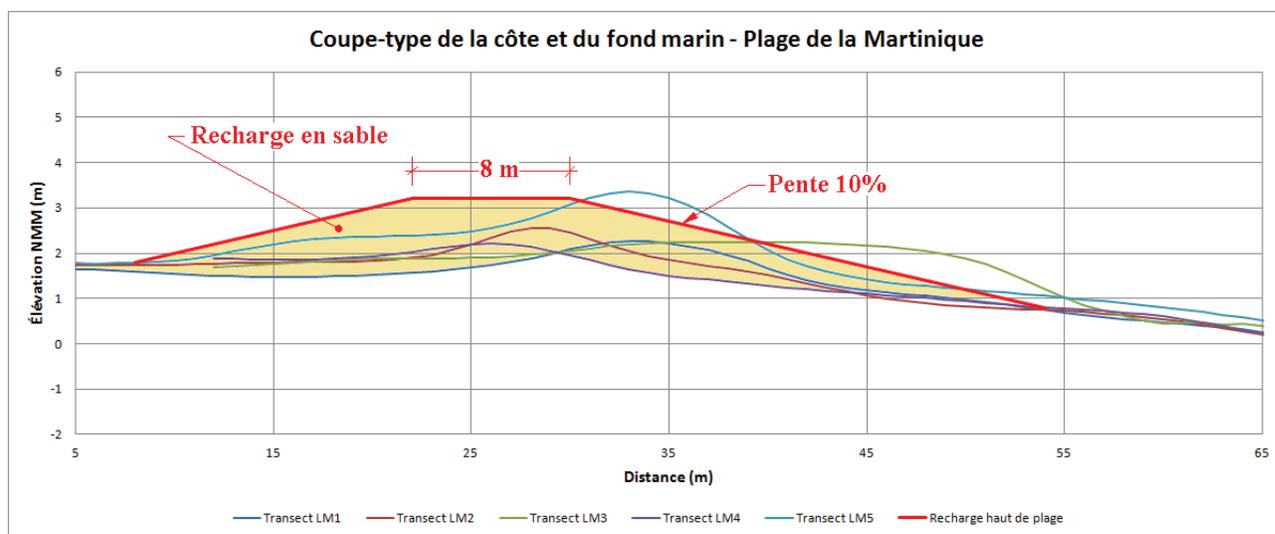


Figure 11.4 Principe de rechargement du haut de plage de la Martinique

11.6 Solutions en érosion pour la plage de la Martinique

La solution la plus évidente en matière de protection contre l'érosion de la plage de la Martinique est le **déménagement de l'ensemble des chalets**, si possible accompagné du **rechargement du haut de plage (Figure 11.5)**. Cette solution du déménagement et du rechargement partiel devrait s'accompagner d'un programme de restauration de la dune littorale (plantation, contrôle de la circulation) et d'un programme de recharge récurrente de l'extrémité est de la plage.

En ce qui concerne les coûts de ces interventions, la solution du déménagement des chalets ne peut être estimée dans le cadre de la présente étude, puisqu'elle nécessite une expertise totalement différente du génie côtier. De plus, il faudrait connaître le nombre exact de chalets impliqués, leur destination, le coût d'achat de nouveaux terrains, etc.

Le coût du rechargement de haut de plage a été évalué en fonction d'une restauration de 700 m de longueur, soit environ 20 000 m³ de sable à mettre en place en haut de plage.

La seconde solution consiste en un **rechargement de la plage, avec ajout d'épis de protection (7 requis)**. Cette solution est montrée à la figure 11.6 et son coût est détaillé en annexe. Ceci inclut les rechargements périodiques, puisque le système d'épis ne sera pas suffisamment efficace pour retenir en place le sable du rechargement initial. Cette hypothèse devrait toutefois être vérifiée par des analyses plus approfondies (notamment, modélisation physique en laboratoire d'hydraulique).

Une coordination de la solution retenue pour la plage avec celle retenue pour la Pointe de la Martinique devra être faite, sous peine de minimiser les bénéfices des solutions sélectionnées.

Le coût des différents projets est estimé comme suit :

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 \$ Rechargements périodiques : <u>8 710 000 \$</u> Coût total : 25 580 000 \$	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.

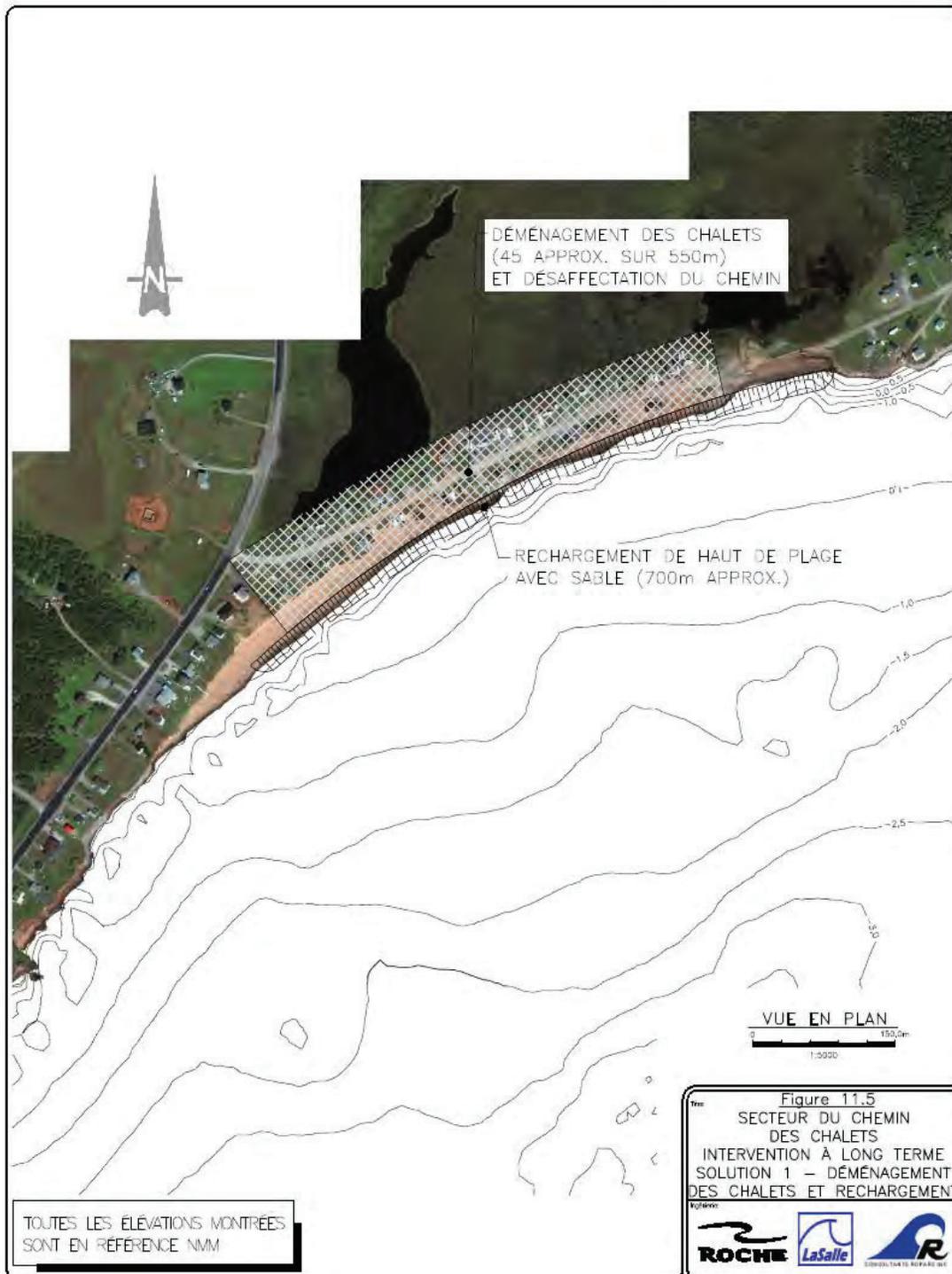


Figure 11.5 – Intervention à long terme – Solution 1 – Déménagement des chalets et rechargement

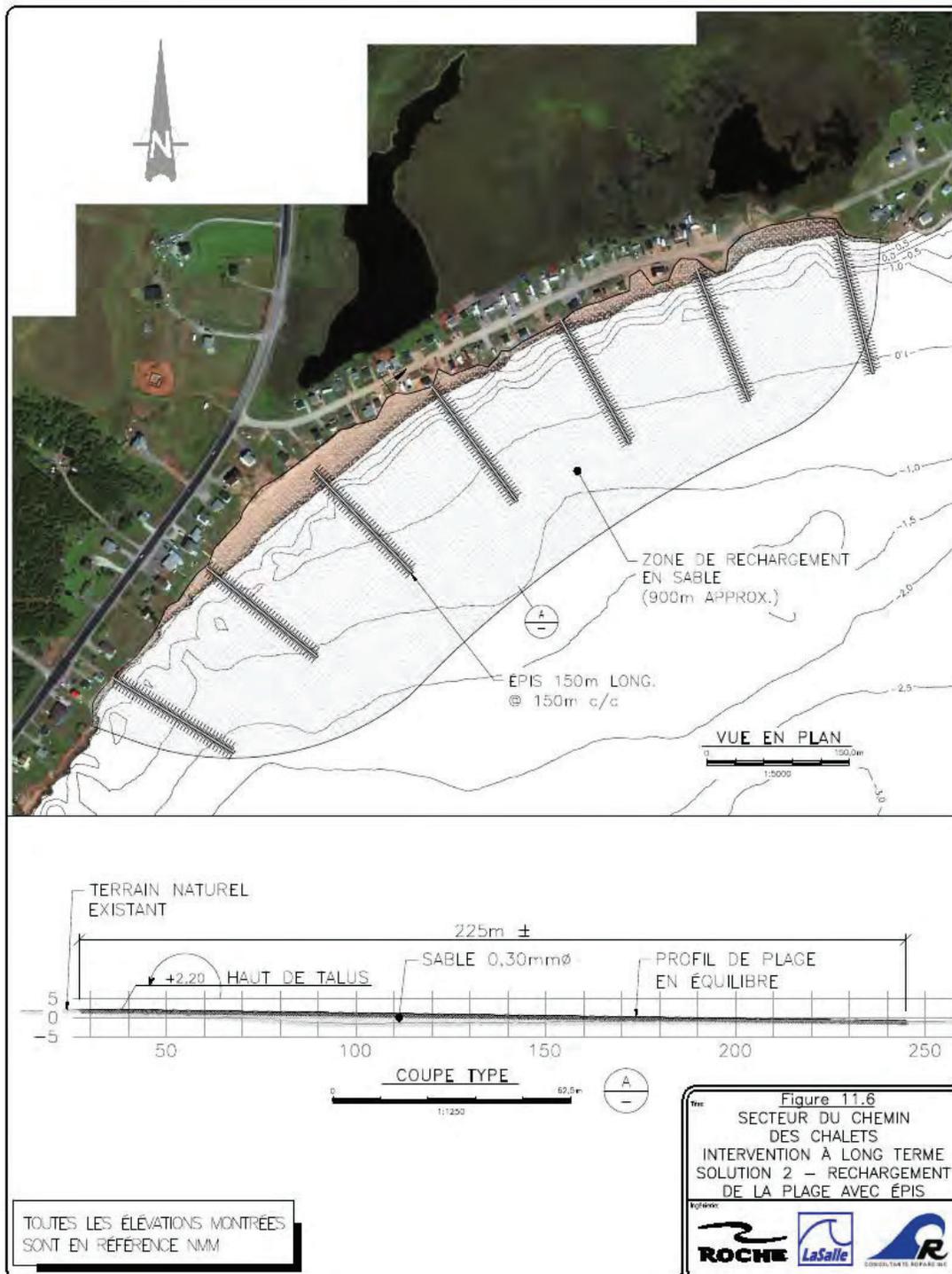


Figure 11.6 – Intervention à long terme – Solution 2 – Rechargement de la plage avec épis

12. PROTECTION DE LA BERGE – SECTEUR DE LA POINTE DE LA MARTINIQUE

12.1 Mécanisme d'érosion probable

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 courants littoraux violents qui se produisent devant cette pointe expliqueraient assez bien la sensibilité à l'érosion de ce secteur.

Une particularité de ce secteur est l'étendue des protections en enrochement qui ont accompagné le développement domiciliaire sur le haut de la falaise. Ces protections retirent du système des sédiments qui amélioreraient un peu la protection des falaises contre l'érosion en rehaussant le niveau de la plage au pied de ces falaises. Par contre, cet effet serait probablement très marginal par rapport aux phénomènes accompagnant la hausse des niveaux d'eau et la disparition des glaces. Les photos aériennes démontrent le caractère ancien du phénomène d'érosion des falaises de ce secteur. Les dernières décennies sont essentiellement caractérisées par l'accélération de l'érosion pour des raisons « naturelles » (si on oublie l'origine potentiellement anthropique de ces raisons – réchauffement climatique).

12.2 Protection en enrochement

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. Le transect critique pour le dimensionnement des enrochements est le transect LM12 pour lequel la profondeur de 1 m sous le NMM se présente devant le pied de la falaise.

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. Pour les niveaux d'eau supérieurs à +0,8 m NMM, les vagues correspondantes ne sont pas limitées par le déferlement. Par contre, pour des niveaux d'eau inférieurs à +0,8 m NMM, la profondeur d'eau limite la hauteur de vague pouvant atteindre la protection en enrochement. Ce phénomène a été pris en compte dans l'évaluation de la hauteur maximale des vagues en vue du dimensionnement des enrochements ($H_s \text{ max} = 1,79 \text{ m}$) et dans la remontée de ces vagues sur l'enrochement pour en déterminer l'élévation de la crête.

Le graphique suivant présente les résultats du calcul de la remontée des vagues sur l'enrochement (runup à 10%). Selon ces résultats, il faudrait placer la crête d'un enrochement au pied des falaises de la Pointe de la Martinique à l'élévation +3,1 m NMM pour empêcher les vagues de trop le franchir.

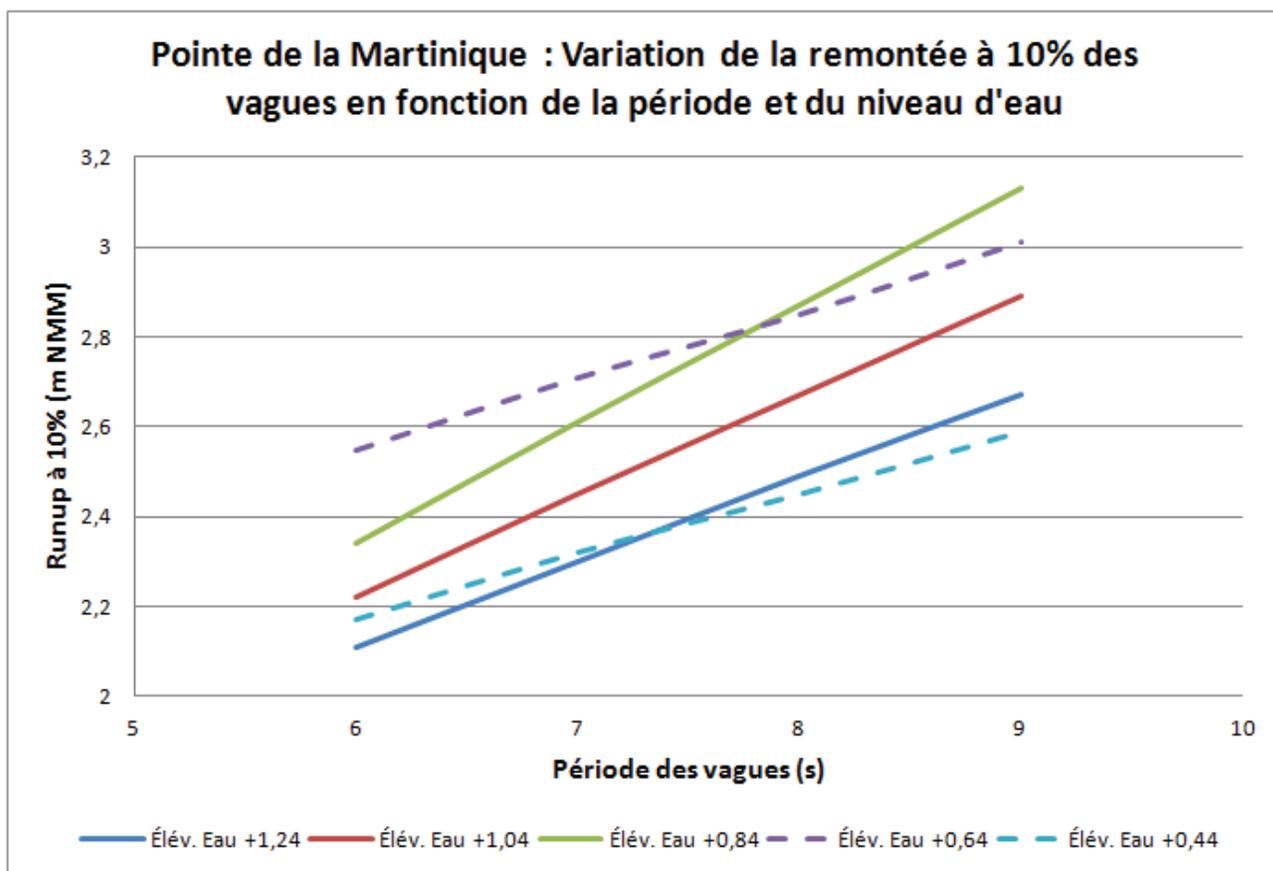


Figure 12.1 Remontée des vagues sur un enrochement à la Pointe de la Martinique

Une vérification de l'élévation optimale de la crête de l'enrochement a été faite à l'aide des formules de calcul du débit de franchissement. Deux équations proposées dans le Coastal Engineering Manual (C.E.M.) du U.S. Army Corps of Engineers ont été retenues pour réaliser la présente évaluation. Ce sont les équations de Bradbury-Allsop (1988) et Pedersen (1996). Les deux équations s'appliquent relativement bien au cas de la Baie de Plaisance. Elles présentent l'inconvénient d'être basées sur l'hypothèse selon laquelle les vagues ne sont pas limitées par la profondeur. Ceci n'est pas tout à fait le cas de la protection de berge de la Baie de Plaisance pour les houles de dimensionnement, ce qui pourrait induire des problèmes dans l'interprétation de certains résultats.

La valeur cible de franchissement de 1 l/s/m a été retenue (voir chapitre 12.2) compte tenu des incertitudes concernant les différents paramètres de dimensionnement (dont la combinaison vague / niveaux d'eau).

Les calculs de quantité de franchissement de la protection ont été faits pour différentes combinaisons de niveau d'eau, de hauteur et de période de vagues correspondant à la récurrence de 35 ans.

Les résultats de ces calculs apparaissent dans la figure suivante pour une crête placée à l'élévation +3,2 m NMM. Le pire cas de franchissement correspond à un niveau d'eau de +1,6 m ZC (0,84 m NMM) et à une période de pointe des vagues de 9 secondes.

Dans la légende de la figure, les abréviations « LM » correspondent à La Martinique, « BA » à Bradbury-Allsop, « P » à Pedersen et les chiffres 7, 8 et 9 à la période de pointe des vagues.

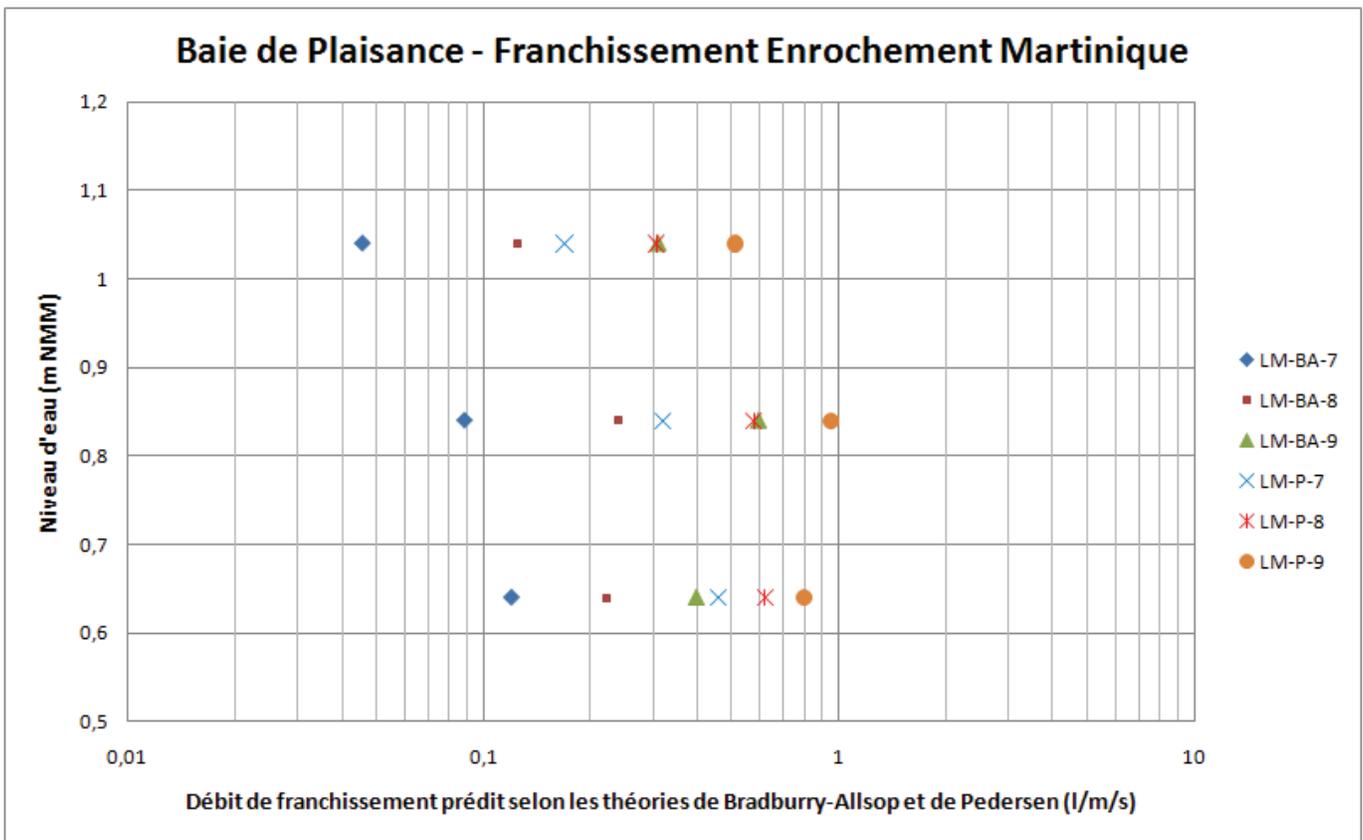


Figure 12.2 Débit de franchissement d'un enrochement dont la crête est à +3,2 m NMM

L'élévation de +3,2 m NMM a donc été retenue pour la crête de l'enrochement de protection de la zone de la Pointe de la Martinique. 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.

Avec la vague de conception retenue ($H_s = 1,79$ m de hauteur), la formule de Hudson appliquée avec les paramètres suivants donne :

- Poids unitaire des enrochements : $2,6 \text{ t/m}^3$
- Poids unitaire de l'eau : $1,02 \text{ t/m}^3$
- Pente de la structure : $3H / 2V$
- Coefficient de stabilité des enrochements K_D (tronc, déferlant, S.P.M.84¹⁸) : 2,0
- Poids des unités de carapace calculé par la formule de Hudson : **1 à 2 tonnes**

Cette pierre devrait être placée sur une épaisseur de 1,7 m et la crête devrait avoir une largeur minimale de 2,6 m. La pierre-filtre à installer sous cette carapace serait de la pierre de 100 à 200 kg sur une épaisseur de 0,8 m. La figure suivante illustre l'installation de cette protection en enrochement du pied de la falaise de la Pointe de la Martinique. 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.

Une problématique qui se retrouve dans tous les secteurs de falaise à l'étude, mais qui est encore plus aigüe dans le cas de la Pointe de la Martinique est la quasi-absence de sédiments au pied des falaises. Sans investigations géotechniques en bonne et due forme, on s'attend à ne retrouver au pied des falaises qu'une mince couche (au plus quelques décimètres) de sédiments. La solution illustrée dans la figure suivante, soit le creusage d'une tranchée pour stabiliser le pied de l'enrochement, risque d'être difficile et onéreuse à réaliser. Une alternative serait de protéger cet enrochement à l'aide d'une butée de pied. Par contre, même cette butée de pied devra être sécurisée, ce qui entraînera un minimum d'excavation dans le roc, car des pierres de carapace directement posées sur du roc affleurant sont instables (voir photo 9.8), à cause des efforts provoqués par les vagues et les glaces. Pour les besoins de l'évaluation des coûts du concept de protection en enrochement, une tranchée de 1,2 m (environ un dixième dans les sédiments et le reste dans le roc) a été considérée, cette tranchée étant comblée à l'aide d'une butée de pied en pierres de carapace.

Une particularité de la zone des falaises de la pointe de la Martinique est la configuration parfois complexe du rivage, avec ses multiples criques et pointes. Il sera difficile de tenir compte de tous ces détours dans la réalisation des travaux de protection en enrochement, ce qui pourrait augmenter significativement les coûts actuellement prévisibles pour ce type de protection de berge. Les risques de réclamations lors des travaux (conditions géotechniques ou météorologiques particulières, dépassement des quantités prévues au contrat) sont jugés relativement élevés dans de telles conditions.

¹⁸ Shore Protection Manual 1984 – U.S. Army Corps of Engineers

Il est important de noter que la protection du pied des falaises à l'aide d'enrochement n'exclura qu'un type d'érosion de la falaise, soit celui provoqué par les vagues. Les autres types d'érosion (ruissellement, gélifraction, etc.) continueront à agir sur la face de la falaise jusqu'à ce que la pente de cette falaise soit assez douce pour permettre à la végétation de s'installer.

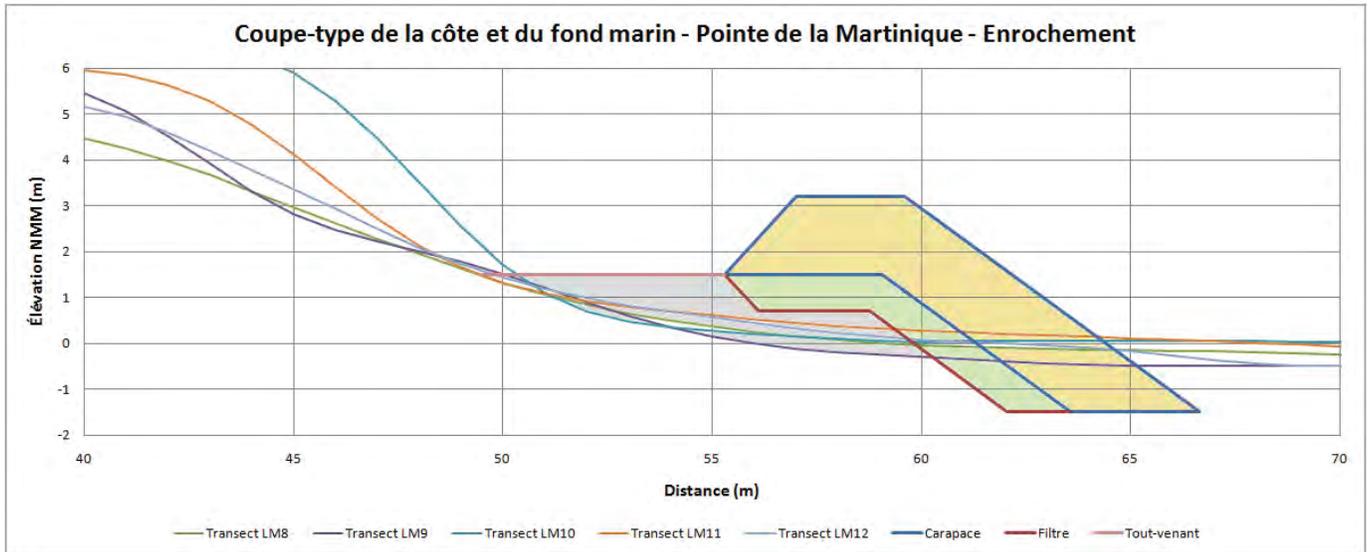


Figure 12.3 Coupe type d'une protection en enrochement de la pointe de la Martinique

12.3 Consolidation des falaises avec du béton

La protection du pied des falaises à l'aide de béton devrait respecter les critères de l'enrochement en termes d'élévation de la crête du mur et de stabilité du pied. Étant donné l'étanchéité du béton et le fort coefficient de réflexion des vagues sur une telle protection, la remontée des vagues est légèrement plus forte et il faut prévoir que l'érosion en pied du mur sera plus intense.

L'ancrage du mur dans le roc dont sont constituées les falaises de la Pointe de la Martinique 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.

De façon à dimensionner l'élévation de la crête du mur de béton à placer devant le pied des falaises de part et d'autre des étangs aérés, la formule de franchissement de Franco & Franco

1999 a été utilisée¹⁹. Le débit maximal de franchissement qui a été retenu pour le dimensionnement de cette crête de mur est de 2 l/s/m correspondant au début de dommage sur des enrochements. Étant donné la nature friable et sensible aux cycles de gel/dégel du roc dont sont constituées ces falaises, même ce débit important pourrait se révéler excessif.

La figure suivante illustre les calculs de franchissement pour une crête de mur située à +3,5 m NMM.

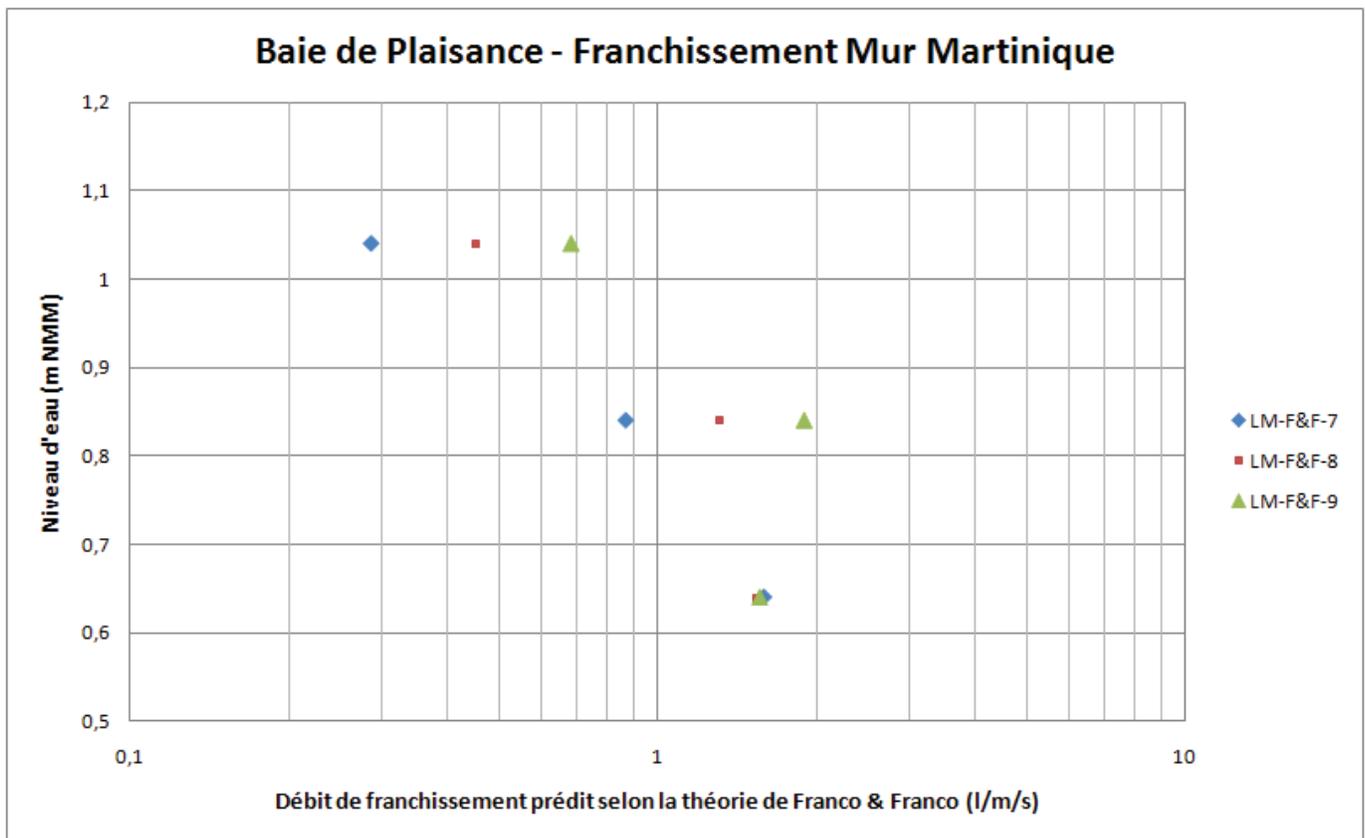


Figure 12.4 Débits de franchissement d'un mur dont la crête est située à +3,5 m NMM

La figure suivante illustre la coupe type d'une protection en béton armé placée au pied de la falaise de part et d'autre de la Pointe de la Martinique.

La solution d'un confortement en béton du pied des falaises de la Pointe de la Martinique sera difficile à mettre en œuvre et ne répondrait pas vraiment à des impératifs d'intégration esthétique de cette solution de confortement dans les falaises, à cause des contraintes techniques de durabilité, à moins de faire appel à des artistes qui travailleraient au niveau des formes pour donner une apparence plus naturelle à ce béton, ce qui pourrait faire exploser les coûts.

¹⁹ Coastal Engineering Manual, U.S. Army Corps of Engineer, - Table VI-5-13 page VI-5-29

La durabilité d'un tel concept reste à démontrer et d'importants effets de bout pourraient apparaître aux extrémités des zones bétonnées. Il s'agit de plus d'un ouvrage complexe à réaliser dans l'eau à cause de l'exigence de durabilité de l'ouvrage qui implique que la fondation soit excavée dans le roc au pied de la falaise, sous le zéro des cartes marines, à la merci des intempéries.

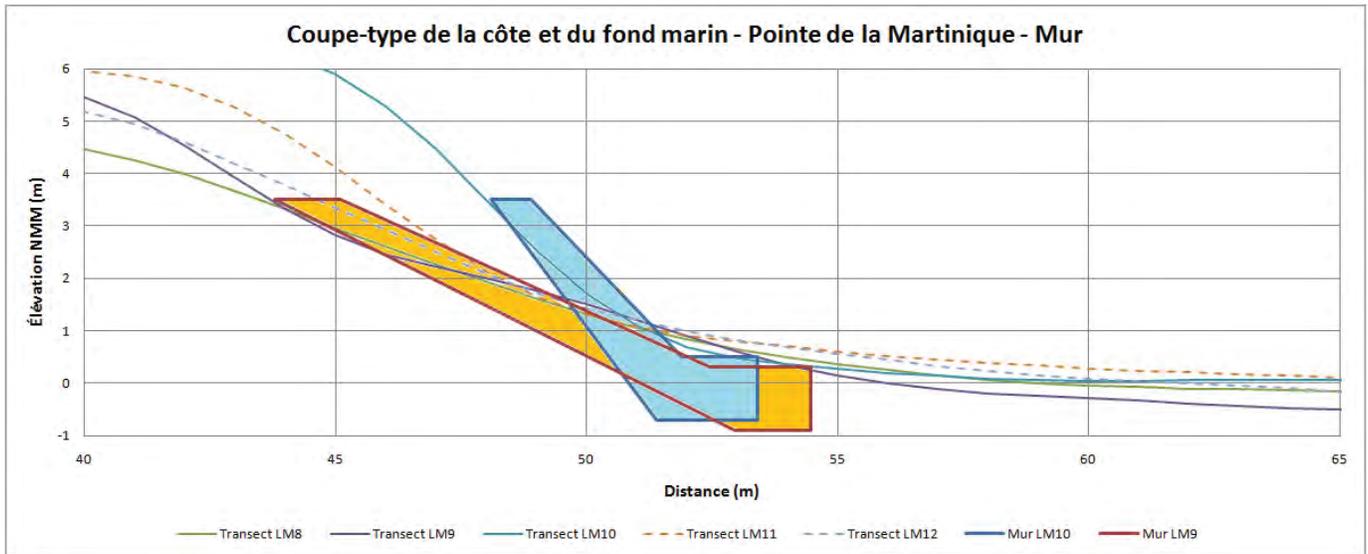


Figure 12.5 Coupe type d'une protection en béton armé du pied des falaises de la Pointe de la Martinique

12.4 Rechargement de plage

La stabilité d'une plage naturelle et d'un rechargement de plage a été évaluée à partir des indications du C.E.M. Pour le diamètre caractéristique des sédiments de la zone à l'étude (0,25 mm), le profil naturellement stable de la plage est reproduit sur la figure suivante pour la zone des falaises de la Pointe de la Martinique.

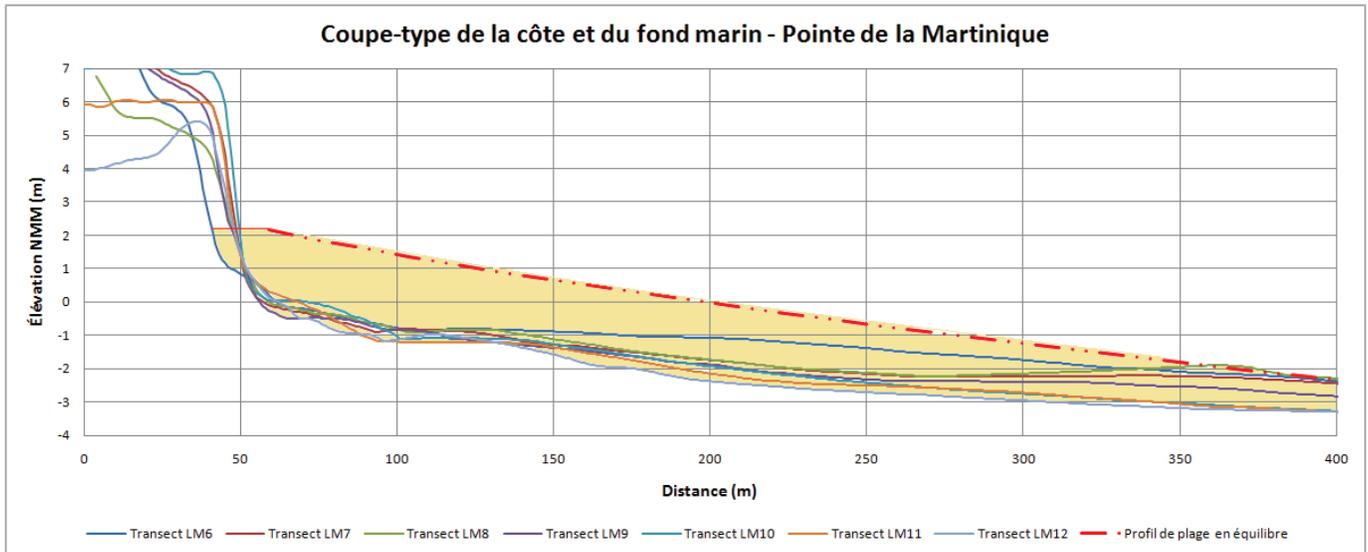


Figure 12.6 Coupe type d'une plage en équilibre devant les falaises de la Pointe de la Martinique

La partie supérieure de la plage a été placée à l'élévation +2,2 m NMM et la partie horizontale de cette partie de la plage 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.

Dans le cas des falaises de la Pointe de la Martinique, 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 deux mètres par endroits. Le profil d'équilibre de la plage rejoint celui du fond marin entre 350 et 450 m de la côte pour les profils évalués.

Le C.E.M. donne certains moyens d'évaluer un peu plus précisément les caractéristiques que devrait avoir un rechargement de plage dans le cas de la Pointe de la Martinique. Pour commencer à avoir une intersection des profils de la plage « rechargée » et du fond naturel, il faudrait 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).

Devant la Pointe de la Martinique, 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 ces volumes et un sable présentant 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.

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, des épis intermédiaires régulièrement espacés 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. L'hypothèse de récurrence des rechargements de plage a été de placer un quart de la quantité initiale tous les 5 à 7 ans. Des études spécifiques devraient être entreprises pour confirmer ces hypothèses si cette solution est sérieusement envisagée.

12.5 Rechargement de plage avec butée de pied

La seule façon d'envisager un rechargement de plage devant la Pointe de la Martinique serait de concevoir ce rechargement combiné à une butée de pied pour assurer la stabilité de la plage dans le sens perpendiculaire à la côte, à laquelle s'ajouteraient les épis régulièrement espacés.

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 détruisent pas rapidement cette butée de pied. Par contre, plus on place cette butée dans profond d'eau, moins elle est efficace pour réduire la hauteur des vagues et plus il faut mettre de sable pour construire la plage suspendue.

La figure suivante illustre la coupe type d'un rechargement de plage sous la forme d'une « plage suspendue » dont le pied serait protégé par une butée qui pourrait être en enrochement ou en géotubes. Trois exemples de butée de pied sont illustrés, soit une butée dont la crête serait à +1,0 m NMM, une butée dont la crête serait au 0,0 m NMM et une butée dont la crête serait à -1,5 m NMM.

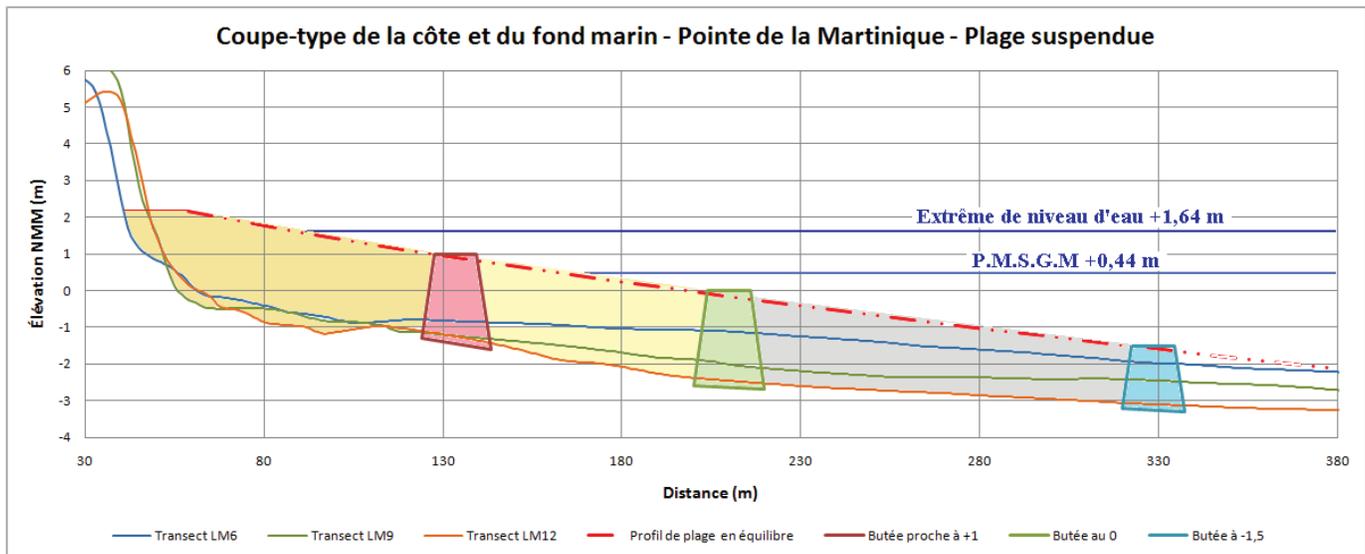


Figure 12.7 Coupe type d'une plage suspendue devant la Pointe de la Martinique

Pour garder un minimum de caractère esthétique à ce secteur, il serait requis de placer la crête de la berme de protection de pied de plage au plus au 0 m NMM sinon à -1,5 m NMM (la butée la plus éloignée du rivage sur la figure précédente).

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. La figure suivante illustre une butée en rip-rap dont la crête serait au 0 NMM.

Le choix d'une butée en rip-rap placée au 0 NMM implique de placer environ 170 m³/m de sable de rechargement sur une largeur de 700 m de côte. En plus des protections en pied de plage et des épis sur les côtés de la recharge et à distance régulière le long des falaises, on parle donc de 120 000 m³ de sable requis pour recharger une première fois cette plage suspendue. Les recharges récurrentes après la première recharge seraient probablement moins importantes, mais les quantités resteraient significatives en termes de coûts. L'hypothèse de récurrence des rechargements de plage a été de placer un quart de la quantité initiale tous les 5 à 7 ans. Des études spécifiques devraient être entreprises pour confirmer ces hypothèses si cette solution est sérieusement envisagée.

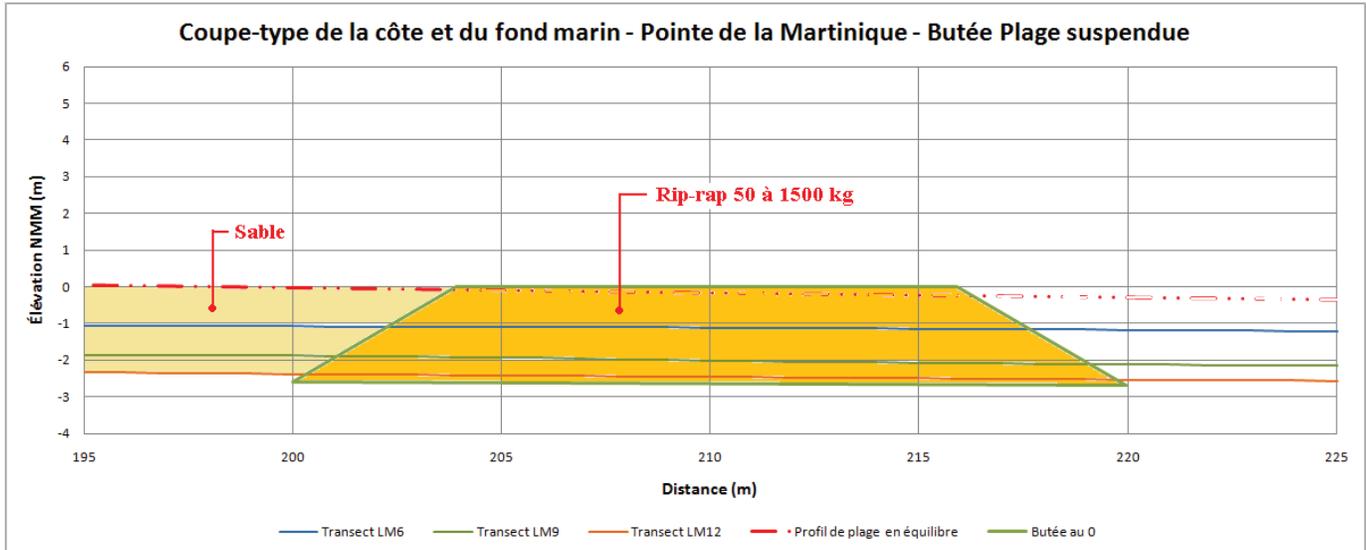


Figure 12.8 Coupe type d'une butée de pied de plage suspendue en enrochement à 0,0 m NMM

L'autre méthode de butée de pied de plage serait l'utilisation de géotubes remplis d'un sable qui pourrait être plus fin que le sable en place puisque contenu dans les géotubes. Cette méthode a l'avantage d'utiliser du géotextile et du sable (disponible sur place alors que la pierre devra être importée). Par contre, ne serait-ce qu'à cause de la méthode de mise en place et des contraintes de vagues et de glace, il est difficilement envisageable de placer les géotubes avec la crête au niveau moyen des mers (sans parler du point de vue esthétique). Même une mise en place avec le dessus des géotubes à 1,5 m sous le NMM posera 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 du géotextile par rapport aux contraintes induites par les vagues. L'expérience des géotubes mis en place à Tuktoyaktuk (Nunavut) dans les années 80 ont clairement identifié le vandalisme et l'impact des débris flottants projetés par les vagues comme causes de la détérioration du géotextile. Enfin il reste l'inconnue que représentent les glaces dans le processus de dégradation des géotubes. Il sera donc indispensable de renforcer la membrane géotextile, soit en utilisant des fibres de Kevlar, soit en recouvrant le géotube d'un matelas de béton articulé. Même ces méthodes de protection des géotubes sont expérimentales, aucun exemple d'installation dans un environnement similaire n'ayant pu être trouvé. La figure suivante montre trois géotubes de 34 pieds (10,4 m) de circonférence placés côte à côte pour assurer une redondance à ce système relativement expérimental. Un tapis antiaffouillement est prévu sous les géotubes. Il est possible que deux géotubes soient suffisants et la compagnie Tencate/Terratube parle de n'en mettre qu'un seul. Une décision devra être prise quant au niveau de risque et à la durabilité acceptable d'un tel système.

Le choix d'une butée en géotubes placée à -1,5 m NMM implique de placer environ 340 m³/m de sable de rechargement sur une largeur de 700 m de côte. En plus des protections en pied de

plage et des épis sur les côtés de la recharge et à distance régulière le long des falaises, on parle donc de 240 000 m³ de sable requis pour recharger une première fois cette plage suspendue.

Les recharges récurrentes après la première recharge seraient probablement moins importantes, mais les quantités resteraient significatives en termes de coûts. L'hypothèse de récurrence des rechargements de plage a été de placer un quart de la quantité initiale tous les 5 à 7 ans. Des études spécifiques devraient être entreprises pour confirmer ces hypothèses si cette solution est sérieusement envisagée.

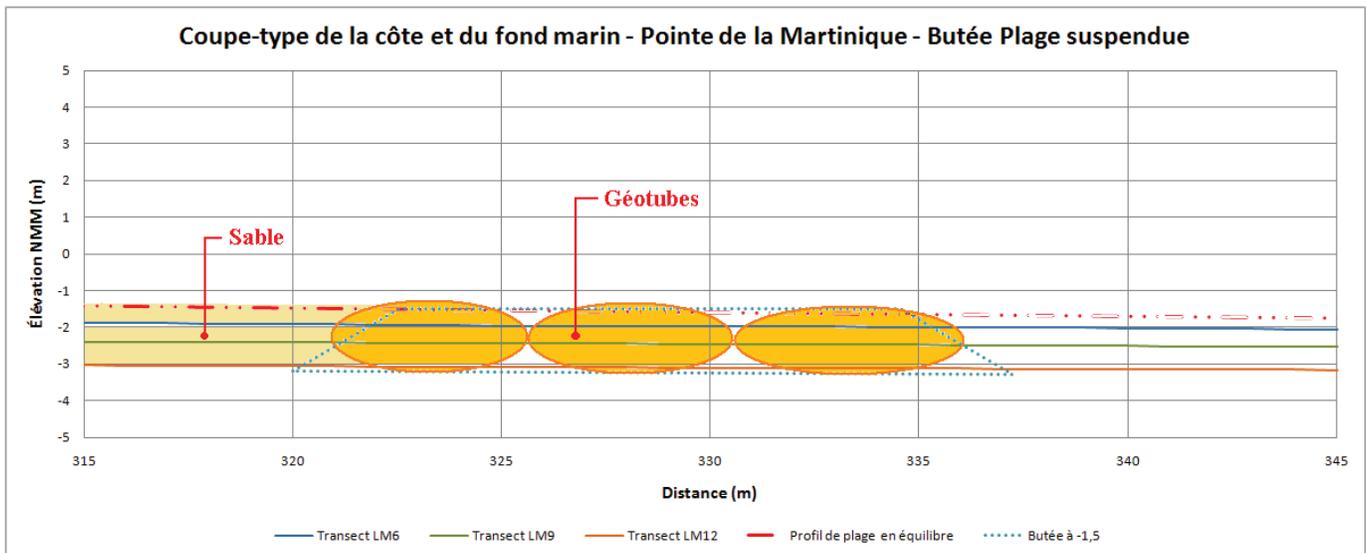


Figure 12.9 Coupe type d'une butée de pied de plage suspendue en géotubes à -1,5 m NMM

Du rechargement de plage ne peut donc raisonnablement s'envisager dans le cas du secteur de la Pointe de la Martinique qu'en parallèle à une protection en enrochement 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.

