
**Présenté au ministère du Développement durable, de
l'Environnement, de la Faune et des Parcs**

**Analyse et impacts des variantes de protection de
berges envisagées**

Isle-aux-Coudres

N/Réf. : 102197.001

Rapport final

Roche Itée, Groupe-conseil
3075, chemin des Quatre-Bourgeois, bureau 300
Québec (Québec) Canada G1W 4Y4
T 418 654-9600 F 418 654-9699
www.roche.ca



**Présenté au ministère du Développement durable, de
l'Environnement, de la Faune et des Parcs**

**Analyse et impacts des variantes de protection de
berges envisagées**

Isle-aux-Coudres

N/Réf. : 102197.001

Rapport final

Janvier 2013

Table des matières

| | |
|--|----|
| Table des matières..... | i |
| Liste des tableaux | ii |
| Liste des annexes | ii |
| 1 Introduction..... | 1 |
| 2 Résultats de l'étude hydraulique des variantes..... | 3 |
| 3 Description de la variante retenue | 7 |
| 4 Critères décisionnels retenus pour justifier une intervention de stabilisation par enrochement | 9 |
| 5 Interventions prévues à court et moyen terme..... | 11 |
| 6 Évaluation de la superficie de l'empiètement des enrochements sous la cote d'inondation de 0-2 ans | 13 |
| 7 Révision du programme de suivi..... | 15 |
| 8 Références citées..... | 17 |

Liste des tableaux

| | | |
|--------------------|--|----|
| Tableau 2.1 | Comparaison des trois variantes considérées..... | 5 |
| Tableau 3.1 révisé | Caractéristiques des sept (7) secteurs visés par des travaux à court terme suite aux relevés de l'automne 2009 | 12 |

Liste des annexes

| | |
|----------|--|
| Annexe 1 | Étude hydraulique (Consultants Ropars inc, 2012) |
| Annexe 2 | Étude du suivi du MTQ sur l'état de deux sections de plage suite aux enrochements réalisés |

1 Introduction

Le ministère des Transports (MTQ) et la municipalité de l'Isle-aux-Coudres projettent la réalisation de travaux de protection des berges en bordure de route de sept secteurs riverains. Ce projet de stabilisation vise à assurer la stabilité de la route pour éviter de compromettre notamment les déplacements routiers des services municipaux d'urgence afin d'éviter de porter atteinte à la santé et la sécurité des insulaires et visiteurs (dont les cyclistes).

Pour ce faire, les promoteurs ont déposé, en avril 2010, une étude d'impact sur l'environnement et le milieu social en vertu de l'article 31.2 de la *Loi sur la qualité de l'environnement*.

Suite au dépôt de l'étude d'impact et des deux documents de réponses aux questions du MDDEFP, ce dernier a demandé aux initiateurs du projet d'évaluer la possibilité d'avoir recours à des alternatives de protection autres que l'enrochement prévu à l'étude d'impact et d'évaluer les effets prévus de ces alternatives sur l'environnement.

Une étude hydraulique maritime a donc été réalisée et ses résultats ont été présentés auprès des analystes du projet au MDDEFP, lors d'une réunion tenue le 2 novembre 2012. Suite à cette rencontre, ces derniers ont demandé aux promoteurs du projet de présenter les éléments suivants :

- Les résultats de l'étude hydraulique réalisée par les Consultants Ropars inc.;
- La variante retenue suite aux conclusions de cette étude;
- Les critères décisionnels qui justifient la nécessité de réaliser un enrochement;
- Les segments de berge qui requièrent une intervention à court terme (en 2013) et ceux qui requièrent une intervention à moyen terme (à l'intérieur de la période de validité du futur décret);
- Une évaluation de la superficie de l'empiètement des enrochements prévus sous la cote de récurrence d'inondation 0-2 ans;
- Une révision du programme de suivi présenté dans le document de réponses à la 2e série de questions du MDDEFP (Roche, 2011).

Le présent document présente les réponses des promoteurs du projet à ces requêtes.

2 Résultats de l'étude hydraulique des variantes

L'étude hydraulique est présentée à l'annexe 1.