Non seulement la butée de pied de plage devra être mise en place, mais il serait également nécessaire de placer des protections (épis en pierre) de part et d'autre et régulièrement le long de la zone rechargée en sable pour contenir ce sable latéralement et lui permettre de protéger le secteur de la pointe de la Martinique. Des courants parallèles au rivage relativement violents sont générés par les vagues de tempête devant les falaises de la pointe de la Martinique (voir chapitre 8).

12.6 Rechargement de bas de falaise en matériaux grossiers

Du rechargement de plage en tout-venant de carrière des Îles (rip-rap), en galets importés, en gravier ou en sable et gravier pourrait être plus intéressant que du rechargement en sable dans le secteur de la Pointe de la Martinique, à cause de la pente d'équilibre de la plage qui serait nettement plus raide que celle d'un sable (voir chapitres 9.6 et 9.11). Il y a cependant un

Érosion côtière baie de Plaisance

problème de durabilité de ce rechargement, qui devrait idéalement provenir des îles de la Madeleine (distance de transport, retombées locales). Les matériaux en provenance des îles étant très sensibles à la dégradation avec le temps, les contraintes hydrodynamiques et celles de gel/dégel, il est recommandé de bien documenter d'année en année les travaux temporaires de protection des étangs aérés pour obtenir une idée de la vitesse de dégradation de ces matériaux locaux. Une étude approfondie de disponibilité de pierre locale de type « rip-rap » ou de galets importés devra être réalisée.

La géométrie requise pour que cette protection de berge en matériaux grossiers soit efficace a été définie en fonction de la remontée des vagues sur une plage présentant une pente de 10 %. 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.

Le calcul de la grosseur de la pierre de type « rip-rap » à mettre en place a été effectué à l'aide de l'équation proposée par le C.E.M. (chapitre VI-5-3-7, page VI-5-84). Avec une vague déferlante de 1,79 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 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.

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 locaux a été de placer un quart 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.

Il a en particulier fallu faire une hypothèse sur la largeur de la crête de la protection en matériaux grossiers. Il se pourrait que la largeur de 20 à 22 m retenue dans les calculs préliminaires soit trop pessimistes et qu'une largeur de 10 à 15 m soit suffisante pour assurer la protection de la rive, réduisant significativement les quantités de matériaux requises dans ce genre de projet. 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.

La figure 12.10 illustre la coupe type proposée dans le cas d'une telle protection de berge dans le secteur de la Pointe de la Martinique. La pierre de rip-rap locale serait mise en place selon une géométrie relativement facile à obtenir pour l'entrepreneur avec des buteurs (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.

Les deux avantages de cette solution de protection de berge par rapport à l'enrochement traditionnel sont :

- l'absence d'exigence concernant la tranchée de stabilisation du pied (à creuser en grande partie dans le roc) et
- la grande flexibilité du concept dans le contexte d'une ligne de rivage présentant beaucoup d'irrégularités (criques et pointes).

Ces deux caractéristiques diminuent significativement le niveau de risque de cette solution en termes de coûts des travaux (difficulté de creuser le roc sous l'eau, à la merci des intempéries, moindre risque de réclamations résultant de conditions géotechniques ou météorologiques particulières, moindre risque de dépassement des quantités de matériaux initialement prévues).

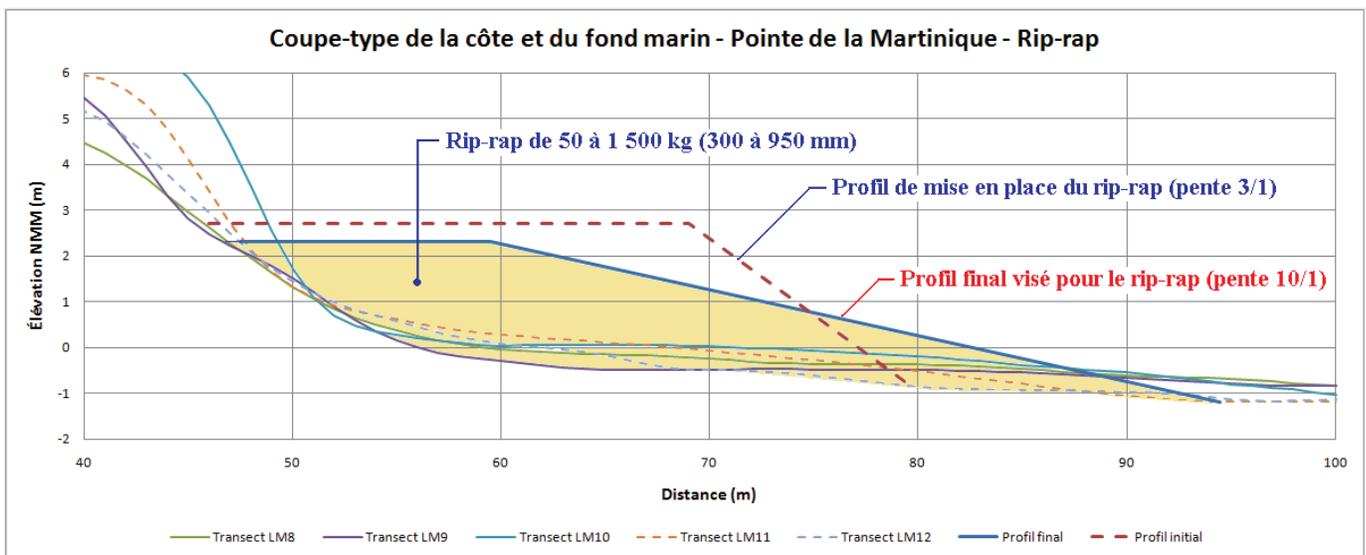


Figure 12.10 Coupe type d'une protection de berge en matériaux grossiers devant la Pointe de la Martinique

Un concept de rechargement réalisé à l'aide de galets importés ayant une durabilité améliorée par rapport aux matériaux locaux requerrait nettement moins de matériaux à mettre en place contre la falaise de la Pointe de la Martinique et impliquerait potentiellement une diminution des coûts de ce type de projet par rapport au projet décrit ci-dessus utilisant des matériaux grossiers locaux (voir chapitre 9.8). Par contre, des matériaux plus résistants n'alimenteraient pas en sédiments les plages adjacentes de façon aussi efficace que des matériaux locaux.

12.7 Rechargement de plage avec épis

Du rechargement de plage avec épis sans butée de pied 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 expliquée dans les chapitres précédents. Le sable de recharge de plage placé entre les épis

fuirait par l'extrémité la plus au large des épis et cette fuite de matériel risquerait de ne même pas servir de protection au rivage en aval.

Une autre raison de ne pas envisager l'utilisation d'épis seuls pour retenir les sédiments est la trop faible quantité de sable qui semble circuler devant la pointe de la Martinique avec l'attaque généralement oblique des vagues qui induit une forte circulation des sédiments le long de la côte. La violence des courants littoraux qui se produisent lors des tempêtes pourrait poser quelques problèmes de viabilité de ce concept devant les falaises de la Pointe de la Martinique.

Par contre, ces épis perpendiculaires au rivage peuvent (et doivent probablement) être envisagés pour retenir une recharge de plage faite devant les falaises de la pointe de la Martinique (avec butée de pied de plage).

12.8 Brise-lames submersibles au large

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

Le fait de viser un brise-lames submersible (dont la crête se trouverait au maximum au zéro des cartes marines) fait en sorte que ce brise-lames 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 tout à fait inefficace pour arrêter l'action érosive des vagues lors de ces très hauts niveaux d'eau. De plus, ce brise-lames se trouverait à une distance entre 150 et 200 m du rivage.

Sans rechargement artificiel de la plage et épis transversaux, 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.

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. De plus, ils retiendraient l'eau à marée basse, d'autant que des épis seraient aussi requis. La présence de ces zones de rétention d'eau n'est en général pas recommandée par les biologistes à cause des impacts négatifs sur les organismes pris au piège de ces accumulations d'eau (assèchement progressif, réchauffement de l'eau retenue, prédation par les oiseaux, etc.). Cette option n'a donc pas été retenue.

12.9 Déplacement d'infrastructures

Le déplacement ou le déménagement de certaines résidences pourrait également être envisagé, surtout dans le cas où ces infrastructures sont tellement avancées sur le bord de la falaise qu'elles augmentent significativement le coût d'une solution globale. Par contre, dans le secteur de la pointe de la Martinique, la plupart des résidences à risque en termes d'érosion ont été

partiellement protégées par des enrochements « maison » et celles qui ne le sont pas sont soit encore suffisamment éloignées du bord de la falaise, soit de faible valeur (chalets, voir figure 2.26).

12.10 Solutions en érosion pour le secteur de la 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 plage de galets importés).

La solution en enrochement (Figure 12. 11) 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 (Figure 12.12) ou en galets importés de l'extérieur des îles serait une solution nécessitant des rechargements périodiques (plus fréquents pour le rip-rap). Les inconvénients principaux de la solution en enrochement sont la dégradation du peu de plage qui resterait en avant de l'enrochement et les risques élevés de dépassement de coûts lors des travaux 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 et serait nettement moins susceptible de connaître des problèmes de contrôle des coûts de construction. La solution en plage de galets n'a pas les inconvénients de la solution en enrochement linéaire, mais n'offre pas le bénéfice de la solution en rip-rap.

Une coordination des travaux réalisés devant la pointe de la Martinique et la plage du chemin des Chalets devra se faire, sous peine de minimiser les bénéfices d'une ou des deux solutions, ou pire de nuire à la solution d'un secteur par la mise en place de la solution de l'autre secteur.

La solution d'un confortement en béton du pied de la falaise n'est pas vraiment une solution dans le cas de la Pointe de la Martinique. La durabilité d'un tel concept reste à démontrer et d'importants effets de bout pourraient apparaître aux extrémités des zones bétonnées. Il s'agit de plus d'un ouvrage complexe à réaliser dans l'eau à cause de l'exigence de durabilité de l'ouvrage qui exige que la fondation soit excavée dans le roc au pied de la falaise sous le zéro des cartes marines.

La solution du rechargement de plage n'est pas vraiment adaptée à ce secteur de falaises, que ce soit avec ou sans butée de pied de plage. Les violents courants parallèles à la côte engendrés par les vagues de tempête laissent présager de sérieux problèmes de stabilité du matériel de recharge de plage.

La solution d'un brise-lames submersible au large de la côte n'est pas une solution « en soi » étant donné la faible efficacité d'un tel ouvrage à arrêter les processus d'érosion, à moins de placer la crête de ce brise-lames au niveau de la marée haute, ce qui reviendrait au projet d'enrochement linéaire.

Les coûts des deux solutions retenues pour ce secteur sont comme suit (voir détails en annexe)
 – la solution en plage de galets n’a pas pu être évaluée faute de modèle paramétrique permettant de la dimensionner :

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 \$ Rechargements périodiques : <u>2 202 000 \$</u> Coût total : 6 606 000 \$	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.

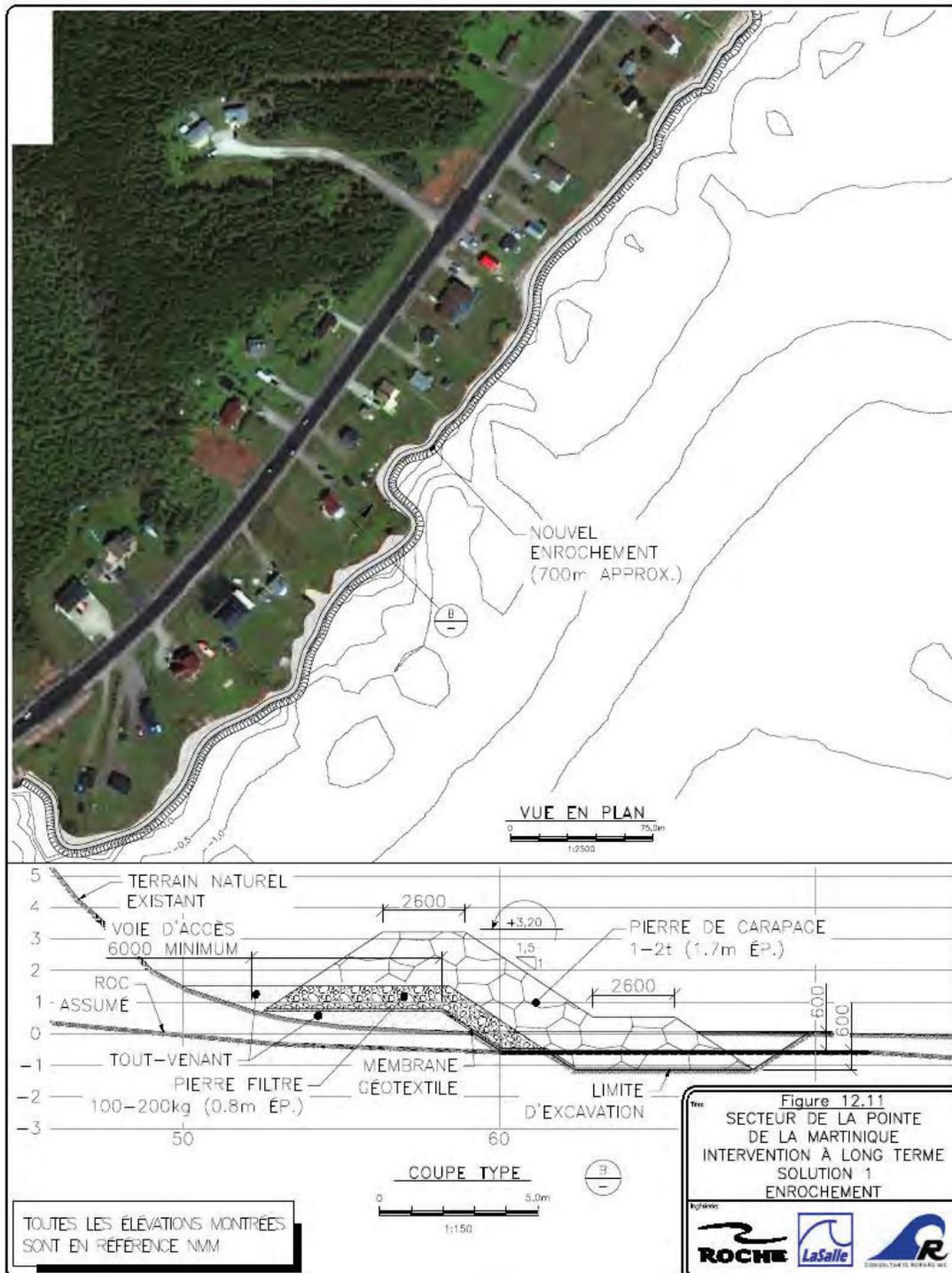


Figure 12.11 – Secteur de la Pointe de la Martinique – Intervention à long terme – Solution 1 - Enrochement

Érosion côtière baie de Plaisance

Îles-de-la-Madeleine

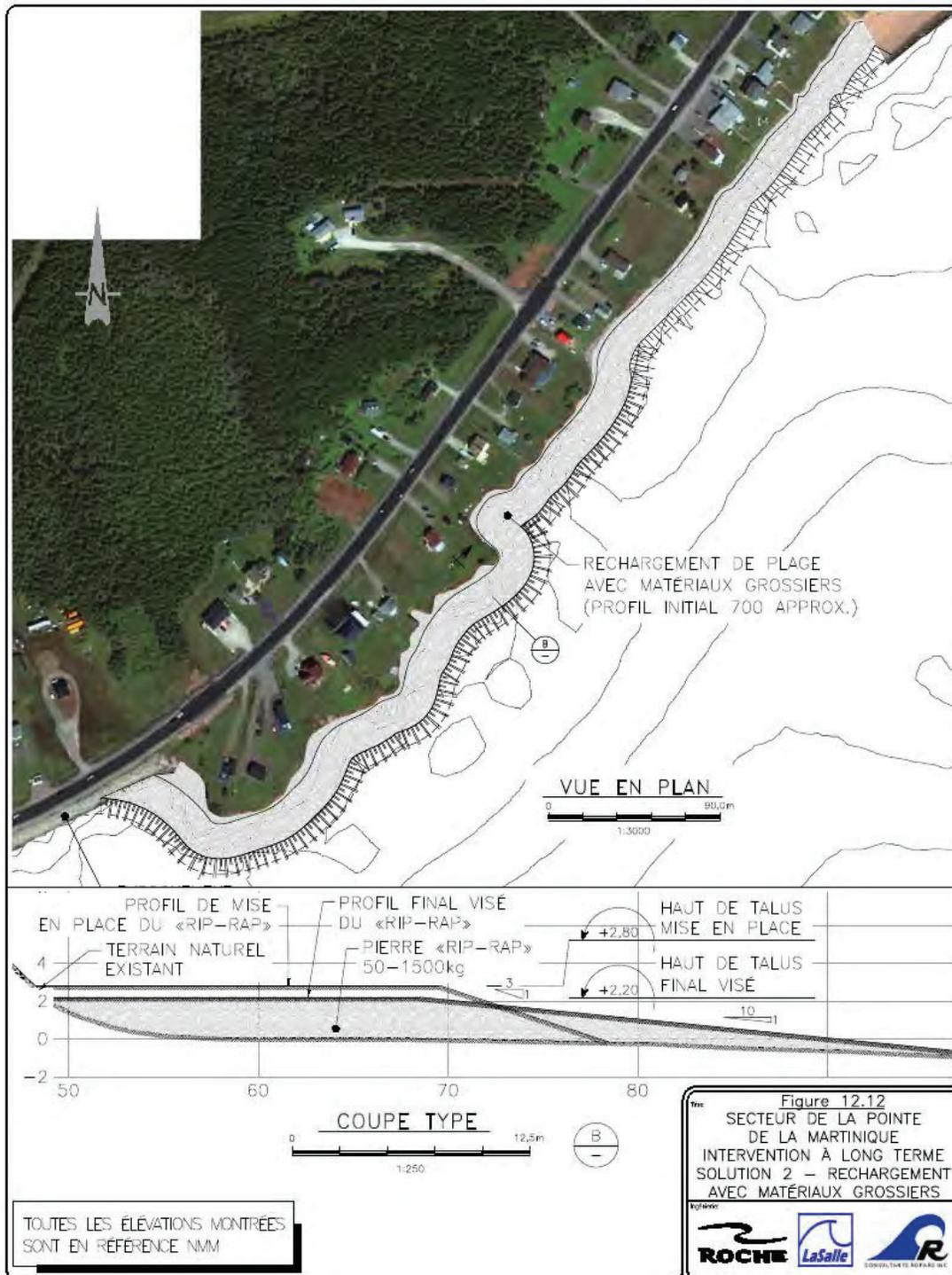


Figure 12.12 – Secteur de la Pointe de la Martinique – Intervention à long terme – Solution 2 – Rechargement de plage avec matériaux grossiers

Érosion côtière baie de Plaisance

Îles-de-la-Madeleine

13. PROTECTION DE LA BERGE – SECTEUR DE LA GRAVE

13.1 Mécanisme d'érosion probable

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 et des 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 entre les photos de 2002 et celles de 2011. Les courants littoraux dominants vers l'ouest devant la moitié orientale de cette plage expliqueraient assez bien la sensibilité particulière à l'érosion de l'extrémité est de ce secteur.

Les sédiments qui alimentent cette plage proviennent essentiellement de l'érosion de la pointe Shea à l'est et de la falaise de la bute de la Croix à l'ouest. Par contre, l'apport de sédiments est largement insuffisant par rapport aux phénomènes érosifs accompagnant la hausse des niveaux d'eau et la disparition des glaces. Les photos démontrent le caractère relativement ancien du phénomène d'érosion de la plage de ce secteur. Des protections étaient déjà en place en 2002 autour des maisons situées les plus à l'est. Les dernières décennies sont essentiellement caractérisées par l'accélération de l'érosion pour des raisons « naturelles » (si on oublie l'origine potentiellement anthropique de ces raisons – réchauffement climatique).

Une particularité de ce secteur est son caractère historique et récréotouristique qui fait que certaines solutions ont été pratiquement éliminées d'office car elles remettaient en cause ce caractère particulier du secteur.

13.2 Protection en enrochement

La protection de la berge à l'aide d'enrochements est le type de protection qui a été éliminé d'office pour la partie « plage » de ce secteur. Il serait possible de placer des enrochements contre le mur de protection de la route 199 et à l'ouest de ce mur au pied des falaises de la bute de la Croix (il existe déjà de tels enrochements derrière les Artisans du Sable).

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. Pour les niveaux d'eau supérieurs à +0,8 m NMM, les vagues correspondantes ne sont pas limitées par le déferlement. Par contre, pour des niveaux d'eau inférieurs à +0,8 m NMM, la profondeur d'eau limite la hauteur de vague pouvant atteindre la protection en enrochement. Ce phénomène a été pris en compte dans l'évaluation de la hauteur maximale des vagues en vue du dimensionnement des enrochements ($H_s \text{ max} = 1,75 \text{ m}$) et dans la remontée de ces vagues sur l'enrochement pour en déterminer l'élévation de la crête.

Le graphique suivant présente les résultats du calcul de la remontée des vagues sur l'enrochement (runup à 10%). Selon ces résultats, il faudrait placer la crête d'un enrochement au

ped des falaises de la partie ouest de La Grave à l'élévation +3,8 m NMM pour empêcher les vagues de trop le franchir.

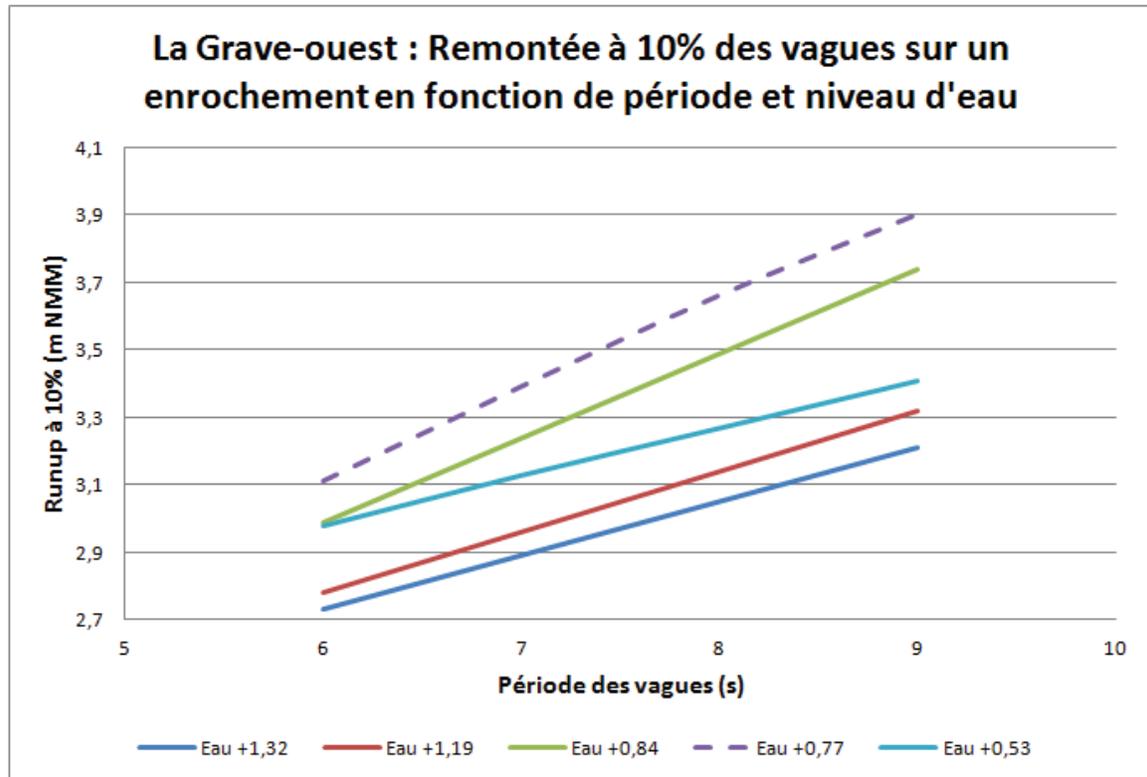


Figure 13.1 Remontée des vagues sur un enrochement dans la partie ouest de La Grave

Une vérification de l'élévation optimale de la crête de l'enrochement a été faite à l'aide des formules de calcul du débit de franchissement. Deux équations proposées dans le Coastal Engineering Manual (C.E.M.) du U.S. Army Corps of Engineers ont été retenues pour réaliser la présente évaluation. Ce sont les équations de Bradbury-Allsop (1988) et Pedersen (1996). Les deux équations s'appliquent relativement bien au cas du secteur de La Grave. Elles présentent l'inconvénient d'être basées sur l'hypothèse selon laquelle les vagues ne sont pas limitées par la profondeur. Ceci n'est pas tout à fait le cas de la protection de berge du secteur de La Grave pour les houles de dimensionnement, ce qui pourrait induire des problèmes dans l'interprétation de certains résultats.

La valeur cible de franchissement de 1 l/s/m a été retenue (voir chapitre 12.2) compte tenu des incertitudes concernant les différents paramètres de dimensionnement (dont la combinaison vague / niveaux d'eau).

Les calculs de quantité de franchissement de la protection ont été faits pour différentes combinaisons de niveau d'eau, de hauteur et de période de vagues correspondant à la récurrence de 35 ans.

Les résultats de ces calculs apparaissent dans la figure suivante pour une crête placée à l'élévation +3,7 m ZC ou +3,1 m NMM. Le pire cas de franchissement correspond à un niveau d'eau de +1,4 m ZC (0,8 m NMM) et à une période de pointe des vagues de 9 secondes.

Dans la légende de la figure, les abréviations « LG » correspondent à La Grave, « BA » à Bradbury-Allsop, « P » à Pedersen et les chiffres 7, 8 et 9 à la période de pointe des vagues.

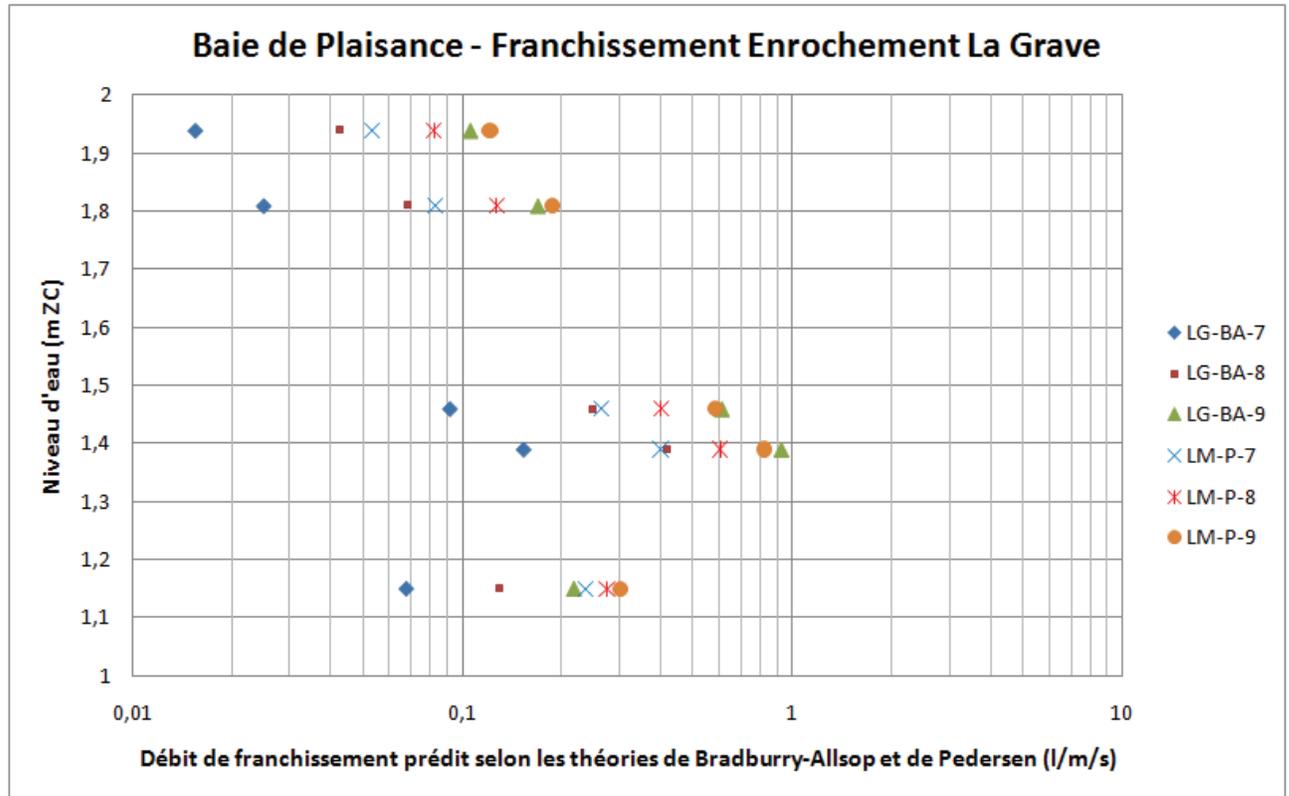


Figure 13.2 Débit de franchissement d'un enrochement dont la crête est à +3,1 m NMM

L'élévation de +3,1 m NMM a donc été retenue pour la crête de l'enrochement de protection de la zone ouest de La Grave.

Avec la vague de conception retenue ($H_s = 1,75$ m de hauteur), la formule de Hudson appliquée avec les paramètres suivants donne :

- Poids unitaire des enrochements : $2,6 \text{ t/m}^3$
- Poids unitaire de l'eau : $1,02 \text{ t/m}^3$
- Pente de la structure : $3H / 2V$

- Coefficient de stabilité des enrochements K_D (tronc, déferlant, S.P.M.84²⁰) : 2,0
- Poids des unités de carapace calculé par la formule de Hudson : **1 à 2 tonnes**

Cette pierre devrait être placée sur une épaisseur de 1,7 m et la crête devrait avoir une largeur minimale de 2,6 m. La pierre-filtre à installer sous cette carapace serait de la pierre de 100 à 200 kg sur une épaisseur de 0,8 m. La figure suivante illustre l'installation de cette protection en enrochement du pied de la falaise du secteur ouest de La Grave. 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.

Une problématique qui se retrouve dans tous les secteurs de falaise à l'étude est la quasi-absence de sédiments au pied des falaises. Sans investigations géotechniques en bonne et due forme, on s'attend à ne retrouver au pied des falaises qu'une mince couche (au plus quelques décimètres) de sédiments. La solution illustrée dans la figure suivante, soit le creusage d'une tranchée pour stabiliser le pied de l'enrochement, risque d'être difficile et onéreuse à réaliser. Une alternative serait de protéger cet enrochement à l'aide d'une butée de pied. Par contre, même cette butée de pied devra être sécurisée, ce qui entraînera un minimum d'excavation dans le roc. Pour les besoins de l'évaluation des coûts du concept de protection en enrochement, une tranchée de 1,2 m (moitié dans les sédiments, moitié dans le roc) a été considérée, cette tranchée étant comblée à l'aide d'une butée de pied en pierres de carapace.

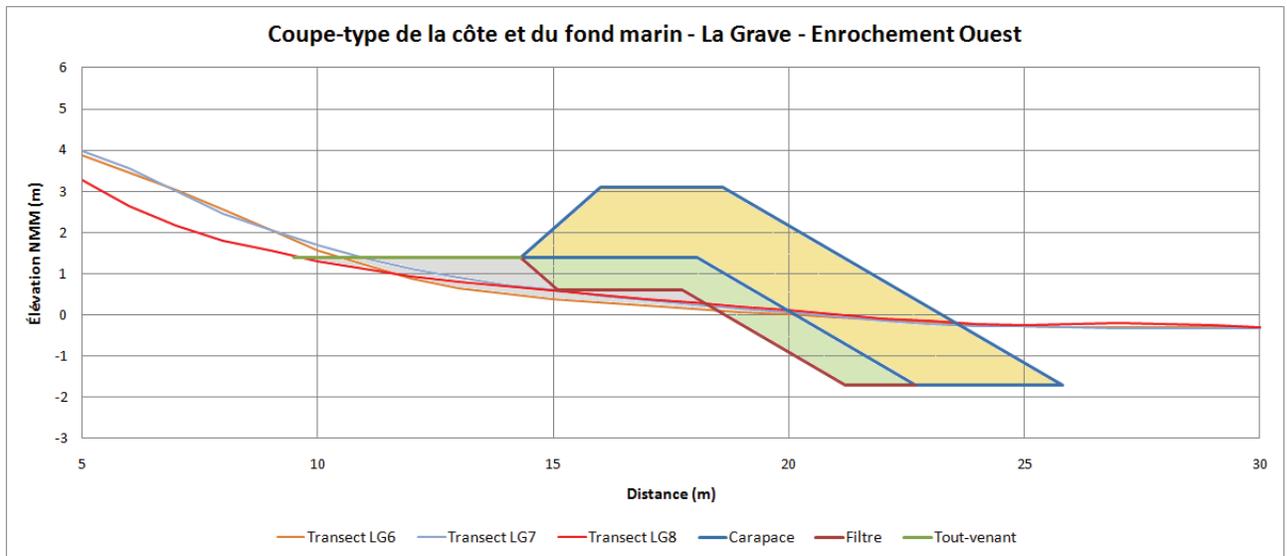


Figure 13.3 Coupe type d'une protection en enrochement de la partie ouest de La Grave

²⁰ Shore Protection Manual 1984 – U.S. Army Corps of Engineers

13.3 Rechargement de plage

La stabilité d'une plage naturelle et d'un rechargement de plage a été évaluée à partir des indications du C.E.M. Pour le diamètre caractéristique des sédiments de la zone à l'étude (0,25 mm), le profil naturellement stable de la plage est reproduit sur la figure suivante pour les deux zones de la pointe de La Grave (moitiés est et ouest).

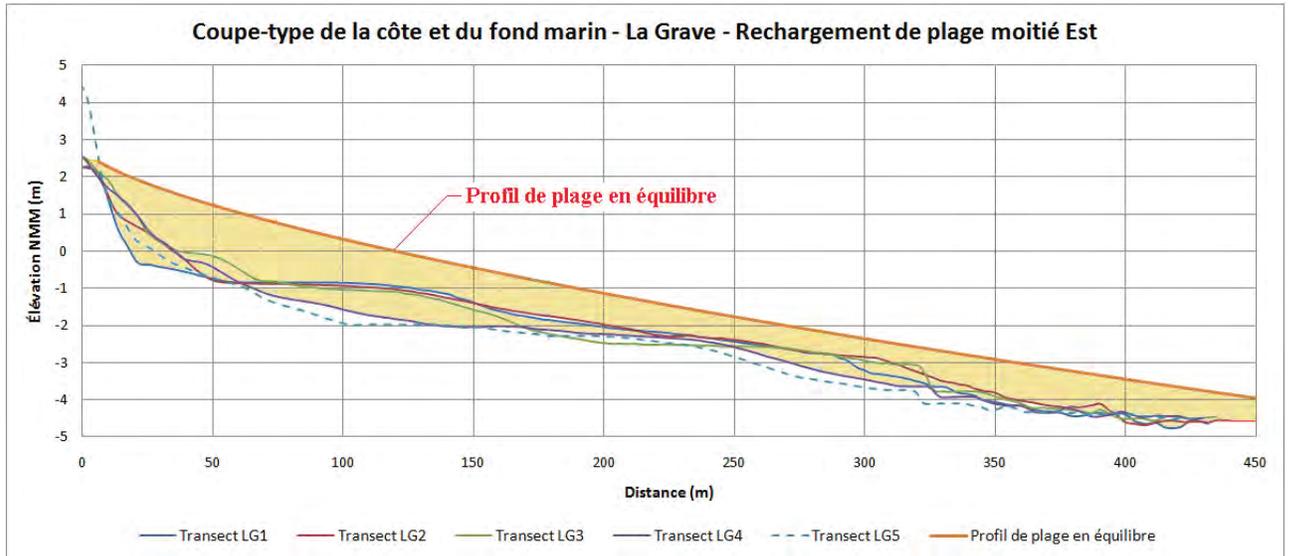


Figure 13.4 Coupe type d'une plage en équilibre devant la partie est de La Grave (plage)

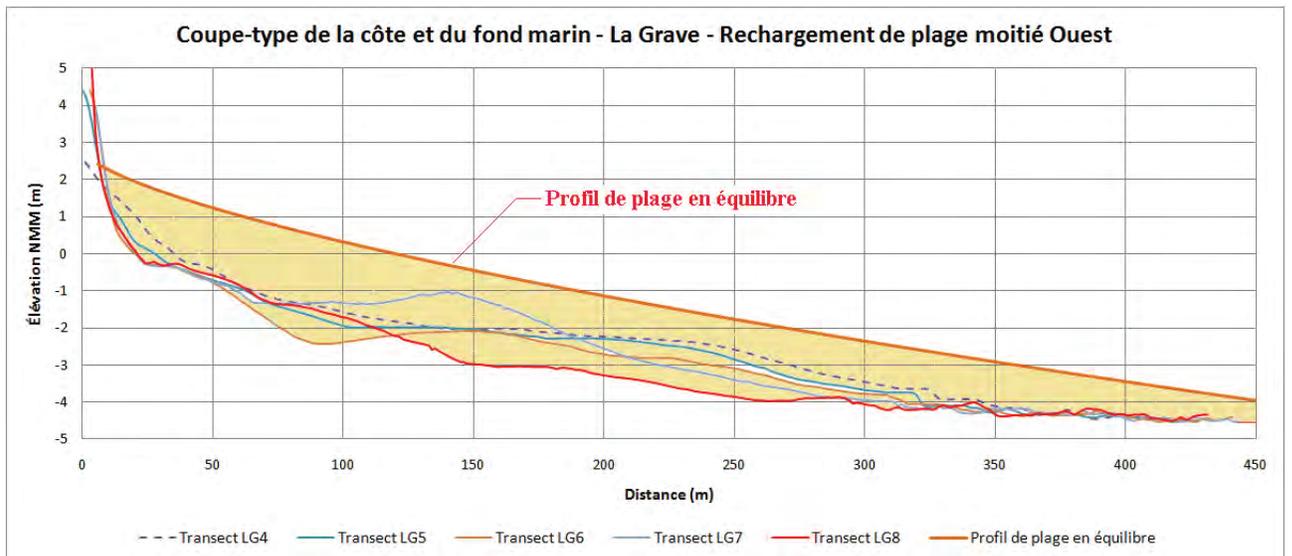


Figure 13.5 Coupe type d'une plage en équilibre devant la partie ouest de La Grave (falaise)

La partie supérieure de la plage a été placée à l'élévation +2,2 m NMM et la partie horizontale de cette partie de la plage 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.

Le C.E.M. donne certains moyens d'évaluer un peu plus précisément les caractéristiques que devrait avoir un rechargement de plage. La figure suivante illustre le gain de pente d'équilibre théorique de la plage rechargée en passant d'un sable de 0,25 mm de diamètre à un sable de 0,3 mm de diamètre pour le secteur de La Grave. L'accroissement de la taille du sable améliore légèrement les choses pour la partie est de La Grave, les profils de la plage actuelle et ceux de la plage théoriquement en équilibre avec du sable de 0,3 mm de diamètre se rejoignant à environ 300 m du bord. Le gain est moins évident pour la partie ouest de La Grave.

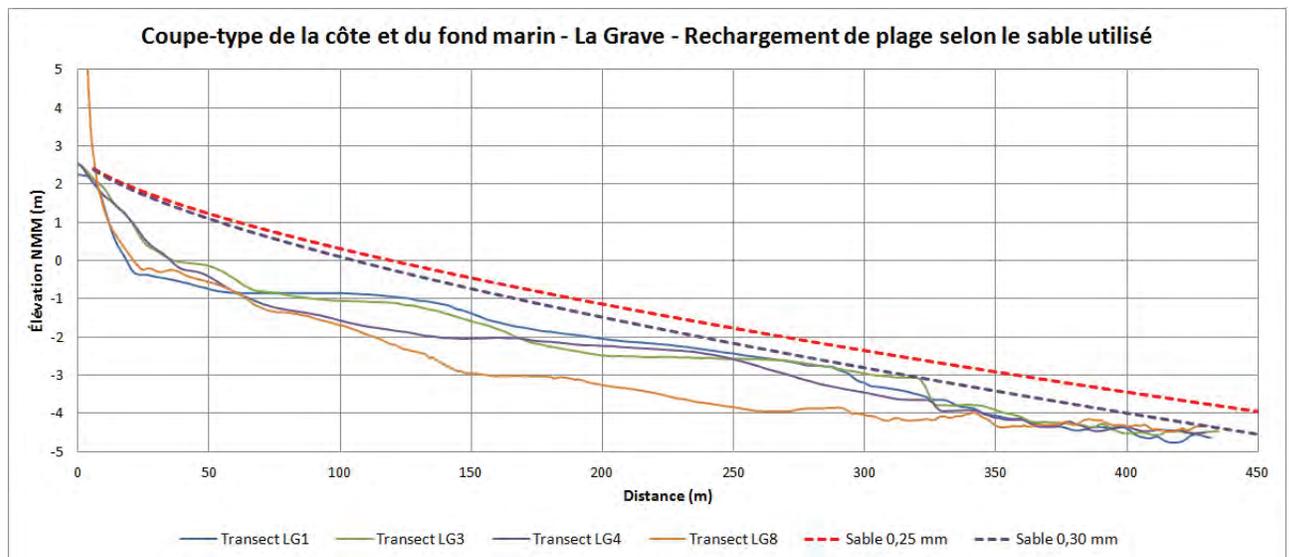


Figure 13.6 Coupe type d'une plage en équilibre devant La Grave selon le diamètre du sable

Pour commencer à avoir une intersection des profils de la plage « rechargée » et du fond naturel, il faudrait viser un sable ayant un diamètre caractéristique supérieur à 0,3 mm (au lieu des 0,25 mm du sable en place dans la Baie de Plaisance).

Devant la partie est de la plage de La Grave, il faudrait envisager plus de 650 m³/m de sable pour recharger la moitié est de la plage et près de 800 m³/m de sable pour recharger la moitié ouest de la plage (à condition d'être en mesure de retenir ce sable devant la plage). Même avec ces volumes et un sable présentant 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 $650 \text{ m}^3/\text{m}$ de sable de rechargement sur une largeur minimale de 350 m de la partie est de la plage de La Grave, on parle de $230\,000 \text{ m}^3$ de sable plus grossier que le sable de la Baie de Plaisance à installer devant la partie la plus touristique de la plage.

À ces quantités de sable s'ajouteraient l'épi de protection à l'extrémité ouest de la zone de recharge afin d'éviter une fuite latérale trop rapide des sédiments, des épis intermédiaires régulièrement espacés et éventuellement 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 quantités et de coûts. L'hypothèse de récurrence des rechargements de plage a été de placer un quart de la quantité initiale tous les 5 à 7 ans. Des études spécifiques devraient être entreprises pour confirmer ces hypothèses si cette solution est sérieusement envisagée.

13.4 Rechargement de plage avec butée de pied

La seule façon d'envisager un rechargement de plage devant la plage de La Grave serait de concevoir ce rechargement combiné à une butée de pied pour assurer la stabilité de la plage dans le sens perpendiculaire à la côte, à laquelle s'ajouteraient des épis régulièrement espacés.

De façon à tenter de minimiser les dommages à la butée de pied de la « plage suspendue » et pour éviter de rendre cette butée de pied trop apparente dans ce secteur touristique, 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 détruisent pas rapidement cette butée de pied. Par contre, plus on place cette butée dans une profondeur d'eau importante, moins elle est efficace pour réduire la hauteur des vagues et plus il faut mettre de sable pour construire la plage suspendue.

Les figures suivantes illustrent la coupe type (partie est et partie ouest) d'un rechargement de plage sous la forme d'une « plage suspendue » dont le pied serait protégé par une butée qui pourrait être en enrochement ou en géotubes. Deux exemples de butée de pied sont illustrés, soit une butée dont la crête serait au 0,0 m NMM et une butée dont la crête serait à -1,5 m NMM.

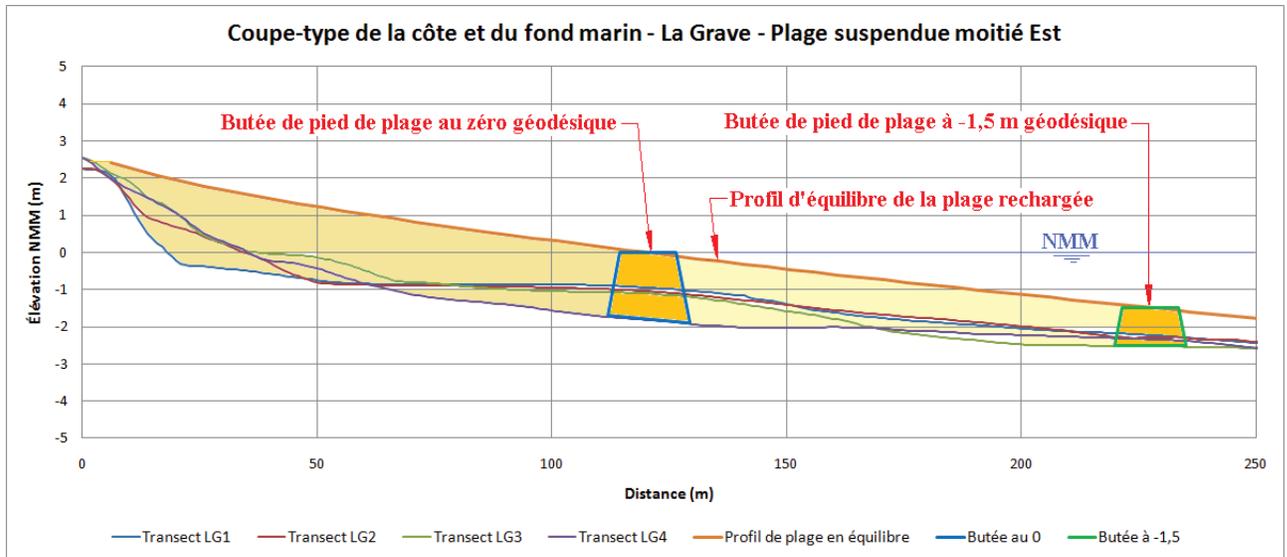


Figure 13.7 Coupe type d'une plage suspendue devant la plage de La Grave – partie est

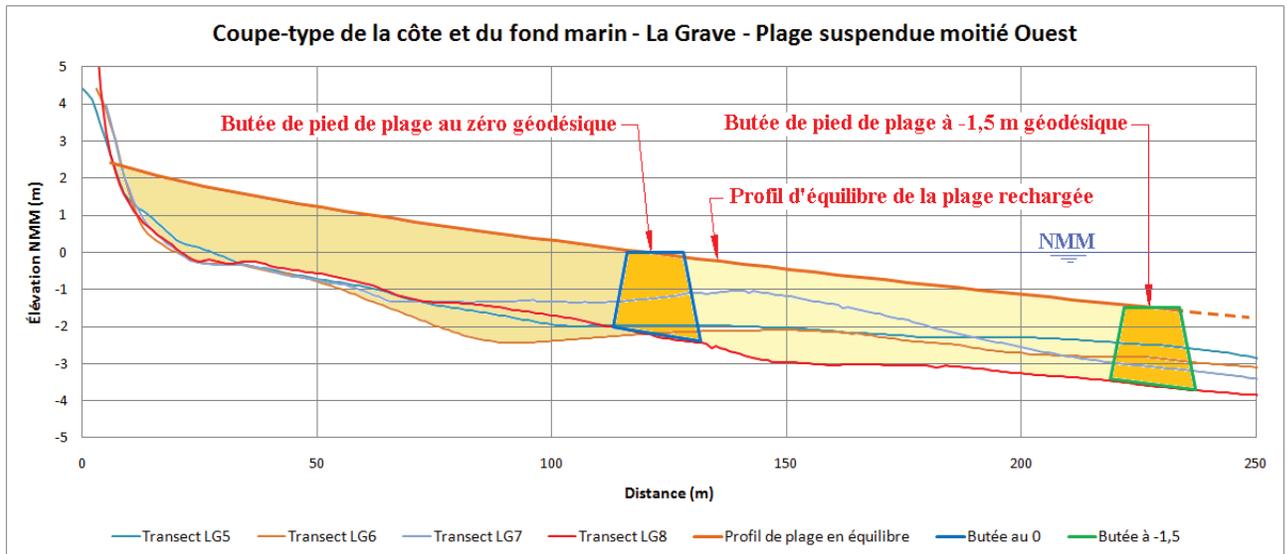


Figure 13.8 Coupe type d'une plage suspendue devant la plage de La Grave – partie ouest

Pour garder un minimum de caractère esthétique à ce secteur, il serait préférable de placer la crête de la berme de protection de pied de plage à -1,5 m NMM (la butée la plus éloignée du rivage sur les figures précédentes).

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. La figure suivante illustre une butée en rip-rap dont la crête serait à -1,5 m NMM.

Le choix d'une butée en rip-rap placée au 0 NMM implique de placer environ 180 m³/m de sable de rechargement sur une largeur de 350 m de plage (correspondant uniquement au secteur est de La Grave). En plus des protections en pied de plage et des épis sur les côtés de la recharge et à distance régulière le long de la plage, on parle donc de 63 000 m³ de sable requis pour recharger une première fois cette plage suspendue dans la partie la plus touristique de La Grave.

Le choix d'une butée en rip-rap placée à -1,5 m NMM implique de placer environ 350 m³/m de sable de rechargement sur une largeur de 350 m de plage (correspondant uniquement au secteur est de La Grave). En plus des protections en pied de plage et des épis sur les côtés de la recharge et à distance régulière le long des falaises, on parle donc de 125 000 m³ de sable requis pour recharger une première fois cette plage suspendue dans la partie la plus touristique de La Grave.

Les recharges récurrentes après la première recharge seraient probablement moins importantes, mais les quantités resteraient significatives en termes de coûts. L'hypothèse de récurrence des rechargements de plage a été de placer un quart de la quantité initiale tous les 5 à 7 ans. Des études spécifiques devraient être entreprises pour confirmer ces hypothèses si cette solution est sérieusement envisagée.

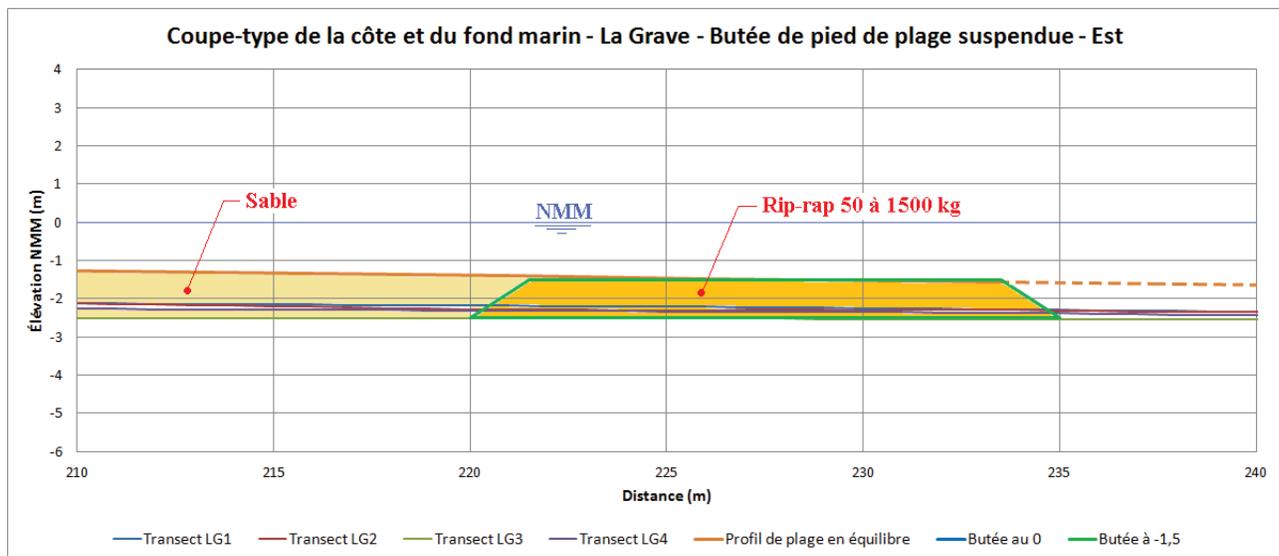


Figure 13.9 Coupe type d'une butée de pied de plage suspendue en enrochement à -1,5 m NMM

L'autre méthode de butée de pied de plage serait l'utilisation de géotubes remplis d'un sable qui pourrait être plus fin que le sable en place puisque contenu dans les géotubes. Cette méthode a l'avantage d'utiliser du géotextile et du sable (disponible sur place alors que la pierre devra être importée). Par contre, ne serait-ce qu'à cause de la méthode de mise en place et des contraintes de vagues et de glace, il est difficilement envisageable de placer les géotubes avec la crête au niveau moyen des mers (sans parler du point de vue esthétique). Même une mise en place avec le dessus des géotubes à 1,5 m sous le NMM posera 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 du géotextile par rapport aux contraintes induites par les vagues. L'expérience des 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 du géotextile. Enfin il reste l'inconnue que représentent les glaces dans le processus de dégradation des géotubes. Il sera donc indispensable de renforcer la membrane géotextile, soit en utilisant des fibres de Kevlar, soit en recouvrant le géotube d'un matelas de béton articulé. Même ces méthodes de protection des géotubes sont expérimentales, aucun exemple d'installation dans un environnement similaire n'ayant pu être trouvé. La figure suivante montre trois géotubes de 34 pieds (10,4 m) de circonférence placés côte à côte pour assurer une redondance à ce système relativement expérimental. Un tapis antiaffoulement est prévu sous les géotubes. Il est possible que deux géotubes soient suffisants et la compagnie Tencate/Terratube considère de n'en mettre qu'un seul. Une décision devra être prise quant au niveau de risque et à la durabilité acceptable d'un tel système.

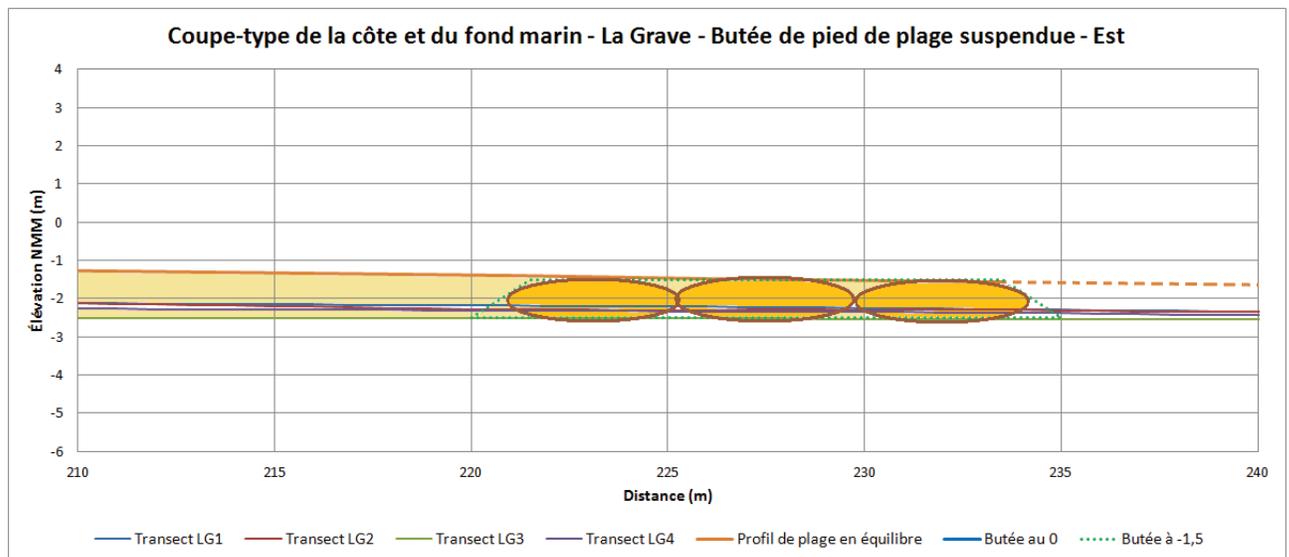


Figure 13.10 Coupe type d'une butée de pied de plage suspendue en géotubes à -1,5 m NMM

Du rechargement de plage ne peut donc raisonnablement s'envisager dans le cas du secteur de la plage de La Grave qu'en parallèle à une protection en enrochement ou géotube du bas de plage (butée de pied de plage) parce que la géométrie de la plage et en particulier sa pente ne sont pas propices à une stabilité d'un rechargement en sable sans cette protection.

La mise en place de ce rechargement de plage pourrait prendre les dimensions illustrées sur le plan suivant (cas de la butée en pierre à -1,5 m NMM) pour ce qui est de la partie orientale de la plage de La Grave. Non seulement la butée de pied de plage devra être mise en place, mais il serait également nécessaire de placer des épis en pierre régulièrement le long de la zone rechargée en sable pour contenir ce sable latéralement.

La configuration des courants obtenue par l'étude numérique indique qu'il y aurait intérêt à étudier la mise en place d'un épi à l'extrémité nord-ouest de la pointe Shea pour tenter de diminuer les courants parallèles à la plage dans la partie est de La Grave, de façon à améliorer la rétention des sédiments dans ce secteur de La Grave. Il sera important de s'assurer que la mise en place d'un tel épi ne nuit pas à la dynamique sédimentaire du reste de l'anse Painchaud.

13.5 Rechargement de bas de falaise en matériaux grossiers

Du rechargement de plage en tout-venant de carrière des îles (rip-rap), en galets importés, en gravier ou en sable et gravier pourrait être plus intéressant que du rechargement en sable dans le secteur ouest de la plage de La Grave (secteur de falaise), à cause de la pente d'équilibre de la plage qui serait nettement plus raide que celle d'un sable (voir chapitres 9.6 et 9.11). Il y a cependant un problème de durabilité de ce rechargement, qui devrait idéalement provenir des îles de la Madeleine (distance de transport, retombées locales). Les matériaux en provenance des îles étant très sensibles à la dégradation avec le temps, les contraintes hydrodynamiques et celles de gel/dégel, il est recommandé de bien documenter d'année en année les travaux temporaires de protection des étangs aérés pour obtenir une idée de la vitesse de dégradation de ces matériaux locaux. Bien que des données préliminaires aient pu être obtenues dans le cadre de la présente étude, une étude plus approfondie de disponibilité de pierre de type « rip-rap » local et de galets importés devra également être réalisée.

La géométrie requise pour que cette protection de berge en matériaux grossiers soit efficace a été définie en fonction de la remontée des vagues sur une plage présentant une pente de 10 %. La crête de la plage devrait se trouver à l'élévation +2,2 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.

Le calcul de la grosseur de la pierre de type « rip-rap » à mettre en place a été effectué à l'aide de l'équation proposée par le C.E.M. (chapitre VI-5-3-7, page VI-5-84). Avec une vague déferlante de 1,75 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 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.

Ce concept de protection de berge s'apparente plus 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 locaux a été de placer un quart 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.

L'avantage de ce concept par rapport à une protection traditionnelle en enrochement est que le résultat des travaux de protection est une plage accessible, alors que l'enrochement traditionnel crée une barrière en termes d'accès à une plage qui est de toute façon dégradée à cause de la présence de l'enrochement.

D'autres avantages de ce concept par rapport à l'enrochement sont la diminution des risques liés à la réalisation des travaux (risques de réclamations dues aux conditions géotechniques ou météorologiques particulières et risques de dépassement des quantités apparaissant au contrat)

La figure suivante illustre la coupe type proposée dans le cas d'une telle protection de berge dans le secteur ouest de la plage de La Grave. La pierre de rip-rap locale serait mise en place selon une géométrie relativement facile à obtenir pour l'entrepreneur avec des bouteurs (pente externe 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.

Ce concept pourrait éventuellement être appliqué à la face ouest de la pointe Shea de façon à améliorer la stabilité d'un concept de rechargement de plage en sable de la partie orientale de La Grave.

Un concept de rechargement réalisé à l'aide de galets importés ayant une durabilité améliorée par rapport aux matériaux locaux requerrait nettement moins de matériaux à mettre en place contre la falaise de la Pointe de la Croix et impliquerait potentiellement une diminution des coûts de ce type de projet par rapport au projet décrit ci-dessus utilisant des matériaux grossiers locaux (voir chapitre 9.8). Par contre, des matériaux plus résistants n'alimenteraient pas en sédiments les plages adjacentes de façon aussi efficace que des matériaux locaux.

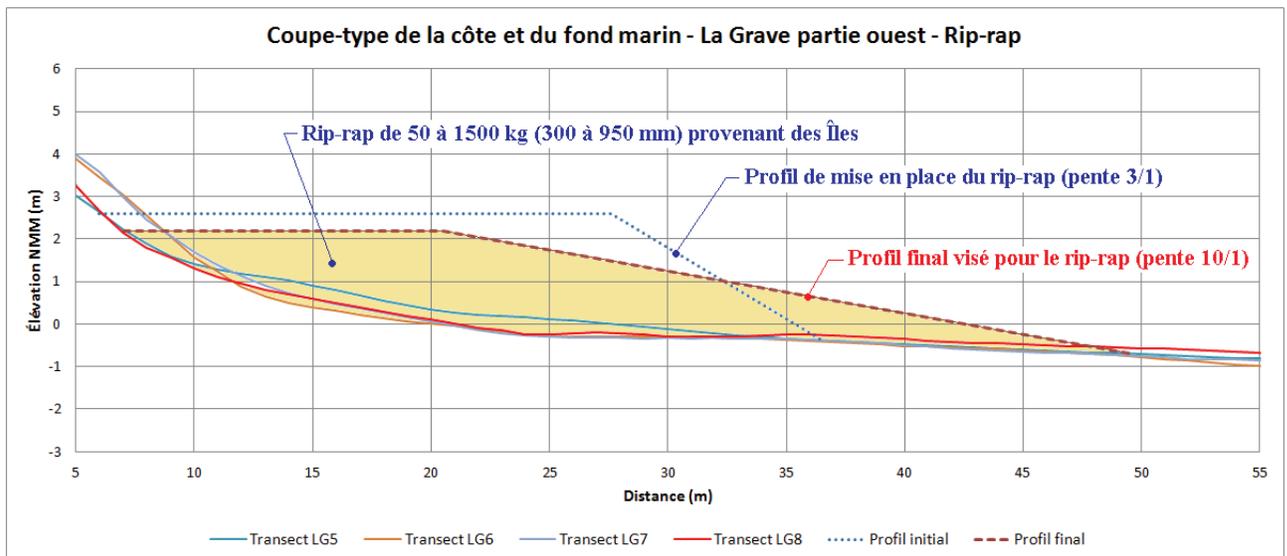


Figure 13.11 Coupe type d'une protection de berge en matériaux grossiers devant la partie ouest de la plage de La Grave

13.6 Rechargement de plage mixte

Des concepts de rechargement de plage mixte ont été développés entre autres dans le cadre de projets de restauration d'habitats. Ce genre de concept utilise différentes granulométries de matériaux, dont un noyau en matériaux grossiers (gravier, galets ou cailloux) destiné à résister aux événements extrêmes et un recouvrement de ce noyau à l'aide de matériaux plus fins (sable et/ou gravier).

Appliquée au site de La Grave, cette approche permettrait de minimiser l'empiètement des travaux de restauration sur le milieu marin tout en diminuant les risques pour au moins une partie des infrastructures existantes.

Du point de vue de la conception de ce genre d'ouvrage, il n'existe pas de « recette » paramétrique toute faite et la conception d'un tel projet doit passer soit par un processus de « projet-pilote » avec suivi de performance sur plusieurs années, soit par une phase d'essais en modèle réduit permettant de répondre aux questions concernant la performance et la durabilité du concept. Le Québec a la chance de posséder un laboratoire qui, par sa taille, est l'un des mieux équipés au monde pour ce genre d'essais (INRS-ETE à Québec).

La figure suivante présente un concept de plage mixte gravier / sable réalisée près de Everett (Puget Sound – Washington) dans le cadre d'un projet de restauration d'habitat pour le saumon²¹. Le concept s'articule autour d'un noyau en gravier (diamètre maximal de 76 mm) recouvert du côté externe d'un sable et gravier (diamètre maximal de 38 mm).

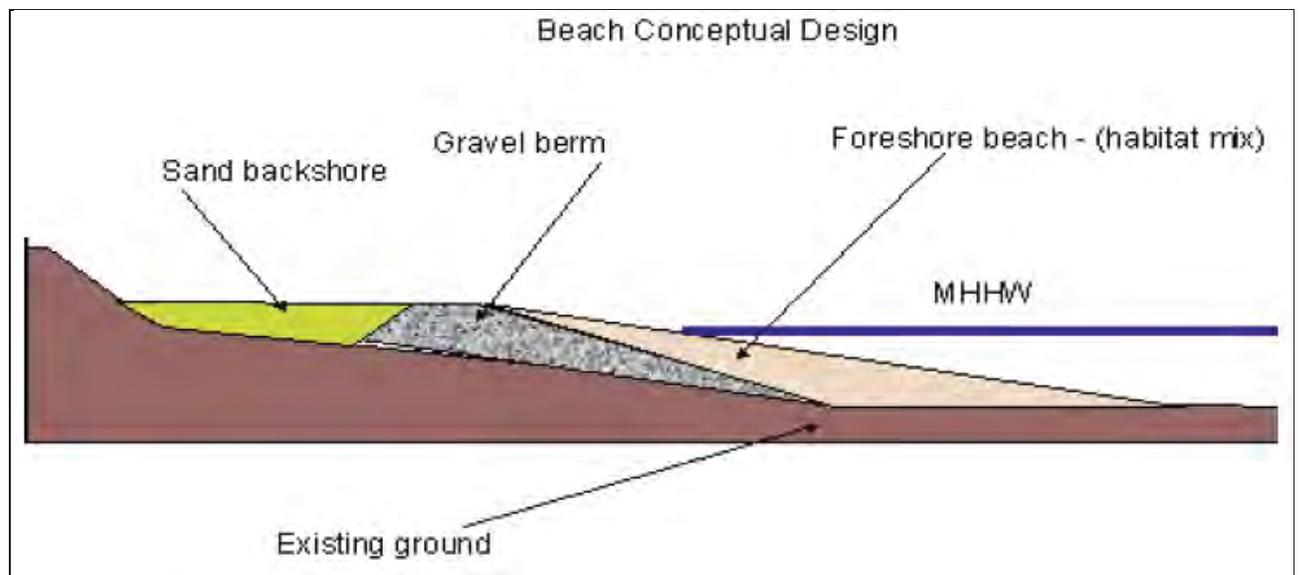


Figure 13.12 Exemple de concept de rechargement de plage mixte dans l'état de Washington USA

²¹ Houghton, J. & al. "Restoring the beaches of Puget Sound – Two promising prototypes in Everett, WA"

À cause des vagues qui sont plus fortes que dans la Baie de Plaisance que dans Puget Sound, pour obtenir la performance recherchée, le noyau d'un rechargement mixte requis le long de la plage de La Grave devra probablement être plus grossier.

13.7 Rechargement de plage avec épis

Du rechargement de plage avec épis sans butée de pied de plage ne semble pas être une avenue envisageable. La raison principale en est le non-respect des critères d'équilibre de la pente de la plage rechargée expliquée dans les chapitres précédents. Le sable de recharge de plage placé entre les épis fuirait par l'extrémité la plus au large des épis et cette fuite de matériel risquerait de ne même pas servir de protection au rivage en aval.

Une autre raison de ne pas envisager l'utilisation d'épis seuls pour retenir les sédiments est la trop faible quantité de sable qui semble circuler devant la plage de La Grave avec l'attaque généralement frontale des vagues qui semble induire autant de circulation des sédiments de la côte vers le large que de circulation parallèle à la côte de ces sédiments.

Par contre, ces épis perpendiculaires au rivage peuvent (et doivent probablement) être envisagés pour retenir une recharge de plage faite devant la plage de La Grave (avec butée de pied de plage).

13.8 Brise-lames submersibles au large

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

Le fait de viser un brise-lames submersible (dont la crête se trouverait au maximum au zéro des cartes marines) fait en sorte que ce brise-lames 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 tout à fait inefficace pour arrêter l'action érosive des vagues lors de ces très hauts niveaux d'eau. De plus, ce brise-lames se trouverait à une distance de 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. Tout au plus verrait-on une certaine accumulation se produire immédiatement en amont du brise-lames, loin de la zone de marnage.

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. De plus, ils retiendraient l'eau à marée basse, d'autant que des épis seraient aussi requis. Cette option n'a donc pas été retenue.

13.9 Digue de protection au droit de l'ancien quai

La mise en place d'une digue de protection de la plage sur le site de l'ancien quai a été évoquée comme solution potentielle à l'érosion de la plage. Plusieurs problématiques doivent être résolues dans le cadre de cette solution.

La première problématique est que cette solution d'une protection au large ne devrait pas modifier rapidement et significativement l'état de vulnérabilité de la plage dans les conditions de tempête du secteur est. Il faudrait donc envisager cette solution dans une perspective à long terme et idéalement l'accompagner d'une solution de protection de la plage à court terme (rechargement en sable / gravier / galets par exemple).

La deuxième problématique est que, pour que le projet ait une chance de passer le test de l'évaluation environnementale, il faudra probablement s'orienter vers une solution pouvant être associée à une valorisation du milieu, comme un projet d'habitat pour le homard. Il sera donc difficile de penser à des murs de béton, mais réfléchir plutôt en termes de digue en enrochement ou en blocs de béton préfabriqués.

Une troisième problématique est celle de la pérennité de la structure proposée. Pour « certifier » cette pérennité, il sera requis de la rendre stable en conditions extrêmes. Pour ce faire, la crête de la structure devra être placée significativement plus haut que l'extrême de niveau d'eau de conception. Cette digue aura donc des dimensions relativement imposantes et les coûts de construction qui en découleront seront aussi imposants. De plus, si cette structure doit être rendue accessible aux piétons sur une base sécuritaire, il sera requis de hausser ses critères de stabilité, en l'occurrence encore augmenter ses dimensions et s'assurer que d'une part la structure reste stable au cours des tempêtes et d'autre part que, si l'accès à cette structure n'est pas règlementé par une autorité locale, son accès reste sécuritaire en tout temps.

Enfin, il reste à définir la géométrie idéale de cette structure pour protéger la plage (orientation et longueur). Il n'est pas du tout évident que la géométrie de l'ancien quai ait été significativement efficace dans ce sens. Des géométries alternatives devront être évaluées, en s'assurant que cette nouvelle structure n'aura pas d'effets potentiellement néfastes en termes de circulation générale des sédiments dans l'Anse Painchaud.

Une telle digue de protection de la plage de La Grave devra donc faire l'objet d'études spécialisées avant d'être proposée et son coût sera significatif.

13.10 Déplacement d'infrastructures

Le déplacement ou le déménagement de certaines résidences et de certaines infrastructures urbaines (route, services) devrait être envisagé dans le cas de La Grave, surtout lorsque ces infrastructures sont tellement avancées sur la plage qu'elles augmentent significativement le coût d'une solution globale. Les maisons les plus à l'est sont particulièrement visées par cette remarque, mais d'autres maisons gagneraient beaucoup à soit être posées sur pilotis (comme à

l'origine de La Grave), soit être reculées pour être moins sujettes à l'érosion. Les nombreux empiètements faits sur la plage de La Grave devraient être règlementés (installations temporaires estivales et non-installations permanentes requérant de la protection).

Dans une perspective à court ou moyen terme, le rehaussement de la structure et la mise sur pilotis de certains bâtiments pourraient atténuer l'effet catastrophique pour la plage des fondations étanches et profondes de plusieurs de ces bâtiments. La remarque s'applique également aux structures temporaires comme les terrasses. Il serait requis de s'assurer en concevant ces fondations sur pilotis que l'eau et les vagues peuvent effectivement passer sous le bâtiment sans obstacle autre que les pilotis. Ces pilotis devront pouvoir résister aux impacts des vagues de tempête et être placés assez profondément dans la plage pour ne pas être affectés par des phénomènes d'affouillement local autour des pilotis provoqués par les vagues lors des tempêtes.

La mise en place d'éléments de protection comme des blocs de béton en rangée est fortement déconseillée, ces blocs ayant pour conséquence la détérioration de la plage et l'augmentation des problématiques de vulnérabilité de l'ensemble des bâtiments sur La Grave. Les alternatives aux blocs de béton ne sont pas nombreuses sur une base individuelle. Il serait nettement préférable de reconstituer la plage à l'aide de graviers et galets autour des bâtiments affectés par l'érosion, mais si possible sur une base communautaire (au moins un secteur à la fois) pour en améliorer l'efficacité.

13.11 Solutions en érosion 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 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 intégralement 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.

Les coûts des deux solutions retenues pour ce secteur sont comme suit (voir détails en annexe) – les solutions de plage de galets ou de plage mixte n'ont pu être évaluées faute de méthode paramétrique permettant d'en déterminer les dimensions :

Solution 1 – Partie ouest - Rechargement de la plage avec matériaux grossiers (350 m)	Coût initial : 1 949 000 \$ Rechargements périodiques : <u>1 021 000 \$</u> Coût total : 2 970 000 \$	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).
Solution 1 – Partie est - Rechargement de la plage (350 m) avec épis transversaux et butées de pied	Coût initial : 6 323 000 \$ Rechargements périodiques : <u>3 266 000 \$</u> Coût total : 9 589 000 \$	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.

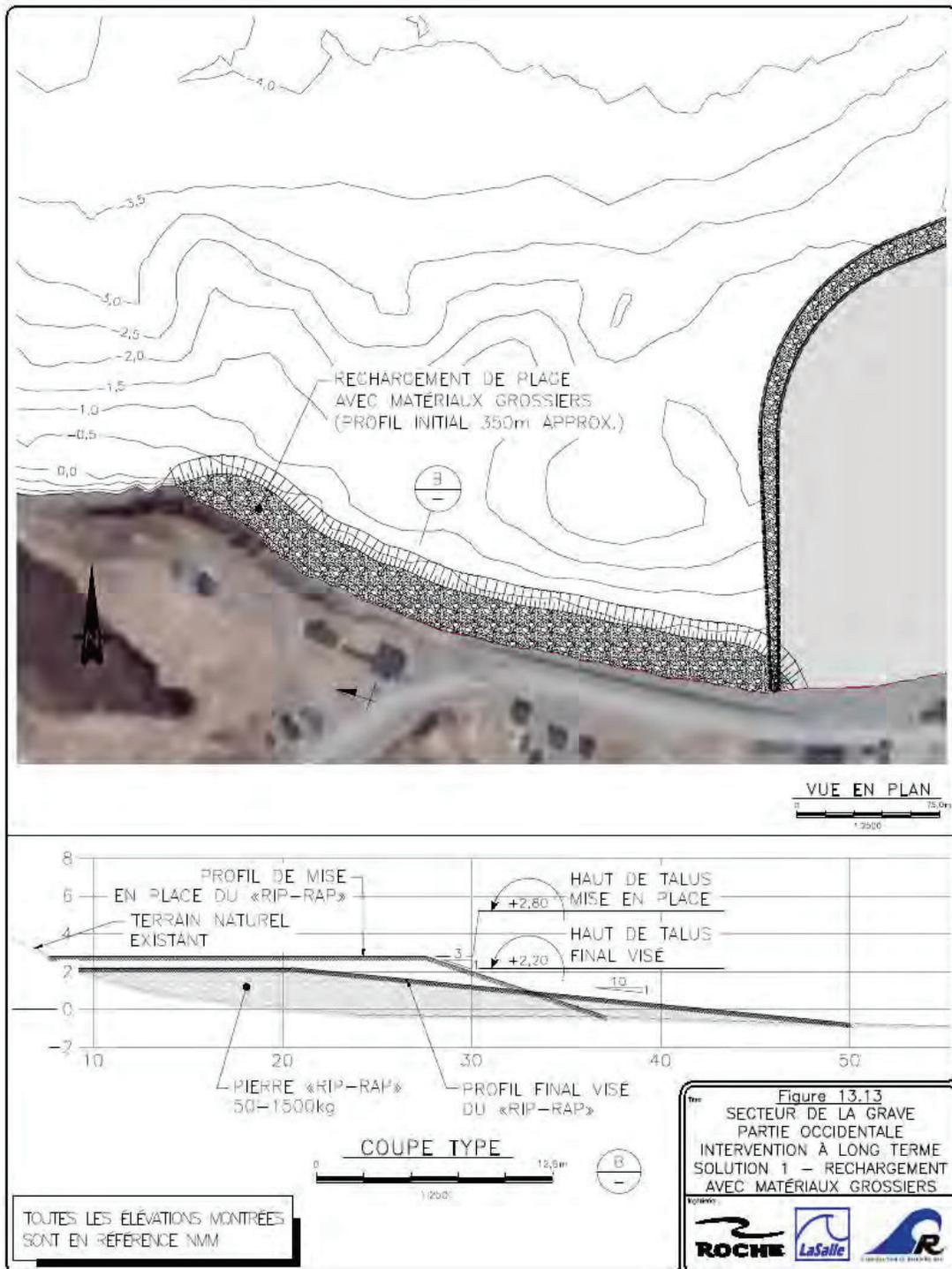


Figure 13.13 Secteur de La Grave – Partie ouest – Rechargement de la plage avec matériaux grossiers

Érosion côtière baie de Plaisance

Îles-de-la-Madeleine

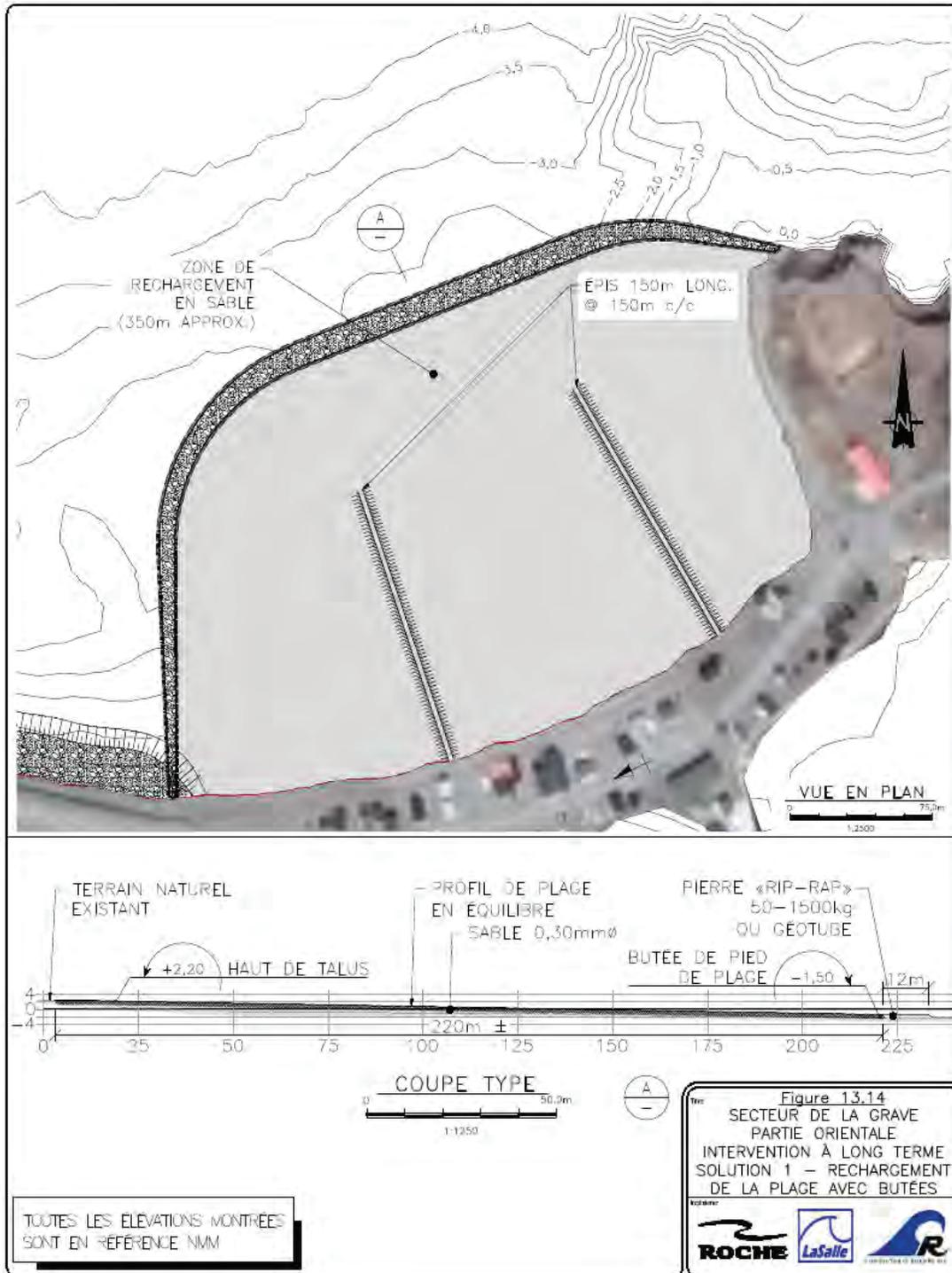


Figure 13.14 Secteur de La Grave – Partie est – Rechargement de la plage avec épis et butées

14. COÛT GLOBAL DU PROJET ET PLAN D'ACTION

14.1 Coût global des interventions proposées

L'ensemble des coûts des interventions proposées dans cette étude est résumé dans le tableau 14.1 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 de la 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 plus 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 (influe 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 rip-rap ou galets 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.

Tableau 14.1 – 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 PLAGES 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 \$ Rechargements périodiques : <u>8 710 000 \$</u> Coût total : 25 580 000 \$	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.

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 \$ Rechargements périodiques : <u>2 202 000 \$</u> Coût total : 6 606 000 \$	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.

SECTEUR DE LA GRAVE

Solution 1 – Partie ouest - Rechargement de la plage avec matériaux grossiers (350 m)	Coût initial : 1 949 000 \$ Rechargements périodiques : <u>1 021 000 \$</u> Coût total : 2 970 000 \$	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).
Solution 1 – Partie est - Rechargement de la plage (350 m) avec épis transversaux et butées de pied	Coût initial : 6 323 000 \$ Rechargements périodiques : <u>3 266 000 \$</u> Coût total : 9 589 000 \$	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.

14.2 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.

14.2.1 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.

14.2.2 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).



Figure 14.1 – Vues du chemin de Gros Cap à protéger, près de la garderie

14.2.3 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.

14.2.4 Autres secteurs

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

14.3 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 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.

RÉFÉRENCES

- [1] KOMEN, G.L., CAVALERI, L., DONELAN, K., HASSELMANN, S., HASSELMANN, S. ET JANSSEN, P.A.E.M. (1994). *Dynamics and Modelling of Ocean Waves*. Cambridge University Press, UK, 532 p.
- [2] HOLTHUIJSEN, L.H., BOOIJ, N. ET HERBERS, T.H.C (1989). *A prediction Model for Stationary Short-Crested Waves in Shallow Water with Ambient Currents*. Coastal Engineering, 13, pp. 23-54.
- [3] CIDCO (2010). *Levés côtiers pour l'évaluation de la dynamique sédimentaire aux îles-de-la-Madeleine*. Rapport de mission 1.0. Préparé pour le Ministère des Transports du Québec, février 2010.
- [4] BERNATCHEZ, P., TOUBAL, T., VAN-WIERTS, S., DREJZA, S. ET FRIESINGER, S. (2010). *Caractérisation géomorphologique et sédimentologique des unités hydrosédimentaires de la baie de Plaisance et de Pointe-aux-Loups, route 199, îles-de-la-Madeleine*. Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières, Université du Québec à Rimouski. Rapport final remis au Ministère des Transports du Québec, avril 2010, 177p.
- [5] BATTJES, J.A. ET JANSSEN, J.P.F.M. (1979). *Energy loss and set-up due to breaking of random waves*. Proc. 16th Int. Coastal Engineering Conference, 1978, Hamburg, ASCE, New York, N.Y., pp 567-587.

ANNEXE
ESTIMATIONS DE COÛTS

Secteur des Étangs Aérés
Intervention à long terme - Solution 1
Enrochement (125 + 50 m)

175 ml

Item	Description	Quantités	Unités de mesurage	Coût unitaire (\$)	Coût (\$)
1	Organisation de chantier	Global		12%	65 000 \$
2	Excavation & remblai	1200	m ³	30	36 000 \$
3	Excavation roc	900	m ³	100	90 000 \$
4	Pierre filtre 100 - 200 kg	700	m ³	110	77 000 \$
5	Pierre de carapace 1 - 2 tonnes	2450	m ³	125	306 250 \$
6	Membrane géotextile	2275	m ²	15	34 125 \$
	SOUS-TOTAL				609 000 \$
7	Contingences			20%	122 000 \$
8	Études (environnement, géotechnique, topo-bathymétrie, autres), ingénierie, surveillance des travaux			25%	183 000 \$
	TOTAL (Taxes en sus)				914 000 \$

Secteur des Étangs Aérés

Intervention à long terme - Solution 2

Rechargement de la plage avec butée (125 + 110 m) 235 ml

Item	Description	Quantités	Unités de mesurage	Coût unitaire (\$)	Coût (\$)
1	Organisation de chantier	Global		12%	320 000 \$
2	Sable 0,30mm dia.	68 000	m ³	20	1 360 000 \$
3	Pierre RIP-RAP (50 - 1500 kg)	10 900	m ³	120	1 308 000 \$
	SOUS-TOTAL				2 988 000 \$
4	Contingences			20%	598 000 \$
5	Études (environnement, géotechnique, topo-bathymétrie, autres), ingénierie, surveillance des travaux			15%	538 000 \$
	TOTAL (Taxes en sus)				4 124 000 \$

Rechargements récurrents: cette solution nécessitera des rechargements périodiques

Hypothèse: 25% du volume initial à tous les 7-8 ans, soit 100% sur la vie utile du projet (35 ans)

Note: estimation de coût en dollars constants

Item	Description	Quantités	Unités de mesurage	Coût unitaire (\$)	Coût (\$)
1	Organisation de chantier	Global		12%	163 000 \$
2	Sable 0,30mm dia.	68 000	m ³	20	1 360 000 \$
	SOUS-TOTAL				1 523 000 \$
4	Contingences			20%	305 000 \$
5	Études (environnement, topo-bathymétrie, autres), ingénierie, surveillance des travaux			15%	275 000 \$
	TOTAL (Taxes en sus)				2 103 000 \$

	TOTAL DU PROJET (Taxes en sus)				6 227 000 \$
--	---------------------------------------	--	--	--	---------------------

Érosion côtière baie de Plaisance

Îles-de-la-Madeleine

Secteur des Étangs Aérés

Intervention à long terme - Solution 3

**Rechargement de la plage avec avec matériaux grossiers
(125 + 55 m)**

180 ml

Item	Description	Quantité	Unité de mesure	Coût unitaire (\$)	Coût (\$)
1	Organisation de chantier	Global		12%	67 000 \$
2	Pierre de rechargement grossier (50-1500kg)	9000	m ³	60	540 000 \$
SOUS-TOTAL					607 000 \$
3	Contingence			20%	121 000 \$
4	Études (environnement, géotechnique, topo-bathymétrie, autres), ingénierie, surveillance des travaux			23%	162 000 \$
TOTAL (Taxes en sus)					908 000 \$

Rechargements récurrents: cette solution nécessitera des rechargements périodiques

Hypothèse: 25% du volume initial à tous les 15 ans, soit 50% sur la vie utile du projet (35 ans)

Note: estimation de coût en dollars constants

Item	Description	Quantité	Unité de mesure	Coût unitaire (\$)	Coût (\$)
1	Organisation de chantier	Global		12%	32 000 \$
2	Pierre de rechargement grossier (50-1500kg)	4500	m ³	60	270 000 \$
SOUS-TOTAL					302 000 \$
3	Contingence			20%	61 000 \$
4	Études (environnement, topo-bathymétrie, autres) ingénierie, surveillance des travaux			23%	61 000 \$
TOTAL (Taxes en sus)					454 000 \$

TOTAL DU PROJET (Taxes en sus)					1 362 000 \$
---------------------------------------	--	--	--	--	---------------------

Secteur des Étangs Aérés
Intervention à court terme
Rechargement de la plage avec avec matériaux grossiers
(125 + 25 m)

150 ml

Item	Description	Quantités	Unités de mesurage	Coût unitaire (\$)	Coût (\$)
1	Organisation de chantier	Global		12%	22 000 \$
2	Pierre (0 - 500 kg)	3000	m ³	60	180 000 \$
	SOUS-TOTAL				202 000 \$
3	Contingences			20%	41 000 \$
4	Études (environnement, géotechnique, topo-bathymétrie, autres), ingénierie, surveillance des travaux			25%	61 000 \$
	TOTAL (Taxes en sus)				304 000 \$

Érosion côtière baie de Plaisance
 Îles-de-la-Madeleine

Secteur du Gros-Cap
Intervention à long terme - Solution 1
Enrochement (1375+ 600 m)

1975 ml

Item	Description	Quantités	Unités de mesurage	Coût unitaire (\$)	Coût (\$)
1	Organisation de chantier	Global		12%	1 217 000 \$
2	Excavation & remblai	10 000	m ³	30	300 000 \$
3	Excavation roc	14 000	m ³	100	1 400 000 \$
4	Pierre filtre 100 - 200 kg	15 800	m ³	110	1 738 000 \$
5	Pierre de carapace 1 - 2 tonnes	49 375	m ³	125	6 171 875 \$
6	Membrane géotextile	35 550	m ²	15	533 250 \$
	SOUS-TOTAL				11 361 000 \$
7	Contingences			20%	2 273 000 \$
8	Études (environnement, géotechnique, topo-bathymétrie, autres), ingénierie, surveillance des travaux			15%	2 046 000 \$
	TOTAL (Taxes en sus)				15 680 000 \$

Secteur du Gros-Cap

Intervention à long terme - Solution 2

Rechargement de la plage avec matériaux grossiers (1375 + 600m)

1975 ml

Item	Description	Quantités	Unités de mesurage	Coût unitaire (\$)	Coût (\$)
1	Organisation de chantier	Global		12%	1 002 000 \$
2	Sable 0,30mm dia. (recouvrement initial plage de la garderie 600m)	12 600	m ³	20	252 000 \$
3	Pierre Rip-Rap (50 - 1500 kg)	135 000	m ³	60	8 100 000 \$
	SOUS-TOTAL				9 354 000 \$
4	Contingences			20%	1 871 000 \$
5	Études (environnement, géotechnique, topo-bathymétrie, autres), ingénierie, surveillance des travaux			15%	1 684 000 \$
	TOTAL (Taxes en sus)				12 909 000 \$

Rechargements récurrents: cette solution nécessitera des rechargements périodiques

Hypothèse pour matériaux grossiers: 25% du volume initial à tous les 15 ans, soit 50% sur la vie utile du projet (35 ans)

Hypothèse pour sable: Ajout de 25% du volume initial chaque année, pour la durée de la vie utile (35 ans)

Note: estimation de coût en dollars constants

Item	Description	Quantités	Unités de mesurage	Coût unitaire (\$)	Coût (\$)
1	Organisation de chantier	Global		12%	520 000 \$
2	Sable 0,30mm dia. (recouvrement annuel plage de la garderie 600m)	12 600	m ³	20	252 000 \$
3	Pierre Rip-Rap (50 - 1500 kg) Rechargement à tous les 15 ans)	68 000	m ³	60	4 080 000 \$
	SOUS-TOTAL				4 852 000 \$
4	Contingences			20%	971 000 \$
5	Études (environnement, géotechnique, topo-bathymétrie, autres), ingénierie, surveillance des travaux			15%	874 000 \$
	TOTAL (Taxes en sus)				6 697 000 \$

TOTAL DU PROJET (Taxes en sus)	19 606 000 \$
---------------------------------------	----------------------

Érosion côtière baie de Plaisance

Îles-de-la-Madeleine

Secteur du Gros-Cap (plage de la Garderie)

Intervention à long terme - Solution 3

Rechargement de la plage avec butée de pied de plage (350 m; plage de la Garderie seulement)

Item	Description	Quantités	Unités de mesurage	Coût unitaire (\$)	Coût (\$)
1	Organisation de chantier	Global		12%	867 000 \$
2	Sable 0,30mm dia.	210 000	m ³	20	4 200 000 \$
3	Pierre Rip-Rap (50 - 1500 kg)	25 200	m ³	120	3 024 000 \$
	SOUS-TOTAL				8 091 000 \$
4	Contingences			20%	1 619 000 \$
5	Études (environnement, géotechnique, topo-bathymétrie, autres), ingénierie, surveillance des travaux			15%	1 457 000 \$
	TOTAL (Taxes en sus)				11 167 000 \$

Rechargements récurrents: cette solution nécessitera des rechargements périodiques

Hypothèse: 25% du volume initial à tous les 7-8 ans, soit 100% sur la vie utile du projet (35 ans)

Note: estimation de coût en dollars constants

Item	Description	Quantités	Unités de mesurage	Coût unitaire (\$)	Coût (\$)
1	Organisation de chantier	Global		12%	504 000 \$
2	Sable 0,30mm dia.	210 000	m ³	20	4 200 000 \$
	SOUS-TOTAL				4 704 000 \$
4	Contingences			20%	941 000 \$
5	Études (environnement, topo-bathymétrie, autres), ingénierie, surveillance des travaux			12%	678 000 \$
	TOTAL (Taxes en sus)				6 323 000 \$

TOTAL DU PROJET (Taxes en sus)					17 490 000 \$
---------------------------------------	--	--	--	--	----------------------

Érosion côtière baie de Plaisance

Îles-de-la-Madeleine

Secteur de la plage du Chemin des Chalets
Intervention à long terme - Solution 1
Déménagement des chalets et rechargement du haut de la plage (700 m)

NOTE: Le coût du déménagement des chalets n'est pas estimé dans le tableau suivant.

Item	Description	Quantités	Unités de mesurage	Coût unitaire (\$)	Coût (\$)
1	Organisation de chantier	Global		12%	50 000 \$
2	Sable 0,30mm dia.	20 000	m ³	20	400 000 \$
3	Renaturalisation de la berge (plantation)		global		15 000 \$
	SOUS-TOTAL				465 000 \$
3	Contingences			20%	93 000 \$
4	Études (environnement, géotechnique, topo-bathymétrie, autres), ingénierie, surveillance des travaux			30%	168 000 \$
	TOTAL (Taxes en sus)				726 000 \$

Secteur de la plage du Chemin des Chalets
Intervention à long terme - Solution 2
Rechargement de la plage (900 m) avec épis (7 x 150 m)

Item	Description	Quantité	Unité de mesure	Coût unitaire (\$)	Coût (\$)
1	Organisation de chantier	6000		12%	1 200 000 \$
2	Sable #3, 50mm d'a.	270 000	m ³	30	8 100 000 \$
3	Pierre R P-RAP (30 - 1500 kg)	40000	m ³	120	4 800 000 \$
	SOUS-TOTAL				14 100 000 \$
4	Coûts généraux			25%	3 525 000 \$
5	Études (environnement, géotechnique, modélisation physique, topobathymétrie, autres), ingénierie, surveillance des travaux			25%	2 912 000 \$
	TOTAL (Taxes en sus)				16 870 000 \$

Rechargements récurrents: cette solution nécessite des rechargements périodiques

Hypothèse: 25% du volume initial à tous les 7-8 ans, soit 100% sur la vie utile du projet (35 ans)

Note: estimation de coût en dollars constants

Item	Description	Quantité	Unité de mesure	Coût unitaire (\$)	Coût (\$)
1	Organisation de chantier	6000		12%	840 000 \$
2	Sable #3, 50mm d'a.	270 000	m ³	30	8 100 000 \$
	SOUS-TOTAL				8 940 000 \$
4	Coûts généraux			25%	1 215 000 \$
5	Études (environnement, géotechnique, modélisation physique, topobathymétrie, autres), ingénierie, surveillance des travaux			25%	1 482 000 \$
	TOTAL (Taxes en sus)				8 710 000 \$

TOTAL DU PROJET (Taxes en sus)					25 580 000 \$
---------------------------------------	--	--	--	--	----------------------

Secteur de la Pointe de la Martinique
Intervention à long terme - Solution 1
Enrochement (700 m)

700 ml

Item	Description	Quantités	Unités de mesurage	Coût unitaire (\$)	Coût (\$)
1	Organisation de chantier	Global		12%	365 000 \$
2	Excavation & remblai	700	m ³	30	21 000 \$
3	Excavation roc	6 300	m ³	100	630 000 \$
4	Pierre filtre 100 - 200 kg	4 550	m ³	100	455 000 \$
5	Pierre de carapace 1 - 2 tonnes	14 700	m ³	120	1 764 000 \$
6	Membrane géotextile	11 200	m ²	15	168 000 \$
	SOUS-TOTAL				3 403 000 \$
7	Contingences			20%	681 000 \$
8	Études (environnement, géotechnique, topo-bathymétrie, autres), ingénierie, surveillance des travaux			20%	817 000 \$
	TOTAL (Taxes en sus)				4 901 000 \$

Érosion côtière baie de Plaisance
 Îles-de-la-Madeleine

**Secteur de la Pointe de la Martinique
Intervention à long terme - Solution 2**

Rechargement de la plage avec matériaux grossiers (700 m) 700 ml

Item	Description	Quantités	Unités de mesurage	Coût unitaire (\$)	Coût (\$)
1	Organisation de chantier	Global		12%	328 000 \$
2	Pierre RIP-RAP (50 - 1500 kg)	45 500	m ³	60	2 730 000 \$
	SOUS-TOTAL				3 058 000 \$
3	Contingences			20%	612 000 \$
4	Études (environnement, géotechnique, topo-bathymétrie, autres), ingénierie, surveillance des travaux			20%	734 000 \$
	TOTAL (Taxes en sus)				4 404 000 \$

Rechargements récurrents: cette solution nécessitera des rechargements périodiques

Hypothèse pour matériaux grossiers: 25% du volume initial à tous les 15 ans, soit 50% sur la vie utile du projet (35 ans)

Note: estimation de coût en dollars constants

Item	Description	Quantités	Unités de mesurage	Coût unitaire (\$)	Coût (\$)
1	Organisation de chantier	Global		12%	164 000 \$
2	Pierre RIP-RAP (50 - 1500 kg)	22 750	m ³	60	1 365 000 \$
	SOUS-TOTAL				1 529 000 \$
3	Contingences			20%	306 000 \$
4	Études (environnement, topo-bathymétrie, autres), ingénierie, surveillance des travaux			20%	367 000 \$
	TOTAL (Taxes en sus)				2 202 000 \$

COÛT TOTAL DU PROJET (TAXES EN SUS)	6 606 000 \$
--	---------------------

Érosion côtière baie de Plaisance

Îles-de-la-Madeleine

Secteur La Grave partie ouest

Intervention à long terme - Solution 1

Rechargement de la plage avec avec matériaux grossiers (350 m) 350 ml

Item	Description	Quantités	Unités de mesurage	Coût unitaire (\$)	Coût (\$)
1	Organisation de chantier	Global		12%	151 000 \$
2	Pierre RIP-RAP (50 - 1500 kg)	21000	m ³	60	1 260 000 \$
	SOUS-TOTAL				1 411 000 \$
3	Contingences			20%	283 000 \$
4	Études (environnement, géotechnique, topo-bathymétrie, autres), ingénierie, surveillance des travaux			15%	255 000 \$
	TOTAL (Taxes en sus)				1 949 000 \$

Rechargements récurrents: cette solution nécessitera des rechargements périodiques

Hypothèse pour matériaux grossiers: 25% du volume initial à tous les 15 ans, soit 50% sur la vie utile du projet (35 ans)

Note: estimation de coût en dollars constants

Item	Description	Quantités	Unités de mesurage	Coût unitaire (\$)	Coût (\$)
1	Organisation de chantier	Global		12%	79 000 \$
3	Pierre Rip-Rap (50 - 1500 kg) Rechargement à tous les 15 ans)	11 000	m ³	60	660 000 \$
	SOUS-TOTAL				739 000 \$
4	Contingences			20%	148 000 \$
5	Études (environnement, géotechnique, topo-bathymétrie, autres), ingénierie, surveillance des travaux			15%	134 000 \$
	TOTAL (Taxes en sus)				1 021 000 \$

TOTAL DU PROJET (Taxes en sus)					2 970 000 \$
---------------------------------------	--	--	--	--	---------------------

Érosion côtière baie de Plaisance

Îles-de-la-Madeleine

Secteur La Grave partie est
Intervention à long terme - Solution 1

Rechargement de la plage avec butée (350 m) 350 ml

Item	Description	Quantités	Unités de mesurage	Coût unitaire (\$)	Coût (\$)
1	Organisation de chantier	Global		12%	491 000 \$
2	Sable 0,30mm dia.	108 500	m ³	20	2 170 000 \$
3	Pierre RIP-RAP (50 - 1500 kg)	16 000	m ³	120	1 920 000 \$
	SOUS-TOTAL				4 581 000 \$
4	Contingences			20%	917 000 \$
5	Études (environnement, géotechnique, topo-bathymétrie, autres), ingénierie, surveillance des travaux			15%	825 000 \$
	TOTAL (Taxes en sus)				6 323 000 \$

Rechargements récurrents: cette solution nécessitera des rechargements périodiques

Hypothèse: 25% du volume initial à tous les 7-8 ans, soit 100% sur la vie utile du projet (35 ans)

Note: estimation de coût en dollars constants

Item	Description	Quantités	Unités de mesurage	Coût unitaire (\$)	Coût (\$)
1	Organisation de chantier	Global		12%	260 000 \$
2	Sable 0,30mm dia.	108 500	m ³	20	2 170 000 \$
	SOUS-TOTAL				2 430 000 \$
4	Contingences			20%	486 000 \$
5	Études (environnement, topo-bathymétrie, autres), ingénierie, surveillance des travaux			12%	350 000 \$
	TOTAL (Taxes en sus)				3 266 000 \$

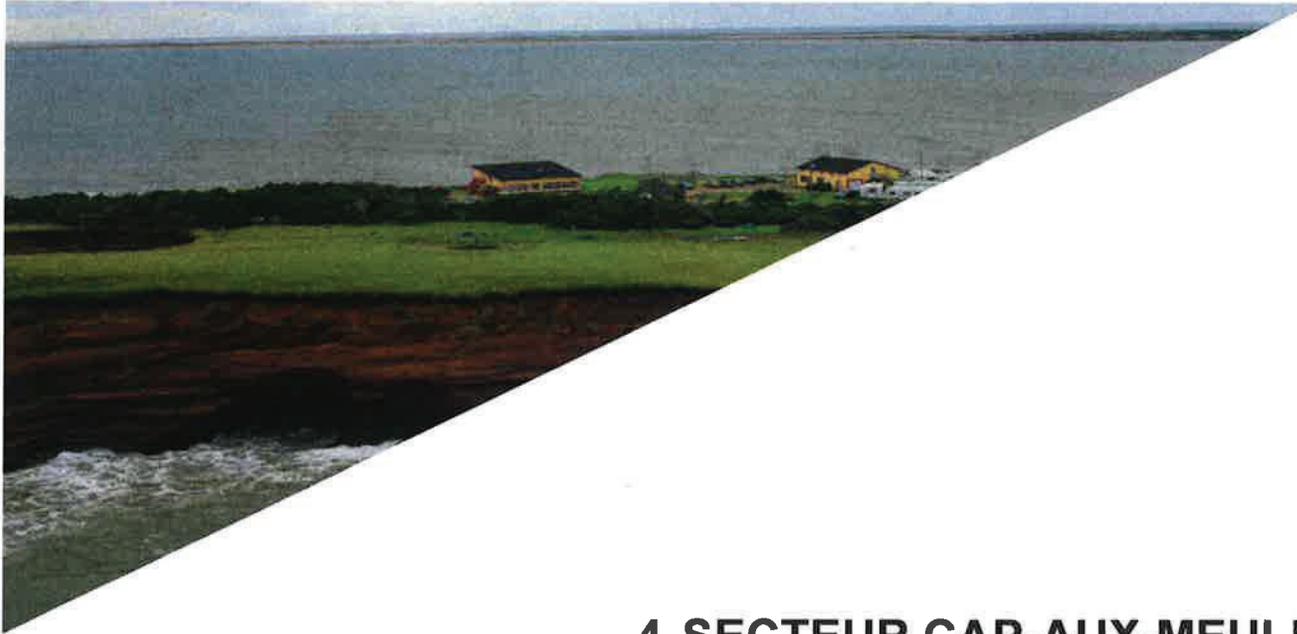
TOTAL DU PROJET (Taxes en sus)					9 589 000 \$
---------------------------------------	--	--	--	--	---------------------

Érosion côtière baie de Plaisance

Îles-de-la-Madeleine

Annexe 12

Analyse coûts-avantages des options d'adaptation en zone côtière aux Îles-de-la-Madeleine



4. SECTEUR CAP-AUX-MEULES

4.1 DESCRIPTION GÉNÉRALE DU SECTEUR

Le secteur Cap-aux-Meules s'étend sur plus de 8,8 km de la falaise rocheuse à l'ouest du Gros-Cap jusqu'au début de la zone portuaire. Ce secteur a été initialement découpé en 14 segments en fonction de la procédure de segmentation décrite à la section 2.3. La figure 4.1 présente les 14 segments ayant été analysés initialement le long du littoral de Cap-aux-Meules.