Les principaux constats relatifs à chacune des variantes étudiées (rip-rap, recharge de plage, enrochement) qui en sont issus sont présentés au tableau 2.1.

La variante qui a été retenue suite à l'étude hydraulique est celle présentant le moins d'impacts négatifs, soit l'enrochement. Cette variante est décrite en détail au chapitre suivant.

Tableau 2.1 Comparaison des trois variantes considérées

| Variantes envisagées: | Recharge en plage | Protection en «rip-rap» | Enrochement |
|---|---|---|---|
| Impacts environnementaux anticipés | | | |
| Empiètement dans l’habitat du poisson | Très élevé Empiète sur toute la plage et au-delà de celle-ci, sur le platier rocheux | Élevé Empiète sur toute la plage et au-delà de celle-ci, sur le platier rocheux | Faible Partie supérieure de la plage seulement ou haute plage seulement |
| Empiètement dans les herbiers de spartine | Très élevé Destruction car mise en place directement sur cette zone Impact indirect (étalement des | Élevé Destruction car mise en place directement sur cette zone | Nul Mise en place hors de cette zone |
| Empiètement dans la végétation terrestre de haut de plage ¹ | Très élevé Mise en place à partir du trait de côte | Très élevé Mise en place à partir du trait de côte | Très élevé Mise en place à partir du trait de côte |
| Potentiel de recolonisation (au moins partielle) par la végétation terrestre naturelle en haut de plage | Relativement faible car peu d’interstices | De faible à relativement modéré selon les endroits | De faible à relativement modéré selon les endroits Des espèces végétales annuelles poussent actuellement dans la laisse de mer (interstices des pierres) des enrochements faits depuis 2008 |
| | Fosse de plantation dans l’accotement possible | Fosse de plantation dans l’accotement possible | Fosse de plantation dans l’accotement possible |
| Risque à moyen terme d’abaissement de la plage | Très faible (rehaussement du profil) Pas de réflexion sur un ouvrage rigide, mais la plage n'aurait plus d'aspect naturel non plus | Faible Selon les endroits et les événements climatiques, si l'ouvrage est affaibli au fil du temps | Les résultats de suivi sur 5 ans (annexe 2) n'ont pas montré de signe d'abaissement de la plage Selon les endroits et les événements climatiques Il est prévu que cet aspect fasse l'objet d'un suivi envrionnemental (voir la section 7 du présent document) |
| Impact visuel et social anticipé | | | |
| Conservation de l’aspect naturel du milieu côtier | Avec des matériaux naturels : aspect ressemblant à une plage de galets grossiers Avec des matériaux dynamités : aspect perturbé | Aspect de blocs déversés | L'aspect massif de l’ouvrage est atténué par la reprise de la végétation Aspect naturel pour le reste de la plage |
| Possibilité de marcher sur la plage | Possible même si les matériaux sont grossiers (naturels) Difficile voire impossible si matériaux dynamités | Impossible car empiète sur toute la plage | Possible devant l’ouvrage sur la plage restante Impossible sur l’ouvrage lui-même |
| Revanche au-dessus du niveau actuel de la route | Aucune | Faible à élevée, selon les critères de conception | Faible à élevée, selon les critères de conception |
| Pérennité de l’ouvrage | | | |
| Action déstabilisante des glaces sur l’ouvrage | Peu d’effet | Effets peuvent être importants | Effets relativement faibles |
| Résistance aux tempêtes combinée à de hauts niveaux d’eau | Assez résistante Assez résiliente, car les vagues sont ralenties à l'approche du trait de côte et la réflexion des vagues sur la plage est très faible | Relativement résistant Les blocs de plus petit calibre peuvent être déplacés | Relativement résistant Surtout sensible au déferlement lorsqu'il se produit directement sur l’ouvrage (aucun obstacle pour ralentir les vagues) Aucun déplacement depuis 5 ans, sauf les secteurs municipaux touchés en 2010. |
| Disponibilité des matériaux | Approvisionnement difficile (matériaux naturels tamisés et en grande quantité ou roc dynamité) et quantités très importantes | Carrières situées à extérieur de l’île et quantités très importantes | Carrières situées à extérieur de l’île et quantités importantes |
| Coût de l’ouvrage | | | |
| | Très élevé | Moyen à élevé | Moyen à élevé |

Note 1: La zone à enrocher est souvent exempte de végétation terrestre puisqu'elle est en érosion active.