Toutefois, suite à une analyse préliminaire, 5 segments ont été omis de l'ACA compte tenu de l'absence d'enjeux dans la période d'analyse retenue. Ces segments sont présentés dans le tableau 4.1 suivant. De plus, 4 segments ont été regroupés soit les segments 9 à 12 puisqu'ils partagent la même problématique : segments de falaises localisés au centre-ville, ils accueillent la piste multifonctionnelle (sentier du littoral) ainsi que quelques bâtiments résidentiels et commerciaux.

Ainsi, aux fins de l'ACA, 6 segments seront retenus dans le secteur de Cap-aux-Meules soit :

1. Camping du Gros-Cap (segment 2)
2. Gros-Cap Est (segment 3)
3. Échouerie Ouest (segment 5)
4. Route municipale (segment 7)
5. Plage municipale (segment 8)
6. Centre-ville (regroupement des segments 9-10-11-12)



Figure 4.1 – Image satellite du secteur Cap-aux-Meules

Ces segments couvrent un total de 6,1 km de côte. Près de 90 % du littoral à l'étude est composé de falaises rocheuses, le reste étant constitué de terrasses de plage. Plus de 80 % de la côte est toujours active alors que moins de 25 % de la pente est recouverte de végétation, 8 % est semi-végétalisée et 12 % est stable du fait de la mise en place de mesure de protection (enrochement, blocs déversés, épi rocheux).

Tableau 4.1 – Segments du secteur Cap-aux-Meules omis de l'ACA

Segment	Localisation	Caractéristique	Enjeu
Segment 1	Segment de 1 027 m dans la zone de la falaise rocheuse à l'ouest du Gros-Cap	Basses falaises rocheuses de 4 à 5 mètres (96 %), aucune mesure de protection	Aucun enjeu. À cet endroit, les quelques bâtiments et infrastructures sont à plus de 130 mètres du bord du talus
Segment 4	Segment de 180 m de la fin du secteur Gros-Cap Est jusqu'à l'enrochement du motel	Falaises rocheuses (81 %), terrasse de plage (19 %), côte naturelle à 96 % sujette à l'érosion	Aucun enjeu majeur. Un seul bâtiment exposé à l'érosion d'ici 2065
Segment 6	Segment de 846 m localisé à la pointe de l'Échouerie	Falaises rocheuses (100 %), aucune mesure de protection	Aucun enjeu. Aucune structure. Route suffisamment éloignée et non exposée d'ici 2065
Segment 13	Segment de 256 m situé à la limite est du centre-ville de Cap-aux-Meules	Falaises rocheuses (100 %), aucune mesure de protection	Aucun enjeu. Structures résidentielles et commerciales suffisamment éloignées et non exposées d'ici 2065
Segment 14	Segment de 58 m situé au début de la zone portuaire	Côte artificielle (remblais de la zone portuaire)	Aucun enjeu

4.1.1 Segment Camping du Gros-Cap

Le segment Camping du Gros-Cap, d'une longueur de 1 730 m, est constitué en quasi-totalité de falaises de grès rouge non protégées d'une hauteur variant entre 5 et 16 mètres. Au haut de cette presqu'île qui s'avance dans la baie de Plaisance, on retrouve un terrain de camping de plus de 125 sites et 4 bâtiments, dont un pavillon (le pavillon Montreuil), une auberge (l'Auberge internationale des Îles-de-la-Madeleine pouvant accueillir 30 personnes), une structure d'accueil et un abri. Sur la partie étroite conduisant au camping sont localisés une route et quelques bâtiments à l'est. Dans ce

segment, seul un court tronçon de 62 m (3 %) situé à l'arrière du bâtiment d'accueil, à l'endroit où la route est le plus près du littoral, est enroché.

Ce segment est très exposé aux vagues. Soumis à une érosion graduelle importante, il se trouve affaibli par la présence de failles et de grottes. Cette situation est problématique et peut entraîner des effondrements et des reculs soudains pouvant atteindre plusieurs mètres ainsi que la formation de profondes encoches d'érosion. Les taux d'érosion sont variables selon l'orientation de la côte et le type de processus en action :

Ouest du Cap : Taux de recul probable de -0,37 m/an (1963-1977)

Est du Cap : Taux de recul probable de -0,46 m/an (2001-2008)

Nord-est du Cap : Taux de recul probable de -0,82 m/an (2001-2008).

Le taux de recul événementiel dans ce type de côte est estimé à -4,4 m.



Figure 4.2- Image satellite du segment Camping du Gros-Cap

4.1.2 Gros-Cap Est

Le segment Gros-Cap Est s'étend sur une distance d'un peu plus de 180 m à partir de la limite est du segment Camping Gros-Cap. Il présente une terrasse de plage entre deux basses falaises rocheuses, sans aucune mesure de protection. On y retrouve quelques résidences et un petit marais.



Figure 4.3 – Image satellite du segment Gros-Cap Est

La dérive littorale dominante transporte les sédiments du sud vers le nord. Les taux de déplacement mesurés de 2005 à 2012 à l'endroit des deux maisons les plus au sud (deux stations de suivi du LDGIZC) indiquent un recul moyen de -0,28 m/an avec un recul maximum de -0,70 m mesuré en 2010-2011. L'évolution historique montre que la période 1963-1983 a été la plus intense et c'est donc sur les taux observés pendant cette période (Bernatchez et al., 2012) que la présente analyse est basée. En fonction de la nature de la côte et de l'évolution historique de chaque section, le taux de recul probable du segment varie entre 0,45 m/an à -1,0 m/an. Le recul événementiel mesuré est de -4,4 m pour les falaises rocheuses et de -12,2 m à l'endroit de la terrasse de plage.

Une brèche dans la dune pourrait entraîner la submersion du milieu humide (marais) lors de tempêtes et peut-être même, un risque d'inondation de la maison au nord du secteur, laquelle est construite à une altitude d'environ 3 m. Au sud, les résidences sont situées à une altitude plus élevée (6 m) et pourraient être exposées à l'érosion d'ici 2065.

4.1.3 Segment Échouerie Ouest

Ce segment est constitué de basses falaises rocheuses sur une distance de 460 m dont la moitié est artificialisée. Il s'étend de l'enrochement du motel L'Archipel jusqu'à la pointe de l'Échouerie. L'enrochement devant le motel et l'usine de transformation est en bon état sauf pour une petite portion de 24 m (10 %) qui est très endommagé. On trouve également sur ce segment une résidence.



Figure 4.4 – Image satellite du segment Échouerie Ouest

La dérive littorale dominante transporte les sédiments de l'ouest vers l'est. Le taux de recul probable est estimé à -0,45 m/an (sur la base de la période 2001-2008) et le recul événementiel mesuré est de -4,4 m à l'endroit des falaises rocheuses.

Les commerces sont protégés par des enrochements. Les bâtiments sont toutefois très près de la côte ce qui exige un entretien régulier des structures de protection afin de les maintenir en bon état. L'impact de l'artificialisation de ce secteur est minime sur la dynamique hydrosédimentaire des segments voisins. Par contre, les ouvrages concentrent les vagues dans la partie centrale, entre le motel et l'usine ce qui accélère le processus d'érosion dans la section où la route est la plus près de la côte.

4.1.4 Segment Route municipale

Sur ce segment, le littoral est composé à 100 % de falaises rocheuses sur une longueur de 1 258 m. La côte est active sur 86 % du segment, le reste étant artificialisé au moyen d'enrochement (78 %) ou de blocs déversés (22 %) dont près de 40 % sont en très mauvais état. Le segment accueille à proximité du rivage des bâtiments et une route municipale.

Les falaises subissent une érosion graduelle. Les mesures faites sur 7 stations de suivi du LDGIZC entre 2005 et 2012 indiquent un taux de recul moyen de -0,31 m/an. Le recul maximal enregistré était de -2,30 m en 2011-2012, ce qui montre que des reculs importants peuvent survenir annuellement. Aux fins de l'ACA, le taux de recul probable projeté est de -0,38 m/an (enregistré sur la période 1963-1983) et le recul événementiel mesuré de -4,4 m.

La dureté variable du grès entraîne la formation d'encoches d'érosion dans tout le segment. Ces encoches reculent plus rapidement que le reste de la côte et nécessiteront de protéger certains tronçons de route et peut-être même, de relocaliser quelques résidences de manière progressive, à mesure que ces infrastructures seront exposées. Déjà, 2 encoches s'approchent dangereusement de la route (moins de 10 m). De plus, toutes les résidences sont à moins de 33 m du bord de la falaise, dont une à environ 15 m. Les actifs concernés dans ce segment comprennent donc 4 résidences de même que la route municipale.



Figure 4.5 – Image satellite du segment Route municipale

4.1.5 Segment Plage municipale

D'une longueur de 345 m, ce segment est constitué à 90 % d'une terrasse de plage bordée à l'ouest par une petite portion de falaises rocheuses. Un peu moins du quart de la côte est artificialisé par un enrochement (68 %) de même que par des blocs déversés (32 %). Près du tiers de ces ouvrages est complètement endommagé.

À l'ouest du segment, on trouve un petit cours d'eau qui est susceptible de produire des épisodes d'inondation lors des grandes marées combinées avec de fortes pluies. Lors de la tempête de 2010, une portion de la route municipale a d'ailleurs été inondée pendant quelques heures.

Au niveau de l'érosion, les mesures faites sur une station de suivi du LDGIZC entre 2005 et 2012 indiquent un taux de recul moyen de -0,54 m/an sur ce segment. Le recul maximal enregistré a été de -2,52 m en 2010-2011, ce qui montre que des reculs importants peuvent survenir annuellement, surtout lors des tempêtes. Aux fins de l'ACA, le taux d'érosion probable projeté est, pour la portion constituée d'une terrasse de plage,

de $-0,64$ m/an (enregistré dans la période 1963-1983). Un taux de $-0,38$ m/an (1963-1983) est considéré pour la portion de la côte composée de falaises rocheuses.

On retrouve dans ce secteur des bâtiments (condos), une portion de la route municipale ainsi que le début d'un sentier multifonctionnel longeant le littoral. Cette portion du sentier est présentement fermée en raison de l'érosion de la dune.



Figure 4.6 – Image satellite du segment Plage municipale

4.1.6 Segment Centre-ville

Ce segment s'étend sur 2 163 m et constitue le littoral du centre-ville de Cap-aux-Meules. Il est formé à 90 % de falaises rocheuses et à 10 % de terrasses de plage. Environ 9 % de la côte est artificialisée : épis rocheux (42 % en très mauvais état) et blocs déversés.

Le taux de recul probable sur ce segment varie de $-0,38$ m à $-0,43$ m. Le recul événementiel est de $-4,4$ m pour les portions de falaises rocheuses et de $-12,5$ m, à l'endroit des terrasses de plage.

Dans ce segment, le principal actif concerné par l'érosion au cours de la période à l'étude est le sentier multifonctionnel du littoral emprunté tant par des piétons que des cyclistes, résidents et touristes. Ce sentier est à proximité du bord du talus de la côte tout au long du segment et sera menacé par les encoches d'érosion à court terme.



Figure 4.7 – Image satellite du segment Centre-ville

4.1.7 Problématique

La problématique dans ce secteur est liée à l'érosion. Tous les segments en tout ou en partie sont composés de falaises de grès rouge très vulnérables à l'érosion. Ainsi, plusieurs actifs deviendront exposés au cours de la période d'étude retenue soit 50 ans. Les actifs principaux sont des bâtiments résidentiels, commerciaux et industriels, le site du camping du Gros-Cap, une portion de la route municipale à l'est de Cap-aux-Meules et le sentier du littoral longeant le centre-ville. 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 présent en bord de mer.

4.1.8 Option de 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. Dans le secteur de Cap-aux-Meules, on ne dénote aucune problématique de submersion provenant de la mer. En effet, la submersion observée dans le segment Plage municipale est davantage liée au débordement du ruisseau lors de crues printanières combinées à une surcote de tempête.

Concrètement, à mesure que la côte s'érodera, il y aura des pertes de terrain et certains bâtiments se retrouveront exposés. Des actifs à risque sont localisés dans tous les segments du secteur. Il est supposé que ces derniers seront démolis lorsque la côte les touchera en leur point le plus près du rivage, puisqu'il ne sera plus sécuritaire d'y habiter (bâtiments) ou de les utiliser (route, sentier multifonctionnel, commerces, usine).

4.1.9 Options d'adaptation

Cette section présente l'ensemble des options d'adaptation ayant été considérées dans un ou plusieurs des segments à l'étude du secteur Cap-aux-Meules. Trois grands types d'options ont été proposés soient des structures côtières rigides (enrochement et riprap), des structures côtières mobiles (recharge de plage avec butée) et la relocalisation stratégique des actifs. Le tableau 4.2 présente les options proposées pour chacun des segments du secteur Cap-aux-Meules.

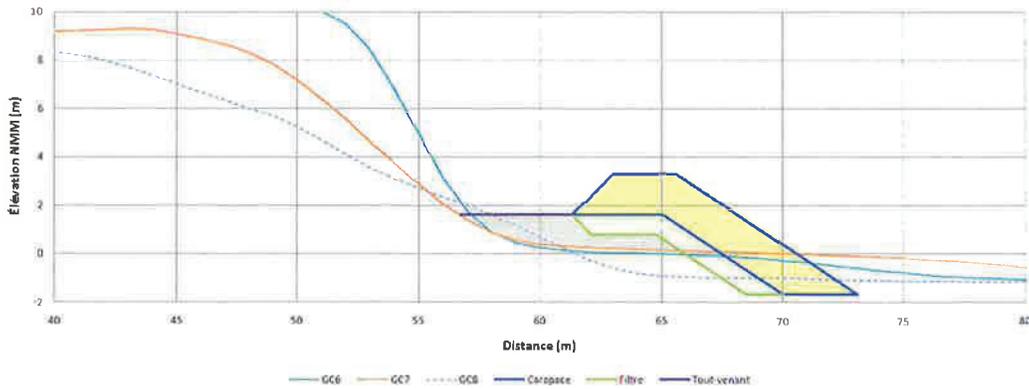
Tableau 4.2 – Options étudiées pour chacun des segments de Cap-aux-Meules

Segment	Structure côtière rigide	Structure côtière mobile	Option sans structure côtière
Camping Gros-Cap³	Enrochement Riprap		Relocalisation stratégique
Gros-Cap Est	Riprap	Recharge de plage avec butée	Relocalisation stratégique
Échouerie Ouest	Enrochement Riprap		Relocalisation stratégique
Route municipale	Enrochement Riprap		Relocalisation stratégique avec déplacement de la route Relocalisation stratégique seulement
Plage municipale	Enrochement Riprap	Recharge de plage avec butée	Relocalisation stratégique
Centre-ville	Enrochement Riprap		Relocalisation stratégique

a) *Enrochement (E)*

Cette option consiste à protéger la côte par enrochement classique avec une pente 1,5/1. La figure 4.8 présente une coupe-type d'un enrochement qui s'appliquerait dans ce secteur. Il s'agit d'un enrochement qui comprend deux couches de grosses pierres de carrière permettant d'absorber l'impact des vagues et un géotextile qui retient le matériel sous la roche. Cette option à l'avantage de moins interférer avec la dynamique sédimentaire. Elle permettrait de freiner l'érosion sur l'horizon temporel retenu dans les segments où elle s'applique.

³ Pour le secteur Camping Gros-Cap, des discussions avec le gestionnaire du site ont eu lieu afin d'identifier les options d'adaptation à l'érosion cohérentes avec le site. Certaines options proposées, notamment l'installation d'un système de captation des sédiments grâce à un aménagement de rondins de bois, de filet et de technopieux, n'ont pas été retenues pour l'analyse par manque de données techniques et de coûts, de même qu'en raison de l'incertitude entourant leur efficacité.

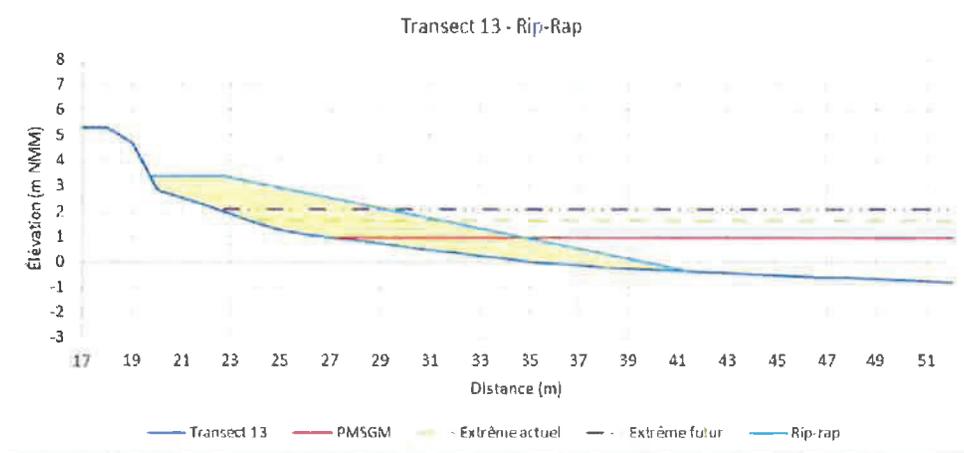


Source : Tiré de Roche (2011)

Figure 4.8 – Coupe-type de l'enrochement

b) Riprap (RR)

Le riprap est constitué de pierres de carrière de différentes grosseurs disposées en vrac sur la côte avec une pente de 20% (5/1). 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 le jet de rive (*runup*) lorsque les vagues frappent l'ouvrage est inférieure à celle atteinte en présence d'un enrochement. Par conséquent, l'élévation nécessaire de la crête est plus faible pour un riprap que pour un enrochement.



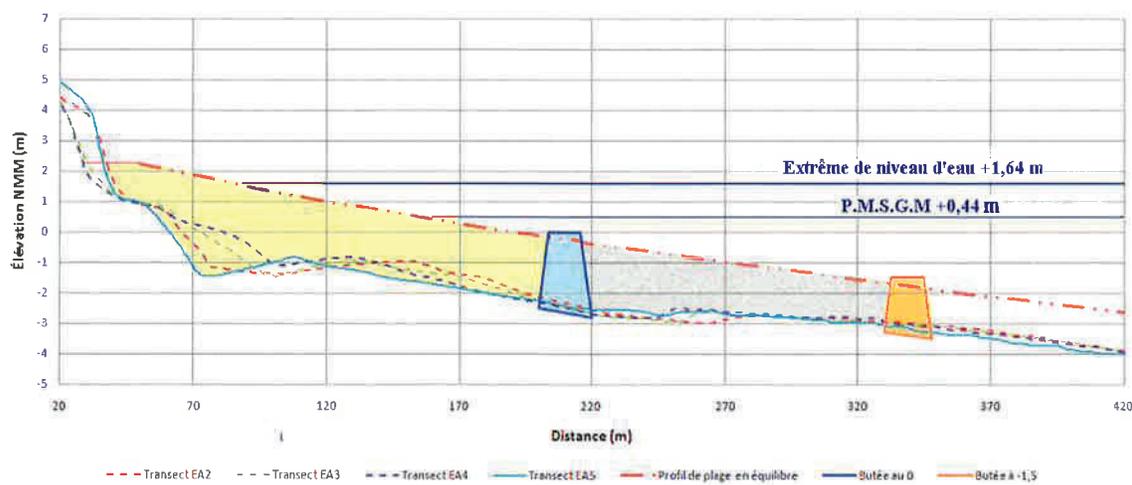
Source : Tiré de Roche (2011)

Figure 4.9 – Coupe-type de l'option de riprap

c) Rechargement de plage avec butée de pied (RPBU)

La seule façon d'envisager un rechargement de plage à certains endroits du secteur Cap-aux-Meules est de concevoir ce rechargement combiné à une butée de pied pour assurer la stabilité de la plage (Roche, 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 on place la butée profondément, moins cette dernière est efficace pour réduire la hauteur des vagues et plus il faut mettre du sable pour construire la plage suspendue.

La figure 4.10 illustre la coupe-type d'un rechargement de plage sous la forme d'une «plage suspendue» dont le pied serait protégé par une butée qui serait en enrochement. Deux exemples de butée de pied sont illustrés, soit une butée dont la crête serait à 0,0 m NMM et une butée dont la crête serait à -1,5 m NMM. Une butée en enrochement pourrait être constituée de pierre de type « rip-rap » de 50 à 1 500 kg placée avec une crête d'au moins 12 m de largeur. Cette pierre pourrait être déversée directement d'un chaland. À cause des contraintes mécaniques auxquelles sera soumise cette pierre, il sera 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.



Source : Tiré de Roche (2011)

Figure 4.10 – Coupe-type d'une recharge de plage avec butée

d) Relocalisation stratégique (RS)

Un bâtiment est relocalisé dès qu'il est à moins de 5 mètres du trait de côte. Le déménagement peut se faire sur le même terrain, s'il est suffisamment grand, sinon la relocalisation sera effectuée sur un nouveau terrain. Le déménagement sur un même terrain est favorisé dans la mesure où les règlements de zonage sont respectés et que les bâtiments déménagés sont hors de danger jusqu'à la fin de la période d'étude.

4.1.10 Impacts appréhendés

Avec son port, ses nombreux commerces, restaurants, lieux d'hébergement et autres services, Cap-aux-Meules est le centre névralgique de l'archipel. La nature y est partout présente et les points de vue magnifiques. Entre autres, le sentier du littoral, que les piétons et cyclistes peuvent emprunter sur plus de 2 km, donne sur des paysages maritimes d'exception où les falaises en grès rouge de l'île tiennent une grande place. Ainsi, il importe que les interventions sur le littoral répondent à des impératifs de protection et soient conçues de manière à minimiser les impacts négatifs appréhendés sur ces milieux, notamment au point de vue paysager.

Les impacts appréhendés sont de deux types. Les premiers, les impacts directs sont associés aux aléas côtiers. Ils comprennent essentiellement l'ensemble des dommages causés aux terrains, aux bâtiments et aux infrastructures par l'érosion et la submersion. 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. Le tableau 4.3 compare les impacts appréhendés des cinq options étudiées dans le cadre de l'analyse coûts-avantages du secteur Cap-aux-Meules, soit la non-intervention (NI), l'enrochement (E), le riprap (RR), la recharge de plage avec butée (RPBU) et la relocalisation stratégique (RS).

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, ne freine pas le processus érosif, mais réduit les dommages aux bâtiments.

Tableau 4.3 – Comparaison des impacts appréhendés selon les options d'adaptation

Types d'impacts	Impact appréhendé	NI	E	RR	RPBU	RS
Impacts liés à l'érosion et à la submersion	Pertes physiques de terrain	X				X
	Dommages ou pertes de bâtiments résidentiels et commerciaux	X				X
	Dommages aux infrastructures publiques	X				X
Impacts économiques	Modification de la valeur des propriétés					X
	Pertes de revenus commerciaux	X				X
	Pertes de retombées touristiques	X				X
	Perte d'emploi	X				X
Impacts environnementaux	Perte d'un marais	X				X
Impacts sociaux	Qualité de vie (anxiété, insécurité, dérangement)	X				X
	Perte ou modification de la valeur d'usage du littoral	X	X	X	X	X
	Modification de la vue ou de l'accès à la mer	X				X

NI : Non-intervention; E : Enrochement; RR : Riprap, RPBU : Recharge de plage avec butée : RS : relocalisation stratégique.

Les impacts économiques concernent la perte d'achalandage touristique lorsque des structures ou des sites d'hébergement sont affectés par l'érosion. Les pertes d'emplois découlant de la perte d'infrastructures commerciales (touristiques ou autres) supposent que les emplois ne pourraient pas être remplacés aux Iles-de-la-Madeleine. Finalement, les impacts économiques incluant également la perte de la valeur économique des terrains lorsque ceux-ci sont déclarés non constructibles. Cela ne se produit que lorsqu'un bâtiment est relocalisé sur un autre terrain, l'ancien terrain perdant alors son statut de terrain constructible et par le fait même sa valeur.

Les options de non-intervention et de relocalisation stratégique entraînent des impacts environnementaux (perte d'un marais) puisque rien n'est fait pour arrêter l'érosion de la côte.

Au niveau des enjeux sociaux, la non-intervention, de même que certaines interventions priveraient certains résidents d'une vue et/ou d'un accès à la mer. De plus, la perte du sentier du centre-ville ou de plages existantes engendrerait une perte d'accès au littoral pour les résidents et les visiteurs. La valeur accordée à l'usage du littoral a donc été évaluée. Enfin, pour les résidents vivant à proximité du littoral dans ce secteur, les événements de tempêtes peuvent être des moments de grande insécurité et de stress affectant leur qualité de vie, comme cela a été documenté sur la Côte-Nord (Séguin-Aubé, 2013). Une amélioration de la protection des berges pourrait potentiellement diminuer cet effet néfaste et bonifier la qualité de vie en bord de mer.

4.2 ESTIMATION MONÉTAIRE DES IMPACTS

4.2.1 Impacts liés à l'érosion

Les coûts de l'érosion associés à la non-intervention correspondent globalement aux avantages qu'offrent certaines des options d'adaptation, puisque celles-ci visent souvent à arrêter le processus d'érosion. En monétisant ces impacts directs, il est possible de mettre en perspective les enjeux relatifs aux actifs à risque si aucune mesure n'est mise en place. Tous les impacts présentés dans les paragraphes qui suivent sont associés à la non-intervention et sont exprimés en dollars de 2012 actualisés à 4 %.

a) *Pertes physiques de terrain*

Des pertes de terrain sont prévues annuellement en raison de l'érosion dans le secteur Cap-aux-Meules. La superficie perdue est calculée en se basant sur les taux d'érosion probable fournis par l'UQAR. La valeur économique des superficies de terrain perdues a été estimée en se référant au rôle d'évaluation de Cap-aux-Meules de 2014, lequel est représentatif des conditions de marché de 2012.

Les pertes de terrain sont comptabilisées jusqu'à ce que le bâtiment principal d'une unité d'évaluation soit considéré exposé. À partir de ce moment, la valeur du terrain restant est considérée perdue et les pertes de terrain des années subséquentes ne sont plus comptabilisées, car il est considéré non constructible. Il est à noter que la valeur résiduelle d'un terrain, lorsqu'il est considéré non constructible, est déterminée en

soustrayant de la valeur initiale du terrain la valeur des pertes annuelles déjà comptabilisées en lien à l'érosion.

Des pertes de terrain sont comptabilisées pour la non-intervention de même que pour la relocalisation stratégique. Des pertes liées à l'érosion sont également comptabilisées pour l'enrochement, le riprap et la recharge de plage avec butée, mais seulement pour la période précédant leur mise en place, c'est-à-dire avant 2018.

b) Dommages ou pertes de bâtiments résidentiels et commerciaux

Dans le secteur Cap-aux-Meules, les dommages ou pertes de bâtiments résidentiels découlent des impacts de l'érosion et sont comptabilisés dès qu'un bâtiment est exposé. Cette exposition est constatée une fois que le point du bâtiment le plus près de la côte est touché par le recul de la ligne de rivage. Une fois exposé, le bâtiment est considéré comme une perte totale et la valeur inscrite au rôle d'évaluation est utilisée pour comptabiliser cette perte. Si aucun autre bâtiment n'est présent sur le lot et que le lot est petit, le terrain est également considéré comme non constructible et perd sa valeur résiduelle (valeur totale moins les pertes annuelles de terrain enregistrées). Les pertes de bâtiments reliées à l'érosion ne sont constatées que dans le cas de la non-intervention.

c) Dommages ou pertes d'infrastructures publiques

Dans le secteur Cap-aux-Meules, l'érosion conduira à la perte de certaines infrastructures publiques soit des portions de la route municipale (segment Route municipale), du sentier multifonctionnel du littoral (segment Centre-ville) et de l'usine de traitement des eaux usées (segment Centre-ville).

Les coûts d'aménagement d'une route aux Iles-de-la-Madeleine, comprenant services d'égout et d'aqueduc, sont estimés à 1 000 \$ du mètre linéaire. Ce montant sera utilisé pour le calcul du coût d'aménagement d'un tracé alternatif ou du coût associé aux contournements des zones de la route qui seront exposées dans le segment Route municipale.

4.2.2 Impacts économiques

Les impacts économiques dans le secteur Cap-aux-Meules sont liés à la modification de la valeur des propriétés, à la perte d'achalandage touristique et à la perte d'emplois.

a) *Modification de la valeur économique des terrains*

La modification de la valeur d'un terrain survient lors du déménagement d'un bâtiment sur un autre terrain. Cette perte de valeur est enregistrée lorsqu'un terrain est déclaré non constructible, i.e. une fois que le bâtiment est déménagé selon l'option de la relocalisation stratégique. La perte de valeur des terrains s'applique seulement pour les terrains qui sont trop petits pour que les bâtiments soient déménagés sur le même terrain.

Tel que décrit plus haut, dans le cas de la non-intervention, un terrain peut être déclaré non constructible lorsque son bâtiment principal est touché par l'érosion. Toutefois, à ce moment, la perte de valeur du terrain sera considérée comme une perte liée à l'érosion plutôt que comme un impact économique. Ainsi, les impacts économiques décrits dans la présente section ne peuvent s'appliquer que pour la relocalisation stratégique puisqu'il s'agit de la seule option où les bâtiments sont déménagés.

b) *Perte d'achalandage touristique*

La perte de terrains de camping, du pavillon Montreuil et de l'auberge à Gros-Cap, de même que du motel l'Archipel dans le segment Échouerie Ouest entraîne la perte de revenus commerciaux qui, s'ils ne peuvent être transférés à un autre site de camping ou un autre lieu d'hébergement, ailleurs aux Îles-de-la-Madeleine, constitue une perte économique pour la population d'intérêt.⁴

⁴ Le calcul des pertes de retombées économiques dans le cadre de cette ACA se concentre sur l'impact direct des baisses d'achalandage sur les dépenses touristiques faites aux Îles-de-la-Madeleine. Il est évident qu'une telle baisse aura des impacts collatéraux sur les autres secteurs d'activités et sur la vitalité économique de l'archipel. Une modélisation d'impact économique intersectoriel sur l'emploi, les revenus, les taxes, etc. est toutefois en dehors de la portée de cette analyse, mais pourrait vraisemblablement mener à des pertes économiques plus importantes que celles estimées dans le cadre de cette étude.

Du côté du Camping Gros-Cap, la valeur de l'ensemble des dépenses (hébergement et hors hébergement) des campeurs qui ne pourront se relocaliser au camping de Barachois, lequel est considéré ici comme un site de substitution potentiel, constitue une perte de retombées économiques pour les Îles. En haute saison, soit du 15 juillet au 15 août (32 jours), tous les campings (et autres lieux d'hébergement) sont à pleine capacité aux Îles-de-la-Madeleine et la perte de sites de camping se traduit donc en une perte nette d'achalandage touristique. Celle-ci correspond à la perte de la valeur de la location d'un terrain et à la diminution des retombées économiques laquelle est calculée à partir des dépenses moyennes hors hébergement. Lors des sondages réalisés par Ouranos à la plage municipale et au sentier du littoral au mois d'août 2015, il a été possible d'évaluer ces dépenses à 63 \$ par personne par nuitée. Il est supposé que pour chaque site de camping non substitué, ce sont les dépenses moyennes de deux adultes qui sont perdues.

En dehors de la haute saison, lorsque le Camping Gros-Cap ne peut plus accueillir de nouveaux campeurs, la perte d'un site est alors égale à la perte de jouissance des campeurs (environ 5 \$) découlant de la relocalisation de ces derniers au Camping Le Barachois. Cette valeur correspond à la différence de prix moyenne entre deux sites ayant les mêmes services entre les deux centres de camping.

Dans le segment Échouerie Ouest, la perte du motel de L'Archipel entraîne la perte de 10 unités d'hébergement dont la clientèle ne pourra être relocalisée en haute saison. Ici aussi, les dépenses d'hébergement et hors hébergement constituent la valeur économique de la perte d'achalandage touristique. En dehors de la pleine saison, aucune perte de revenus commerciaux ou de retombées n'est comptabilisée. La même méthodologie s'applique l'auberge du Gros-Cap et au pavillon Montreuil (segment Camping du Gros-Cap).

c) Perte d'emplois

Dans ce secteur, pour la non-intervention la perte de lieux d'hébergement (segment Camping Gros-Cap et Échouerie Ouest) et d'une usine de transformation de poisson (segment Échouerie Ouest) conduira à des pertes d'emplois permanentes qui ne

pourront pas être relocalisés ailleurs aux Îles-de-la-Madeleine étant donné les contraintes dans ces secteurs spécifiques.

La perte économique est calculée sur la base du nombre d'employés ayant perdu leur emploi, le nombre de semaines travaillées annuellement, le nombre d'heures par semaine et le salaire horaire moyen (21 \$ de l'heure (ISQ, 2015)). Le coût social des pertes d'emploi prend en considération plusieurs éléments, dont la capacité de marché de l'emploi à s'ajuster de même que celle de l'employé à se trouver un autre emploi dans un domaine différent de celui dans lequel il évoluait. Dans le contexte des Îles, le coût social lié à la perte d'emplois est égal à 20 % du salaire annuel net de l'employé (Bartik, 2013)

4.2.3 Impacts environnementaux

Le seul enjeu environnemental du secteur se situe au niveau de la protection du marais saumâtre du segment Gros-Cap Est. Ce type de marais en milieu marin abrite une flore et une faune particulière que l'on doit protéger. Les données utilisées pour établir la valeur de cet habitat sont tirées de Costanza et al. (2006). Dans cet article, les auteurs ont recensé les différentes études économiques réalisées sur la valeur des marais en milieu marin au New Jersey afin de déterminer une valeur économique moyenne pour ce type de milieu. Cette valeur était ensuite segmentée selon les services écologiques rendus par le marais. La valeur économique obtenue pour la destruction d'habitat naturel et de refuge a été estimée à 856 \$ par hectare par année. Faute d'études canadiennes sur la valeur économique des marais saumâtres, la situation de l'état du New Jersey a été jugée assez comparable au Québec pour permettre l'utilisation de cette valeur.

Aucune modification importante d'habitats naturels n'est anticipée pour les options d'ingénierie rigides ou mobiles.

4.2.4 Impacts sociaux

a) Perte ou gain de vue ou d'accès à la mer

Afin d'établir la valeur de la vue et de l'accès à la mer, les données provenant des évaluations de plusieurs bâtiments et terrains résidentiels, réalisées par une firme

d'évaluateurs agréés de la région gaspésienne, ont été analysées. Elles ont permis de comparer des terrains de plusieurs municipalités, dont Maria, New Richmond, Carleton-sur-Mer, etc. Une régression linéaire simple a permis d'extraire l'influence de la vue sur la mer et de l'accès à la mer sur le prix des terrains en contrôlant les autres facteurs pouvant affecter le prix des terrains tels la proximité à des services publics ou à des commerces. En utilisant cette méthode, les primes moyennes de vue sur la mer et d'accès à la mer obtenues sont respectivement de 8 797 \$ et 19 131 \$. Ainsi, dans les villes à l'étude, un terrain permettant d'avoir un accès à la mer, toutes choses étant égales par ailleurs, coûterait 19 000 \$ de plus qu'un terrain n'offrant pas un tel accès. De la même manière, un terrain offrant une vue sur la mer, indépendamment de l'accès à la mer, vaudrait environ 9 000 \$ de plus qu'un terrain sans vue sur la mer.

Le déplacement ou la démolition de bâtiments dans plusieurs des segments à l'étude affectera ces deux dimensions.

b) Qualité de vie

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. Ainsi, dans le cadre de la présente analyse, cet impact est traité que de manière qualitative en soulignant que toutes les options d'adaptation étudiées devraient, par rapport à la non-intervention, améliorer la qualité de vie des résidents en diminuant l'insécurité.

c) Modification ou perte de la valeur d'usage du littoral

Dans le segment Centre-ville, les options de non-intervention et de relocalisation supposent que l'érosion entraînera la perte du sentier multifonctionnel du littoral emprunté tant par les cyclistes que par les piétons. De même, les structures d'ingénierie (enrochement, riprap) prévues sur le segment Plage municipale entraînent une perte d'usage de cette dernière. La monétisation de ces pertes passe par l'analyse de l'usage que les gens font de ces sites. Leurs comportements sont des indices qui permettent de déduire quelle place prend ces lieux dans leur vie, comment ils les valorisent et de

quelle manière cette valeur pourrait être affectée par la mise en place de l'une ou l'autre des options étudiées.

Suite à des sondages réalisés par Ouranos en août 2015, sur les habitudes de fréquentation du sentier du littoral et de la plage municipale, il a été possible d'attribuer une valeur d'usage à ces lieux. L'étude évaluait principalement le temps de transport pour se rendre au site (pour les résidents) et le temps passé sur le site (pour les résidents et les touristes). Le salaire horaire moyen net des travailleurs des Îles-de-la-Madeleine et le salaire moyen net de l'échantillon des touristes ont été utilisés pour établir respectivement la valeur du temps passé sur les sites par les résidents et les touristes.

Selon les données obtenues de ces sondages, 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 \$. Cette valeur s'applique dès 2015 alors qu'une portion centrale de la piste sera touchée par l'érosion et que d'autres secteurs le seront peu après rendant le sentier impraticable. De la même manière, une valeur d'usage de la plage municipale a été calculée. Cette dernière est estimée à 158 197 \$ par année suite à l'enrochement du littoral. Pour l'option riprap, la moitié seulement de cette valeur est considérée puisque l'ouvrage est recouvert de sable annuellement ce qui permet de conserver une partie de la valeur récréative de la plage.

Le détail des calculs effectués pour déterminer la valeur d'usage du sentier du littoral et de la plage municipale est présenté à l'annexe B.

4.2.5 Estimation du coût de la non-intervention et des options d'adaptation

Les options d'adaptation envisagées impliquent des coûts de différentes envergures, lesquels ont été estimés à partir de consultations menées auprès d'experts dans le domaine.

La relocalisation stratégique consiste à déplacer un bâtiment en s'éloignant du bord de mer, sur le même terrain s'il y a de la place, ou sur un nouveau terrain en le transportant sur la route. Les coûts de déménagement des bâtiments sont des coûts génériques fournis par la firme de déménagement Héneault et Gosselin Inc. Les prix fournis varient

entre 1 300 \$ et 2 100 \$ du mètre linéaire selon les différents revêtements de bâtiments et la nature de la relocalisation (sur le même terrain ou sur un autre terrain). Voir l'annexe C pour les détails des coûts employés.

Ces coûts unitaires ont été appliqués à chacun des bâtiments nécessitant d'être relocalisé en fonction de leur revêtement extérieur respectif. S'ajoute à ces coûts, le coût de gestion des fils, lequel est faible si le bâtiment est déménagé sur le même terrain alors qu'ils sont plus importants si le bâtiment est relocalisé sur un autre terrain, car il faut gérer l'ensemble des fils présents sur le trajet de relocalisation. Soulignons, que, selon Héneault et Gosselin, l'usine de transformation sise dans le segment Échouerie Ouest ne peut être déménagée par les méthodes standards.

Les coûts de relocalisation stratégique sur d'autres terrains, quant à eux, comprennent également l'aménagement de services dans les quartiers qui accueilleront les bâtiments déménagés. Ces coûts sont estimés à 1 000 \$ du mètre linéaire de route avec services.

Dans le cas des structures d'ingénierie, une étude commandée par la municipalité des Îles-de-la-Madeleine et réalisée par Roche en 2011 a servi de base pour estimer les coûts des structures rigides et mobiles pour chacun des segments (Roche, 2011). Étant donné que l'étude de Roche ne couvrait pas exactement les mêmes zones que la présente analyse, une extrapolation des coûts a été réalisée. Cette extrapolation s'est faite sur la base de la compatibilité des structures selon le type de côte et l'exposition aux conditions hydrodynamiques.

Le coût de l'enrochement se situe entre 4 177 \$ et 6 903 \$ du mètre linéaire et inclut des frais de contingence de 20 %. À ce montant, il faut ajouter 15 % pour les frais d'ingénierie et les études préparatoires durant les deux années précédant la construction de l'ouvrage. Aucun entretien n'est requis sur la durée de vie utile de l'enrochement.

Le coût d'aménagement du riprap, lequel consiste essentiellement en une recharge avec des matériaux grossiers, varie entre 3 361 \$ et 5 154 \$ du mètre linéaire. À ce montant, il faut ajouter 15 % pour les frais d'ingénierie et les études préparatoires durant les deux années précédant la construction et 20% de frais de contingence. Cette option

requiert que trois recharges soient effectuées sur une période de 50 ans. La quantité de matériel requise pour la première, deuxième et troisième recharge est respectivement de 40%, 20% et 15 % du matériel initial.

Le coût d'aménagement de la recharge de plage avec butée est respectivement de 15 260 \$ et de 27 743\$ du mètre linéaire sur les segments Gros-Cap Est et Plage municipale. Les coûts sont plus importants pour le segment Plage municipale compte tenu de la largeur de cette dernière et de la nécessité de submerger la butée aux fins d'esthétisme. La butée serait toutefois visible sur le segment Gros-Cap Est. La durée de vie moyenne d'une recharge de plage est estimée à 7,5 ans. Ainsi, sur un horizon de 50 ans 6 recharges additionnelles sont requises : la première correspondant à 50 % du matériel initial et les autres à 20 %.

Il est important de mentionner que la non-intervention a également un coût de mise en œuvre puisqu'elle suppose que les bâtiments exposés seront démolis. Le coût de démolition des bâtiments a été estimé à 54 \$ le mètre carré⁵ en plus d'un coût fixe de 3 240 \$ pour l'enlèvement des fondations.

4.3 ANALYSE COÛTS-AVANTAGES

Ce chapitre présente l'ensemble des coûts et avantages estimés sur un horizon temporel de 50 ans pour la non-intervention et chacune des options d'adaptation. Une comparaison des coûts et des avantages de chaque option est effectuée par segment dans le cadre du calcul de la VAN afin de comparer leur rentabilité économique.

4.3.1 Camping Gros-Cap

a) Calcul des coûts sur 50 ans

Les options d'adaptation proposées pour le segment Camping Gros-Cap sont le riprap (RR), l'enrochement (E) ainsi que la relocalisation stratégique (RS). Ce segment s'étend

⁵ Le coût de démolition au mètre carré provient de l'étude intitulée *Analyse coûts-avantages de solutions d'adaptation à l'érosion côtière pour la Ville de Sept-Îles* (Tecsult, 2008). Ce coût a été actualisé à l'aide de l'Indice des prix à la consommation canadien (IPC).

sur plus de 1 km et est constitué à 97 % de falaises rocheuses sans aucun ouvrage de protection. Cette presqu'île, sujette à l'érosion, abrite un camping, une auberge et d'autres bâtiments de même qu'une route dans sa partie la plus étroite.

Il est à souligner que malgré la présence de failles dans ce segment, la projection du taux d'érosion a été appliquée de manière uniforme sur tout le segment. De plus, même en non-intervention, une zone tampon de 5 m a été utilisée afin de conserver une marge de sécurité pour les campeurs. C'est ainsi que tout emplacement de camping se retrouvant à moins de 5 m du bord de la falaise est considéré comme perdu.

COÛTS LIÉS À LA NON-INTERVENTION

Les coûts liés à la non-intervention dans le segment Camping Gros-Cap concernent essentiellement la perte de revenus commerciaux due à l'érosion du terrain jusqu'en 2025, année où l'instabilité du terrain localisé à l'entrée du Camping Gros-Cap (partie étroite) sera telle qu'il ne sera plus sécuritaire de s'y rendre.

Les dommages aux actifs dus à l'érosion concernent un seul bâtiment (exposé en 2015) avant la perte d'accès complète au site. À partir de 2025, tous les bâtiments sont supposés démolis. Le coût des dommages aux bâtiments est évalué à 531 318 \$ alors que les pertes de terrain se chiffrent 28 557 \$ pour l'ensemble de la période. Les coûts actualisés de démolition du bâtiment, quant à eux, sont évalués à 72 217 \$.

La perte de l'accès en 2025 fera perdre un nombre important de sites de camping aux Îles-de-la-Madeleine. La valeur de la perte qui leur est associée est calculée en fonction de la capacité des campeurs à se relocaliser sur d'autres terrains. Le camping Le Barchois, localisé à Fatima sur l'île de Cap-aux-Meules, compte 128 places et pourrait, compte tenu de caractéristiques similaires, se substituer au Camping Gros-Cap. Il est considéré que les campings Gros-Cap et Le Barchois sont à pleine capacité entre le 15 juillet et le 15 août soit pendant 32 jours. Ainsi, pendant cette période, un terrain de camping perdu à Gros-Cap entraîne une perte complète de la valeur de location du terrain de camping pendant 32 jours. Pour les jours hors haute saison, la perte est égale à la perte de jouissance (5 \$) découlant d'une relocalisation des campeurs au Camping Le Barchois ou dans un autre camping.

Pour les campeurs qu'il est impossible de relocaliser (i.e tous les campeurs des sites perdus en haute saison), il est supposé une perte d'achalandage touristique, laquelle diminuera les retombées économiques aux Îles. Ces pertes de retombées économiques ont été calculées à partir des dépenses hors hébergement estimées à 63 \$ par personne par nuitée à partir des sondages faites par Ouranos.

Dès 2020, il est supposé également que les sites de camping réservés aux motorisés sur la partie étroite de la presqu'île ne pourront plus, pour des raisons de sécurité, être utilisés. La perte de dépenses (d'hébergement) correspond à 5 \$ par jour par site en haute saison (32 jours) puisqu'il est supposé que ces campings pourront être utilisés par d'autres campeurs (tentes). Le montant de 5 \$ constitue la différence entre le prix d'un terrain avec 2 services et celui avec 3 services.

La variation de l'achalandage touristique entraîne ainsi une réduction des retombées économiques (hébergement et hors hébergement) totalisant 10,01 M\$ sur l'horizon temporel considéré.

De plus, les hypothèses posées supposent que dès 2025 l'ensemble des emplois du camping (saisonnier et permanent) est perdu. La perte de ces emplois entraîne une perte correspondant à 20 % du salaire annuel net des employés pour une valeur actualisée de 518 582 \$.

Le coût actualisé net de la non-intervention s'élève ainsi à 11,22 M\$ de 2015 à 2064.