3 Description de la variante retenue

Tel que prévu à l'étude d'impact (page 79) et au document de réponses à la première série de questions (pages 23 et 27), la coupe-type comprend la mise en place d'un géotextile entre le terrain naturel et l'enrochement afin d'éviter l'affouillement sous-jacent et une fosse de plantation de végétaux (indigènes et naturalisés) au sommet. Il s'agit donc d'une technique mixte de génie végétal qui est proposée, incluant des végétaux implantés dans une fosse de plantation protégée par un dallage de pierres. Cette technique a été utilisée avec succès dans le cadre de nombreux projets (ex. route 175).

La coupe-type initialement présentée à l'étude d'impact a été bonifiée. Ainsi, une partie des déblais qui seront issus de l'excavation pour la mise en place de la clé d'enrochement seront placés au pied de l'enrochement de façon à la recouvrir et y réaliser une plantation d'élyme des sables (espèce végétale indigène). Ces déblais, représentant un volume d'environ un mètre cube par mètre linéaire de berge, sont composés de sable et gravier.

Quant à la réduction de la capacité de production du milieu et plus particulièrement à l'habitat de reproduction du capelan, le tableau 2.1 indique que les enrochements ne toucheront que la partie supérieure de la plage ou la haute plage.

Par ailleurs, le MTQ s'est engagé, dans le document de réponses à la première série de questions (p. 14), à bonifier la coupe-type des travaux si les données amassées dans le cadre du programme de suivi démontraient que la présence des ouvrages induit des impacts sur le milieu. Il importe par ailleurs de préciser qu'on ne trouve que deux sites de reproduction du capelan (voir carte 2.5 du document de réponses à la deuxième série de questions (Roche, 2010)), soit l'un vis-à-vis l'extrémité nord de l'île Le Petit Pilier et l'autre du côté nord-ouest de l'île. Une intervention est prévue sur une partie de la côte située face au premier site, soit uniquement la réfection d'une structure existante, tandis qu'au droit du second site, aucune intervention n'est prévue. Aucun impact n'est donc anticipé sur l'habitat de reproduction du capelan.

Enfin, le MTQ a procédé à une étude du suivi de deux sections de plage suite aux enrochements réalisés (annexe 2) qui a démontré que les enrochements n'ont pas affecté l'environnement de la plage de façon significative, outre le remblai lui-même, malgré des événements de fortes marées et de tempêtes, tels que ceux connus en 2010.

4 Critères décisionnels retenus pour justifier une intervention de stabilisation par enrochement

Tel que mentionné dans les documents de réponses aux questions (Roche, 2010 et 2011), les critères qui seront considérés afin de justifier le déclenchement d'une intervention de stabilisation ont été établis sur les avis techniques des ingénieurs du MTQ et relèvent de la sécurité routière (capacité de portance de la route). Il s'agit de:

- Un taux de recul rapide du talus d'érosion;
- La présence d'une encoche d'érosion favorisant l'affouillement sous la structure de la chaussée et qui pourrait menacer la sécurité des usagers;
- La faible distance entre le haut du talus d'érosion et la route.

À ces critères s'ajoute un nouveau déclencheur :

- une distance minimale de 2 m entre le haut du talus d'érosion et l'accotement de la route.

Ces critères permettront de recommander des travaux de stabilisation avant que ceux-ci ne requièrent l'émission d'un décret d'urgence.

5 Interventions prévues à court et moyen terme

La longueur totale de routes en bordure de rive à l'Isle-aux-Coudres est de quelque 23 km. De ce total, 7 tronçons totalisant 12,3 km ont été identifiés comme nécessitant une intervention à court et moyen termes. Ils ont fait l'objet d'une caractérisation en septembre 2009. Ils n'ont toutefois pas été relevés à l'aide d'une station d'arpentage, de sorte qu'ils ne sont pas rattachés à un chaînage précis.