COÛTS LIÉS AU RIPRAP

La mise en œuvre du riprap comprend des coûts d'ingénierie, d'études préparatoires et de construction représentant une somme actualisée de 1,36 M\$. En raison de l'impact sur le paysage et de coûts prohibitifs, la mise en place de riprap n'est pas prévue sur tout le littoral du segment, mais seulement là où cette option permettra de préserver les bâtiments présents sur le site du camping, soit sur 287 m. Des coûts d'entretien de 0,41 M\$ sont également associés à la recharge en matériaux grossiers qui doit être effectuée tous les 15 ans soit à trois reprises sur la durée de vie utile de l'ouvrage (50 ans). Les coûts unitaires utilisés pour estimer le coût d'aménagement et d'entretien de l'ouvrage ont été calculés à partir des coûts unitaires établis par Roche (Roche,

2011). Les coûts liés à l'érosion des terrains s'élèvent à 6 177 \$ pour l'ensemble de la période d'analyse.

Cette option implique également des pertes d'achalandage touristique au fur et à mesure de l'érosion des terrains de camping. Toutefois, puisque l'auberge et le Pavillon Montreuil sont préservés, les pertes d'emplois associées sont évitées. Les impacts économiques résiduels pour cette option sont donc estimés à 3,16 M\$.

Ainsi, les coûts actualisés liés à la mise en place de cette option totalisent 4,94 M\$ sur l'horizon temporel 2015-2064.

COÛTS LIÉS À L'ENROCHEMENT

Le même raisonnement que pour le riprap s'applique pour l'enrochement. Celui-ci sera mis en place à certains endroits pour préserver les bâtiments, et ce, sur une longueur de 287 m. Il est en effet impensable pour des raisons de coûts et particulièrement pour des raisons d'esthétisme de procéder à l'enrochement de l'ensemble du Gros-Cap.

Les coûts liés à l'enrochement sont d'environ 2,04 M\$. Ce montant inclut les coûts d'ingénierie et des études préparatoires. Les coûts ont été estimés en supposant une durée de vie utile de 50 ans, au bout de laquelle l'ouvrage devra être reconstruit. Les coûts associés à l'érosion sont les mêmes que ceux du riprap et correspondent aux dommages dus à l'érosion pour la période 2015-2017 soit 6 177 \$. L'enrochement ne requiert aucun entretien annuel ou périodique.

Tout comme le riprap, cette option implique des pertes d'achalandage touristique de 3,16 M\$ et aucune perte d'emplois puisque l'auberge ainsi que le pavillon du camping sont préservés et que la perte des sites de camping s'effectue de manière graduelle sur la période d'analyse retenue.

Ainsi, les coûts totaux actualisés liés à la mise en place de l'enrochement s'élèvent à 5,21 M\$ sur l'horizon temporel 2015-2064.

COÛTS LIÉS À LA RELOCALISATION STRATÉGIQUE

Sur ce segment, les coûts de la relocalisation stratégique sont liés au déplacement de trois bâtiments : un premier en 2015, un deuxième en 2018 et un troisième en 2025

alors qu'il ne sera plus possible de se rendre sur la presqu'île. Le coût de déménagement de ces bâtiments totalise 575 848 \$. L'importance de ce montant est due au fait que l'auberge ne s'appuie que sur une dalle de béton et non sur une fondation. Il faut donc couper le bâtiment à environ 1 m du sol afin de le déménager. Les pertes de terrain dues à l'érosion s'élèvent, tout comme pour la non-intervention, à 28 557 \$.

Les pertes d'achalandage touristique, quant à elles, sont moins importantes que dans l'option de non-intervention et s'élèvent à 8,8 M\$. En effet, ici les bâtiments seront relocalisés et non démolis et il sera donc toujours possible d'y être hébergé. Les pertes d'emplois également seront réduites aux employés qui œuvraient strictement auprès des campeurs.

Au total, les coûts actualisés de la relocalisation stratégique s'élèvent à 9,40 M\$.

b) Calcul des avantages sur 50 ans

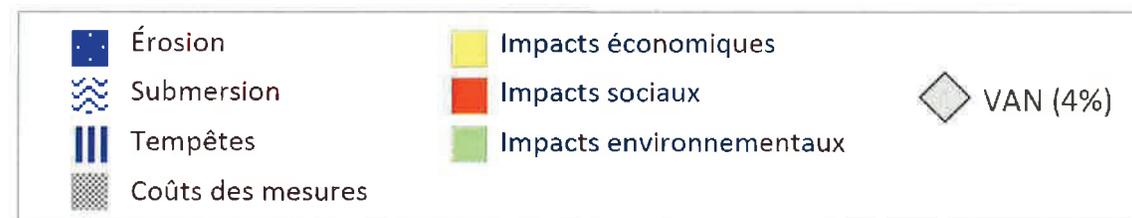
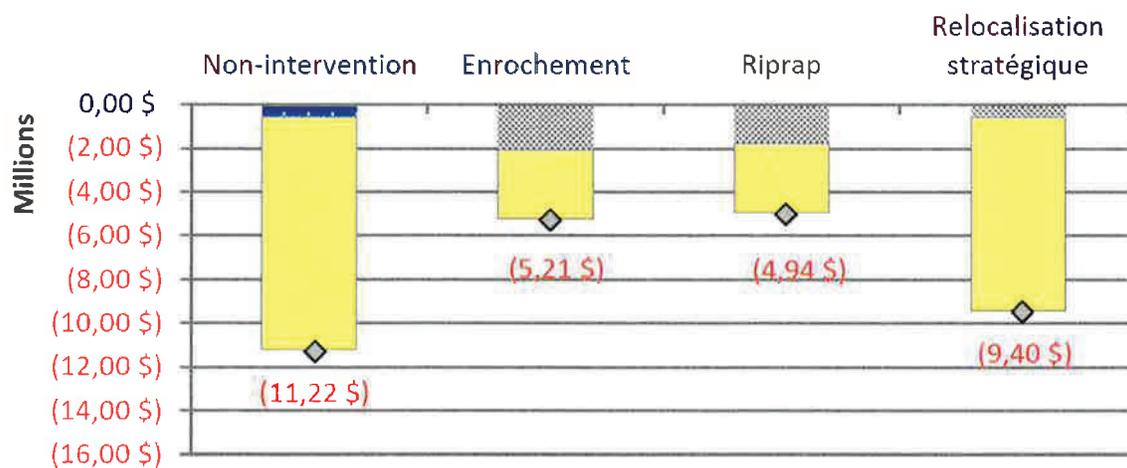
Les options d'adaptation étudiées dans le segment Camping Gros-Cap ne génèrent pas d'avantages particuliers en termes environnementaux, touristiques, récréatifs ou sociaux. Les avantages des options correspondent principalement aux coûts évités en matière d'érosion par rapport à l'option de non-intervention.

c) Valeur actualisée nette et comparaison des options

La valeur actualisée nette (VAN) a été calculée pour chacune des options d'adaptation étudiées, en utilisant les coûts quantifiés et monétisés auparavant. La VAN permet, entre autres, de discriminer les options en fonction de leur performance économique, et ce, même s'il y a absence d'avantages directs. La ventilation des VAN de chaque option d'adaptation est présentée au tableau 4.4 et à la figure 4.11. Le détail des coûts annuels pour la non-intervention et les options d'adaptation est présenté à l'annexe E.

Tableau 4.4 – Coûts et avantages actualisés des options d'adaptation – Camping Gros-Cap

Impacts actualisés nets	Non-intervention	Riprap	Enrochement	Relocalisation stratégique
Érosion*	(534 273 \$)	(6 177 \$)	(6 177 \$)	(28 557 \$)
Coûts des options	(72 217 \$)	(1 722 961 \$)	(2 044 328 \$)	(575 848 \$)
Impacts économiques	(10 618 420 \$)	(3 157 844 \$)	(3 157 844 \$)	(8 791 995 \$)
VAN	(11 224 910 \$)	(4 936 982 \$)	(5 208 349 \$)	(9 396 400 \$)
Avantages p/r non-intervention		6 287 928 \$	6 016 561 \$	1 828 510 \$
Ratios avantages-coûts		4,55	3,94	4,18

**Figure 4.11– Ventilation des coûts et avantages par option (M\$)**

Dans le cas présent, l'option qui minimise les coûts pour la société est le riprap. En effet, les coûts actualisés de cette option sont inférieurs de plus de 6,29 M\$ aux coûts de la

non-intervention. Les structures d'ingénierie de même que la relocalisation sont toutes plus avantageuses que la non-intervention, les coûts évités par ces options compensant largement ceux de la mise en œuvre de la mesure comme telle.

Les ratios avantages-coûts penchent également en faveur du riprap puisque que son ratio atteint 4,55 \$ d'avantages pour chaque dollar de coûts, comparativement à 4,18 et 3,94 respectivement pour la relocalisation stratégique et l'enrochement.

La figure 4.12 illustre la somme cumulée des avantages nets par rapport à la non-intervention actualisée à un taux de 4 % sur la période 2015-2064. Ce graphique permet de préciser à quel moment une option devient plus avantageuse que la non-intervention. Il est ainsi possible de constater que le riprap devient plus avantageux à partir de 2026. La relocalisation stratégique est avantageuse plus rapidement que les structures d'ingénierie (riprap et enrochement), soit en 2025, mais ne permet pas d'éviter autant de coûts. Cela fait en sorte que dès 2027, le riprap prend le dessus sur la relocalisation stratégique jusqu'à la fin de la période d'étude.

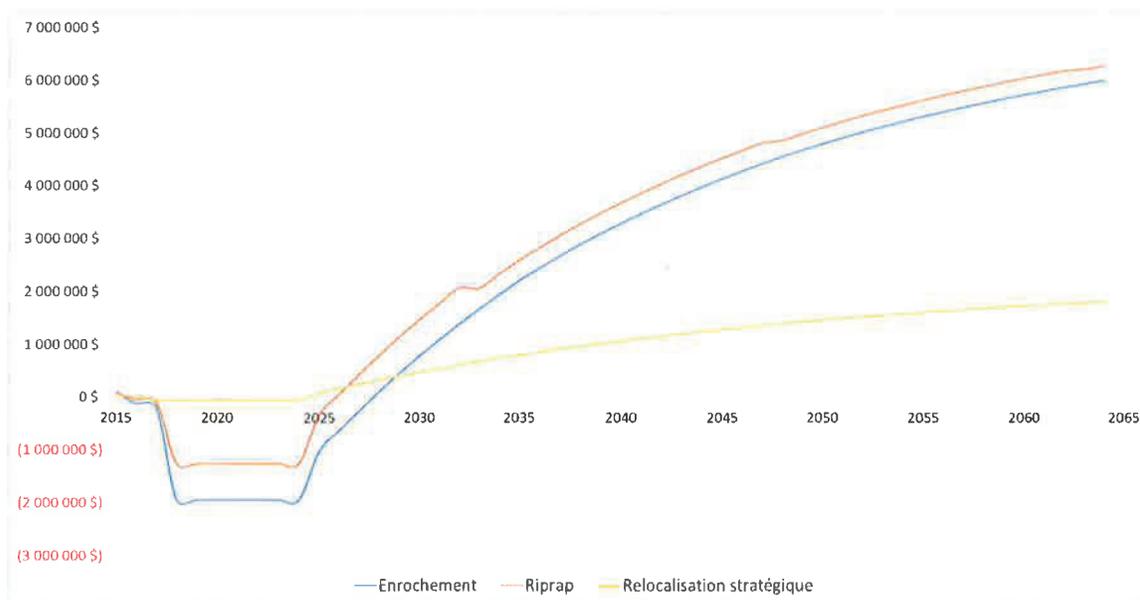


Figure 4.12 – Somme actualisée des avantages nets par rapport à la non-intervention entre 2015 et 2064 – Camping Gros-Cap

d) *Analyse de sensibilité*

Cette section présente les VAN obtenues lorsque des hypothèses importantes de l'analyse sont modifiées. L'objectif de ces analyses additionnelles est d'examiner la robustesse de la VAN suite à de telles modifications. Celles-ci sont apportées aux hypothèses concernant le taux d'actualisation et la date où il ne sera plus possible d'accéder au Camping. Le tableau 4.5 indique de manière plus détaillée les analyses de sensibilité qui ont été effectuées.

Tableau 4.5 – Paramètres de l'analyse de sensibilité – Camping Gros-Cap

Paramètre	Variation
Taux d'actualisation	± 2 %
Réduction des pertes liées à l'achalandage touristique	-50 %
Perte de l'accès	En 2040/aucune

Le texte qui suit présente les variations de coûts de chacune des options considérées suite à la modification des différentes hypothèses indiquées au tableau 4.5.

TAUX D'ACTUALISATION

D'une part, la VAN de chacune des options demeure négative suite à une modification de plus ou moins 2 % du taux d'actualisation. D'autre part, la VAN comparée à la non-intervention indique que le riprap demeure l'option la plus avantageuse sur ce segment, dans les deux cas, suivi de près par l'enrochement. La relocalisation stratégique constitue la mesure la moins rentable parmi les options d'adaptation.

Tableau 4.6 – Analyse de sensibilité – Taux d'actualisation de 2 et 6 % - Segment Camping Gros-Cap

Options d'adaptation	Taux d'actualisation		
	2 %	4 % (hypothèses de base)	6 %
VAN Non-intervention	(17 943 590 \$)	(11 224 910 \$)	(7 445 495 \$)
VAN Riprap	(7 340 896 \$)	(4 936 982 \$)	(3 608 908 \$)
VAN Enrochement	(7 398 711 \$)	(5 208 349 \$)	(3 990 591 \$)
VAN Relocalisation stratégique	(14 919 739 \$)	(9 396 400 \$)	(6 278 547 \$)
Riprap - Avantage net par rapport à la non-intervention	10 593 694 \$	6 287 928 \$	3 836 587 \$
Enrochement - Avantage net par rapport à la non-intervention	10 535 880 \$	6 016 561 \$	3 454 904 \$
Relocalisation stratégique - Avantage net par rapport à la non-intervention	3 014 851 \$	1 828 510 \$	1 166 948 \$

PERTE DE L'ACCÈS AU CAMPING RETARDÉE EN 2040

Dans l'ACA initiale, il est fait l'hypothèse qu'il ne sera plus possible, à partir de 2025, de se rendre au Camping compte tenu de l'instabilité du terrain à l'entrée de ce dernier. La présente analyse de sensibilité suppose que l'accès demeurera sécuritaire jusqu'en 2040.

Selon cette hypothèse, la valeur actualisée des coûts de la non-intervention diminue pour atteindre - 6,55 M\$ sur la période d'analyse. Le riprap constitue toujours l'option d'adaptation la plus avantageuse sur ce segment. Les résultats de l'analyse, selon ces nouvelles hypothèses, sont présentés au tableau 4.7.

Tableau 4.7 – Analyse de sensibilité – Perte de l'accès au Camping Gros-Cap en 2040

Impacts actualisés nets	Hypothèses de base	Perte de l'accès en 2040
VAN Non-intervention	(11 224 910 \$)	(6 548 022 \$)
VAN Riprap	(4 936 982 \$)	(4 936 982 \$)
VAN Enrochement	(5 208 349 \$)	(5 208 349 \$)
VAN Relocalisation stratégique	(9 396 400 \$)	(5 815 990 \$)
Riprap - Avantage net par rapport à la non-intervention	6 287 928 \$	1 611 041 \$
Enrochement - Avantage net par rapport à la non-intervention	6 016 561 \$	1 339 673 \$
Relocalisation stratégique - Avantage net par rapport à la non-intervention	1 828 510 \$	7 323 \$

PAS DE PERTE DE L'ACCÈS AU CAMPING

La prochaine analyse de sensibilité vient analyser l'effet d'un maintien de l'accès sur l'ensemble de la période d'étude. Autrement dit, en supposant que l'érosion progresse de manière moins rapide qu'anticipée et que l'accès au camping n'est pas perdu d'ici 2064, qu'elle est l'effet sur les VAN respectives des options d'adaptation (tableau 4.8).

Tableau 4.8 – Analyse de sensibilité – Pas de perte d'accès au camping – Segment Camping Gros-Cap

Impacts actualisés nets	Hypothèses de base	Pas de perte d'accès
Non-intervention (NI)	(11 224 910 \$)	(3 846 382 \$)
VAN Riprap	(4 936 982 \$)	(4 936 982 \$)
VAN Enrochement	(5 208 349 \$)	(5 208 349 \$)
VAN Relocalisation stratégique	(9 396 400 \$)	(3 707 362 \$)
Riprap - Avantage net par rapport à la non-intervention	6 287 928 \$	(1 090 599 \$)
Enrochement - Avantage net par rapport à la non-intervention	6 016 561 \$	(1 361 967 \$)
Relocalisation stratégique - Avantage net par rapport à la non-intervention	1 828 510 \$	139 021 \$

Dans un tel cas, il semble que les structures d'ingénierie rigides ne sont plus justifiables sur le plan économique puisqu'elles ne permettent pas d'éviter suffisamment de coûts. À l'inverse, le déplacement des actifs de valeur à risque, comme l'auberge, permet de maintenir un certain niveau d'activités économiques à un coût relativement abordable. Ainsi, l'option la plus rentable économiquement est la relocalisation stratégique.

SYNTHÈSE DE L'ANALYSE DE SENSIBILITÉ

Le tableau 4.9 présente un sommaire des résultats des analyses de sensibilité réalisées pour le segment Camping Gros-Cap. Ainsi, le riprap constitue l'option la plus avantageuse sauf dans le cas où l'accès au camping Gros-Cap est maintenu sur l'horizon temporel retenu. À ce moment, les pertes économiques ne sont plus suffisantes pour justifier la mise en place de structures d'ingénierie.

Tableau 4.9 – Option d'adaptation la plus avantageuse selon l'analyse de sensibilité – Camping Gros-Cap

Hypothèse modifiée	Option la plus avantageuse
Hypothèses de base	Riprap
Taux d'actualisation de 2 %	Riprap
Taux d'actualisation de 6 %	Riprap
Perte de l'accès au camping en 2040	Riprap
Pas de perte d'accès au camping	Relocalisation stratégique

4.3.2 Gros-Cap Est

a) Calcul des coûts sur 50 ans

Dans le cas du segment Gros-Cap Est, les options d'adaptation proposées sont le riprap (RR), la recharge de plage avec butée (RPBU) ainsi que la relocalisation stratégique (RS). À cet endroit, on retrouve dans des proportions presque égales des falaises de grès rouge et une terrasse de plage, lesquelles donnent sur quelques résidences et un petit marais saumâtre.

COÛTS LIÉS À LA NON-INTERVENTION

Les dommages encourus par l'érosion qui vient gruger le terrain et exposer le marais et deux bâtiments au cours de la période d'analyse retenue constituent l'essentiel des coûts liés à la non-intervention.

Les dommages aux bâtiments dus à l'érosion s'appliquent de manière ponctuelle à mesure que ceux-ci sont exposés à l'érosion. Dans le segment Gros-Cap Est, la perte de deux bâtiments pour un montant de 71 549 \$ est prévue sur l'horizon temporel considéré. La démolition de ces bâtiments engendrera des coûts estimés à 5 271 \$. Les pertes de terrains se chiffrent, quant à elles, à 13 224 \$ pour l'ensemble de la période. La perte de vue et d'accès à la mer est estimée à 7 361 \$. Enfin, un petit marais saumâtre sera exposé du fait de l'érosion en 2028. La perte annuelle associée résulte de la multiplication de la portion érodée par la valeur à l'hectare d'un tel milieu humide soit 856 \$ canadiens en dollars de 2012 (consulter la section 4.2.2). La valeur totale actualisée de la partie érodée du marais sur la période d'étude est de 628 \$.

Le coût actualisé net de la non-intervention s'élève à 98 033 \$ sur la période 2015-2064.

COÛTS LIÉS AU RIPRAP

Les coûts d'ingénierie, d'études préparatoires et de construction représentent une somme actualisée de 678 089 \$. La durée de vie utile du riprap est de 50 ans. Des coûts d'entretien de 207 367 \$ sont également associés à la recharge en matériaux grossiers qui doit être entretenue tous les 15 ans. Les entretiens impliquent trois recharges : 40 % de la quantité initiale de matériaux en 2033, 20 % en 2048 et 15 % en 2063.

Cette option permet d'éviter tous les coûts liés à l'érosion dès sa construction. Toutefois, des dommages auront lieu avant la construction prévue de l'ouvrage en 2018. Ceux-ci représentent une somme actualisée de 1 608 \$.

Ainsi, les coûts actualisés liés à la mise en place du riprap totalisent un peu plus de 887 063 \$ sur l'horizon temporel 2015-2064.

COÛTS LIÉS À LA RECHARGE DE PLAGE AVEC BUTÉE

Les coûts d'aménagement de la recharge de plage avec butée comprennent des coûts d'ingénierie, d'études préparatoires et de construction pour un total de 2,82 M\$ sur la période d'analyse. Des coûts d'entretien sont également inclus à tous les 7,5 ans, période au bout de laquelle une recharge de sable devra être faite. Sur la période d'analyse, les coûts d'entretien totalisent 1,05 M\$. Les coûts utilisés pour estimer le coût d'aménagement et d'entretien de l'ouvrage ont été calculés à partir des coûts unitaires établis par Roche (Roche, 2011) pour le segment du littoral donnant sur les étangs aérés (segment Centre-ville), lequel est jugé représentatif des conditions du segment Gros-Cap Est. Ces coûts supposent une butée visible et non submergée puisqu'il est jugé que le niveau d'esthétisme de l'ouvrage n'est pas aussi important qu'ailleurs, notamment dans le segment Plage municipale.

Cet ouvrage permettra d'éviter les dommages dus à l'érosion à partir du moment où il sera finalisé soit en 2018. Avant cette date, des dommages de 1 608 \$ sont comptabilisés.

Les coûts actualisés de la recharge de plage avec butée s'élèvent donc à 3,87 M\$ sur l'horizon temporel considéré.

COÛTS LIÉS À LA RELOCALISATION STRATÉGIQUE

La relocalisation stratégique entraîne des coûts liés au déplacement de deux bâtiments en 2043 et 2059 s'élevant à 54 569 \$ lorsqu'actualisés. Les pertes de terrain dues à l'érosion s'élèvent quant à elles à 12 897 \$. La perte de la valeur des terrains déclarés non constructibles totalise 2 667 \$. La relocalisation stratégique ne permet pas d'éviter les dommages potentiels au marais saumâtre (628 \$). À ces coûts s'ajoutent ceux associés à la perte de vue et d'accès à la mer du bâtiment qui doit être relocalisé sur un nouveau terrain estimés à 9 686 \$.

Au total, les coûts actualisés de la relocalisation stratégique s'élèvent donc à 80 448 \$.

b) Calcul des avantages sur 50 ans

Les avantages des options correspondent principalement aux coûts évités en matière d'érosion par rapport à l'option de non-intervention. En effet, les options d'adaptation

étudiées dans le segment Gros-Cap Est ne génèrent pas d'avantages particuliers en termes environnementaux, touristiques, récréatifs ou sociaux.

c) *Valeur actualisée nette et comparaison des options*

Grâce à la VAN, il est possible de discriminer les options en fonction de la rentabilité économique, et ce, même s'il y a absence d'avantages pour certaines. La valeur actualisée nette (VAN) des options d'adaptation retenues a été calculée sur la base de leurs coûts, présentés précédemment. La VAN de même que les principales catégories de coûts et d'avantages de chaque option d'adaptation sont présentées dans le tableau 4.10 et à la figure 4.13. Tel que mentionné précédemment, le détail des coûts annuels pour la non-intervention et les options d'adaptation est présenté à l'annexe E.

Tableau 4.10 – Coûts et avantages actualisés des options d'adaptation – Gros-Cap Est

Impacts actualisés nets	Non-intervention	Riprap	Recharge de plage avec butée	Relocalisation stratégique
Érosion*	(84 773 \$)	(1 608 \$)	(1 608 \$)	(12 897 \$)
Coûts des options	(5 271 \$)	(885 456 \$)	(3 870 968 \$)	(54 569 \$)
Impacts économiques	- \$	- \$	- \$	(2 667 \$)
Impacts environnementaux	(628 \$)	- \$	- \$	(628 \$)
Impacts sociaux	(7 361 \$)	- \$	- \$	(9 686 \$)
VAN	(98 033 \$)	(887 063 \$)	(3 872 576 \$)	(80 448 \$)
Avantages p/r non-intervention		(789 031 \$)	(3 774 543 \$)	17 585 \$
Ratio avantages-coûts		0,11	0,02	1,29

*« Érosion » inclut les dommages aux infrastructures et terrains privés

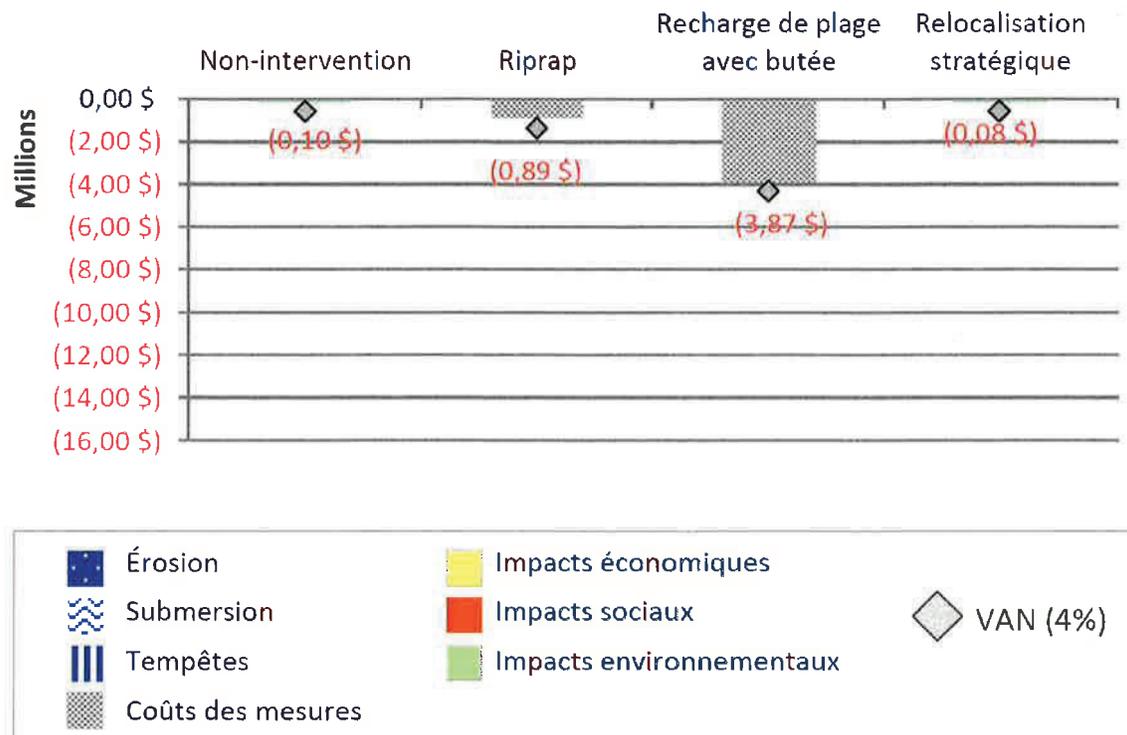


Figure 4.13 – Ventilation des coûts et avantages par option (M\$)

Dans le cas présent, la meilleure option est celle qui minimise les coûts pour la société, c'est-à-dire celle dont la VAN des coûts comparée à celle de la non-intervention est la plus élevée. L'absence d'intervention coûterait 98 033 \$ à la société sur 50 ans. Ce montant s'explique principalement par les dommages qu'entraînerait l'érosion. La recharge avec butée constitue l'option la moins avantageuse pour la population des Îles-de-la-Madeleine puisque ses coûts actualisés sont supérieurs de presque 3,78 M\$ à ceux de la non-intervention. La même conclusion s'applique pour le riprap, alors que ses coûts sont supérieurs de 789 000 \$ à la non-intervention.

La relocalisation stratégique, quant à elle, présente un avantage de 17 585 \$ sur 50 ans comparée à la non-intervention. Ainsi, cette option est la plus avantageuse pour le segment Gros-Cap Est. Toutefois, il est important de noter que le faible écart entre la VAN de cette option et celle de la non-intervention ne permet pas de confirmer hors de tout doute que cette option est plus avantageuse économiquement que la non-intervention.

Les ratios avantages-coûts penchent en faveur de la relocalisation stratégique puisque son ratio atteint 1,29 \$ d'avantages pour chaque dollar de coûts. Ce ratio est relativement faible, en cohérence avec les résultats au niveau de la VAN.

La figure 4.14 illustre la somme cumulée des avantages nets par rapport à la non-intervention actualisée à un taux de 4 % sur la période 2015-2064. Ce graphique permet de préciser à quel moment une option devient plus avantageuse que la non-intervention. Il est ainsi possible de constater que la relocalisation stratégique est toujours à peu près équivalente à la non-intervention, alors que la recharge de plage avec butée devient de plus en plus défavorisée face à la non-intervention à cause des coûts d'entretien très élevés qui s'accumulent au cours de la période.

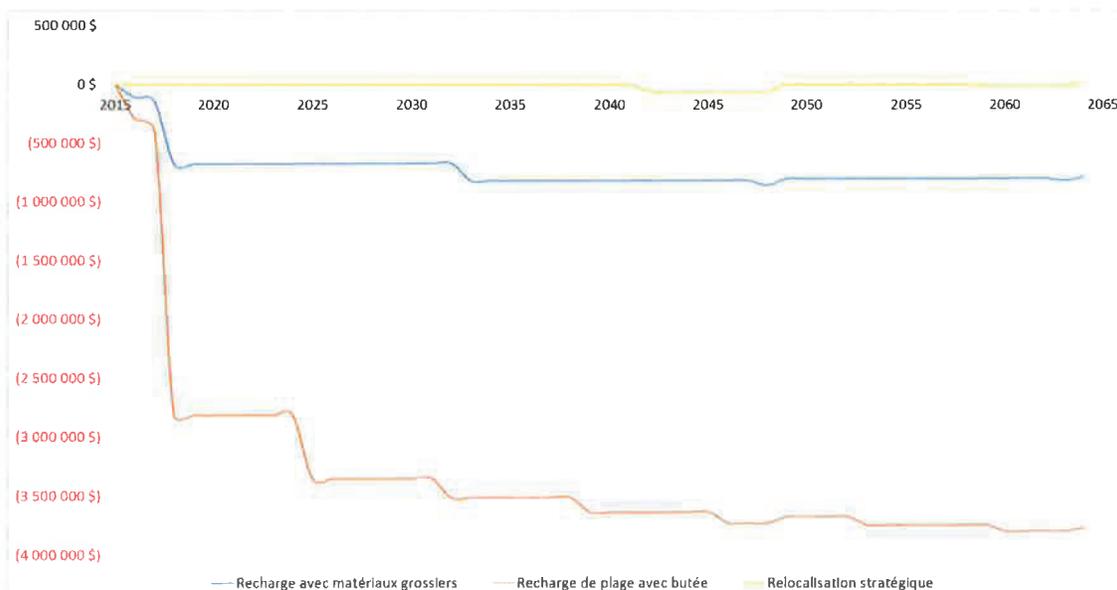


Figure 4.14 – Somme actualisée des avantages nets par rapport à la non-intervention entre 2015 et 2064 – Gros-Cap Est

d) Analyse de sensibilité

Il est possible d'examiner la robustesse des conclusions en observant les VAN obtenues à la suite de la modification de certaines hypothèses de l'analyse. Pour le segment Gros-Cap Est, les analyses additionnelles portent sur le taux d'actualisation et la valeur du marais. Elles sont rapportées au tableau 4.11.

Tableau 4.11 – Paramètres de l'analyse de sensibilité – Gros-Cap Est

Paramètre	Variation
Taux d'actualisation	± 2 %
Valeur du marais	Augmentation

TAUX D'ACTUALISATION

Dans l'option de non-intervention, une baisse du taux d'actualisation à 2 % diminue la VAN à - 202 000 \$ tandis qu'une augmentation du taux à 6 % augmente la VAN à - 51 000 \$ (tableau 4.12).

Tableau 4.12 – Analyse de sensibilité – Taux d'actualisation de 2 et 6 %

Options d'adaptation	Taux d'actualisation		
	2 %	4 % (hypothèses de base)	6 %
VAN Non-intervention	(201 727 \$)	(98 033 \$)	(50 538 \$)
VAN Riprap	(1 048 557 \$)	(887 063 \$)	(781 184 \$)
VAN Recharge de plage avec butée	(4 516 067 \$)	(3 872 576 \$)	(3 432 256 \$)
VAN Relocalisation stratégique	(140 007 \$)	(80 448 \$)	(48 183 \$)
Riprap - Avantage net par rapport à la non-intervention	(846 830 \$)	(789 031 \$)	(730 646 \$)
Recharge avec butée - Avantage net par rapport à la non-intervention	(4 314 340 \$)	(3 774 543 \$)	(3 381 718 \$)
Relocalisation stratégique - Avantage net par rapport à la non-intervention	61 720 \$	17 585 \$	2 355 \$

Le changement du taux d'actualisation a le même effet sur la rentabilité de toutes les options d'adaptation. En effet, tel qu'indiqué au tableau 4.12, une baisse du taux d'actualisation à 2 % augmente la rentabilité de toutes les options d'adaptation lorsqu'elles sont comparées à l'option de non-intervention. Au contraire, la hausse du taux d'actualisation diminue la rentabilité de toutes les options. Toutefois, l'option de relocalisation stratégique demeure dans tous les cas, l'option la plus avantageuse pour le segment Gros-Cap Est.

AUGMENTATION DE LA VALEUR DU MARAIS

Aux Îles-de-la-Madeleine, il se peut que la valeur d'un marais saumâtre soit plus élevée que celle retenue jusqu'à présent compte tenu de la relative rareté des marais. Afin de tenir compte d'une potentielle sous-estimation de la valeur de ce milieu humide, la valeur à l'hectare a été augmentée pour correspondre à la valeur la plus élevée retrouvée dans la littérature sur le sujet (Ko et Johnston, 2007). Cette valeur est de 25 250 \$ par hectare, soit près de 30 fois plus élevée que celle retenue dans l'ACA initiale. Les résultats de cette analyse de sensibilité sont présentés dans le tableau 4.13. Sous cette nouvelle hypothèse, le coût actualisé de la non-intervention augmente pour atteindre un peu plus de 115 000 \$, tandis que le coût des structures d'ingénierie par rapport à la non-intervention diminue très faiblement. La relocalisation stratégique demeure toujours l'option la plus avantageuse sur ce segment.

Tableau 4.13 – Analyse de sensibilité – Augmentation de la valeur du marais

	Hypothèses de base	Augmentation de la valeur du marais
VAN Non-intervention	(98 033 \$)	(115 933 \$)
VAN riprap	(887 063 \$)	(887 063 \$)
VAN Recharge de plage avec butée	(3 872 576 \$)	(3 872 576 \$)
VAN Relocalisation stratégique	(80 448 \$)	(98 348 \$)
Riprap - Avantage net par rapport à la non-intervention	(789 031 \$)	(771 130 \$)
Recharge avec butée - Avantage net par rapport à la non-intervention	(3 774 543 \$)	(3 756 642 \$)
Relocalisation stratégique - Avantage net par rapport à la non-intervention	17 585 \$	17 585 \$

SYNTHÈSE DE L'ANALYSE DE SENSIBILITÉ

Pour le segment Gros-Cap Est, l'écart entre la VAN de la relocalisation stratégique et celle de la non-intervention est très faible variant de 2 355 \$ (taux d'actualisation de 6 %) à 61 719 \$ (taux d'actualisation de 2 %). Bien que les résultats indiquent que la relocalisation stratégique est la plus avantageuse pour toutes les analyses effectuées, il

est difficile de statuer sur le choix d'une de ces deux options. Les résultats des analyses de sensibilité réalisées pour ce segment sont présentés au tableau 4.14.

Tableau 4.14 – Option d'adaptation la plus avantageuse selon l'analyse de sensibilité – Segment Gros-Cap Est

Hypothèse modifiée	Option la plus avantageuse
Hypothèses de base	Relocalisation stratégique
Taux d'actualisation de 2 %	Relocalisation stratégique
Taux d'actualisation de 6 %	Relocalisation stratégique
Augmentation de la valeur du marais	Relocalisation stratégique

4.3.3 Échouerie Ouest

a) Calcul des coûts sur 50 ans

Les options d'adaptation proposées pour le segment Échouerie Ouest sont le riprap (RR), l'enrochement (E) ainsi que la relocalisation stratégique (RS). Ce segment s'étend sur un peu moins d'un demi-kilomètre et est constitué en totalité de falaises rocheuses protégées à 50 % par des enrochements. On retrouve à proximité du littoral, une usine de transformation des produits de la mer, un motel et une résidence.

Concernant l'enrochement présent devant l'usine de transformation, il est supposé que le trait de côte demeurera fixe pendant 10 ans, soit jusqu'en 2025. Toutefois, les segments non protégés s'érodent dès 2015 et exposeront l'usine par le côté. Après discussion avec la firme Héneault et Gosselin, il appert également que l'usine ne peut être déménagée, du moins par des méthodes standards (sur camion).

Enfin, la perte de revenus commerciaux de l'usine ne sera pas considérée dans la présente analyse. Cette hypothèse tient compte de plusieurs facteurs, dont la possibilité de déplacer la production ailleurs aux îles, comme cela a été le cas lors du feu de l'usine de Grande-Entrée de même que sur la très faible rentabilité financière des activités de l'usine qui reçoit périodiquement des prêts et subventions pour demeurer en affaires. Dans une ACA, seule la valeur ajoutée (les profits) est comptabilisée à titre de pertes de

revenus commerciaux, lesquels dans ce cas-ci sont considérés comme nuls. Par contre, des pertes d'emplois sont comptabilisées pour l'usine. Une analyse de sensibilité sera réalisée sur cette dernière hypothèse.

COÛTS LIÉS À LA NON-INTERVENTION

La perte d'actifs due à l'érosion et la perte de revenus commerciaux associée aux activités du motel dans le segment Échouerie Ouest constituent les coûts liés à la non-intervention.

Les dommages aux actifs dus à l'érosion s'appliquent de manière ponctuelle à mesure que ceux-ci sont exposés à l'érosion. Dans ce segment, trois bâtiments seraient concernés et exigeraient d'être démolis sur la période d'analyse soit en 2025 (motel), en 2030 (usine de transformation) et en 2039 (résidence). Le coût des dommages aux bâtiments est évalué à 1,1 \$. Les pertes de terrains se chiffrent, quant à eux, à 11 675 \$ pour l'ensemble de la période. Les coûts actualisés de démolition de ces trois bâtiments, quant à eux, sont évalués à 174 572 \$.

L'érosion fera perdre le motel de l'Archipel, lequel compte 10 unités, dont 8 chambres et deux maisonnettes. Selon des consultations menées auprès de l'Office du Tourisme, il serait quasi impossible de se relocaliser aux Îles-de-la-Madeleine pendant la saison haute soit entre le 15 juillet et le 15 août. La perte du motel implique donc, pendant cette période de 32 jours, la perte des dépenses touristiques de la clientèle du motel soit les dépenses d'hébergement (entre 85 et 100 \$ la nuit) et les dépenses hors hébergement estimées selon un sondage d'Ouranos à 63 \$ par personne par nuitée. Il est supposé que deux personnes logent dans chaque unité en location. Ainsi, une perte annuelle de 68 775 \$ par année est enregistrée à partir de 2025 pour un montant total actualisé de 956 407 \$ pour la période d'analyse. À ces impacts économiques, il faut ajouter les pertes d'emplois prévus pour la cessation des activités du motel (en 2025) et de l'usine de transformation en 2030 qui s'élèvent respectivement à 163 975 \$ et à 4,55 M\$⁶ sur

⁶ Le nombre d'employés actuels de l'usine de transformation de poisson est de 160, tous occasionnels (CIFM, 2014). Ceux-ci travaillent de la mi-avril à la mi-décembre soit environ 35 semaines par année, à raison de 25 heures semaine.

l'horizon temporel considéré. Un montant actualisé de 3 432 \$ est associé à la perte de vue sur la mer de la résidence qui sera exposée et démolie en 2039.

Le coût actualisé net de la non-intervention s'élève ainsi à 6,9 M\$ sur la période 2015-2064.

COÛTS LIÉS AU RIPRAP

L'option du riprap présente des coûts de mise en œuvre actualisés à 2,1 M\$. Ils se décomposent en coûts de construction, d'ingénierie et d'études préparatoires. Outre la mise en place de nouveaux ouvrages en 2018, il est prévu le remplacement de la section sise devant l'usine en 2025. Ces ouvrages nécessitent des coûts d'entretien périodique aux 15 ans correspondants à 40 %, 20 % et 15 % des quantités initiales pour chacune des trois recharges. Au total, les coûts d'entretien s'élèvent à 632 909 \$ sur un horizon de 50 ans. Les coûts liés à l'érosion des terrains, lesquels concernent la période 2015-2017 alors que la protection n'est pas encore mise en place, s'élèvent à 2 157 \$.

Cette option n'implique pas de pertes d'achalandage touristique, ni de pertes d'emplois.

Les coûts actualisés liés à la mise en place du riprap totalisent 2,73 M\$ sur l'horizon temporel 2015-2064.

COÛTS LIÉS À L'ENROCHEMENT

Les coûts de construction liés à l'enrochement sont d'environ 3,16 M\$. Ce montant inclut les coûts d'ingénierie et d'études préparatoires. Les coûts associés à l'érosion sont les mêmes que ceux du riprap, soit de 2 157 \$ en dommages dus à l'érosion pour la période 2015-2017. Les coûts sont établis pour la durée de vie utile de l'ouvrage de 50 ans et l'enrochement ne requiert aucun entretien annuel ou périodique.

Cette option n'implique pas de pertes d'achalandage touristique ni de perte d'emplois. Ainsi, les coûts totaux actualisés liés à la mise en place de l'enrochement totalisent 3,16 M\$ sur l'horizon temporel 2015-2064.

COÛTS LIÉS À LA RELOCALISATION STRATÉGIQUE

Les coûts de l'érosion pour le segment Échouerie Ouest englobent la valeur de l'usine qui ne peut pas être déménagée, pour un coût actualisé de 940 178 \$. Les pertes de terrain dues à l'érosion, quant à elles, s'élèvent à 9 576 \$. La modification de la valeur économique des terrains totalise 16 003 \$. À ces impacts économiques, il est nécessaire d'ajouter la perte des emplois de l'usine de transformation dont la valeur s'élève, tout comme pour l'option de non-intervention, à 4,55 M\$ sur la période d'étude.

Le coût de cette option correspond aux coûts de relocalisation du motel et de la résidence lesquels totalisent 262 347 \$ et la valeur actualisée de la perte de vue sur la mer pour la résidence relocalisée est de 5 283 \$. Au total, les coûts actualisés de la relocalisation stratégique s'élèvent à 5,8 M\$.

b) Calcul des avantages sur 50 ans

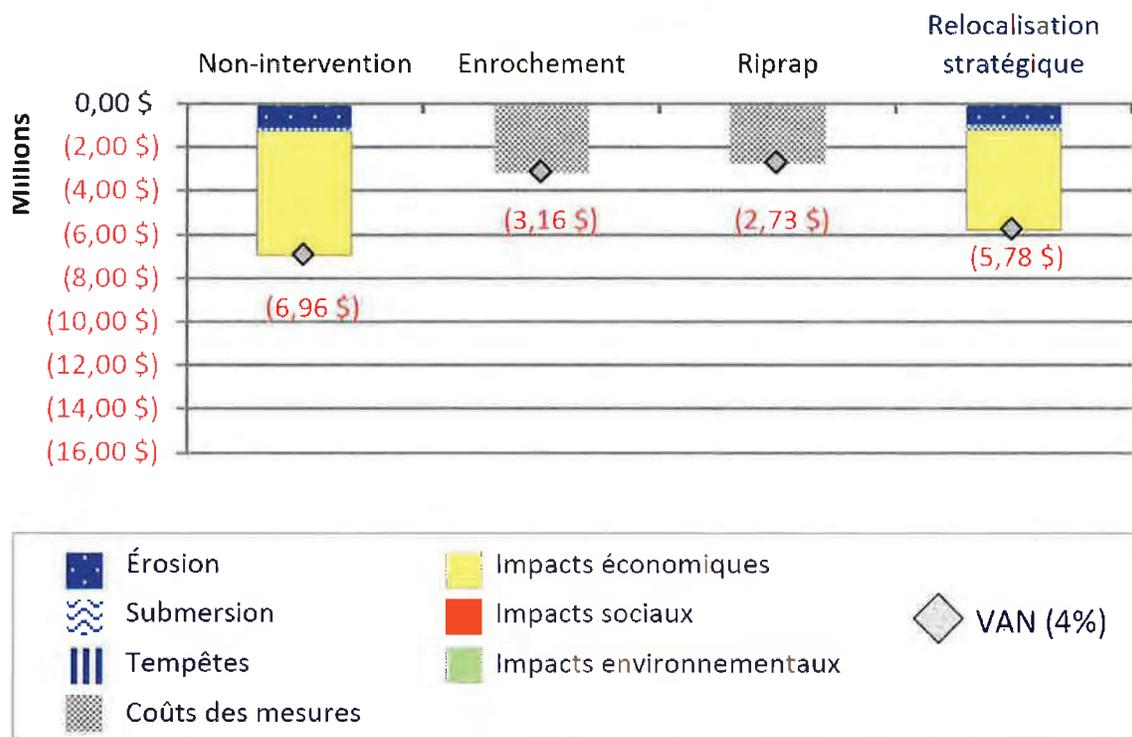
Les avantages des options pour le segment Échouerie Ouest concernent les coûts liés à l'érosion que l'intervention permet d'éviter. Intervenir ne génère pas d'avantages additionnels sur l'environnement, le tourisme, les activités récréatives ou au plan social.

c) Valeur actualisée nette et comparaison des options

La valeur actualisée nette (VAN) de même que les principales catégories de coûts et d'avantages de chaque option d'adaptation sont présentées dans le tableau 4.15 et à la figure 4.15. Le détail des coûts annuels pour la non-intervention et les options d'adaptation est présenté à l'annexe E.

Tableau 4.15 – Coûts et avantages actualisés des options d'adaptation – Échouerie Ouest

Impacts actualisés nets	Non-intervention	Riprap	Enrochement	Relocalisation stratégique
Érosion*	(1 114 820 \$)	(2 157 \$)	(2 157 \$)	(949 753 \$)
Coûts des options	(174 572 \$)	(2 731 493 \$)	(3 157 107 \$)	(262 347 \$)
Impacts économiques	(5 668 416 \$)	- \$	- \$	(4 564 035 \$)
Impacts sociaux	(3 432 \$)	- \$	- \$	(5 285 \$)
VAN	(6 961 240 \$)	(2 733 650 \$)	(3 159 263 \$)	(5 781 419 \$)
Avantages p/r non-intervention		4 227 590 \$	3 801 977 \$	1 179 821 \$
Ratio avantages-coûts		2,55	2,20	5,47

**Figure 4.15** – Ventilation des coûts et avantages par option (M\$)

Les résultats montrent qu'aucune des avenues envisagées ne génère une VAN positive. L'option qui minimise les coûts pour la société est le riprap. En effet, les coûts actualisés

de cette option sont inférieurs de plus de 4,2 M\$ aux coûts de la non-intervention. L'enrochement et la relocalisation stratégique sont également plus avantageux que la non-intervention compte tenu des impacts économiques importants que ces options permettent d'éviter.

Quant au ratio avantages-coûts, cet indicateur suggère que la relocalisation stratégique est l'option d'adaptation à privilégier. Cela signifie que la relocalisation stratégique coûte beaucoup moins chère que les options d'ingénierie et que la différence de coûts est proportionnellement plus grande que la différence estimée au niveau des dommages évités, qui sont beaucoup moindres avec la relocalisation stratégique. En d'autres termes, il coûte moins cher de générer un dollar d'avantage avec la relocalisation stratégique, mais il n'est pas possible d'en générer autant qu'avec les autres options.

La figure 4.16 illustre la somme cumulée des avantages nets par rapport à la non-intervention actualisée à un taux de 4 % sur la période 2015-2064. Ce graphique permet de préciser à quel moment une option devient plus avantageuse que la non-intervention. Il est ainsi possible de constater que la relocalisation stratégique devient rapidement plus rentable que la non-intervention (dès 2025), mais que rapidement la somme cumulée des avantages des autres options devient beaucoup plus importante.

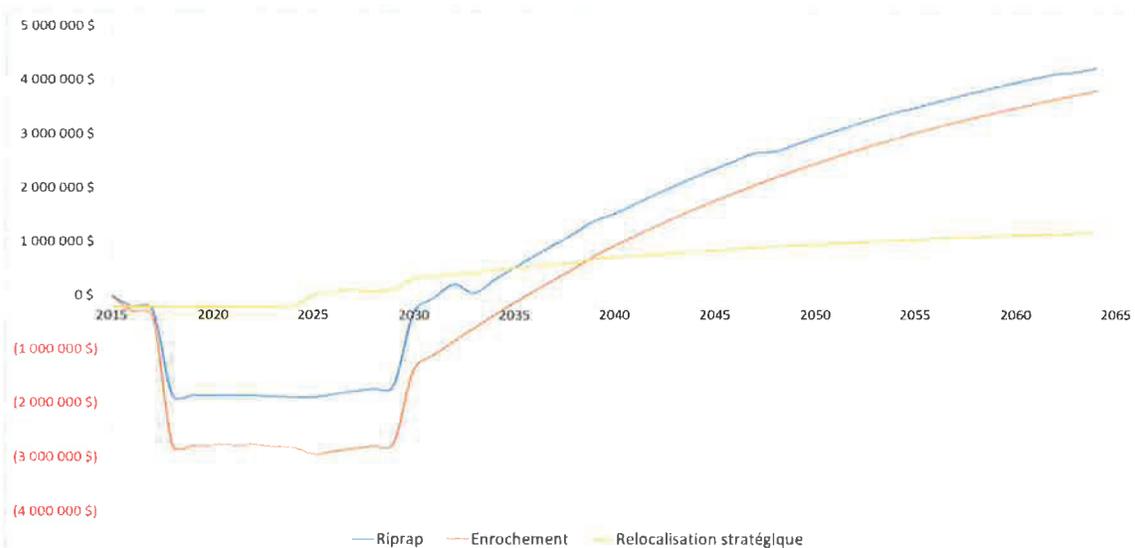


Figure 4.16 – Somme actualisée des avantages nets par rapport à la non-intervention entre 2015 et 2064 – Échouerie Ouest

d) *Analyse de sensibilité*

Comme pour les segments étudiés précédemment, des analyses de sensibilité ont été réalisées pour le segment Échouerie Ouest. Les modifications des hypothèses concernant le taux d'actualisation, la diminution de l'achalandage touristique et les pertes d'emplois sont présentées au tableau 4.16.

Tableau 4.16 – Paramètres de l'analyse de sensibilité – Échouerie Ouest

Paramètre	Variation
Taux d'actualisation	± 2 %
Diminution de l'achalandage touristique	50 %
Pertes nettes d'emplois – Transformation du poisson	50 %

TAUX D'ACTUALISATION

La VAN de chacune des options demeure négative suite à une modification de plus ou moins 2 % du taux d'actualisation, tel que présenté au tableau 4.17. La VAN comparée indique que le riprap demeure l'option la plus avantageuse sur ce segment.

Tableau 4.17 – Analyse de sensibilité – Taux d'actualisation de 2 et 6 %

Options d'adaptation	Taux d'actualisation		
	2 %	4 % (hypothèse de base)	6 %
VAN Non-intervention	(11 557 569 \$)	(6 961 240 \$)	(4 403 306 \$)
VAN Riprap	(3 281 794 \$)	(2 733 650 \$)	(2 370 061 \$)
VAN Enrochement	(3 391 360 \$)	(3 159 263 \$)	(2 953 055 \$)
VAN Relocalisation stratégique	(9 571 658 \$)	(5 781 419 \$)	(3 686 104 \$)
Riprap - Avantage net par rapport à la non-intervention	8 275 775 \$	4 227 590 \$	2 033 245 \$
Enrochement - Avantage net par rapport à la non-intervention	8 166 209 \$	3 801 977 \$	1 450 250 \$
Relocalisation stratégique - Avantage net par rapport à la non-intervention	1 985 911 \$	1 179 821 \$	717 201 \$

DIMINUTION DE 50 % DE L'ACHALANDAGE TOURISTIQUE

L'impact d'une baisse partielle (50 %) de l'achalandage touristique suivant la perte du motel présent dans le segment n'a un effet que sur la VAN de la non-intervention. Les VAN des autres options envisagées ne sont pas affectées par cette analyse de sensibilité.

Dans le cas où l'achalandage touristique diminuerait, la VAN de la non-intervention augmenterait pour totaliser 6,48 M\$. Malgré cette diminution, le riprap demeure l'option la plus avantageuse sur l'horizon temporel considéré. Les résultats de l'analyse selon cette nouvelle hypothèse sont présentés au tableau 4.18.

Tableau 4.18 – Analyse de sensibilité – Diminution de 50 % de l'achalandage touristique

Impacts actualisés nets	Hypothèses de base	Diminution de 50 % de l'achalandage touristique
VAN Non-intervention	(6 961 240 \$)	(6 483 036 \$)
VAN Riprap	(2 733 650 \$)	(2 733 650 \$)
VAN Enrochement	(3 159 263 \$)	(3 159 263 \$)
VAN Relocalisation stratégique	(5 781 419 \$)	(5 781 419 \$)
Riprap - Avantage net par rapport à la non-intervention	4 227 590 \$	3 749 386 \$
Enrochement - Avantage net par rapport à la non-intervention	3 801 977 \$	3 323 773 \$
Relocalisation stratégique - Avantage net par rapport à la non-intervention	1 179 821 \$	701 617 \$

PERTE DE 50 % DES EMPLOIS DE L'USINE

Une diminution de 50 % des pertes d'emplois à l'usine ne modifie pas l'ordonnancement des options sur ce segment. Le riprap demeure l'option la plus avantageuse suivie de l'enrochement et de la relocalisation stratégique.

Tableau 4.19 – Analyse de sensibilité – Perte de 50 % des emplois de l'usine

Impacts actualisés nets	ACA initiale	Pertes nettes d'emplois
Impacts actualisés nets	(6 961 240 \$)	(4 605 236 \$)
VAN Non-intervention	(2 733 650 \$)	(2 733 650 \$)
VAN Riprap	(3 159 263 \$)	(3 159 263 \$)
VAN Enrochement	(5 781 419 \$)	(3 507 403 \$)
VAN Relocalisation stratégique	4 227 590 \$	1 871 586 \$
Riprap - Avantage net par rapport à la non-intervention	3 801 977 \$	1 445 973 \$
Enrochement - Avantage net par rapport à la non-intervention	1 179 821 \$	1 097 833 \$

SYNTHÈSE DE L'ANALYSE DE SENSIBILITÉ

Le tableau 4.20 suivant présente un sommaire des résultats des analyses de sensibilité réalisées pour le segment Échouerie Ouest. Ainsi, le riprap constitue dans tous les cas l'option la plus avantageuse; la valeur des impacts économiques justifiant l'adoption de cette option d'adaptation.

Tableau 4.20 – Option d'adaptation la plus avantageuse selon l'analyse de sensibilité – Segment Échouerie Ouest

Hypothèse modifiée	Option la plus avantageuse
Hypothèses de base	Riprap
Taux d'actualisation de 2 %	Riprap
Taux d'actualisation de 6 %	Riprap
Diminution de 50 % de l'achalandage touristique	Riprap
Diminution de 50 % des pertes d'emplois à l'usine.	Riprap

4.3.4 Route municipale

a) Calcul des coûts sur 50 ans

Pour le segment Route municipale les options proposées sont le riprap (RR), l'enrochement (EN), la relocalisation stratégique avec un déplacement du tracé de la route (RSR) et la relocalisation stratégique (RS). Compte tenu de la formation de nombreuses encoches d'érosion dans ce segment, 3 bâtiments et plusieurs portions de la route municipale seront exposés au cours de l'horizon temporel retenu.

COÛTS LIÉS À LA NON-INTERVENTION

La non-intervention pour le segment Route municipale entraînerait des coûts liés aux dommages encourus par l'érosion venant gruger le terrain, exposer les bâtiments et menacer la route. La perte de deux bâtiments est prévue pour un coût total de 130 764 \$. Le coût de démolition de ces bâtiments de 12 584 \$. La perte de vue sur la mer, dont la valeur est estimée à 2 144 \$, s'ajoute aux coûts. Finalement, les pertes physiques de terrain sont calculées annuellement pour un coût actualisé de 47 141 \$.

La non-intervention suppose la construction d'une route de contournement des portions de la route municipale existante qui seront exposées (un tronçon de 120 m en 2015 et un tronçon de 130 m en 2027). Les coûts d'aménagement actualisés de cette route sont estimés à 201 198 \$.

Les coûts totaux liés à la non-intervention pour le segment Route Municipale s'élèvent à 393 830 \$.

COÛTS LIÉS AU RIPRAP

Le coût actualisé de la mise en place du riprap totalise 5,96 M\$. Ce coût comprend à la fois les coûts d'ingénierie et des études préparatoires. Des recharges de matériaux grossiers devront être réalisées tous les 15 ans, ce qui implique que trois recharges additionnelles devront être réalisées sur 50 ans pour un montant total actualisé de 1,8 M\$.

Une fois en place, soit en 2018, l'ouvrage permettra d'éviter tous les coûts liés à l'érosion. Toutefois, des dommages de 6 941 \$ ont été enregistrés pour la période 2015-

2017. Aucune perte de vue sur la mer n'est comptabilisée, car les bâtiments sont plus élevés que la hauteur prévue de la recharge.

Ainsi, les coûts totaux pour le riprap s'élèvent à 7,78 M\$.

COÛTS LIÉS À L'ENROCHEMENT

Les coûts liés à l'enrochement sont d'environ 8,96 M\$. Ce montant inclut les coûts de construction, ainsi que ceux d'ingénierie et ceux pour les études préparatoires. Ils sont établis pour une durée de vie utile de l'enrochement de 50 ans. Les coûts associés à l'érosion sont les mêmes que ceux du riprap et correspondent aux dommages encourus au cours de la période 2015-2017, soit 6 941 \$. Le total des coûts pour l'enrochement s'élève à 8,97 M\$.

COÛTS LIÉS À LA RELOCALISATION STRATÉGIQUE

Sur l'horizon temporel retenu, trois bâtiments devront être relocalisés soit en 2037, 2046 et 2052 pour un coût total de 126 231 \$. Les coûts reliés à la perte de valeur des terrains déclarés non constructibles après la relocalisation des bâtiments s'élèvent à 21 608 \$. Au coût de cette option s'ajoute celui de l'aménagement de certaines portions de la route de manière à ce que cette dernière contourne les zones exposées. Ces portions de route totalisent 210 m pour un coût total d'aménagement de 201 198 \$ sur l'horizon considéré.

Les dommages liés à l'érosion totalisent 44 964 \$ sur l'ensemble de la période tandis que la perte de vue sur la mer résultant de la relocalisation est évaluée à 10 256 \$.

Au total, les coûts actualisés liés à la mise en place de la relocalisation stratégique sont de 404 256 \$ sur l'horizon 2015-2064.

RELOCALISATION STRATÉGIQUE ET DÉPLACEMENT DU TRACÉ DE LA ROUTE MUNICIPALE

Cette option est la même que la précédente, mais ici la route est déplacée pour assurer un accès à l'ensemble des propriétés de la zone. Le nouveau tracé est établi à l'intérieur des terres et constitue une solution à long terme. Le coût de cette nouvelle route soit 2,01 M\$ est comptabilisé au tout début de la période d'analyse. Il permet d'éviter également les coûts de déplacement de la route dans le segment Plage municipale. Ces

coûts évités sont comptabilisés dans le présent segment soit en 2048 pour un montant 27 409 \$.

Ainsi, le coût actualisé de cette option totalise 2,19 M\$.

b) Calcul des avantages sur 50 ans

Les avantages des options pour le segment Route municipale sont essentiellement les coûts évités en matière d'érosion par rapport à la non-intervention. La relocalisation stratégique avec déplacement de la route permet d'éviter des coûts d'aménagement de la route municipale dans le segment Plage municipale, lesquels sont pris en compte comme un coût évité (un avantage) de la présente option. Les options d'adaptation étudiées ne génèrent pas d'autres avantages particuliers.

c) Valeur actualisée nette et comparaison des options

Pour discriminer les options en fonction de la rentabilité économique, et ce, même s'il y a absence d'avantages pour certaines, le calcul de la valeur actualisée nette a été réalisé pour chacune d'entre elles. Les principales catégories de coûts et d'avantages de chaque option d'adaptation sont présentées dans la figure 4.17 et au tableau 4.21. Le détail des coûts pour chacune des options se retrouve à l'annexe E.

Ni la non-intervention, ni aucune des options d'adaptation ne génèrent une VAN positive donc chacune d'entre elles génère une perte économique pour la population d'intérêt. Ainsi, l'objectif consiste ici à choisir l'option qui minimisera les coûts pour la société. Selon l'analyse, les structures d'ingénierie généreraient trop peu d'avantages en comparaison aux investissements à consentir par rapport à la non-intervention. La relocalisation stratégique avec déplacement de la route présente des coûts d'environ 1,8 M\$ plus élevé que la non-intervention. La relocalisation stratégique des bâtiments et des portions de la route municipale n'est pas plus avantageuse que la non-intervention mais la différence de performance économique entre les deux options est minime. Autrement dit, dans le segment Route municipale, il est plus avantageux de laisser aller les infrastructures, à l'exception des tronçons de route menacés, que d'intervenir.

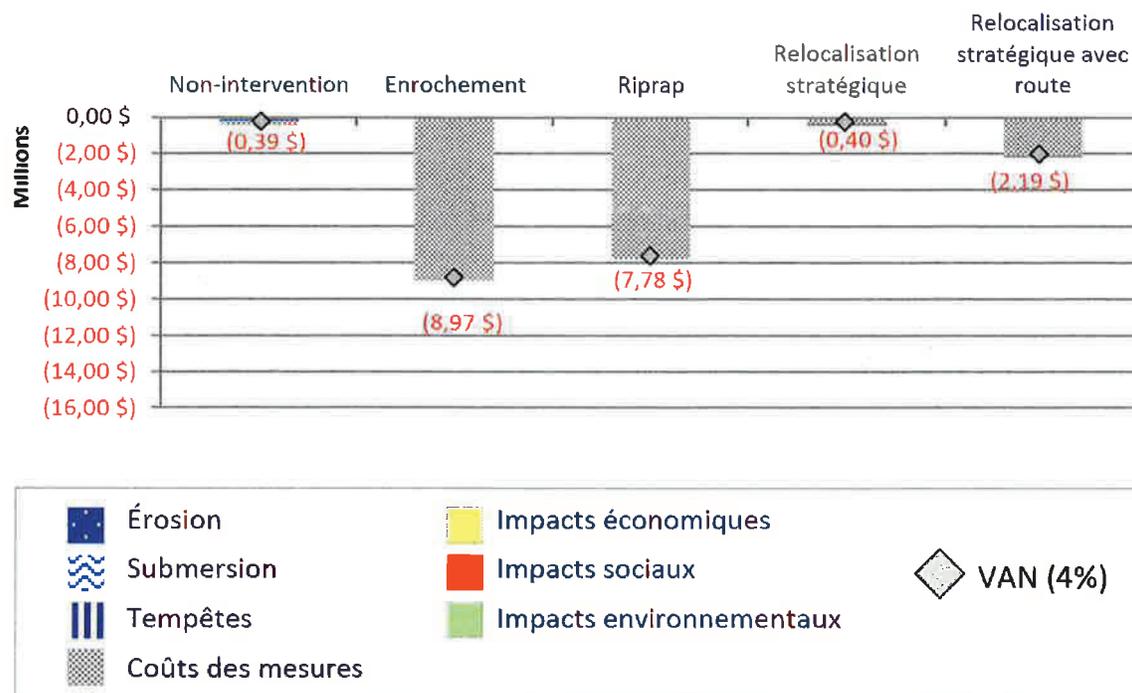


Figure 4.17 – Ventilation des coûts et avantages par option (M\$)

Tableau 4.21 – Coûts et avantages actualisés des options d'adaptation –Segment Route municipale

Impacts annualisés nets	Non-intervention	Riprap	Enrochement	Relocalisation stratégique	Relocalisation stratégique avec déplacement de la route
Érosion*	(177 905 \$)	(6 941 \$)	(6 941 \$)	(44 964 \$)	(44 964 \$)
Coûts des options	(213 782 \$)	(7 771 374 \$)	(8 960 852 \$)	(327 429 \$)	(2 112 822 \$)
Impacts économiques	- \$	- \$	- \$	(21 608 \$)	(21 608 \$)
Impacts sociaux	(2 144 \$)	- \$	- \$	(10 256 \$)	(10 256 \$)
VAN	(393 830 \$)	(7 778 315 \$)	(8 967 793 \$)	(404 256 \$)	(2 189 649 \$)
Avantages p/r non-intervention		(7 384 484 \$)	(8 573 962 \$)	(10 426 \$)	(1 795 819 \$)
Ratio avantages-coûts		0,05	0,04	0,97	0,16

*« Érosion » inclut les dommages aux infrastructures et terrains privés

Les ratios avantages-coûts sont en cohérence avec les résultats obtenus au niveau de la VAN. L'ensemble des options d'adaptation affichent des ratios inférieurs à un. Les ratios des options d'ingénierie sont particulièrement faibles (0,04-0,05), puisqu'il coûte extrêmement cher de protéger ce long tronçon côtier par rapport aux coûts évités. Le ratio nous permet de dire que pour chaque dollar de dommages évités, il en coûte 20 \$.

La figure 4.18 illustre la somme cumulée des avantages nets par rapport à la non-intervention actualisée à un taux de 4 % sur la période 2015-2064. Ce graphique permet de préciser à quel moment une option devient plus avantageuse que la non-intervention. Le graphique permet de constater qu'aucune des options d'adaptation ne permet d'atteindre des avantages nets par rapport à la non-intervention, et ce, sur l'ensemble de la période.

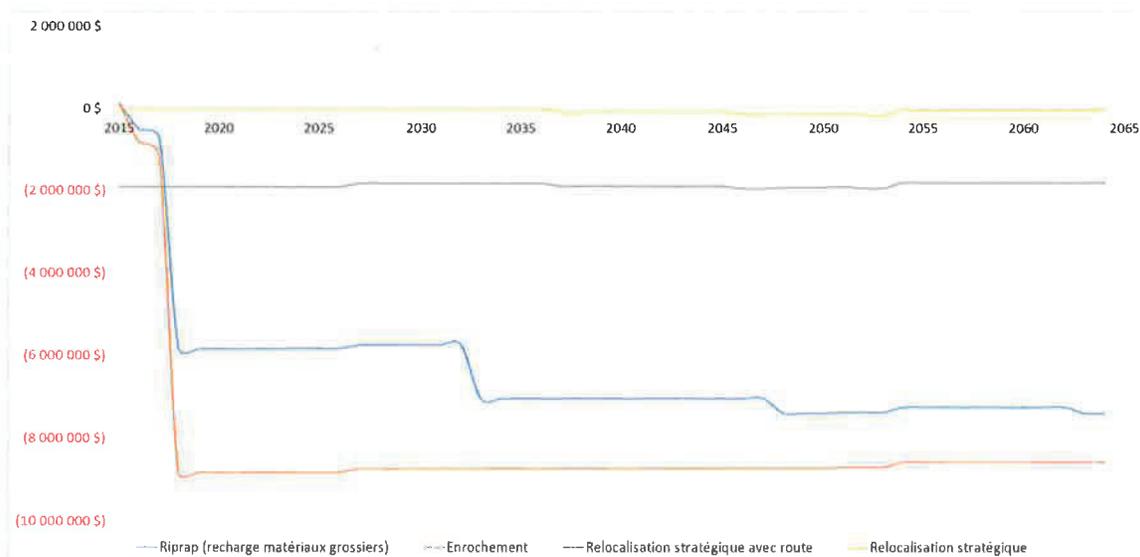


Figure 4.18 – Somme actualisée des avantages nets par rapport à la non-intervention entre 2015 et 2064 – Route municipale

d) Analyse de sensibilité

La modification de certaines hypothèses de l'analyse mène à la modification des VAN obtenues. Le calcul de ces variations permet de vérifier la robustesse de la VAN et des conclusions aux hypothèses de l'étude. Dans le cas du segment Route municipale, une analyse de sensibilité sur le taux d'actualisation a été réalisée. Le tableau 4.22 présente

les VAN résultant des analyses de sensibilité effectuées sur le taux d'actualisation. Il est possible d'y constater qu'un taux d'actualisation de 2 % mène à conclure que la relocalisation stratégique est l'option la plus avantageuse. Il semble donc qu'il soit plutôt difficile, sur une base économique, de discriminer entre l'option de la relocalisation stratégique et celle de la non-intervention pour le segment Route municipale, puisqu'une variation dans le taux d'actualisation change les conclusions de l'analyse. Il est finalement intéressant de noter que la prise en compte de facteurs non monétisés dans l'étude, comme le sentiment d'insécurité, pourrait rendre l'option de relocalisation stratégique plus avantageuse.

Tableau 4.22 – Analyse de sensibilité – Taux d'actualisation de 2 et 6 % - segment Route municipale

Options d'adaptation	Taux d'actualisation		
	2 %	4 % (hypothèses de base)	6 %
VAN Non-intervention	(595 816 \$)	(393 830 \$)	(290 517 \$)
VAN Riprap	(9 207 952 \$)	(7 778 315 \$)	(6 836 857 \$)
VAN Enrochement	(9 461 370 \$)	(8 967 793 \$)	(8 509 880 \$)
VAN Relocalisation stratégique	(562 174 \$)	(404 256 \$)	(311 522 \$)
VAN Relocalisation stratégique avec déplacement de la route	(2 301 647 \$)	(2 189 649 \$)	(2 126 298 \$)
Riprap - Avantage net par rapport à la non-intervention	(8 612 137 \$)	(7 384 484 \$)	(6 546 339 \$)
Enrochement - Avantage net par rapport à la non-intervention	(8 865 554 \$)	(8 573 962 \$)	(8 219 362 \$)
Relocalisation stratégique - Avantage net par rapport à la non-intervention	33 641 \$	(1 795 819 \$)	(21 005 \$)
Relocalisation stratégique avec déplacement de la route - Avantage net par rapport à la non-intervention	(1 705 832 \$)	(10 426 \$)	(1 835 780 \$)

4.3.5 Plage municipale

a) *Calcul des coûts sur 50 ans*

Pour le segment Plage municipale, les options d'adaptation proposées sont le riprap (RR), l'enrochement (E), la recharge de plage avec butée (RPBU) ainsi que la relocalisation stratégique (RS). À cet endroit, on retrouve la plage municipale formée d'une terrasse de plage de 310 m bordée à l'est par une falaise. La côte y est aux trois quarts naturelle et donne sur quelques bâtiments et la route municipale⁷.

COÛTS LIÉS À LA NON-INTERVENTION

La non-intervention entraîne des coûts dus à l'érosion qui vient gruger le terrain et exposer plusieurs condos sur la période d'analyse retenue.

Dans le segment Plage municipale, la perte d'un bâtiment comportant quatre condos pour un montant actualisé de 298 032 \$ est prévue en 2031. La démolition de ces bâtiments et la reconstruction d'une portion de la route (100 m) engendrerait respectivement des coûts estimés à 23 172 \$ et 27 409 \$. Les pertes de terrains se chiffrent, quant à elles, à 26 533 \$ pour l'ensemble de la période. La perte de vue et d'accès à la mer pour les 4 condos est estimée à 59 646 \$.

Le coût actualisé net de la non-intervention s'élève à 434 792 \$ sur la période 2015-2064.

COÛTS LIÉS AU RIPRAP

La réalisation de l'option du riprap implique des coûts actualisés de 2,12 M\$. Ce montant comprend des coûts d'ingénierie, d'études préparatoires et de construction. Des coûts d'entretien sont également associés au riprap puisqu'un entretien doit être effectué tous les 15 ans. De plus, cette option comprend le recouvrement en sable du riprap à tous les ans afin de préserver au mieux l'usage actuel de la plage. Le coût de l'ajout de ces matériaux (matériaux grossiers et sable) totalise 1,55 M\$ sur un horizon

⁷ On compte également une portion de la piste cyclable (sentier du littoral) dans ce segment, mais cette dernière a déjà été fermée. Ainsi, aucune perte d'usage n'est considérée pour cette portion du sentier.

de 50 ans. Les coûts unitaires utilisés pour estimer le coût d'aménagement et d'entretien de l'ouvrage proviennent des coûts unitaires établis par Roche pour ce segment (Roche, 2011).

Cette option permet d'éviter tous les coûts liés à l'érosion dès sa construction. Toutefois, des dommages de 3 903 \$ sont comptabilisés avant la construction de l'ouvrage prévue en 2018.

Malgré une recharge annuelle en sable, il est supposé que le riprap entraînera une diminution de 50 % de l'usage récréatif. La valeur associée à la baisse de l'usage récréatif de la plage est estimée à près de 80 000 \$ annuellement soit 1,54 M\$ sur l'horizon temporel.

Ainsi, les coûts totaux actualisés liés à la mise en place du riprap totalisent 5,2 M\$ sur l'horizon temporel 2015-2064.

COÛTS LIÉS À L'ENROCHEMENT

L'enrochement présente des coûts de l'ordre de 2,49 M\$, incluant les coûts d'ingénierie et des études préparatoires. Cette option ne nécessite aucun entretien annuel. Toutefois, la vie utile est estimée à 50 ans, au bout de laquelle l'ouvrage devra être reconstruit. Les coûts associés à l'érosion sont les mêmes que ceux du riprap, c'est-à-dire 3 903 \$ sur 50 ans.

La mise en place d'un enrochement dans le segment viendrait perturber significativement l'usage du littoral, puisque la plage disparaîtrait progressivement en raison de la réflectivité d'un ouvrage de ce type. Ainsi, la valeur associée à la perturbation de l'usage récréatif de la plage est considérée équivalente à la valeur totale annuelle de l'usage du littoral, soit 158 197 \$. Sur la durée de vie utile de l'enrochement, cette perte est égale à 3,08 M\$ (voir annexe B pour les détails de calculs de la valeur d'usage de la plage municipale).

Ainsi, les coûts totaux actualisés liés à la mise en place de l'enrochement totalisent 5,57 M\$ sur l'horizon temporel 2015-2064.

COÛTS LIÉS À LA RECHARGE DE PLAGE AVEC BUTÉE

Cette option d'adaptation implique des coûts d'aménagement comprenant des coûts d'ingénierie, d'études préparatoires et de construction pour un total de 10,02 M\$ sur la période d'analyse. Des coûts d'entretien seront également requis tous les 7 ans. Ainsi sur l'horizon temporel considéré 6 recharges seront requises : une première recharge, correspondant à 50 % de la quantité de matériel initial et des recharges subséquentes tous les 7 ans d'une quantité équivalant à 20 % de la quantité initiale. Sur la période d'analyse, les coûts d'entretien totalisent 4,15 M\$. Les coûts unitaires utilisés pour estimer le coût d'aménagement et d'entretien de l'ouvrage ont été calculés à partir des coûts unitaires établis par Roche (Roche, 2011) pour ce segment. Pour des raisons d'esthétisme, ces coûts supposent une butée submergée dont le coût est beaucoup plus élevé qu'une butée visible.

Cet ouvrage permettra d'éviter les dommages dus à l'érosion à partir du moment où il sera finalisé soit en 2018. Avant cette date, des dommages de 3 903 \$ doivent être comptabilisés. Une telle option permet de maintenir l'usage récréatif complet de la plage sur l'ensemble de la période.

Les coûts actualisés de la recharge de plage avec butée s'élèvent donc à 14,18 M\$ sur l'horizon temporel considéré.

COÛTS LIÉS À LA RELOCALISATION STRATÉGIQUE

Sur ce segment, les coûts de la relocalisation stratégique sont liés au déplacement du bâtiment (comprenant 4 condos) en 2023. Le coût total actualisé de cette option s'élève ainsi à 126 874 \$. La perte d'un segment de route en 2048 entraîne également des coûts de 27 409 \$. Les pertes de terrain dues à l'érosion s'élèvent, quant à elles, à 24 928 \$. La perte de la valeur des terrains, déclarés non constructibles totalisent 26 391 \$. Ces coûts n'incluent pas ceux associés à la perte de vue et d'accès à la mer des 4 condos, qui devront être relocalisés sur un nouveau terrain, de 81 629 \$.

Au total, les coûts actualisés de la relocalisation stratégique s'élèvent à 287 231 \$.

b) *Calcul des avantages sur 50 ans*

Les avantages des options d'adaptation considérées pour le segment Plage Municipale sont liés aux coûts évités par la prévention de l'érosion qui aurait lieu en absence d'intervention. Il n'y a toutefois aucun avantage environnemental, touristique, récréatif ou social relié aux options d'adaptations.

c) *Valeur actualisée nette et comparaison des options*

Pour chacune des options d'adaptation à l'étude, la valeur actualisée nette a été calculée afin de comparer leur rentabilité économique respective. Le tableau 4.23 et la figure 4.19 présentent la VAN, les principales catégories de coûts et d'avantages par option. Le détail annuel des coûts pour toutes les options d'adaptation et pour la non-intervention sont rapportés à l'annexe E.

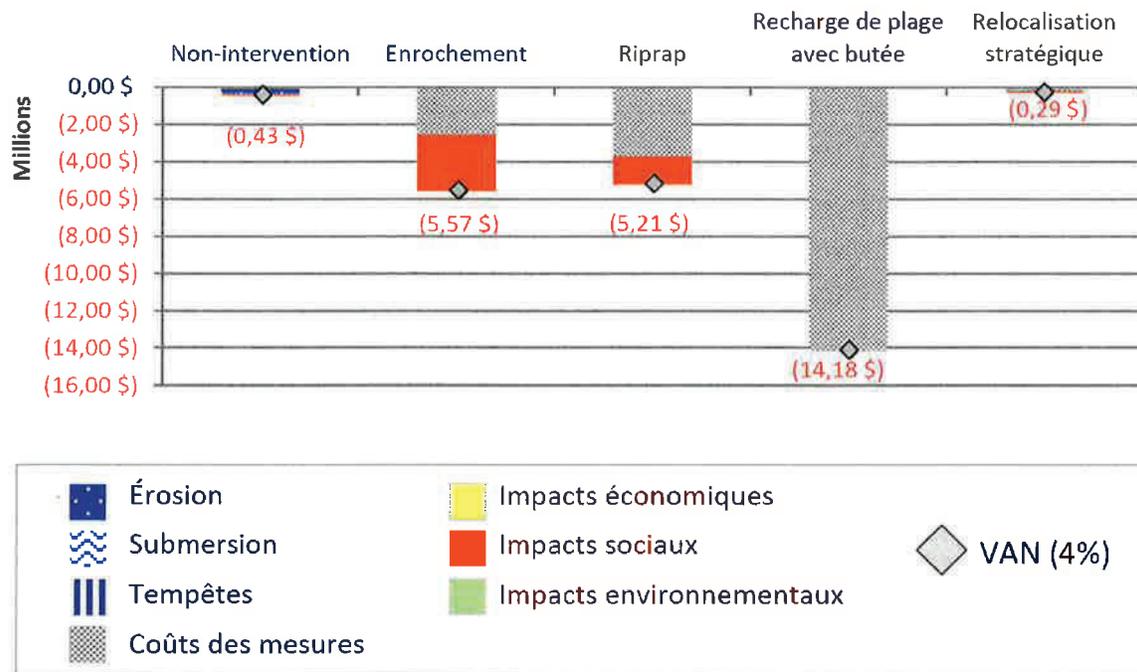


Figure 4.19 – Ventilation des coûts et avantages par option (M\$)

Tableau 4.23 – Coûts et avantages actualisés des options d'adaptation – Plage municipale

Impacts actualisés nets	Non-intervention	Riprap	Enrochement	Recharge de plage avec butée	Relocalisation stratégique
Érosion*	(324 565 \$)	(3 903 \$)	(3 903 \$)	(3 903 \$)	(24 928 \$)
Coûts des options	(50 581 \$)	(3 669 013 \$)	(2 493 083 \$)	(14 174 298 \$)	(154 283 \$)
Impacts économiques	- \$	- \$	- \$	- \$	(26 391 \$)
Impacts sociaux	(59 646 \$)	(1 538 894 \$)	(3 077 787 \$)	- \$	(81 629 \$)
VAN	(434 792 \$)	(5 211 810 \$)	(5 574 774 \$)	(14 178 201 \$)	(287 231 \$)
Avantages p/r non-intervention		(4 777 018 \$)	(5 139 981 \$)	(13 743 409 \$)	147 561 \$
		0,08	0,08	0,03	1,73

*« Érosion » inclut les dommages aux infrastructures et terrains privés

Les résultats montrent qu'aucune des avenues envisagées ne génère une VAN positive. Dans le cas présent, la meilleure option est celle qui minimise les coûts pour la société i.e. celle dont la VAN comparée à celle de la non-intervention est la plus élevée. L'absence d'intervention coûtera 434 792 \$ à la société sur 50 ans. Ce montant s'explique principalement par les dommages qu'entraînerait l'érosion. La recharge avec butée, même si elle permet de préserver l'usage de la plage, constitue l'option la moins avantageuse pour la population des Îles, puisque ses coûts actualisés sont supérieurs de 13,74 M\$ à ceux de la non-intervention. Les coûts actualisés du riprap et l'enrochement sont également de beaucoup supérieurs à la non-intervention soit respectivement de 4,77 M\$ et 5,14 M\$ plus élevés.

La relocalisation stratégique, quant à elle, présente un avantage de près de 150 000 \$ sur 50 ans comparée à la non-intervention. Ainsi, cette option est la plus avantageuse pour le segment Plage municipale.

Le ratio avantages-coûts de la relocalisation stratégique est de 1,78, ce qui suggère que cette option d'adaptation est efficace pour générer des avantages. Ce résultat corrobore ce qui a été trouvé pour la VAN et vient appuyer la supériorité de la relocalisation stratégique sur la non-intervention. Les ratios pour les autres options sont très faibles, ce qui s'explique par des coûts des mesures beaucoup plus dispendieux tout en évitant des coûts relativement modestes.

La figure 4.20 illustre la somme cumulée des avantages nets par rapport à la non-intervention actualisée à un taux de 4 % sur la période 2015-2064. Ce graphique permet de constater que la relocalisation stratégique est plus rentable que la non-intervention dès 2032 et sur tout le reste de la période.

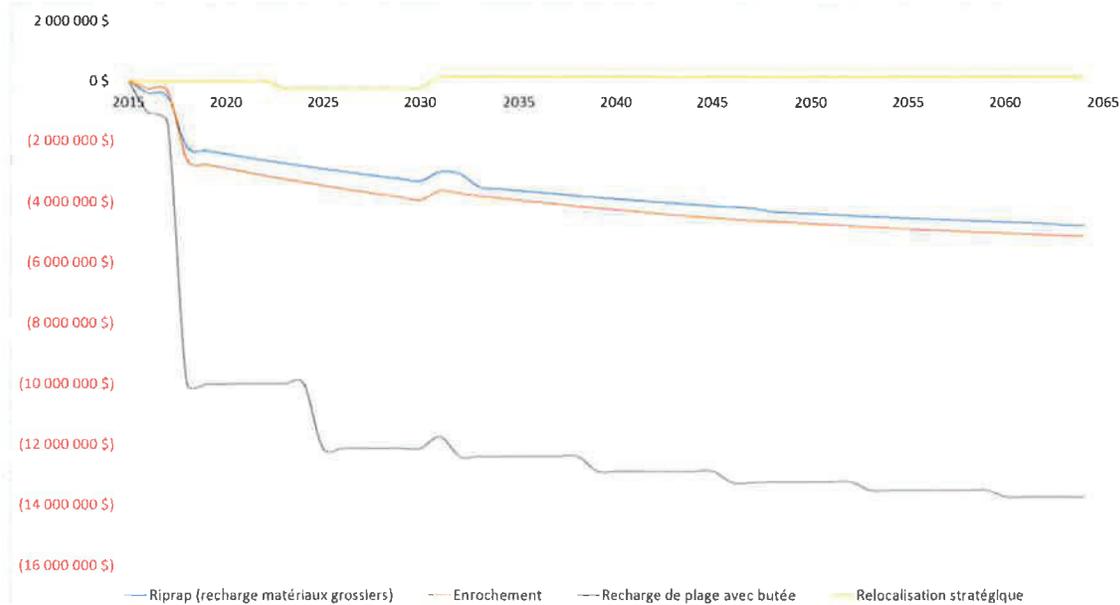


Figure 4.20 – Somme actualisée des avantages nets par rapport à la non-intervention entre 2015 et 2064 – Plage municipale

d) *Analyse de sensibilité*

Les VAN obtenues lorsque des hypothèses importantes de l'analyse sont modifiées sont présentées dans cette section. Ces analyses additionnelles permettent de déterminer la robustesse de la VAN. Les hypothèses concernant le taux d'actualisation et la valeur d'usage de la plage ont fait l'objet des analyses de sensibilité pour ce segment. Leurs paramètres sont rapportés au tableau 4.24.

Tableau 4.24 – Paramètres de l'analyse de sensibilité – Plage municipale

Paramètre	Variation
Taux d'actualisation	± 2 %
Valeur d'usage de la plage	± 50 %

TAUX D'ACTUALISATION

Pour l'option de non-intervention, une baisse du taux d'actualisation à 2 % diminue la VAN à -609 000 \$ tandis qu'une augmentation du taux à 6 % augmente la VAN à -316 000 (tableau 4.25).

La variation du taux d'actualisation a le même effet sur la rentabilité de toutes les options d'adaptation. En effet, tel qu'indiqué au tableau 4.25, une baisse du taux d'actualisation à 2 % augmente la rentabilité de toutes les options d'adaptation lorsqu'elles sont comparées à l'option de non-intervention. Au contraire, la hausse du taux d'actualisation diminue la rentabilité de toutes les options. Toutefois, l'option de la relocalisation stratégique demeure dans tous les cas l'option la plus avantageuse pour le segment Plage municipale.

Tableau 4.25 – Analyse de sensibilité – Taux d'actualisation de 2 et 6 %

Options d'adaptation	Taux d'actualisation		
	2 %	4 % (hypothèses de base)	6 %
VAN Non-intervention	(608 560 \$)	(434 792 \$)	(315 794 \$)
VAN Riprap	(6 922 521 \$)	(5 211 810 \$)	(4 183 061 \$)
VAN Enrochement	(7 239 551 \$)	(5 574 774 \$)	(4 564 407 \$)
VAN Recharge de plage avec butée	(16 657 305 \$)	(14 178 201 \$)	(12 496 668 \$)
VAN Relocalisation stratégique	(361 312 \$)	(287 231 \$)	(235 394 \$)
Riprap - Avantage net par rapport à la non-intervention	(6 313 961 \$)	(4 777 018 \$)	(3 867 266 \$)
Enrochement - Avantage net par rapport à la non-intervention	(6 630 990 \$)	(5 139 981 \$)	(4 248 613 \$)
Recharge avec butée - Avantage net par rapport à la non-intervention	(16 048 745 \$)	(13 743 409 \$)	(12 180 874 \$)
Relocalisation stratégique - Avantage net par rapport à la non-intervention	247 249 \$	147 561 \$	80 400 \$

VARIATION DE LA VALEUR D'USAGE DE LA PLAGE

Cette analyse de sensibilité veut vérifier la robustesse des résultats à une diminution et une augmentation de 50 % de la valeur d'usage de la plage. Cette analyse ne peut

modifier que les résultats de l'ACA pour le riprap et l'enrochement, puisque ce sont les seules options où est enregistrée une perte de valeur d'usage de la plage.

Les résultats de l'ACA indiquent que, sous ces nouvelles hypothèses, la relocalisation stratégique demeure toujours l'option la plus avantageuse pour ce segment. Même lorsque la valeur d'usage est réduite de 50% et que les coûts actualisés du riprap et de l'enrochement diminuent, ces coûts par rapport à la non-intervention sont toujours beaucoup plus élevés soit respectivement de 4,00 et 3,60 M\$.

Tableau 4.26 – Analyse de sensibilité – Augmentation de la valeur d'usage de la plage

Options d'adaptation	Valeur d'usage		
	-50 %	ACA initiale	+ 50 %
VAN Non-intervention	(434 792 \$)	(434 792 \$)	(434 792 \$)
VAN Riprap	(4 442 363 \$)	(5 211 810 \$)	(5 981 257 \$)
VAN Enrochement	(4 035 880 \$)	(5 574 774 \$)	(7 113 667 \$)
VAN Recharge de plage avec butée	(14 178 201 \$)	(14 178 201 \$)	(14 178 201 \$)
VAN Relocalisation stratégique	(287 231 \$)	(287 231 \$)	(287 231 \$)
Riprap - Avantage net par rapport à la non-intervention	(4 007 571 \$)	(4 777 018 \$)	(5 546 464 \$)
Enrochement - Avantage net par rapport à la non-intervention	(3 601 088 \$)	(5 139 981 \$)	(6 678 875 \$)
Recharge avec butée - Avantage net par rapport à la non-intervention	(13 743 409 \$)	(13 743 409 \$)	(13 743 409 \$)
Relocalisation stratégique - Avantage net par rapport à la non-intervention	147 561 \$	147 561 \$	147 561 \$

SYNTHÈSE DE L'ANALYSE DE SENSIBILITÉ

Le tableau 4.27 présente un sommaire des résultats des analyses de sensibilité réalisées pour le segment Plage municipale. Ces résultats indiquent que la relocalisation stratégique demeure l'option la plus avantageuse pour toutes les analyses effectuées.

Tableau 4.27 – Option d'adaptation la plus avantageuse selon l'analyse de sensibilité – Plage municipale

Hypothèse modifiée	Option la plus avantageuse
Hypothèses de base	Relocalisation stratégique
Taux d'actualisation de 2 %	Relocalisation stratégique
Taux d'actualisation de 6 %	Relocalisation stratégique
Diminution de 50 % de la valeur d'usage	Relocalisation stratégique
Augmentation de 50 % de la valeur d'usage	Relocalisation stratégique

4.3.6 Centre-ville

a) Calcul des coûts sur 50 ans

Le segment Centre-ville s'étend sur plus de 2,1 km et est constitué à 60 % de falaises rocheuses, le reste étant des terrasses de plage. Sa composition permet de considérer les options d'adaptation suivantes : le riprap (RR), l'enrochement (E) ainsi que la relocalisation stratégique (RS). Ce segment, sujet à l'érosion, borde le centre-ville de Cap-aux-Meules. On y retrouve à proximité du rivage des bâtiments commerciaux et résidentiels, un sentier multifonctionnel (le sentier du littoral) de même qu'une usine de traitement des eaux usées (étangs aérés), lesquels pourraient être exposés sur l'horizon temporel considéré.

COÛTS LIÉS À LA NON-INTERVENTION

La perte économique associée à la perturbation de l'usage récréatif du littoral due à l'érosion du sentier du littoral entraîne l'essentiel des coûts liés à la non-intervention pour le segment. Ne pas intervenir n'implique aucune perte de bâtiment. Les pertes de terrains se chiffrent, quant à elles, à 216 307 \$ pour l'ensemble de la période.

Il est supposé ici que les étangs aérés sont à risque lorsque la distance entre le trait de côte et ces derniers est égale au recul événementiel maximal enregistré à l'endroit de ce type de côte soit 12,5 m. Sur cette base et compte tenu de la protection offerte par le riprap existant (mis en place en 2010), il est anticipé que les étangs existants seront exposés en 2035 et que la municipalité devra procéder à l'aménagement de nouvelles

infrastructures avant la fin de la vie utile des étangs aérés estimée en 2050. Ainsi, un coût de reconstruction équivalant à la valeur de remplacement (2 750 000 \$) est comptabilisé en 2035. En contrepartie, un gain équivalent à la valeur de remplacement est comptabilisé en 2050 pour prendre en compte les coûts de reconstruction évités cette année-là. Les coûts actualisés d'un investissement plus hâtif sont donc égaux à 558 172 \$.

L'érosion détruira ou rendra impraticable le sentier du littoral qu'empruntent piétons et cyclistes, résidents et touristes. L'enquête réalisée par Ouranos a permis de calculer la valeur d'usage de ce sentier pour les résidents et les touristes. Au total, la valeur de la perte d'usage de ce sentier est estimée à 564 442 \$ par an. Les coûts actualisés de cette perte sont donc estimés à 12,61 M\$ sur la période d'analyse.

Dans l'ensemble, le coût actualisé net de la non-intervention s'élève à 13,38 M\$ sur la période 2015-2064.

COÛTS LIÉS AU RIPRAP

La mise en œuvre de l'option du riprap comprend les coûts des études préparatoires et de construction représentant une somme actualisée de 9,6 M\$. Le riprap comprend deux composantes : la reconstruction du riprap existant devant les étangs aérés en 2025 et la mise en place d'un riprap dont la réalisation sera complétée en 2018 sur la portion du segment non protégée par le riprap actuellement. Des coûts d'entretien de 2,91 M\$ sont également associés à la recharge en matériaux grossiers qui doit être effectuée tous les 15 ans, soit à trois reprises pour le nouveau riprap et à deux reprises pour le riprap existant qui devra être entièrement reconstruit en 2025. La quantité de matériel requise correspond respectivement à 40 %, 20 % et 15 % de la quantité initiale de matériaux, et ce, pour la première, deuxième et troisième recharges.

Les coûts associés à l'érosion avant la mise en place de l'ouvrage soit pour la période 2015-2017 sont estimés à 29 029 \$.

Ainsi, les coûts totaux actualisés liés à la mise en place du riprap totalisent 12,54 M\$ sur l'horizon temporel 2015-2064.

COÛTS LIÉS À L'ENROCHEMENT

L'enrochement présente des coûts d'environ 14,29 M\$. Ce montant inclut les coûts des études préparatoires et d'ingénierie. Les coûts sont établis pour une durée de vie utile de 50 ans, au bout de laquelle l'ouvrage devra être reconstruit. Tout comme pour l'option du riprap, l'enrochement comprend deux composantes : une première partie de l'ouvrage doit être réalisée en 2018 dans la portion non protégée par un riprap actuellement et la seconde partie de l'enrochement est prévue en 2025 pour remplacer le riprap existant. Les coûts associés à l'érosion sont les mêmes que ceux du riprap, soit 29 029 \$ pour la période 2015 à 2017. L'enrochement ne requiert aucun entretien annuel ou périodique.

Ainsi, les coûts totaux actualisés liés à la mise en place de l'enrochement totalisent 14,32 M\$ sur l'horizon temporel 2015-2064.

COÛTS LIÉS À LA RELOCALISATION STRATÉGIQUE

Pour ce segment, les coûts de la relocalisation stratégique sont liés au déplacement de deux bâtiments, alors qu'il est anticipé que ceux-ci se retrouveront à 5 m du trait de côte en 2051 et 2058. Tout comme l'option de non-intervention, la relocalisation stratégique implique la construction de nouveaux étangs aérés en 2035 plutôt qu'en 2050. Le coût actualisé de réalisation la relocalisation stratégique s'élève ainsi à 623 998 \$. A ce montant s'ajoutent les pertes de terrain dues à l'érosion qui s'élèvent, tout comme pour la non-intervention, à 216 307 \$.

De plus, l'érosion détruira ou rendra impraticable le sentier du littoral qu'empruntent piétons et cyclistes, résidents et touristes. Les coûts actualisés de cette perte sont estimés, tout comme pour l'option de non-intervention, à 12,61 M\$ sur la période temporelle de l'analyse. Au total, les coûts actualisés de la relocalisation stratégique s'élèvent à 13,45 M\$

b) Calcul des avantages sur 50 ans

Les avantages liés aux options d'adaptation étudiées dans le segment Centre-ville se limitent aux coûts évités en matière d'érosion par rapport à l'option de non-intervention. Aucun autre avantage n'est comptabilisé.

c) *Valeur actualisée nette et comparaison des options*

Comme pour les autres segments, la valeur actualisée nette (VAN) des options d'adaptation retenues a été calculée. Le tableau 4.28 et la figure 4.21 présentent la VAN, ainsi que les principales catégories de coûts et d'avantages de chaque option d'adaptation. Le détail des coûts annuels pour la non-intervention et les options d'adaptation est présenté à l'annexe E.

Tableau 4.28 – Coûts et avantages actualisés des options d'adaptation – Segment Centre-ville

Impacts actualisés nets	Non-intervention	Riprap	Enrochement	Relocalisation stratégique
Érosion	(216 307 \$)	(29 029 \$)	(29 029 \$)	(216 307 \$)
Coûts des options	(558 172 \$)	(12 513 854 \$)	(14 288 362 \$)	(623 375 \$)
Impacts sociaux	(12 610 457 \$)	- \$	- \$	(12 610 457 \$)
VAN	(13 384 935 \$)	(12 542 883 \$)	(14 317 391 \$)	(13 450 139 \$)
Avantages p/r non-intervention		842 052 \$	(932 456 \$)	(65 204 \$)
Ratio avantages-coût		1,07	0,93	0,89

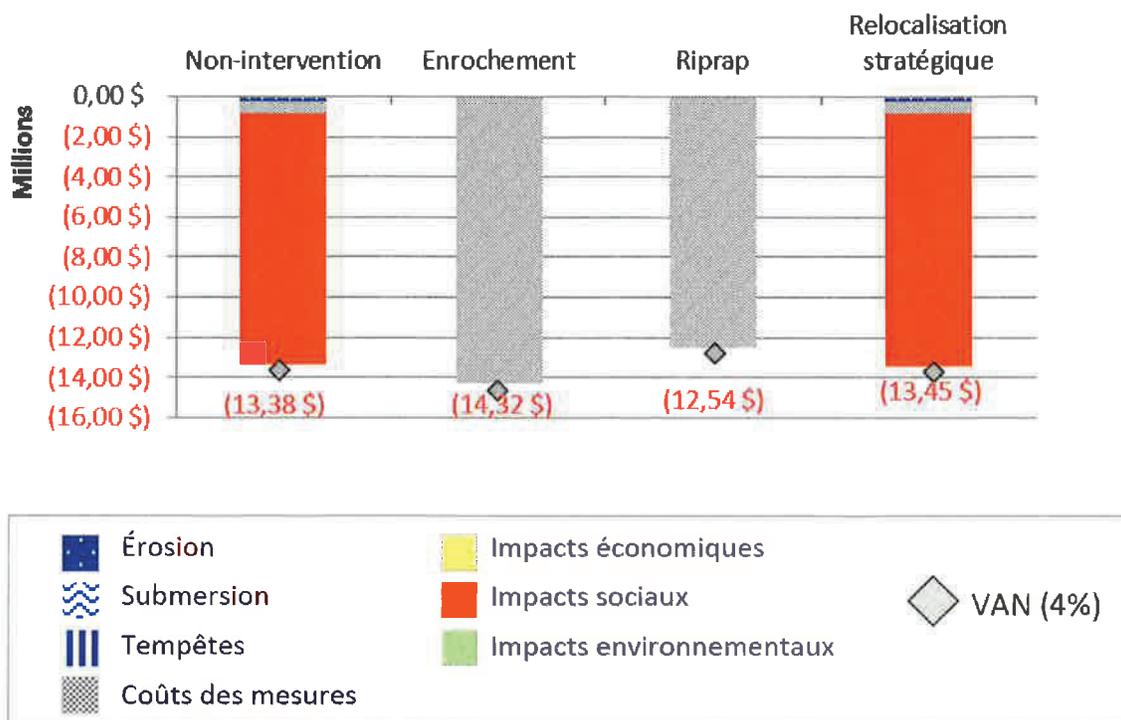


Figure 4.21 – Ventilation des coûts et avantages par option (M\$)

Les résultats montrent qu'aucune des avenues envisagées ne génère une VAN positive. L'absence d'intervention coûtera 13,38 M\$ à la société sur 50 ans. Ce montant s'explique principalement par les dommages qu'entraînerait l'érosion sur le sentier du littoral et donc par la perte de la valeur d'usage de ce dernier. L'enrochement constitue l'option la moins avantageuse avec un coût additionnel d'environ 0,9 M\$ par rapport à la non-intervention. Ainsi, même si cette option permet de préserver l'usage du sentier du littoral, son coût actualisé de mise en œuvre demeure supérieur à la valeur actualisée des dommages évités. La relocalisation stratégique, quant à elle, est légèrement plus coûteuse, soit de près de 65 000 \$ sur 50 ans comparée à la non-intervention.

La mise en place d'un riprap constitue l'option la plus avantageuse sur ce segment. Cette option présente un avantage de plus de 800 000 \$ sur la non-intervention. Malgré ces avantages nets importants, l'option de riprap offre un ratio avantages-coûts qui est seulement de 1,07. La faiblesse du ratio en comparaison aux avantages nets s'explique par un coût d'intervention qui est de plus de 10 M\$. Les deux autres options présentent

des ratios qui sont inférieurs à un; il coûte donc plus cher d'intervenir que de ne rien faire dans ces deux cas.

La figure 4.22 illustre la somme cumulée des avantages nets par rapport à la non-intervention actualisée à un taux de 4 % sur la période 2015-2064. Ce graphique permet de constater que les coûts de mise en place des protections côtières sont tellement élevés que la rentabilité du projet est seulement atteinte vers la fin de l'horizon d'étude, soit en 2055 pour le riprap.

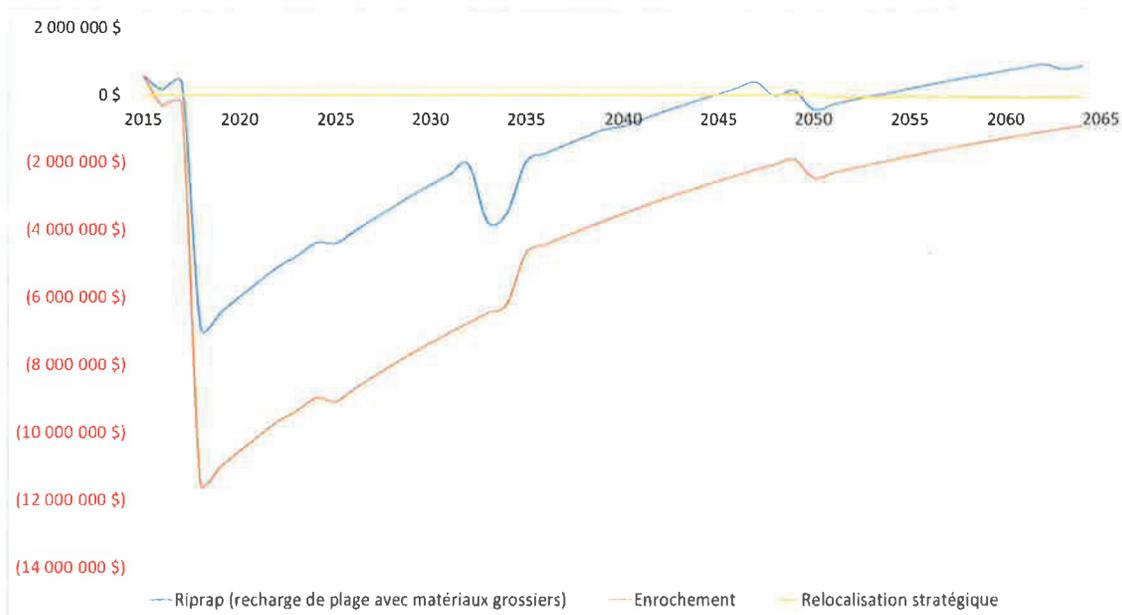


Figure 4.22 – Somme actualisée des avantages nets par rapport à la non-intervention entre 2015 et 2064 – Centre-ville

d) Analyse de sensibilité

Cette section présente les VAN obtenues lorsque des hypothèses importantes de l'analyse sont modifiées. L'objectif de ces analyses additionnelles est d'examiner la robustesse de la VAN suite à de telles modifications. Celles-ci sont apportées aux hypothèses concernant le taux d'actualisation, la valeur d'usage du sentier du littoral et la durée de vie utile du riprap devant les étangs aérés. Le tableau 4.29 indique de manière plus détaillée les analyses de sensibilité qui ont été effectuées.

Tableau 4.29 – Paramètres de l'analyse de sensibilité – Centre-ville

Paramètre	Variation
Taux d'actualisation	± 2 %
Valeur d'usage	± 50 %
Durée de vie du riprap existant	-10 ans

TAUX D'ACTUALISATION

Pour l'option de non-intervention, une baisse du taux d'actualisation à 2 % diminue la VAN à -18,9 M\$ tandis qu'une augmentation du taux à 6 % augmente la VAN à -10,1 M\$ (tableau 4.30).

La rentabilité des options d'adaptation est sensible à la variation du taux d'actualisation. D'une part, une baisse du taux d'actualisation à 2 % augmente la VAN des structures d'ingénierie par rapport à la non-intervention, de telle sorte que l'option du riprap demeure l'option la plus avantageuse. Par contre, une augmentation du taux d'actualisation à 6 % diminue la VAN des options d'ingénierie comparée à celle de la non-intervention, de telle sorte que la non-intervention constitue alors l'option la plus avantageuse. Cela s'explique par la diminution de l'importance accordée aux pertes d'usage anticipées du sentier du littoral à long terme.

Tableau 4.30 – Analyse de sensibilité – Taux d'actualisation de 2 et 6 %

Options d'adaptation	Taux d'actualisation		
	2 %	4 % (base)	6 %
VAN Non-intervention	(18 875 844 \$)	(13 384 935 \$)	(10 092 638 \$)
VAN Riprap	(14 937 880 \$)	(12 542 883 \$)	(10 959 987 \$)
VAN Enrochement	(15 199 103 \$)	(14 317 391 \$)	(13 514 012 \$)
VAN Relocalisation stratégique	(19 013 070 \$)	(13 450 139 \$)	(10 124 184 \$)
Riprap - Avantage net par rapport à la non-intervention	3 937 963 \$	842 052 \$	(867 349 \$)
Enrochement - Avantage net par rapport à la non-intervention	3 676 741 \$	(932 456 \$)	(3 421 374 \$)
Relocalisation stratégique - Avantage net par rapport à la non-intervention	(137 227 \$)	(65 204 \$)	(31 546 \$)

VARIATION DE LA VALEUR D'USAGE DU SENTIER DU LITTORAL

Cette analyse de sensibilité vérifie la robustesse des résultats à une diminution et à une augmentation de 50 % de la valeur d'usage du sentier du littoral. Les résultats de l'ACA indiquent que sous l'hypothèse d'une diminution de la valeur d'usage du sentier du littoral, la non-intervention constitue l'option la plus avantageuse économiquement pour la population d'intérêt. Toutefois, une augmentation de la valeur d'usage du sentier conduit à valoriser les structures d'ingénierie qui permettent d'éviter la perte du sentier. À ce moment, l'option du riprap devient plus avantageuse que la non-intervention et que l'enrochement puisqu'elle implique des coûts moindres.

Tableau 4.31 – Analyse de sensibilité – Variation de la valeur d'usage du sentier du littoral

Options d'adaptation	Valeur d'usage		
	50 %	ACA initiale	+50 %
VAN Non-intervention	(7 079 707 \$)	(13 384 935 \$)	(19 690 164 \$)
VAN Riprap	(12 542 883 \$)	(12 542 883 \$)	(12 542 883 \$)
VAN Enrochement	(14 317 391 \$)	(14 317 391 \$)	(14 317 391 \$)
VAN Relocalisation stratégique	(7 144 910 \$)	(13 450 139 \$)	(19 755 367 \$)
Riprap - Avantage net par rapport à la non-intervention	(5 463 177 \$)	842 052 \$	7 147 280 \$
Enrochement - Avantage net par rapport à la non-intervention	(7 237 685 \$)	(932 456 \$)	5 372 772 \$
Relocalisation stratégique - Avantage net par rapport à la non-intervention	(65 204 \$)	(65 204 \$)	(65 204 \$)

DURÉE DE VIE UTILE DU RIPRAP EXISTANT RÉDUITE DE 10 ANS

En supposant que le riprap existant sur une portion du segment a été sous-calibré, sa durée de vie utile pourrait en être fortement réduite. Ici, on pose l'hypothèse d'une réduction de 10 années de vie utile et d'une reconstruction de l'ouvrage dès 2015 pour une mise en œuvre en 2018.

Les résultats de l'ACA indiquent que sous l'hypothèse d'une réduction de la durée de vie utile du riprap existant, le riprap demeure l'option la plus avantageuse puisque les dommages anticipés aux étangs aérés viennent gonfler les coûts de la non-intervention.

Tableau 4.32 – Analyse de sensibilité – Diminution de la durée de vie utile du riprap existant

	ACA initiale	Durée de vie utile du riprap - 10 ans de moins
VAN Non-intervention	(13 384 935 \$)	(14 390 171 \$)
VAN Riprap	(12 542 883 \$)	(12 768 711 \$)
VAN Enrochement	(14 317 391 \$)	(14 515 249 \$)
VAN Relocalisation stratégique	(13 450 139 \$)	(14 455 374 \$)
Riprap - Avantage net par rapport à la non-intervention	842 052 \$	1 621 459 \$
Enrochement - Avantage net par rapport à la non-intervention	(932 456 \$)	(125 079 \$)
Relocalisation stratégique - Avantage net par rapport à la non-intervention	(65 204 \$)	(65 204 \$)

SYNTHÈSE DE L'ANALYSE DE SENSIBILITÉ

Un sommaire des résultats des analyses de sensibilité réalisées pour le segment Centre-ville se retrouve au tableau 4.33. Dans 4 cas sur 6, le riprap est identifié comme l'option la plus avantageuse. La non-intervention est l'option la plus rentable pour la société lorsque le taux d'actualisation passe à 6 % et lorsque l'on diminue la valeur d'usage de 50 %. Cela s'explique puisqu'un taux de 6 % accorde une moins grande importance aux coûts/avantages en fin de période qu'un taux de 4 %. Les options qui impliquent un investissement majeur au début de l'horizon d'étude deviennent ainsi moins performantes économiquement lorsque le taux d'actualisation augmente. Lorsqu'une diminution de la valeur d'usage du sentier du littoral est comptabilisée, les coûts évités par les options d'ingénierie sont moindre, ce qui rend ces options moins avantageuses.

Tableau 4.33 – Option d'adaptation la plus avantageuse selon l'analyse de sensibilité – Segment Centre-ville

Hypothèse modifiée	Option la plus avantageuse
Hypothèses de base	Riprap
Taux d'actualisation de 2 %	Riprap
Taux d'actualisation de 6 %	Non-intervention
Diminution de 50 % de la valeur d'usage	Non-intervention
Augmentation de 50 % de la valeur d'usage	Riprap
Durée de la vie utile du riprap existant réduite de 10 ans.	Riprap

4.4 CONCLUSION

Le secteur Cap-aux-Meules est constitué de 14 segments, dont 6 ont été retenus aux fins d'analyse économique. Ces segments couvrent plus de 6 km de côtes alternant entre des zones de terrasse de plage et de falaises de grès. Les segments étudiés abritent une diversité d'actifs de grande importance pour l'économie régionale et le dynamisme touristique des Îles-de-la-Madeleine, dont le camping du Gros-Cap, une plage municipale, un sentier multifonctionnel, des hébergements touristiques et un bâtiment industriel majeur.

Le tableau 4.34 résume les résultats des ACA pour chacun des segments du secteur de Cap-aux-Meules. Plusieurs constats peuvent être tirés des analyses réalisées. Premièrement, dans 5 des 6 segments à l'étude, il est préférable d'intervenir que de ne rien faire. Seul dans le segment Route municipale, l'intervention n'est pas justifiée économiquement. Cela s'explique par la faible valeur des actifs à risque dans ce secteur. Deuxièmement, là où des enjeux économiques ou touristiques majeurs existent, des structures d'ingénierie telles que des riprap sont justifiables pour préserver les actifs en bord de mer et les activités économiques qu'ils supportent. C'est notamment le cas pour le Camping du Gros-Cap, l'Échouerie Ouest et le Centre-ville de Cap-aux-Meules.

Tableau 4.34 – Options d'adaptation les plus avantageuses pour chaque segment de Cap-aux-Meules

Segment	Option d'adaptation la plus avantageuse
Camping du Gros-Cap	Riprap
Gros-Cap Est	Relocalisation stratégique
Échouerie Ouest	Riprap
Route municipale	Non-intervention
Plage municipale	Relocalisation stratégique
Centre-Ville	Riprap

Finalement, la relocalisation stratégique est privilégiée dans les segments Plage municipale et Gros-Cap Est, là où peu d'actifs bâtis sont présents et où une intervention sur le littoral viendrait mettre en péril l'usage de la côte ou du moins son accès.

La plupart des analyses de sensibilité suggèrent que les options d'adaptation privilégiées dans ces segments sont robustes aux variations dans les hypothèses de base des ACA. La seule exception est le Centre-ville de Cap-aux-Meules où les analyses de sensibilité favorisent parfois le riprap, parfois la non-intervention. Ces résultats doivent être mis en perspective considérant que l'efficacité d'un riprap n'a pas été confirmée par une étude d'ingénierie spécifique pour le segment Centre-ville. La hauteur des falaises dans le secteur fait en sorte que d'autres processus d'érosion (notamment éolien et cryogénique) sont en jeu dans ce type de côte. Il est ainsi possible qu'une protection en riprap en bas de falaise ne puisse pas totalement freiner l'ensemble des processus actifs.



ANNEXE B

VALEUR D'USAGE DU LITTORAL À CAP-AUX-MEULES

Cette annexe expose la méthodologie d'estimation de la valeur d'usage récréatif du littoral pour deux des segments étudiés à Cap-aux-Meules, soit la Plage municipale et le Centre-ville.

Au cours des mois de juillet et d'août 2015, une enquête a été menée auprès de 700 usagers résidents et touristes qui ont fréquenté l'un ou l'autre des deux sites à l'étude. L'enquête a permis de recueillir des données quantitatives sur le temps passé sur les sites, de même que sur le temps de déplacement pour se rendre aux sites et sur la valeur accordée en fonction des préférences individuelles. Les prochains paragraphes détaillent la méthodologie ayant permis d'estimer la valeur de l'usage récréatif de la côte pour la plage municipale de Cap-aux-Meules et pour le sentier du littoral.

La valorisation des deux sites s'est faite selon une méthodologie commune qui intègre la valeur des sites alternatifs aux Îles-de-la-Madeleine. La valeur qui est estimée est la valorisation marginale du site et non pas sa valeur totale. Elle représente la perte pour la société si l'usage de ce site était perdu, mais que l'accès aux sites alternatifs était maintenu. La méthodologie de calcul comporte 4 grandes étapes autant pour les touristes que les résidents.

Résidents

1. Estimer la valeur moyenne d'une visite pour un résident. Cette valeur comprend 2 composantes :
 - a. Le temps passé pour se rendre au site multiplié par le salaire horaire net moyen (région Gaspésie-Îles-de-la-Madeleine¹⁰).
 - b. Le temps moyen passé sur le site lors des visites multiplié par le salaire horaire net moyen (région Gaspésie-Îles-de-la-Madeleine).
2. Estimer la perte de valeur (en % de la valeur moyenne) pour la substitution entre le site étudié et les sites alternatifs et calculer la proportion des répondants ayant un ou des sites alternatifs. Cela permet d'obtenir la valeur marginale du site à l'étude.
3. Estimer l'achalandage résidentiel annuel total.
 - a. Basé sur les données recueillies lors des comptages réalisés toutes les quinze premières minutes de chaque heure lors des journées de sondage et extrapolé en utilisant la proportion de répondants à l'enquête étant résidents des Îles.
 - b. Annualisé à l'aide du nombre moyen de visites par saison déclaré lors de l'enquête par les résidents.
4. Multiplier la valeur marginale du site étudié par l'achalandage résidentiel total.

Touristes

1. Estimer la valeur moyenne d'une visite pour un touriste. Cette valeur comprend 2 composantes :
 - a. Le temps total passé sur le site multiplié par le salaire horaire net moyen de l'échantillon.
 - b. La volonté de payer pour accéder au site.
2. Estimer la perte de valeur (en % de la valeur moyenne) pour la substitution entre le site étudié et les sites alternatifs et calculer la proportion des répondants ayant un ou des sites alternatifs. Cela permet d'obtenir la valeur marginale du site à l'étude.
3. Estimer l'achalandage touristique annuel total
 - a. Basé sur les données recueillies lors des comptages réalisés toutes les quinze premières minutes de chaque heure lors des journées de sondage et extrapolé en utilisant la proportion de répondants à l'enquête étant touristes aux Îles.

¹⁰ Le salaire horaire net moyen de la région est tiré de l'Institut de la Statistique du Québec : (http://www.stat.gouv.qc.ca/statistiques/profils/profil11/societe/marche_trav/indicat/tra_remuneration11.htm).

- b. Annualisé en fonction du taux d'occupation des hébergements touristiques entre les mois de juin et septembre aux Îles.
4. Multiplier la valeur marginale du site étudié par l'achalandage touristique annuel total.

Les résultats obtenus pour la Plage municipale et le Centre-ville de Cap-aux-Meules sont résumés ci-dessous.

1. Plage municipale

Résidents

Au niveau de la plage municipale, 115 résidents ont été interrogés. Parmi eux, 7 n'avaient pas de site alternatif pour pratiquer les activités qu'ils pratiquent à la plage municipale de Cap-aux-Meules, soit environ 6 % de l'échantillon sondé.

Quant aux 108 répondants ayant accès à un site alternatif, en moyenne ces individus préféreraient leur site alternatif, mais cela prend plus de temps pour s'y rendre. Dans ce cas-ci, la valorisation supplémentaire du site alternatif était plus que contrebalancée par le coût du transport supplémentaire pour s'y rendre.

Ce résultat est cohérent avec la disponibilité et l'accessibilité des plages aux Îles-de-la-Madeleine. Il y a plus de 200 km de plage aux Îles, dont plusieurs s'étendent sur des dizaines de kilomètres et offrent un cadre naturel unique. Cependant, la plage de Cap-aux-Meules est facilement accessible et située près du plus gros bassin de population des Îles-de-la-Madeleine et des principaux services.

En considérant l'ensemble des paramètres qui influencent la valeur d'usage de la plage de Cap-aux-Meules, la valeur marginale pour l'ensemble des résidents des Îles-de-la-Madeleine a été estimée à 25 195 \$. Le tableau B.1 présente le détail des calculs.

Tableau B.1 – Paramètres de calcul de la valeur de la plage municipale pour les résidents

Paramètres	Valeur			
	Prin.	Été	Aut.	Hiv.
A. Temps passé en moyenne sur le site (min)	25	160	23	1
B. Nombre moyen de visites par résident	5	21	5	0
C. Temps moyen pour se rendre au site (min)				13,58
D. Salaire horaire net moyen				15,07 \$
E. Valeur moyenne d'une visite pour un résident $((A+C)*B*D)/B$				36,00 \$
F. Nombre de résidents utilisant la plage				316
G. Proportion de répondants ayant un site alternatif				94 %
H. % de perte/gain de valeur si utilisation du site alternatif				6 %
I. Temps supplémentaire moyen - site alternatif (min)				10,4
J. Nombre total de visites du site par des résidents $(B*F)$				9 776
Valeur marginale de la plage pour les résidents $(E*G-H*J) + (I/60*D*G*J) + (E*(1-G)*J)$				25 195 \$

Touristes

Au total, 173 touristes ont été interrogés sur la plage municipale de Cap-aux-Meules. De ce nombre, 28 répondants ont affirmé ne pas avoir de site alternatif à la plage de Cap-aux-Meules. Ce nombre représente une fraction bien plus importante que pour les résidents. Cela pourrait s'expliquer par le fait que certains croisiéristes débarquent seulement pour quelques heures aux Îles-de-la-Madeleine. Ils ont donc seulement le temps de se rendre à cette plage qui est la plus proche du port et pas aux autres plages des Îles-de-la-Madeleine.

Quoi qu'il en soit, la valeur marginale de la plage de Cap-aux-Meules pour les touristes a été estimée à 133 000 \$ annuellement. Cette valeur est plus de 5 fois supérieure à la valeur estimée pour les résidents. Cela s'explique par le fait que ce sont majoritairement des touristes qui fréquentent cette plage et qu'ils apprécient particulièrement cette plage en comparaison des autres plages disponibles aux îles.

Le tableau B.2 présente les différents paramètres pris en compte et le résultat de la valorisation de la plage municipale pour les touristes.

Tableau B.2 – Paramètres de calcul de la valeur de la plage municipale pour les touristes

Paramètres	Valeur
A. Temps passé en moyenne sur le site (hrs)	2,11
B. Volonté de payer pour accéder au site	2,20 \$
C. Salaire horaire net moyen des répondants	22,34 \$
D. Valeur moyenne d'une visite pour un touriste (A*C)+B	49,34 \$
E. Proportion de répondants ayant un site alternatif	84 %
F. % de perte/gain de valeur si utilisation du site alternatif	-8,7 %
G. Nombre total de visites du site par des touristes	11 878
Valeur marginale du site de la plage pour les touristes (D*E*-F*G) + (D*(1-E)*G)	133 002 \$

En combinant la valeur d'usage des touristes et des résidents pour la plage municipale, celle-ci est évaluée à 158 197 \$ annuellement.

2. Centre-ville de Cap-aux-Meules

La même approche de calcul a été suivie pour estimer la valeur de l'usage du sentier du littoral qui est situé dans le segment du Centre-ville de Cap-aux-Meules. Le questionnaire pour ce segment était légèrement différent de celui de la plage de Cap-aux-Meules. Premièrement, il recueillait des informations sur deux types d'usagers, soit les cyclistes et les piétons puisque leur utilisation et leurs sites alternatifs potentiels sont différents. Deuxièmement, le questionnaire imposait aux répondants d'évaluer un certain nombre d'alternatives pour marcher ou faire du vélo à Cap-aux-Meules. L'objectif était de venir quantifier la baisse de la valeur de l'usage par rapport à des alternatives concrètes existantes comme de marcher sur un trottoir ou en bord de rue par exemple.

Résidents

Au niveau du sentier du littoral, 168 résidents, cyclistes et piétons, ont été interrogés. Pour les résidents, l'information la plus surprenante est le nombre moyen de visites estimées par résident qui varie entre 38 et 56 au printemps et à l'été respectivement. Cette utilisation intensive découle probablement de la proximité des commerces et du Centre-ville de Cap-aux-Meules. Plusieurs employés viennent se détendre et marcher sur le sentier multifonctionnel lors des pauses et sur l'heure du dîner.

Le tableau B.3 résume les principaux paramètres ayant servi à l'estimation de la valeur du sentier pour les résidents. Le fort achalandage des usagers résidents combiné avec une faible valeur du site alternatif mène à une valeur de plus de 300 000 \$ annuellement pour l'usage du sentier par les résidents.

Tableau B.3 – Paramètres de calcul de la valeur du sentier du littoral pour les résidents

Paramètres	Valeur			
	Prin.	Été	Aut.	Hiv.
A. Temps passé en moyenne sur le site (min)	40	75	42	6
B. Nombre moyen de visites par résident	38	56	40	3
C. Temps moyen pour se rendre au site (min)				16,26
D. Salaire horaire net moyen				15,07 \$
E. Valeur moyenne d'une visite pour un résident ((A+C)*B*D)/B				21,79 \$
F. Nombre de résidents utilisant le sentier				488
G. Proportion ayant un site alternatif				86 %
H. % de perte/gain de valeur si utilisation du site alternatif				-21 %
I. Temps supplémentaire moyen pour se rendre au site alternatif (min)				- 8
J. Nombre total de visites du site par des résidents (B*F)				67 429
Valeur marginale du sentier pour les résidents (E*G*-H*J) + (I/60*D*G*J) + (E*(1-G)*J)				355 382 \$

Touristes

Au total, 222 touristes ont été interrogés sur le sentier multifonctionnel de Cap-aux-Meules, dont 46 cyclistes et 176 piétons. Le tableau B.4 résume les principaux paramètres ayant servi à l'estimation de la valeur marginale du sentier pour les touristes.

D'une part, on constate que les usagers du sentier sont majoritairement des piétons et que ceux-ci ont tendance à utiliser plus longtemps le sentier que les cyclistes. D'autre part, les piétons sont prêts à payer davantage que les cyclistes pour accéder au site. Ces deux derniers éléments se reflètent dans la valeur bien plus importante du sentier pour les piétons que pour les cyclistes (176 478 \$ versus 32 581 \$)

Tableau B.4 – Paramètres de calcul de la valeur du sentier du littoral pour les touristes

Paramètres	Cyclistes	Piétons
A. Temps passé en moyenne sur le site (hrs)	0,8	0,94
B. Volonté de payer pour accéder au site	1,48 \$	2,26 \$
C. Salaire horaire net moyen des répondants	21,18 \$	22,10 \$
D. Valeur moyenne d'une visite pour un touriste (A*C)+B	18,42 \$	23,03 \$
F. % de perte/gain de valeur si utilisation du site alternatif	-48 %	-57 %
G. Nombre total de visites du site par des touristes	3 666	13 330
Valeur marginale du sentier pour les touristes (D*-F*G)	32 581 \$	176 478 \$

Globalement, le sentier du littoral est une infrastructure qui est grandement utilisé à la fois par les résidents et les touristes et sa valeur estimée est de 564 442 \$ annuellement.



ANNEXE E
COÛTS ANNUELS DES DIFFÉRENTES OPTIONS
POUR LA PÉRIODE 2015-2064 POUR LE
SECTEUR CAP-AUX-MEULES

SEGMENT CAMPING GROS-CAP

Option de non-intervention

Année	Érosion	Coûts des mesures d'adaptation	Impacts économiques	Somme des coûts
2015	(82 164 \$)	(18 245 \$)	(14 862 \$)	(115 271 \$)
2016	(350 \$)	0 \$	(14 291 \$)	(14 640 \$)
2017	(332 \$)	0 \$	(36 643 \$)	(36 975 \$)
2018	(315 \$)	0 \$	(39 638 \$)	(39 953 \$)
2019	(298 \$)	0 \$	(55 053 \$)	(55 351 \$)
2020	(284 \$)	0 \$	(53 593 \$)	(53 877 \$)
2021	(271 \$)	0 \$	(63 278 \$)	(63 549 \$)
2022	(259 \$)	0 \$	(68 374 \$)	(68 632 \$)
2023	(246 \$)	0 \$	(69 364 \$)	(69 610 \$)
2024	(234 \$)	0 \$	(73 657 \$)	(73 891 \$)
2025	(449 521 \$)	(53 971 \$)	(492 102 \$)	(995 594 \$)
2026	0 \$	0 \$	(473 175 \$)	(473 175 \$)
2027	0 \$	0 \$	(454 976 \$)	(454 976 \$)
2028	0 \$	0 \$	(437 477 \$)	(437 477 \$)
2029	0 \$	0 \$	(420 651 \$)	(420 651 \$)
2030	0 \$	0 \$	(404 472 \$)	(404 472 \$)
2031	0 \$	0 \$	(388 915 \$)	(388 915 \$)
2032	0 \$	0 \$	(373 957 \$)	(373 957 \$)
2033	0 \$	0 \$	(359 574 \$)	(359 574 \$)
2034	0 \$	0 \$	(345 744 \$)	(345 744 \$)
2035	0 \$	0 \$	(332 447 \$)	(332 447 \$)
2036	0 \$	0 \$	(319 660 \$)	(319 660 \$)
2037	0 \$	0 \$	(307 365 \$)	(307 365 \$)
2038	0 \$	0 \$	(295 544 \$)	(295 544 \$)
2039	0 \$	0 \$	(284 177 \$)	(284 177 \$)
2040	0 \$	0 \$	(273 247 \$)	(273 247 \$)
2041	0 \$	0 \$	(262 737 \$)	(262 737 \$)
2042	0 \$	0 \$	(252 632 \$)	(252 632 \$)
2043	0 \$	0 \$	(242 915 \$)	(242 915 \$)
2044	0 \$	0 \$	(233 573 \$)	(233 573 \$)
2045	0 \$	0 \$	(224 589 \$)	(224 589 \$)
2046	0 \$	0 \$	(215 951 \$)	(215 951 \$)
2047	0 \$	0 \$	(207 645 \$)	(207 645 \$)
2048	0 \$	0 \$	(199 659 \$)	(199 659 \$)
2049	0 \$	0 \$	(191 980 \$)	(191 980 \$)
2050	0 \$	0 \$	(184 596 \$)	(184 596 \$)
2051	0 \$	0 \$	(177 496 \$)	(177 496 \$)
2052	0 \$	0 \$	(170 669 \$)	(170 669 \$)
2053	0 \$	0 \$	(164 105 \$)	(164 105 \$)
2054	0 \$	0 \$	(157 793 \$)	(157 793 \$)
2055	0 \$	0 \$	(151 724 \$)	(151 724 \$)
2056	0 \$	0 \$	(145 889 \$)	(145 889 \$)
2057	0 \$	0 \$	(140 278 \$)	(140 278 \$)
2058	0 \$	0 \$	(134 882 \$)	(134 882 \$)
2059	0 \$	0 \$	(129 695 \$)	(129 695 \$)
2060	0 \$	0 \$	(124 706 \$)	(124 706 \$)
2061	0 \$	0 \$	(119 910 \$)	(119 910 \$)
2062	0 \$	0 \$	(115 298 \$)	(115 298 \$)
2063	0 \$	0 \$	(110 863 \$)	(110 863 \$)
2064	0 \$	0 \$	(106 599 \$)	(106 599 \$)
TOTAL	(534 273 \$)	(72 217 \$)	(10 618 420 \$)	(11 224 910 \$)

Enrochement

Année	Érosion	Coûts des mesures d'adaptation	Impacts économiques	Somme des coûts
2015	(307 \$)	0 \$	(14 862 \$)	(15 170 \$)
2016	(293 \$)	(214 317 \$)	(14 291 \$)	(228 901 \$)
2017	(278 \$)	(68 691 \$)	(36 643 \$)	(105 613 \$)
2018	(265 \$)	(1 761 319 \$)	(39 638 \$)	(1 801 222 \$)
2019	(250 \$)	0 \$	(55 053 \$)	(55 303 \$)
2020	(238 \$)	0 \$	(52 936 \$)	(53 174 \$)
2021	(227 \$)	0 \$	(62 646 \$)	(62 873 \$)
2022	(217 \$)	0 \$	(67 766 \$)	(67 983 \$)
2023	(207 \$)	0 \$	(68 779 \$)	(68 986 \$)
2024	(197 \$)	0 \$	(73 095 \$)	(73 292 \$)
2025	(188 \$)	0 \$	(76 978 \$)	(77 166 \$)
2026	(180 \$)	0 \$	(74 017 \$)	(74 197 \$)
2027	(173 \$)	0 \$	(74 265 \$)	(74 437 \$)
2028	(166 \$)	0 \$	(74 384 \$)	(74 549 \$)
2029	(159 \$)	0 \$	(74 384 \$)	(74 543 \$)
2030	(153 \$)	0 \$	(79 775 \$)	(79 928 \$)
2031	(147 \$)	0 \$	(79 352 \$)	(79 499 \$)
2032	(141 \$)	0 \$	(78 843 \$)	(78 984 \$)
2033	(135 \$)	0 \$	(75 811 \$)	(75 946 \$)
2034	(130 \$)	0 \$	(72 895 \$)	(73 025 \$)
2035	(125 \$)	0 \$	(72 353 \$)	(72 477 \$)
2036	(120 \$)	0 \$	(76 092 \$)	(76 211 \$)
2037	(115 \$)	0 \$	(77 346 \$)	(77 461 \$)
2038	(110 \$)	0 \$	(76 381 \$)	(76 491 \$)
2039	(106 \$)	0 \$	(79 242 \$)	(79 347 \$)
2040	(101 \$)	0 \$	(79 911 \$)	(80 011 \$)
2041	(96 \$)	0 \$	(76 837 \$)	(76 934 \$)
2042	(92 \$)	0 \$	(73 882 \$)	(73 974 \$)
2043	(88 \$)	0 \$	(72 692 \$)	(72 781 \$)
2044	(85 \$)	0 \$	(73 111 \$)	(73 196 \$)
2045	(81 \$)	0 \$	(71 863 \$)	(71 944 \$)
2046	(77 \$)	0 \$	(69 099 \$)	(69 176 \$)
2047	(74 \$)	0 \$	(67 887 \$)	(67 961 \$)
2048	(71 \$)	0 \$	(66 665 \$)	(66 736 \$)
2049	(68 \$)	0 \$	(66 774 \$)	(66 842 \$)
2050	(64 \$)	0 \$	(64 206 \$)	(64 270 \$)
2051	(61 \$)	0 \$	(62 972 \$)	(63 033 \$)
2052	(58 \$)	0 \$	(61 738 \$)	(61 797 \$)
2053	(56 \$)	0 \$	(60 506 \$)	(60 562 \$)
2054	(53 \$)	0 \$	(58 179 \$)	(58 232 \$)
2055	(51 \$)	0 \$	(56 997 \$)	(57 049 \$)
2056	(49 \$)	0 \$	(54 805 \$)	(54 854 \$)
2057	(47 \$)	0 \$	(53 674 \$)	(53 721 \$)
2058	(45 \$)	0 \$	(52 548 \$)	(52 593 \$)
2059	(43 \$)	0 \$	(51 430 \$)	(51 473 \$)
2060	(41 \$)	0 \$	(49 452 \$)	(49 493 \$)
2061	(39 \$)	0 \$	(47 550 \$)	(47 590 \$)
2062	(38 \$)	0 \$	(45 721 \$)	(45 759 \$)
2063	(36 \$)	0 \$	(46 278 \$)	(46 314 \$)
2064	(35 \$)	0 \$	(45 240 \$)	(45 275 \$)
TOTAL	(6 177 \$)	(2 044 328 \$)	(3 157 844 \$)	(5 208 349 \$)

Riprap

Année	Érosion	Coûts des mesures d'adaptation	Impacts économiques	Somme des coûts
2015	(307 \$)	0 \$	(14 862 \$)	(15 170 \$)
2016	(293 \$)	(142 469 \$)	(14 291 \$)	(157 053 \$)
2017	(278 \$)	(45 663 \$)	(36 643 \$)	(82 585 \$)
2018	(265 \$)	(1 170 851 \$)	(39 638 \$)	(1 210 754 \$)
2019	(250 \$)	0 \$	(55 053 \$)	(55 303 \$)
2020	(238 \$)	0 \$	(52 936 \$)	(53 174 \$)
2021	(227 \$)	0 \$	(62 646 \$)	(62 873 \$)
2022	(217 \$)	0 \$	(67 766 \$)	(67 983 \$)
2023	(207 \$)	0 \$	(68 779 \$)	(68 986 \$)
2024	(197 \$)	0 \$	(73 095 \$)	(73 292 \$)
2025	(188 \$)	0 \$	(76 978 \$)	(77 166 \$)
2026	(180 \$)	0 \$	(74 017 \$)	(74 197 \$)
2027	(173 \$)	0 \$	(74 265 \$)	(74 437 \$)
2028	(166 \$)	0 \$	(74 384 \$)	(74 549 \$)
2029	(159 \$)	0 \$	(74 384 \$)	(74 543 \$)
2030	(153 \$)	0 \$	(79 775 \$)	(79 928 \$)
2031	(147 \$)	0 \$	(79 352 \$)	(79 499 \$)
2032	(141 \$)	0 \$	(78 843 \$)	(78 984 \$)
2033	(135 \$)	(297 130 \$)	(75 811 \$)	(373 076 \$)
2034	(130 \$)	0 \$	(72 895 \$)	(73 025 \$)
2035	(125 \$)	0 \$	(72 353 \$)	(72 477 \$)
2036	(120 \$)	0 \$	(76 092 \$)	(76 211 \$)
2037	(115 \$)	0 \$	(77 346 \$)	(77 461 \$)
2038	(110 \$)	0 \$	(76 381 \$)	(76 491 \$)
2039	(106 \$)	0 \$	(79 242 \$)	(79 347 \$)
2040	(101 \$)	0 \$	(79 911 \$)	(80 011 \$)
2041	(96 \$)	0 \$	(76 837 \$)	(76 934 \$)
2042	(92 \$)	0 \$	(73 882 \$)	(73 974 \$)
2043	(88 \$)	0 \$	(72 692 \$)	(72 781 \$)
2044	(85 \$)	0 \$	(73 111 \$)	(73 196 \$)
2045	(81 \$)	0 \$	(71 863 \$)	(71 944 \$)
2046	(77 \$)	0 \$	(69 099 \$)	(69 176 \$)
2047	(74 \$)	0 \$	(67 887 \$)	(67 961 \$)
2048	(71 \$)	(82 493 \$)	(66 665 \$)	(149 229 \$)
2049	(68 \$)	0 \$	(66 774 \$)	(66 842 \$)
2050	(64 \$)	0 \$	(64 206 \$)	(64 270 \$)
2051	(61 \$)	0 \$	(62 972 \$)	(63 033 \$)
2052	(58 \$)	0 \$	(61 738 \$)	(61 797 \$)
2053	(56 \$)	0 \$	(60 506 \$)	(60 562 \$)
2054	(53 \$)	0 \$	(58 179 \$)	(58 232 \$)
2055	(51 \$)	0 \$	(56 997 \$)	(57 049 \$)
2056	(49 \$)	0 \$	(54 805 \$)	(54 854 \$)
2057	(47 \$)	0 \$	(53 674 \$)	(53 721 \$)
2058	(45 \$)	0 \$	(52 548 \$)	(52 593 \$)
2059	(43 \$)	0 \$	(51 430 \$)	(51 473 \$)
2060	(41 \$)	0 \$	(49 452 \$)	(49 493 \$)
2061	(39 \$)	0 \$	(47 550 \$)	(47 590 \$)
2062	(38 \$)	0 \$	(45 721 \$)	(45 759 \$)
2063	(36 \$)	(34 354 \$)	(46 278 \$)	(80 668 \$)
2064	(35 \$)	0 \$	(45 240 \$)	(45 275 \$)
TOTAL	(6 177 \$)	(1 772 961 \$)	(3 157 844 \$)	(4 936 982 \$)

Relocalisation stratégique

Année	Érosion	Coûts des mesures d'adaptation	Impacts économiques	Somme des coûts
2015	(367 \$)	(71 222 \$)	(14 862 \$)	(86 451 \$)
2016	(350 \$)	0 \$	(14 291 \$)	(14 640 \$)
2017	(332 \$)	(69 580 \$)	(36 643 \$)	(106 555 \$)
2018	(315 \$)	0 \$	(39 638 \$)	(39 953 \$)
2019	(298 \$)	0 \$	(55 053 \$)	(55 351 \$)
2020	(284 \$)	0 \$	(53 593 \$)	(53 877 \$)
2021	(271 \$)	0 \$	(63 278 \$)	(63 549 \$)
2022	(259 \$)	0 \$	(68 374 \$)	(68 632 \$)
2023	(246 \$)	0 \$	(69 364 \$)	(69 610 \$)
2024	(234 \$)	0 \$	(73 657 \$)	(73 891 \$)
2025	(25 602 \$)	(435 046 \$)	(403 374 \$)	(864 022 \$)
2026	0 \$	0 \$	(387 859 \$)	(387 859 \$)
2027	0 \$	0 \$	(372 942 \$)	(372 942 \$)
2028	0 \$	0 \$	(358 598 \$)	(358 598 \$)
2029	0 \$	0 \$	(344 806 \$)	(344 806 \$)
2030	0 \$	0 \$	(331 544 \$)	(331 544 \$)
2031	0 \$	0 \$	(318 792 \$)	(318 792 \$)
2032	0 \$	0 \$	(306 531 \$)	(306 531 \$)
2033	0 \$	0 \$	(294 741 \$)	(294 741 \$)
2034	0 \$	0 \$	(283 405 \$)	(283 405 \$)
2035	0 \$	0 \$	(272 505 \$)	(272 505 \$)
2036	0 \$	0 \$	(262 024 \$)	(262 024 \$)
2037	0 \$	0 \$	(251 946 \$)	(251 946 \$)
2038	0 \$	0 \$	(242 256 \$)	(242 256 \$)
2039	0 \$	0 \$	(232 938 \$)	(232 938 \$)
2040	0 \$	0 \$	(223 979 \$)	(223 979 \$)
2041	0 \$	0 \$	(215 365 \$)	(215 365 \$)
2042	0 \$	0 \$	(207 081 \$)	(207 081 \$)
2043	0 \$	0 \$	(199 117 \$)	(199 117 \$)
2044	0 \$	0 \$	(191 458 \$)	(191 458 \$)
2045	0 \$	0 \$	(184 095 \$)	(184 095 \$)
2046	0 \$	0 \$	(177 014 \$)	(177 014 \$)
2047	0 \$	0 \$	(170 206 \$)	(170 206 \$)
2048	0 \$	0 \$	(163 659 \$)	(163 659 \$)
2049	0 \$	0 \$	(157 365 \$)	(157 365 \$)
2050	0 \$	0 \$	(151 312 \$)	(151 312 \$)
2051	0 \$	0 \$	(145 493 \$)	(145 493 \$)
2052	0 \$	0 \$	(139 897 \$)	(139 897 \$)
2053	0 \$	0 \$	(134 516 \$)	(134 516 \$)
2054	0 \$	0 \$	(129 342 \$)	(129 342 \$)
2055	0 \$	0 \$	(124 368 \$)	(124 368 \$)
2056	0 \$	0 \$	(119 584 \$)	(119 584 \$)
2057	0 \$	0 \$	(114 985 \$)	(114 985 \$)
2058	0 \$	0 \$	(110 562 \$)	(110 562 \$)
2059	0 \$	0 \$	(106 310 \$)	(106 310 \$)
2060	0 \$	0 \$	(102 221 \$)	(102 221 \$)
2061	0 \$	0 \$	(98 290 \$)	(98 290 \$)
2062	0 \$	0 \$	(94 509 \$)	(94 509 \$)
2063	0 \$	0 \$	(90 874 \$)	(90 874 \$)
2064	0 \$	0 \$	(87 379 \$)	(87 379 \$)
TOTAL	(28 557 \$)	(575 848 \$)	(8 791 995 \$)	(9 396 400 \$)

SEGMENT GROS-CAP EST

Option de non-intervention

Année	Érosion	Coûts des mesures d'adaptation	Impacts économiques	Impacts environnementaux	Impacts sociaux	Somme des coûts
2015	(553 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	(553 \$)
2016	(536 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	(536 \$)
2017	(519 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	(519 \$)
2018	(503 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	(503 \$)
2019	(487 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	(487 \$)
2020	(472 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	(472 \$)
2021	(457 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	(457 \$)
2022	(442 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	(442 \$)
2023	(427 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	(427 \$)
2024	(413 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	(413 \$)
2025	(399 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	(399 \$)
2026	(385 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	(385 \$)
2027	(372 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	(372 \$)
2028	(359 \$)	0 \$	0 \$	(0 \$)	0 \$	(359 \$)
2029	(347 \$)	0 \$	0 \$	(0 \$)	0 \$	(348 \$)
2030	(337 \$)	0 \$	0 \$	(1 \$)	0 \$	(338 \$)
2031	(324 \$)	0 \$	0 \$	(2 \$)	0 \$	(325 \$)
2032	(314 \$)	0 \$	0 \$	(3 \$)	0 \$	(317 \$)
2033	(304 \$)	0 \$	0 \$	(4 \$)	0 \$	(307 \$)
2034	(294 \$)	0 \$	0 \$	(5 \$)	0 \$	(299 \$)
2035	(285 \$)	0 \$	0 \$	(7 \$)	0 \$	(291 \$)
2036	(275 \$)	0 \$	0 \$	(8 \$)	0 \$	(283 \$)
2037	(266 \$)	0 \$	0 \$	(10 \$)	0 \$	(276 \$)
2038	(258 \$)	0 \$	0 \$	(12 \$)	0 \$	(270 \$)
2039	(249 \$)	0 \$	0 \$	(13 \$)	0 \$	(262 \$)
2040	(241 \$)	0 \$	0 \$	(15 \$)	0 \$	(256 \$)
2041	(234 \$)	0 \$	0 \$	(16 \$)	0 \$	(250 \$)
2042	(227 \$)	0 \$	0 \$	(18 \$)	0 \$	(245 \$)
2043	(219 \$)	0 \$	0 \$	(19 \$)	0 \$	(238 \$)
2044	(212 \$)	0 \$	0 \$	(20 \$)	0 \$	(232 \$)
2045	(207 \$)	0 \$	0 \$	(21 \$)	0 \$	(228 \$)
2046	(200 \$)	0 \$	0 \$	(21 \$)	0 \$	(221 \$)
2047	(193 \$)	0 \$	0 \$	(22 \$)	0 \$	(215 \$)
2048	(187 \$)	0 \$	0 \$	(23 \$)	0 \$	(209 \$)
2049	(44,632 \$)	(3,983 \$)	0 \$	(23 \$)	(7,361 \$)	(55,999 \$)
2050	(135 \$)	0 \$	0 \$	(23 \$)	0 \$	(159 \$)
2051	(130 \$)	0 \$	0 \$	(24 \$)	0 \$	(154 \$)
2052	(126 \$)	0 \$	0 \$	(24 \$)	0 \$	(150 \$)
2053	(122 \$)	0 \$	0 \$	(24 \$)	0 \$	(146 \$)
2054	(117 \$)	0 \$	0 \$	(25 \$)	0 \$	(141 \$)
2055	(112 \$)	0 \$	0 \$	(25 \$)	0 \$	(137 \$)
2056	(108 \$)	0 \$	0 \$	(25 \$)	0 \$	(133 \$)
2057	(104 \$)	0 \$	0 \$	(25 \$)	0 \$	(129 \$)
2058	(100 \$)	0 \$	0 \$	(25 \$)	0 \$	(125 \$)
2059	(97 \$)	0 \$	0 \$	(25 \$)	0 \$	(121 \$)
2060	(94 \$)	0 \$	0 \$	(25 \$)	0 \$	(118 \$)
2061	(90 \$)	0 \$	0 \$	(25 \$)	0 \$	(114 \$)
2062	(86 \$)	0 \$	0 \$	(25 \$)	0 \$	(111 \$)
2063	(83 \$)	0 \$	0 \$	(24 \$)	0 \$	(108 \$)
2064	(27,139 \$)	(1,288 \$)	0 \$	(24 \$)	0 \$	(28,451 \$)
TOTAL	(84,773 \$)	(5,271 \$)	0 \$	(628 \$)	(7,361 \$)	(98,033 \$)

Riprap

Année	Érosion	Coûts des mesures d'adaptation	Impacts économiques	Impacts environnementaux	Impacts sociaux	Somme des coûts
2015	(553 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	(553 \$)
2016	(536 \$)	(108,469 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(109,004 \$)
2017	(519 \$)	(34,766 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(35,285 \$)
2018	0 \$	(534,855 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(534,855 \$)
2019	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2020	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2021	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2022	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2023	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2024	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2025	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2026	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2027	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2028	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2029	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2030	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2031	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2032	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2033	0 \$	(148,837 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(148,837 \$)
2034	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2035	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2036	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2037	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2038	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2039	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2040	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2041	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2042	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2043	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2044	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2045	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2046	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2047	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2048	0 \$	(41,322 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(41,322 \$)
2049	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2050	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2051	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2052	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2053	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2054	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2055	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2056	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2057	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2058	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2059	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2060	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2061	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2062	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2063	0 \$	(17,208 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(17,208 \$)
2064	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
TOTAL	(1,608 \$)	(885,456 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(887,063 \$)

Recharge de plage avec butée

Année	Érosion	Coûts des mesures d'adaptation	Impacts économiques	Impacts environnementaux	Impacts sociaux	Somme des coûts
2015	(553 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	(553 \$)
2016	(536 \$)	(295,471 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(296,007 \$)
2017	(519 \$)	(94,702 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(95,222 \$)
2018	0 \$	(2,428,261 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(2,428,261 \$)
2019	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2020	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2021	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2022	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2023	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2024	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2025	0 \$	(541,079 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(541,079 \$)
2026	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2027	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2028	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2029	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2030	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2031	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2032	0 \$	(164,470 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(164,470 \$)
2033	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2034	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2035	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2036	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2037	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2038	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2039	0 \$	(124,984 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(124,984 \$)
2040	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2041	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2042	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2043	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2044	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2045	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2046	0 \$	(94,978 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(94,978 \$)
2047	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2048	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2049	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2050	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2051	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2052	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2053	0 \$	(72,175 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(72,175 \$)
2054	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2055	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2056	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2057	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2058	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2059	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2060	0 \$	(54,847 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(54,847 \$)
2061	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2062	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2063	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2064	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
TOTAL	(1,608 \$)	(3,870,968 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(3,872,576 \$)

Relocalisation stratégique

Année	Érosion	Coûts des mesures d'adaptation	Impacts économiques	Impacts environnementaux	Impacts sociaux	Somme des coûts
2015	(553 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	(553 \$)
2016	(536 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	(536 \$)
2017	(519 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	(519 \$)
2018	(503 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	(503 \$)
2019	(487 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	(487 \$)
2020	(472 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	(472 \$)
2021	(457 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	(457 \$)
2022	(442 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	(442 \$)
2023	(427 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	(427 \$)
2024	(413 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	(413 \$)
2025	(399 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	(399 \$)
2026	(385 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	(385 \$)
2027	(372 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	(372 \$)
2028	(359 \$)	0 \$	0 \$	(0 \$)	0 \$	(359 \$)
2029	(347 \$)	0 \$	0 \$	(0 \$)	0 \$	(348 \$)
2030	(337 \$)	0 \$	0 \$	(1 \$)	0 \$	(338 \$)
2031	(324 \$)	0 \$	0 \$	(2 \$)	0 \$	(325 \$)
2032	(314 \$)	0 \$	0 \$	(3 \$)	0 \$	(317 \$)
2033	(304 \$)	0 \$	0 \$	(4 \$)	0 \$	(307 \$)
2034	(294 \$)	0 \$	0 \$	(5 \$)	0 \$	(299 \$)
2035	(285 \$)	0 \$	0 \$	(7 \$)	0 \$	(291 \$)
2036	(275 \$)	0 \$	0 \$	(8 \$)	0 \$	(283 \$)
2037	(266 \$)	0 \$	0 \$	(10 \$)	0 \$	(276 \$)
2038	(258 \$)	0 \$	0 \$	(12 \$)	0 \$	(270 \$)
2039	(249 \$)	0 \$	0 \$	(13 \$)	0 \$	(262 \$)
2040	(241 \$)	0 \$	0 \$	(15 \$)	0 \$	(256 \$)
2041	(234 \$)	0 \$	0 \$	(16 \$)	0 \$	(250 \$)
2042	(173 \$)	(43,565 \$)	(2,667 \$)	(18 \$)	(9,686 \$)	(56,109 \$)
2043	(169 \$)	0 \$	0 \$	(19 \$)	0 \$	(187 \$)
2044	(164 \$)	0 \$	0 \$	(20 \$)	0 \$	(183 \$)
2045	(160 \$)	0 \$	0 \$	(21 \$)	0 \$	(181 \$)
2046	(155 \$)	0 \$	0 \$	(21 \$)	0 \$	(177 \$)
2047	(151 \$)	0 \$	0 \$	(22 \$)	0 \$	(173 \$)
2048	(146 \$)	0 \$	0 \$	(23 \$)	0 \$	(169 \$)
2049	(141 \$)	0 \$	0 \$	(23 \$)	0 \$	(165 \$)
2050	(135 \$)	0 \$	0 \$	(23 \$)	0 \$	(159 \$)
2051	(130 \$)	0 \$	0 \$	(24 \$)	0 \$	(154 \$)
2052	(126 \$)	0 \$	0 \$	(24 \$)	0 \$	(150 \$)
2053	(122 \$)	0 \$	0 \$	(24 \$)	0 \$	(146 \$)
2054	(117 \$)	0 \$	0 \$	(25 \$)	0 \$	(141 \$)
2055	(112 \$)	0 \$	0 \$	(25 \$)	0 \$	(137 \$)
2056	(108 \$)	0 \$	0 \$	(25 \$)	0 \$	(133 \$)
2057	(104 \$)	0 \$	0 \$	(25 \$)	0 \$	(129 \$)
2058	(100 \$)	0 \$	0 \$	(25 \$)	0 \$	(125 \$)
2059	(97 \$)	(11,004 \$)	0 \$	(25 \$)	0 \$	(11,126 \$)
2060	(94 \$)	0 \$	0 \$	(25 \$)	0 \$	(118 \$)
2061	(90 \$)	0 \$	0 \$	(25 \$)	0 \$	(114 \$)
2062	(86 \$)	0 \$	0 \$	(25 \$)	0 \$	(111 \$)
2063	(83 \$)	0 \$	0 \$	(24 \$)	0 \$	(108 \$)
2064	(81 \$)	0 \$	0 \$	(24 \$)	0 \$	(105 \$)
TOTAL	(12,897 \$)	(54,569 \$)	(2,667 \$)	(628 \$)	(9,686 \$)	(80,448 \$)

SEGMENT ÉCHOUERIE OUEST

Option de non-intervention

Année	Érosion	Coûts des mesures d'adaptation	Impacts économiques	Impacts sociaux	Somme des coûts
2015	(748 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(748 \$)
2016	(718 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(718 \$)
2017	(691 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(691 \$)
2018	(667 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(667 \$)
2019	(645 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(645 \$)
2020	(624 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(624 \$)
2021	(599 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(599 \$)
2022	(577 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(577 \$)
2023	(556 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(556 \$)
2024	(535 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(535 \$)
2025	(134 137 \$)	(27 642 \$)	(54 429 \$)	0 \$	(216 207 \$)
2026	(396 \$)	0 \$	(52 335 \$)	0 \$	(52 732 \$)
2027	(378 \$)	0 \$	(50 322 \$)	0 \$	(50 700 \$)
2028	(363 \$)	0 \$	(48 387 \$)	0 \$	(48 750 \$)
2029	(354 \$)	0 \$	(46 526 \$)	0 \$	(46 880 \$)
2030	(940 524 \$)	(141 834 \$)	(279 036 \$)	0 \$	(1 361 394 \$)
2031	(225 \$)	0 \$	(268 304 \$)	0 \$	(268 529 \$)
2032	(218 \$)	0 \$	(257 984 \$)	0 \$	(258 202 \$)
2033	(210 \$)	0 \$	(248 062 \$)	0 \$	(248 272 \$)
2034	(203 \$)	0 \$	(238 521 \$)	0 \$	(238 724 \$)
2035	(197 \$)	0 \$	(229 347 \$)	0 \$	(229 544 \$)
2036	(190 \$)	0 \$	(220 526 \$)	0 \$	(220 716 \$)
2037	(182 \$)	0 \$	(212 044 \$)	0 \$	(212 227 \$)
2038	(176 \$)	0 \$	(203 889 \$)	0 \$	(204 065 \$)
2039	(29 317 \$)	(5 096 \$)	(196 047 \$)	(3 432 \$)	(233 892 \$)
2040	(86 \$)	0 \$	(188 507 \$)	0 \$	(188 592 \$)
2041	(82 \$)	0 \$	(181 256 \$)	0 \$	(181 339 \$)
2042	(79 \$)	0 \$	(174 285 \$)	0 \$	(174 363 \$)
2043	(76 \$)	0 \$	(167 582 \$)	0 \$	(167 657 \$)
2044	(73 \$)	0 \$	(161 136 \$)	0 \$	(161 209 \$)
2045	(70 \$)	0 \$	(154 939 \$)	0 \$	(155 009 \$)
2046	(68 \$)	0 \$	(148 979 \$)	0 \$	(149 047 \$)
2047	(65 \$)	0 \$	(143 249 \$)	0 \$	(143 315 \$)
2048	(63 \$)	0 \$	(137 740 \$)	0 \$	(137 802 \$)
2049	(60 \$)	0 \$	(132 442 \$)	0 \$	(132 502 \$)
2050	(57 \$)	0 \$	(127 348 \$)	0 \$	(127 406 \$)
2051	(55 \$)	0 \$	(122 450 \$)	0 \$	(122 506 \$)
2052	(53 \$)	0 \$	(117 741 \$)	0 \$	(117 794 \$)
2053	(50 \$)	0 \$	(113 212 \$)	0 \$	(113 263 \$)
2054	(48 \$)	0 \$	(108 858 \$)	0 \$	(108 906 \$)
2055	(47 \$)	0 \$	(104 671 \$)	0 \$	(104 718 \$)
2056	(45 \$)	0 \$	(100 645 \$)	0 \$	(100 690 \$)
2057	(44 \$)	0 \$	(96 774 \$)	0 \$	(96 818 \$)
2058	(42 \$)	0 \$	(93 052 \$)	0 \$	(93 094 \$)
2059	(41 \$)	0 \$	(89 473 \$)	0 \$	(89 514 \$)
2060	(40 \$)	0 \$	(86 032 \$)	0 \$	(86 072 \$)
2061	(38 \$)	0 \$	(82 723 \$)	0 \$	(82 761 \$)
2062	(37 \$)	0 \$	(79 541 \$)	0 \$	(79 578 \$)
2063	(36 \$)	0 \$	(76 482 \$)	0 \$	(76 518 \$)
2064	(35 \$)	0 \$	(73 540 \$)	0 \$	(73 575 \$)
TOTAL	(1 114 820 \$)	(174 572 \$)	(5 668 416 \$)	(3 432 \$)	(6 961 240 \$)

Riprap

Année	Érosion	Coûts des mesures d'adaptation	Impacts économiques	Impacts sociaux	Somme des coûts
2015	(748 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(748 \$)
2016	(718 \$)	(193 599 \$)	0 \$	0 \$	(194 317 \$)
2017	(691 \$)	(62 051 \$)	0 \$	0 \$	(62 743 \$)
2018	0 \$	(1 591 052 \$)	0 \$	0 \$	(1 591 052 \$)
2019	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2020	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2021	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2022	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2023	0 \$	(26 406 \$)	0 \$	0 \$	(26 406 \$)
2024	0 \$	(8 463 \$)	0 \$	0 \$	(8 463 \$)
2025	0 \$	(217 012 \$)	0 \$	0 \$	(217 012 \$)
2026	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2027	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2028	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2029	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2030	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2031	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2032	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2033	0 \$	(403 766 \$)	0 \$	0 \$	(403 766 \$)
2034	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2035	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2036	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2037	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2038	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2039	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2040	0 \$	(55 072 \$)	0 \$	0 \$	(55 072 \$)
2041	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2042	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2043	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2044	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2045	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2046	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2047	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2048	0 \$	(112 098 \$)	0 \$	0 \$	(112 098 \$)
2049	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2050	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2051	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2052	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2053	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2054	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2055	0 \$	(15 290 \$)	0 \$	0 \$	(15 290 \$)
2056	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2057	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2058	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2059	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2060	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2061	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2062	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2063	0 \$	(46 683 \$)	0 \$	0 \$	(46 683 \$)
2064	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
TOTAL	(2 157 \$)	(2 731 493 \$)	0 \$	0 \$	(2 733 650 \$)

Enrochement

Année	Érosion	Coûts des mesures d'adaptation	Impacts économiques	Impacts sociaux	Somme des coûts
2015	(748 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(748 \$)
2016	(718 \$)	(291 361 \$)	0 \$	0 \$	(292 078 \$)
2017	(691 \$)	(93 385 \$)	0 \$	0 \$	(94 076 \$)
2018	0 \$	(2 393 430 \$)	0 \$	0 \$	(2 393 430 \$)
2019	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2020	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2021	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2022	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2023	0 \$	(39 740 \$)	0 \$	0 \$	(39 740 \$)
2024	0 \$	(12 737 \$)	0 \$	0 \$	(12 737 \$)
2025	0 \$	(326 453 \$)	0 \$	0 \$	(326 453 \$)
2026	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2027	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2028	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2029	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2030	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2031	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2032	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2033	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2034	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2035	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2036	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2037	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2038	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2039	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2040	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2041	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2042	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2043	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2044	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2045	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2046	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2047	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2048	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2049	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2050	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2051	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2052	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2053	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2054	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2055	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2056	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2057	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2058	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2059	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2060	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2061	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2062	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2063	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2064	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
TOTAL	(2 157 \$)	(3 157 107 \$)	0 \$	0 \$	(3 159 263 \$)

Relocalisation stratégique

Année	Érosion	Coûts des mesures d'adaptation	Impacts économiques	Impacts sociaux	Somme des coûts
2015	(748 \$)	(191 996 \$)	(10 905 \$)	0 \$	(203 649 \$)
2016	(579 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(579 \$)
2017	(555 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(555 \$)
2018	(533 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(533 \$)
2019	(514 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(514 \$)
2020	(495 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(495 \$)
2021	(472 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(472 \$)
2022	(453 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(453 \$)
2023	(433 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(433 \$)
2024	(415 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(415 \$)
2025	(398 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(398 \$)
2026	(396 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(396 \$)
2027	(378 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(378 \$)
2028	(363 \$)	(70 351 \$)	(5 098 \$)	(5 283 \$)	(81 095 \$)
2029	(248 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(248 \$)
2030	(940 421 \$)	0 \$	(234 299 \$)	0 \$	(1 174 721 \$)
2031	(125 \$)	0 \$	(225 288 \$)	0 \$	(225 413 \$)
2032	(120 \$)	0 \$	(216 623 \$)	0 \$	(216 743 \$)
2033	(116 \$)	0 \$	(208 291 \$)	0 \$	(208 407 \$)
2034	(111 \$)	0 \$	(200 280 \$)	0 \$	(200 391 \$)
2035	(107 \$)	0 \$	(192 577 \$)	0 \$	(192 684 \$)
2036	(102 \$)	0 \$	(185 170 \$)	0 \$	(185 273 \$)
2037	(98 \$)	0 \$	(178 048 \$)	0 \$	(178 146 \$)
2038	(94 \$)	0 \$	(171 200 \$)	0 \$	(171 294 \$)
2039	(89 \$)	0 \$	(164 616 \$)	0 \$	(164 705 \$)
2040	(86 \$)	0 \$	(158 284 \$)	0 \$	(158 370 \$)
2041	(82 \$)	0 \$	(152 196 \$)	0 \$	(152 279 \$)
2042	(79 \$)	0 \$	(146 343 \$)	0 \$	(146 421 \$)
2043	(76 \$)	0 \$	(140 714 \$)	0 \$	(140 790 \$)
2044	(73 \$)	0 \$	(135 302 \$)	0 \$	(135 375 \$)
2045	(70 \$)	0 \$	(130 098 \$)	0 \$	(130 168 \$)
2046	(68 \$)	0 \$	(125 094 \$)	0 \$	(125 162 \$)
2047	(65 \$)	0 \$	(120 283 \$)	0 \$	(120 348 \$)
2048	(63 \$)	0 \$	(115 657 \$)	0 \$	(115 719 \$)
2049	(60 \$)	0 \$	(111 208 \$)	0 \$	(111 269 \$)
2050	(57 \$)	0 \$	(106 931 \$)	0 \$	(106 988 \$)
2051	(55 \$)	0 \$	(102 818 \$)	0 \$	(102 874 \$)
2052	(53 \$)	0 \$	(98 864 \$)	0 \$	(98 917 \$)
2053	(50 \$)	0 \$	(95 061 \$)	0 \$	(95 112 \$)
2054	(48 \$)	0 \$	(91 405 \$)	0 \$	(91 454 \$)
2055	(47 \$)	0 \$	(87 890 \$)	0 \$	(87 936 \$)
2056	(45 \$)	0 \$	(84 509 \$)	0 \$	(84 554 \$)
2057	(44 \$)	0 \$	(81 259 \$)	0 \$	(81 303 \$)
2058	(42 \$)	0 \$	(78 134 \$)	0 \$	(78 176 \$)
2059	(41 \$)	0 \$	(75 128 \$)	0 \$	(75 169 \$)
2060	(40 \$)	0 \$	(72 239 \$)	0 \$	(72 278 \$)
2061	(38 \$)	0 \$	(69 460 \$)	0 \$	(69 499 \$)
2062	(37 \$)	0 \$	(66 789 \$)	0 \$	(66 826 \$)
2063	(36 \$)	0 \$	(64 220 \$)	0 \$	(64 256 \$)
2064	(35 \$)	0 \$	(61 750 \$)	0 \$	(61 785 \$)
TOTAL	(949 753 \$)	(262 347 \$)	(4 564 035 \$)	(5 283 \$)	(5 781 419 \$)

SEGMENT ROUTE MUNICIPALE

Option de non-intervention

Année	Érosion	Coûts des mesures d'adaptation	Impacts économiques	Impacts sociaux	Somme des coûts
2015	(2 417 \$)	(120 000 \$)	0 \$	0 \$	(122 417 \$)
2016	(2 315 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(2 315 \$)
2017	(2 208 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(2 208 \$)
2018	(2 097 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(2 097 \$)
2019	(1 985 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(1 985 \$)
2020	(1 871 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(1 871 \$)
2021	(1 781 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(1 781 \$)
2022	(1 697 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(1 697 \$)
2023	(1 618 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(1 618 \$)
2024	(1 543 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(1 543 \$)
2025	(1 477 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(1 477 \$)
2026	(1 411 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(1 411 \$)
2027	(1 349 \$)	(81 198 \$)	0 \$	0 \$	(82 547 \$)
2028	(1 291 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(1 291 \$)
2029	(1 232 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(1 232 \$)
2030	(1 176 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(1 176 \$)
2031	(1 122 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(1 122 \$)
2032	(1 072 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(1 072 \$)
2033	(1 019 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(1 019 \$)
2034	(972 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(972 \$)
2035	(928 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(928 \$)
2036	(890 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(890 \$)
2037	(851 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(851 \$)
2038	(825 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(825 \$)
2039	(805 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(805 \$)
2040	(789 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(789 \$)
2041	(759 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(759 \$)
2042	(729 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(729 \$)
2043	(700 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(700 \$)
2044	(671 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(671 \$)
2045	(644 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(644 \$)
2046	(617 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(617 \$)
2047	(593 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(593 \$)
2048	(570 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(570 \$)
2049	(548 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(548 \$)
2050	(524 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(524 \$)
2051	(15 698 \$)	(3 183 \$)	0 \$	(2 144 \$)	(21 025 \$)
2052	(415 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(415 \$)
2053	(399 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(399 \$)
2054	(115 812 \$)	(9 401 \$)	0 \$	0 \$	(125 214 \$)
2055	(299 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(299 \$)
2056	(287 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(287 \$)
2057	(273 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(273 \$)
2058	(263 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(263 \$)
2059	(252 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(252 \$)
2060	(241 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(241 \$)
2061	(231 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(231 \$)
2062	(222 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(222 \$)
2063	(212 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(212 \$)
2064	(203 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(203 \$)
TOTAL	(177 905 \$)	(213 782 \$)	0 \$	(2 144 \$)	(393 830 \$)

Riprap

Année	Érosion	Coûts des mesures d'adaptation	Impacts économiques	Impacts sociaux	Somme des coûts
2015	(2 417 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(2 417 \$)
2016	(2 315 \$)	(624 482 \$)	0 \$	0 \$	(626 797 \$)
2017	(2 208 \$)	(200 154 \$)	0 \$	0 \$	(202 362 \$)
2018	0 \$	(5 132 163 \$)	0 \$	0 \$	(5 132 163 \$)
2019	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2020	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2021	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2022	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2023	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2024	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2025	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2026	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2027	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2028	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2029	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2030	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2031	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2032	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2033	0 \$	(1 302 403 \$)	0 \$	0 \$	(1 302 403 \$)
2034	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2035	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2036	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2037	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2038	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2039	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2040	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2041	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2042	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2043	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2044	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2045	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2046	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2047	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2048	0 \$	(361 589 \$)	0 \$	0 \$	(361 589 \$)
2049	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2050	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2051	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2052	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2053	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2054	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2055	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2056	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2057	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2058	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2059	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2060	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2061	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2062	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2063	0 \$	(150 583 \$)	0 \$	0 \$	(150 583 \$)
2064	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
TOTAL	(6 941 \$)	(7 771 374 \$)	0 \$	0 \$	(7 778 315 \$)

Enrochement

Année	Érosion	Coûts des mesures d'adaptation	Impacts économiques	Impacts sociaux	Somme des coûts
2015	(2 417 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(2 417 \$)
2016	(2 315 \$)	(939 412 \$)	0 \$	0 \$	(941 727 \$)
2017	(2 208 \$)	(301 094 \$)	0 \$	0 \$	(303 301 \$)
2018	0 \$	(7 720 347 \$)	0 \$	0 \$	(7 720 347 \$)
2019	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2020	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2021	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2022	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2023	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2024	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2025	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2026	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2027	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2028	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2029	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2030	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2031	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2032	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2033	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2034	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2035	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2036	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2037	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2038	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2039	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2040	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2041	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2042	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2043	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2044	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2045	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2046	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2047	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2048	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2049	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2050	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2051	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2052	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2053	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2054	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2055	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2056	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2057	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2058	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2059	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2060	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2061	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2062	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2063	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2064	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
TOTAL	(6 941 \$)	(8 960 852 \$)	0 \$	0 \$	(8 967 793 \$)

Relocalisation stratégique avec nouveau tracé de route

Année	Érosion	Coûts des mesures d'adaptation	Impacts économiques	Impacts sociaux	Somme des coûts
2015	(2 417 \$)	(2 014 000 \$)	0 \$	0 \$	(2 016 417 \$)
2016	(2 315 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(2 315 \$)
2017	(2 208 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(2 208 \$)
2018	(2 097 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(2 097 \$)
2019	(1 985 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(1 985 \$)
2020	(1 871 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(1 871 \$)
2021	(1 781 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(1 781 \$)
2022	(1 697 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(1 697 \$)
2023	(1 618 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(1 618 \$)
2024	(1 543 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(1 543 \$)
2025	(1 477 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(1 477 \$)
2026	(1 411 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(1 411 \$)
2027	(1 349 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(1 349 \$)
2028	(1 291 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(1 291 \$)
2029	(1 232 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(1 232 \$)
2030	(1 176 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(1 176 \$)
2031	(1 122 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(1 122 \$)
2032	(1 072 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(1 072 \$)
2033	(1 019 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(1 019 \$)
2034	(972 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(972 \$)
2035	(928 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(928 \$)
2036	(890 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(890 \$)
2037	(851 \$)	(50 619 \$)	(8 633 \$)	(3 712 \$)	(63 816 \$)
2038	(748 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(748 \$)
2039	(712 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(712 \$)
2040	(683 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(683 \$)
2041	(655 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(655 \$)
2042	(629 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(629 \$)
2043	(603 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(603 \$)
2044	(578 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(578 \$)
2045	(554 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(554 \$)
2046	(532 \$)	(51 476 \$)	(7 618 \$)	0 \$	(59 626 \$)
2047	(421 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(421 \$)
2048	(405 \$)	27 409 \$	0 \$	0 \$	27 005 \$
2049	(387 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(387 \$)
2050	(371 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(371 \$)
2051	(356 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(356 \$)
2052	(340 \$)	(24 136 \$)	(5 356 \$)	(6 544 \$)	(36 376 \$)
2053	(280 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(280 \$)
2054	(268 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(268 \$)
2055	(256 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(256 \$)
2056	(245 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(245 \$)
2057	(233 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(233 \$)
2058	(225 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(225 \$)
2059	(216 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(216 \$)
2060	(206 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(206 \$)
2061	(197 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(197 \$)
2062	(189 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(189 \$)
2063	(181 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(181 \$)
2064	(172 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(172 \$)
TOTAL	(44 964 \$)	(2 112 822 \$)	(21 608 \$)	(10 256 \$)	(2 189 649 \$)

Relocalisation stratégique

Année	Érosion	Coûts des mesures d'adaptation	Impacts économiques	Impacts sociaux	Somme des coûts
2015	(2 417 \$)	(120 000 \$)	0 \$	0 \$	(122 417 \$)
2016	(2 315 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(2 315 \$)
2017	(2 208 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(2 208 \$)
2018	(2 097 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(2 097 \$)
2019	(1 985 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(1 985 \$)
2020	(1 871 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(1 871 \$)
2021	(1 781 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(1 781 \$)
2022	(1 697 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(1 697 \$)
2023	(1 618 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(1 618 \$)
2024	(1 543 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(1 543 \$)
2025	(1 477 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(1 477 \$)
2026	(1 411 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(1 411 \$)
2027	(1 349 \$)	(81 198 \$)	0 \$	0 \$	(82 547 \$)
2028	(1 291 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(1 291 \$)
2029	(1 232 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(1 232 \$)
2030	(1 176 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(1 176 \$)
2031	(1 122 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(1 122 \$)
2032	(1 072 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(1 072 \$)
2033	(1 019 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(1 019 \$)
2034	(972 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(972 \$)
2035	(928 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(928 \$)
2036	(890 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(890 \$)
2037	(851 \$)	(50 619 \$)	(8 633 \$)	(3 712 \$)	(63 816 \$)
2038	(748 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(748 \$)
2039	(712 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(712 \$)
2040	(683 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(683 \$)
2041	(655 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(655 \$)
2042	(629 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(629 \$)
2043	(603 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(603 \$)
2044	(578 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(578 \$)
2045	(554 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(554 \$)
2046	(532 \$)	(51 476 \$)	(7 618 \$)	0 \$	(59 626 \$)
2047	(421 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(421 \$)
2048	(405 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(405 \$)
2049	(387 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(387 \$)
2050	(371 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(371 \$)
2051	(356 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(356 \$)
2052	(340 \$)	(24 136 \$)	(5 356 \$)	(6 544 \$)	(36 376 \$)
2053	(280 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(280 \$)
2054	(268 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(268 \$)
2055	(256 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(256 \$)
2056	(245 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(245 \$)
2057	(233 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(233 \$)
2058	(225 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(225 \$)
2059	(216 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(216 \$)
2060	(206 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(206 \$)
2061	(197 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(197 \$)
2062	(189 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(189 \$)
2063	(181 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(181 \$)
2064	(172 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(172 \$)
TOTAL	(44 964 \$)	(327 429 \$)	(21 608 \$)	(10 256 \$)	(404 256 \$)

SEGMENT PLAGES MUNICIPALES

Option de non-intervention

Année	Érosion	Coûts des mesures d'adaptation	Impacts économiques	Impacts sociaux	Somme des coûts
2015	(1 358 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(1 358 \$)
2016	(1 301 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(1 301 \$)
2017	(1 244 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(1 244 \$)
2018	(1 191 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(1 191 \$)
2019	(1 142 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(1 142 \$)
2020	(1 096 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(1 096 \$)
2021	(1 051 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(1 051 \$)
2022	(1 008 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(1 008 \$)
2023	(968 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(968 \$)
2024	(929 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(929 \$)
2025	(893 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(893 \$)
2026	(858 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(858 \$)
2027	(824 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(824 \$)
2028	(793 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(793 \$)
2029	(762 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(762 \$)
2030	(734 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(734 \$)
2031	(298 571 \$)	(23 172 \$)	0 \$	(59 646 \$)	(381 388 \$)
2032	(519 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(519 \$)
2033	(498 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(498 \$)
2034	(480 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(480 \$)
2035	(462 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(462 \$)
2036	(445 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(445 \$)
2037	(429 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(429 \$)
2038	(413 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(413 \$)
2039	(397 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(397 \$)
2040	(383 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(383 \$)
2041	(369 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(369 \$)
2042	(356 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(356 \$)
2043	(342 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(342 \$)
2044	(329 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(329 \$)
2045	(316 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(316 \$)
2046	(304 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(304 \$)
2047	(292 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(292 \$)
2048	(281 \$)	(27 409 \$)	0 \$	0 \$	(27 690 \$)
2049	(268 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(268 \$)
2050	(258 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(258 \$)
2051	(249 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(249 \$)
2052	(239 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(239 \$)
2053	(229 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(229 \$)
2054	(221 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(221 \$)
2055	(211 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(211 \$)
2056	(203 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(203 \$)
2057	(194 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(194 \$)
2058	(189 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(189 \$)
2059	(177 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(177 \$)
2060	(171 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(171 \$)
2061	(163 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(163 \$)
2062	(157 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(157 \$)
2063	(153 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(153 \$)
2064	(145 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(145 \$)
TOTAL	(324 565 \$)	(50 581 \$)	0 \$	(59 646 \$)	(434 792 \$)

Riprap

Année	Érosion	Coûts des mesures d'adaptation	Impacts économiques	Impacts sociaux	Somme des coûts
2015	(1 358 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(1 358 \$)
2016	(1 301 \$)	(390 240 \$)	0 \$	0 \$	(391 541 \$)
2017	(1 244 \$)	(125 077 \$)	0 \$	0 \$	(126 321 \$)
2018	0 \$	(1 603 550 \$)	0 \$	(70 318 \$)	(1 673 868 \$)
2019	0 \$	(48 508 \$)	0 \$	(67 614 \$)	(116 122 \$)
2020	0 \$	(46 643 \$)	0 \$	(65 013 \$)	(111 656 \$)
2021	0 \$	(44 849 \$)	0 \$	(62 513 \$)	(107 361 \$)
2022	0 \$	(43 124 \$)	0 \$	(60 108 \$)	(103 232 \$)
2023	0 \$	(41 465 \$)	0 \$	(57 797 \$)	(99 262 \$)
2024	0 \$	(39 870 \$)	0 \$	(55 574 \$)	(95 444 \$)
2025	0 \$	(38 337 \$)	0 \$	(53 436 \$)	(91 773 \$)
2026	0 \$	(36 862 \$)	0 \$	(51 381 \$)	(88 243 \$)
2027	0 \$	(35 444 \$)	0 \$	(49 405 \$)	(84 849 \$)
2028	0 \$	(34 081 \$)	0 \$	(47 505 \$)	(81 586 \$)
2029	0 \$	(32 770 \$)	0 \$	(45 677 \$)	(78 448 \$)
2030	0 \$	(31 510 \$)	0 \$	(43 921 \$)	(75 431 \$)
2031	0 \$	(30 298 \$)	0 \$	(42 231 \$)	(72 529 \$)
2032	0 \$	(29 133 \$)	0 \$	(40 607 \$)	(69 740 \$)
2033	0 \$	(390 366 \$)	0 \$	(39 045 \$)	(429 411 \$)
2034	0 \$	(26 935 \$)	0 \$	(37 544 \$)	(64 478 \$)
2035	0 \$	(25 899 \$)	0 \$	(36 100 \$)	(61 999 \$)
2036	0 \$	(24 903 \$)	0 \$	(34 711 \$)	(59 614 \$)
2037	0 \$	(23 945 \$)	0 \$	(33 376 \$)	(57 321 \$)
2038	0 \$	(23 024 \$)	0 \$	(32 092 \$)	(55 116 \$)
2039	0 \$	(22 139 \$)	0 \$	(30 858 \$)	(52 997 \$)
2040	0 \$	(21 287 \$)	0 \$	(29 671 \$)	(50 958 \$)
2041	0 \$	(20 468 \$)	0 \$	(28 530 \$)	(48 998 \$)
2042	0 \$	(19 681 \$)	0 \$	(27 433 \$)	(47 114 \$)
2043	0 \$	(18 924 \$)	0 \$	(26 378 \$)	(45 302 \$)
2044	0 \$	(18 196 \$)	0 \$	(25 363 \$)	(43 559 \$)
2045	0 \$	(17 496 \$)	0 \$	(24 388 \$)	(41 884 \$)
2046	0 \$	(16 823 \$)	0 \$	(23 450 \$)	(40 273 \$)
2047	0 \$	(16 176 \$)	0 \$	(22 548 \$)	(38 724 \$)
2048	0 \$	(116 155 \$)	0 \$	(21 680 \$)	(137 836 \$)
2049	0 \$	(14 956 \$)	0 \$	(20 847 \$)	(35 803 \$)
2050	0 \$	(14 381 \$)	0 \$	(20 045 \$)	(34 426 \$)
2051	0 \$	(13 828 \$)	0 \$	(19 274 \$)	(33 102 \$)
2052	0 \$	(13 296 \$)	0 \$	(18 533 \$)	(31 828 \$)
2053	0 \$	(12 784 \$)	0 \$	(17 820 \$)	(30 604 \$)
2054	0 \$	(12 293 \$)	0 \$	(17 134 \$)	(29 427 \$)
2055	0 \$	(11 820 \$)	0 \$	(16 475 \$)	(28 295 \$)
2056	0 \$	(11 365 \$)	0 \$	(15 842 \$)	(27 207 \$)
2057	0 \$	(10 928 \$)	0 \$	(15 232 \$)	(26 161 \$)
2058	0 \$	(10 508 \$)	0 \$	(14 647 \$)	(25 154 \$)
2059	0 \$	(10 104 \$)	0 \$	(14 083 \$)	(24 187 \$)
2060	0 \$	(9 715 \$)	0 \$	(13 542 \$)	(23 257 \$)
2061	0 \$	(9 341 \$)	0 \$	(13 021 \$)	(22 362 \$)
2062	0 \$	(8 982 \$)	0 \$	(12 520 \$)	(21 502 \$)
2063	0 \$	(50 532 \$)	0 \$	(12 038 \$)	(62 570 \$)
2064	0 \$	0 \$	0 \$	(11 575 \$)	(11 575 \$)
TOTAL	(3 903 \$)	(3 669 013 \$)	0 \$	(1 538 894 \$)	(5 211 810 \$)

Enrochement

Année	Érosion	Coûts des mesures d'adaptation	Impacts économiques	Impacts sociaux	Somme des coûts
2015	(1 358 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(1 358 \$)
2016	(1 301 \$)	(261 363 \$)	0 \$	0 \$	(262 663 \$)
2017	(1 244 \$)	(83 770 \$)	0 \$	0 \$	(85 014 \$)
2018	0 \$	(2 147 950 \$)	0 \$	(140 637 \$)	(2 288 587 \$)
2019	0 \$	0 \$	0 \$	(135 228 \$)	(135 228 \$)
2020	0 \$	0 \$	0 \$	(130 027 \$)	(130 027 \$)
2021	0 \$	0 \$	0 \$	(125 026 \$)	(125 026 \$)
2022	0 \$	0 \$	0 \$	(120 217 \$)	(120 217 \$)
2023	0 \$	0 \$	0 \$	(115 593 \$)	(115 593 \$)
2024	0 \$	0 \$	0 \$	(111 147 \$)	(111 147 \$)
2025	0 \$	0 \$	0 \$	(106 872 \$)	(106 872 \$)
2026	0 \$	0 \$	0 \$	(102 762 \$)	(102 762 \$)
2027	0 \$	0 \$	0 \$	(98 810 \$)	(98 810 \$)
2028	0 \$	0 \$	0 \$	(95 009 \$)	(95 009 \$)
2029	0 \$	0 \$	0 \$	(91 355 \$)	(91 355 \$)
2030	0 \$	0 \$	0 \$	(87 841 \$)	(87 841 \$)
2031	0 \$	0 \$	0 \$	(84 463 \$)	(84 463 \$)
2032	0 \$	0 \$	0 \$	(81 214 \$)	(81 214 \$)
2033	0 \$	0 \$	0 \$	(78 091 \$)	(78 091 \$)
2034	0 \$	0 \$	0 \$	(75 087 \$)	(75 087 \$)
2035	0 \$	0 \$	0 \$	(72 199 \$)	(72 199 \$)
2036	0 \$	0 \$	0 \$	(69 422 \$)	(69 422 \$)
2037	0 \$	0 \$	0 \$	(66 752 \$)	(66 752 \$)
2038	0 \$	0 \$	0 \$	(64 185 \$)	(64 185 \$)
2039	0 \$	0 \$	0 \$	(61 716 \$)	(61 716 \$)
2040	0 \$	0 \$	0 \$	(59 342 \$)	(59 342 \$)
2041	0 \$	0 \$	0 \$	(57 060 \$)	(57 060 \$)
2042	0 \$	0 \$	0 \$	(54 865 \$)	(54 865 \$)
2043	0 \$	0 \$	0 \$	(52 755 \$)	(52 755 \$)
2044	0 \$	0 \$	0 \$	(50 726 \$)	(50 726 \$)
2045	0 \$	0 \$	0 \$	(48 775 \$)	(48 775 \$)
2046	0 \$	0 \$	0 \$	(46 899 \$)	(46 899 \$)
2047	0 \$	0 \$	0 \$	(45 095 \$)	(45 095 \$)
2048	0 \$	0 \$	0 \$	(43 361 \$)	(43 361 \$)
2049	0 \$	0 \$	0 \$	(41 693 \$)	(41 693 \$)
2050	0 \$	0 \$	0 \$	(40 090 \$)	(40 090 \$)
2051	0 \$	0 \$	0 \$	(38 548 \$)	(38 548 \$)
2052	0 \$	0 \$	0 \$	(37 065 \$)	(37 065 \$)
2053	0 \$	0 \$	0 \$	(35 640 \$)	(35 640 \$)
2054	0 \$	0 \$	0 \$	(34 269 \$)	(34 269 \$)
2055	0 \$	0 \$	0 \$	(32 951 \$)	(32 951 \$)
2056	0 \$	0 \$	0 \$	(31 683 \$)	(31 683 \$)
2057	0 \$	0 \$	0 \$	(30 465 \$)	(30 465 \$)
2058	0 \$	0 \$	0 \$	(29 293 \$)	(29 293 \$)
2059	0 \$	0 \$	0 \$	(28 166 \$)	(28 166 \$)
2060	0 \$	0 \$	0 \$	(27 083 \$)	(27 083 \$)
2061	0 \$	0 \$	0 \$	(26 041 \$)	(26 041 \$)
2062	0 \$	0 \$	0 \$	(25 040 \$)	(25 040 \$)
2063	0 \$	0 \$	0 \$	(24 077 \$)	(24 077 \$)
2064	0 \$	0 \$	0 \$	(23 151 \$)	(23 151 \$)
TOTAL	(3 903 \$)	(2 493 083 \$)	0 \$	(3 077 787 \$)	(5 574 774 \$)

Recharge de plage avec butée

Année	Érosion	Coûts des mesures d'adaptation	Impacts économiques	Impacts sociaux	Somme des coûts
2015	(1 358 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(1 358 \$)
2016	(1 301 \$)	(1 050 721 \$)	0 \$	0 \$	(1 052 022 \$)
2017	(1 244 \$)	(336 770 \$)	0 \$	0 \$	(338 014 \$)
2018	0 \$	(8 632 155 \$)	0 \$	0 \$	(8 632 155 \$)
2019	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2020	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2021	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2022	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2023	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2024	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2025	0 \$	(2 135 796 \$)	0 \$	0 \$	(2 135 796 \$)
2026	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2027	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2028	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2029	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2030	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2031	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2032	0 \$	(649 212 \$)	0 \$	0 \$	(649 212 \$)
2033	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2034	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2035	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2036	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2037	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2038	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2039	0 \$	(493 348 \$)	0 \$	0 \$	(493 348 \$)
2040	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2041	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2042	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2043	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2044	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2045	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2046	0 \$	(374 904 \$)	0 \$	0 \$	(374 904 \$)
2047	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2048	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2049	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2050	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2051	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2052	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2053	0 \$	(284 896 \$)	0 \$	0 \$	(284 896 \$)
2054	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2055	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2056	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2057	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2058	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2059	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2060	0 \$	(216 498 \$)	0 \$	0 \$	(216 498 \$)
2061	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2062	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2063	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2064	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
TOTAL	(3 903 \$)	(14 174 298 \$)	0 \$	0 \$	(14 178 201 \$)

Relocalisation stratégique

Année	Érosion	Coûts des mesures d'adaptation	Impacts économiques	Impacts sociaux	Somme des coûts
2015	(1 358 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(1 358 \$)
2016	(1 301 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(1 301 \$)
2017	(1 244 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(1 244 \$)
2018	(1 191 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(1 191 \$)
2019	(1 142 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(1 142 \$)
2020	(1 096 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(1 096 \$)
2021	(1 051 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(1 051 \$)
2022	(1 008 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(1 008 \$)
2023	(737 \$)	(126 874 \$)	(26 391 \$)	(81 629 \$)	(235 631 \$)
2024	(708 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(708 \$)
2025	(680 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(680 \$)
2026	(654 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(654 \$)
2027	(629 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(629 \$)
2028	(605 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(605 \$)
2029	(582 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(582 \$)
2030	(561 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(561 \$)
2031	(539 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(539 \$)
2032	(519 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(519 \$)
2033	(498 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(498 \$)
2034	(480 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(480 \$)
2035	(462 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(462 \$)
2036	(445 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(445 \$)
2037	(429 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(429 \$)
2038	(413 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(413 \$)
2039	(397 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(397 \$)
2040	(383 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(383 \$)
2041	(369 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(369 \$)
2042	(356 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(356 \$)
2043	(342 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(342 \$)
2044	(329 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(329 \$)
2045	(316 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(316 \$)
2046	(304 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(304 \$)
2047	(292 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(292 \$)
2048	(281 \$)	(27 409 \$)	0 \$	0 \$	(27 690 \$)
2049	(268 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(268 \$)
2050	(258 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(258 \$)
2051	(249 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(249 \$)
2052	(239 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(239 \$)
2053	(229 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(229 \$)
2054	(221 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(221 \$)
2055	(211 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(211 \$)
2056	(203 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(203 \$)
2057	(194 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(194 \$)
2058	(189 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(189 \$)
2059	(177 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(177 \$)
2060	(171 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(171 \$)
2061	(163 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(163 \$)
2062	(157 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(157 \$)
2063	(153 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(153 \$)
2064	(145 \$)	0 \$	0 \$	0 \$	(145 \$)
TOTAL	(24 928 \$)	(154 283 \$)	(26 391 \$)	(81 629 \$)	(287 231 \$)

SEGMENT CENTRE-VILLE

Option de non-intervention

Année	Érosion	Coûts des mesures d'adaptation	Impacts sociaux	Somme des coûts
2015	(10 113 \$)	0 \$	(564 442 \$)	(574 555 \$)
2016	(9 669 \$)	0 \$	(542 732 \$)	(552 401 \$)
2017	(9 247 \$)	0 \$	(521 858 \$)	(531 105 \$)
2018	(8 846 \$)	0 \$	(501 787 \$)	(510 633 \$)
2019	(8 460 \$)	0 \$	(482 487 \$)	(490 947 \$)
2020	(8 084 \$)	0 \$	(463 930 \$)	(472 014 \$)
2021	(7 721 \$)	0 \$	(446 086 \$)	(453 808 \$)
2022	(7 370 \$)	0 \$	(428 929 \$)	(436 299 \$)
2023	(7 011 \$)	0 \$	(412 432 \$)	(419 443 \$)
2024	(6 671 \$)	0 \$	(396 569 \$)	(403 240 \$)
2025	(6 666 \$)	0 \$	(381 317 \$)	(387 983 \$)
2026	(6 378 \$)	0 \$	(366 651 \$)	(373 029 \$)
2027	(6 104 \$)	0 \$	(352 549 \$)	(358 653 \$)
2028	(5 854 \$)	0 \$	(338 989 \$)	(344 843 \$)
2029	(5 611 \$)	0 \$	(325 951 \$)	(331 562 \$)
2030	(5 385 \$)	0 \$	(313 414 \$)	(318 799 \$)
2031	(5 166 \$)	0 \$	(301 360 \$)	(306 526 \$)
2032	(4 951 \$)	0 \$	(289 769 \$)	(294 721 \$)
2033	(4 758 \$)	0 \$	(278 624 \$)	(283 382 \$)
2034	(4 560 \$)	0 \$	(267 908 \$)	(272 468 \$)
2035	(4 375 \$)	(1 255 064 \$)	(257 604 \$)	(1 517 043 \$)
2036	(4 197 \$)	0 \$	(247 696 \$)	(251 893 \$)
2037	(4 031 \$)	0 \$	(238 169 \$)	(242 200 \$)
2038	(3 871 \$)	0 \$	(229 009 \$)	(232 880 \$)
2039	(3 711 \$)	0 \$	(220 201 \$)	(223 912 \$)
2040	(3 563 \$)	0 \$	(211 732 \$)	(215 295 \$)
2041	(3 422 \$)	0 \$	(203 588 \$)	(207 010 \$)
2042	(3 286 \$)	0 \$	(195 758 \$)	(199 043 \$)
2043	(3 155 \$)	0 \$	(188 229 \$)	(191 384 \$)
2044	(3 028 \$)	0 \$	(180 989 \$)	(184 017 \$)
2045	(2 908 \$)	0 \$	(174 028 \$)	(176 936 \$)
2046	(2 799 \$)	0 \$	(167 335 \$)	(170 133 \$)
2047	(2 694 \$)	0 \$	(160 899 \$)	(163 593 \$)
2048	(2 586 \$)	0 \$	(154 710 \$)	(157 296 \$)
2049	(2 488 \$)	0 \$	(148 760 \$)	(151 247 \$)
2050	(2 389 \$)	696 893 \$	(143 038 \$)	551 465 \$
2051	(2 296 \$)	0 \$	(137 537 \$)	(139 833 \$)
2052	(2 203 \$)	0 \$	(132 247 \$)	(134 450 \$)
2053	(2 117 \$)	0 \$	(127 160 \$)	(129 278 \$)
2054	(2 036 \$)	0 \$	(122 270 \$)	(124 305 \$)
2055	(1 957 \$)	0 \$	(117 567 \$)	(119 524 \$)
2056	(1 879 \$)	0 \$	(113 045 \$)	(114 924 \$)
2057	(1 811 \$)	0 \$	(108 697 \$)	(110 508 \$)
2058	(1 743 \$)	0 \$	(104 517 \$)	(106 259 \$)
2059	(1 674 \$)	0 \$	(100 497 \$)	(102 171 \$)
2060	(1 613 \$)	0 \$	(96 632 \$)	(98 244 \$)
2061	(1 551 \$)	0 \$	(92 915 \$)	(94 466 \$)
2062	(1 491 \$)	0 \$	(89 341 \$)	(90 832 \$)
2063	(1 432 \$)	0 \$	(85 905 \$)	(87 337 \$)
2064	(1 377 \$)	0 \$	(82 601 \$)	(83 978 \$)
TOTAL	(216 307 \$)	(558 172 \$)	(12 610 457 \$)	(13 384 935 \$)

Riprap

Année	Érosion	Coûts des mesures d'adaptation	Impacts sociaux	Somme des coûts
2015	(10 113 \$)	0 \$	0 \$	(10 113 \$)
2016	(9 669 \$)	(952 111 \$)	0 \$	(961 780 \$)
2017	(9 247 \$)	(305 164 \$)	0 \$	(314 411 \$)
2018	0 \$	(7 824 713 \$)	0 \$	(7 824 713 \$)
2019	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2020	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2021	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2022	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2023	0 \$	(83 299 \$)	0 \$	(83 299 \$)
2024	0 \$	(26 698 \$)	0 \$	(26 698 \$)
2025	0 \$	(408 716 \$)	0 \$	(408 716 \$)
2026	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2027	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2028	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2029	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2030	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2031	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2032	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2033	0 \$	(1 985 698 \$)	0 \$	(1 985 698 \$)
2034	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2035	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2036	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2037	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2038	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2039	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2040	0 \$	(113 735 \$)	0 \$	(113 735 \$)
2041	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2042	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2043	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2044	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2045	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2046	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2047	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2048	0 \$	(551 294 \$)	0 \$	(551 294 \$)
2049	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2050	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2051	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2052	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2053	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2054	0 \$	(32 840 \$)	0 \$	(32 840 \$)
2055	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2056	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2057	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2058	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2059	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2060	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2061	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2062	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2063	0 \$	(229 585 \$)	0 \$	(229 585 \$)
2064	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
TOTAL	(29 029 \$)	(12 513 854 \$)	0 \$	(12 542 883 \$)

Enrochement

Année	Érosion	Coûts des mesures d'adaptation	Impacts sociaux	Somme des coûts
2015	(10 113 \$)	0 \$	0 \$	(10 113 \$)
2016	(9 669 \$)	(1 432 267 \$)	0 \$	(1 441 936 \$)
2017	(9 247 \$)	(459 060 \$)	0 \$	(468 307 \$)
2018	0 \$	(11 770 767 \$)	0 \$	(11 770 767 \$)
2019	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2020	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2021	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2022	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2023	0 \$	(100 287 \$)	0 \$	(100 287 \$)
2024	0 \$	(32 143 \$)	0 \$	(32 143 \$)
2025	0 \$	(493 837 \$)	0 \$	(493 837 \$)
2026	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2027	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2028	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2029	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2030	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2031	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2032	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2033	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2034	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2035	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2036	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2037	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2038	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2039	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2040	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2041	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2042	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2043	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2044	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2045	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2046	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2047	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2048	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2049	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2050	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2051	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2052	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2053	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2054	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2055	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2056	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2057	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2058	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2059	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2060	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2061	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2062	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2063	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
2064	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$
TOTAL	(29 029 \$)	(14 288 362 \$)	0 \$	(14 317 391 \$)

Relocalisation stratégique

Année	Érosion	Coûts des mesures d'adaptation	Impacts sociaux	Somme des coûts
2015	(10 113 \$)	0 \$	(564 442 \$)	(574 555 \$)
2016	(9 669 \$)	0 \$	(542 732 \$)	(552 401 \$)
2017	(9 247 \$)	0 \$	(521 858 \$)	(531 105 \$)
2018	(8 846 \$)	0 \$	(501 787 \$)	(510 633 \$)
2019	(8 460 \$)	0 \$	(482 487 \$)	(490 947 \$)
2020	(8 084 \$)	0 \$	(463 930 \$)	(472 014 \$)
2021	(7 721 \$)	0 \$	(446 086 \$)	(453 808 \$)
2022	(7 370 \$)	0 \$	(428 929 \$)	(436 299 \$)
2023	(7 011 \$)	0 \$	(412 432 \$)	(419 443 \$)
2024	(6 671 \$)	0 \$	(396 569 \$)	(403 240 \$)
2025	(6 666 \$)	0 \$	(381 317 \$)	(387 983 \$)
2026	(6 378 \$)	0 \$	(366 651 \$)	(373 029 \$)
2027	(6 104 \$)	0 \$	(352 549 \$)	(358 653 \$)
2028	(5 854 \$)	0 \$	(338 989 \$)	(344 843 \$)
2029	(5 611 \$)	0 \$	(325 951 \$)	(331 562 \$)
2030	(5 385 \$)	0 \$	(313 414 \$)	(318 799 \$)
2031	(5 166 \$)	0 \$	(301 360 \$)	(306 526 \$)
2032	(4 951 \$)	0 \$	(289 769 \$)	(294 721 \$)
2033	(4 758 \$)	0 \$	(278 624 \$)	(283 382 \$)
2034	(4 560 \$)	0 \$	(267 908 \$)	(272 468 \$)
2035	(4 375 \$)	(1 255 064 \$)	(257 604 \$)	(1 517 043 \$)
2036	(4 197 \$)	0 \$	(247 696 \$)	(251 893 \$)
2037	(4 031 \$)	0 \$	(238 169 \$)	(242 200 \$)
2038	(3 871 \$)	0 \$	(229 009 \$)	(232 880 \$)
2039	(3 711 \$)	0 \$	(220 201 \$)	(223 912 \$)
2040	(3 563 \$)	0 \$	(211 732 \$)	(215 295 \$)
2041	(3 422 \$)	0 \$	(203 588 \$)	(207 010 \$)
2042	(3 286 \$)	0 \$	(195 758 \$)	(199 043 \$)
2043	(3 155 \$)	0 \$	(188 229 \$)	(191 384 \$)
2044	(3 028 \$)	0 \$	(180 989 \$)	(184 017 \$)
2045	(2 908 \$)	0 \$	(174 028 \$)	(176 936 \$)
2046	(2 799 \$)	0 \$	(167 335 \$)	(170 133 \$)
2047	(2 694 \$)	0 \$	(160 899 \$)	(163 593 \$)
2048	(2 586 \$)	0 \$	(154 710 \$)	(157 296 \$)
2049	(2 488 \$)	0 \$	(148 760 \$)	(151 247 \$)
2050	(2 389 \$)	696 893 \$	(143 038 \$)	551 465 \$
2051	(2 296 \$)	(44 559 \$)	(137 537 \$)	(184 392 \$)
2052	(2 203 \$)	0 \$	(132 247 \$)	(134 450 \$)
2053	(2 117 \$)	0 \$	(127 160 \$)	(129 278 \$)
2054	(2 036 \$)	0 \$	(122 270 \$)	(124 305 \$)
2055	(1 957 \$)	0 \$	(117 567 \$)	(119 524 \$)
2056	(1 879 \$)	0 \$	(113 045 \$)	(114 924 \$)
2057	(1 811 \$)	0 \$	(108 697 \$)	(110 508 \$)
2058	(1 743 \$)	(20 644 \$)	(104 517 \$)	(126 904 \$)
2059	(1 674 \$)	0 \$	(100 497 \$)	(102 171 \$)
2060	(1 613 \$)	0 \$	(96 632 \$)	(98 244 \$)
2061	(1 551 \$)	0 \$	(92 915 \$)	(94 466 \$)
2062	(1 491 \$)	0 \$	(89 341 \$)	(90 832 \$)
2063	(1 432 \$)	0 \$	(85 905 \$)	(87 337 \$)
2064	(1 377 \$)	0 \$	(82 601 \$)	(83 978 \$)
TOTAL	(216 307 \$)	(623 375 \$)	(12 610 457 \$)	(13 450 139 \$)



FQM

INGÉNIERIE ET
INFRASTRUCTURES



Les Îles-de-la-Madeleine
Municipalité

Annexe 13 :

**Rencontre d'information publique – Projet de protection
de plage, secteur Cap-aux-meules, Îles-de-la-Madeleine**



INVITATION AUX MÉDIAS

Séance d'information sur l'érosion

Îles-de-la-Madeleine, le 4 février 2020 – La Communauté maritime des Îles-de-la-Madeleine, les ministères des Transports, de la Sécurité publique, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, des Affaires municipales et de l'Habitation, la Direction de la santé publique, Hydro-Québec, l'UQAR, Attention Fragiles et le CERMIM invitent les médias à une séance d'information lors de laquelle les différentes organisations expliqueront leur rôle respectif et feront le point sur leurs priorités et les enjeux auxquels ils sont confrontés.

La soirée se déroulera en deux volets :

- Une série de présentations en plénière entre 19 h et 20 h 30
- Visite de kiosques animés par différents ministères et organisations

Selon l'achalandage des kiosques, il sera possible pour les membres des médias d'obtenir des entrevues avec les représentants des différents ministères et organisations figurant dans la liste ci-dessous :

- **MTQ** : Yves Berger, directeur régional
- **MSP** : Janique Lebrun, directrice régionale
- **Communauté maritime** : Serge Bourgeois, directeur de l'aménagement du territoire et de l'urbanisme
- **Communauté maritime** : Jonathan Lapierre, Maire et président de la Communauté maritime
- **Hydro-Québec** : Catherine Bujold, Conseillère – Relations avec le milieu
- **UQAR** : Susan Drejza, professionnelle de recherche
- **Attention fragiles** : Marie-Ève Giroux, directrice
- **CERMIM** : Isabelle Cummings, coordinatrice de la gestion des projets et des communications

Toutes demandes médias concernant les organismes suivants doivent être contactés comme suit :

- **Santé publique** : Louis-Charles Rainville, PhD, Agent de planification, programmation et recherche en Santé Environnementale - louis-charles.rainville.ciasssgaspesie@ssss.gouv.qc.ca
- **MELCC** : relations.medias@environnement.gouv.qc.ca
- **MAMH** : 418 691-2015, poste 3746, ou medias@mamh.gouv.qc.ca

Séance d'information – Érosion des berges

Date : Mardi 4 février, de 19 h à 21 h 30

Lieu : Salle communautaire de Cap-aux-Meules

-30-

Pour information ou information au sujet des entrevues:

Nathalie Cyr, Coordinatrice aux communications

ncyr@muniles.ca

418 986-3100, poste 261