Par ailleurs, étant donné la grande dynamique du milieu (grandes marées printanières et automnales, actions érosives des vents et des glaces, etc.), l'état dégradé de plusieurs secteurs, les délais ayant eu cours depuis le dépôt de l'étude d'impact et ceux à prévoir avant l'émission du décret et des certificats d'autorisation, les emplacements précis des travaux de stabilisation requis ne peuvent être présentés de façon définitive, de sorte qu'il n'y a pas de chaînages précis d'intervention déterminés; ces chaînages seront précisés lors du dépôt des demandes de CA.

Le tableau 1 fourni au document de réponses à la deuxième série de questions (Roche, 2011, page 19) constitue l'information la plus précise qu'il soit possible de présenter. Le tableau 3.1 révisé présenté ci-après a été généré à partir de la carte 2 de l'annexe 3 du document de réponses à la deuxième série de questions (Roche, 2011).

Tableau 3.1 révisé Caractéristiques des sept (7) secteurs visés par des travaux à court terme suite aux relevés de l'automne 2009

| Secteur | Sans intervention (m) | | Travaux à réaliser (m) à court terme | | Total des travaux requis en 2009 (m) |
|--|--------------------------|---------------------|--------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------------|
| | Côte non protégée stable | Ouvrage en bon état | Nécessite une réfection importante | Nouvel enrochement à construire | Longueur de côte à stabiliser |
| 1. Chemin des Prairies | 3715 | 230 | 240 | 137 | 377 |
| 2. Pointe de l'Est | 110 | 70 | 429 | 14 | 443 |
| 3 et 4 Chemin des Coudriers | 55 | 1590 | 874 | 1825 | 2699 |
| Longueurs autorisées par décret d'urgence | | | | | -221 |
| Total des longueurs visées par la présente étude dans ce secteur | | | | | 2478 |
| 5. Pointe du Nord-Est et secteur additionnel | 875 | 60 | 85 | 220 | 305 |
| 6. Chemin de la Bourroche | 690 | 140 | 296 | 884 | 1180 |
| Longueurs autorisées par décret d'urgence | | | | | -629 |
| Total des longueurs visées par la présente étude dans ce secteur | | | | | 551 |
| 7. Chemin du Mouillage | 0 | 1000 | 0 | 245 | 245 |
| Total des longueurs visées par la présente étude à court terme | | | | | 4399 |

Tel que mentionné au document de réponses à la première série de questions (Roche, 2010, page 1), des sept (7) tronçons de berges totalisant 12,3 km, 4,4 km de rives requièrent une stabilisation à court terme. Les secteurs relevant du MTQ sont les secteurs nos. 3 et 4, tandis que ceux relevant de la municipalité sont les secteurs nos. 1, 2, 5, 6 et 7. Le tableau 3.1 révisé précédent permet de constater que pour les secteurs relevant du MTQ, 2478 m requièrent une stabilisation, alors que pour la municipalité, il s'agit de 1921 m, pour un total de 4399 m.

6 Évaluation de la superficie de l'empiètement des enrochements sous la cote d'inondation de 0-2 ans

Tel qu'il a été indiqué au document de réponses à la deuxième série de questions (Roche, 2011), en considérant une largeur moyenne d'intervention sous la cote de 0-2 ans de 2,3 m (selon la coupe-type présentée au chapitre 3) pour une longueur d'intervention totale prévue à court terme de 4399 m, l'empiètement correspondant est de 10 118 m².

Pour les travaux qui seront requis à moyen terme (soit $12,3 - 4,4 = 7,9$ km), ce sont les critères décisionnels cités au chapitre 4 qui permettront d'identifier les secteurs où une intervention est requise à moyen terme.

Par ailleurs, puisque le MDDEFP n'a pas exigé de compensation dans le cadre des travaux d'enrochement d'urgence (sur 1541 m, soit 903+135+503), ni dans le cadre des travaux réalisés par le MTQ dans le cadre d'une demande de certificat d'autorisation en 2009, aucun projet de compensation n'est envisagé.

7 Révision du programme de suivi

Le programme de suivi présenté dans le document de réponses à la 2e série de questions du MDDEFP (Roche, 2011) était une version préliminaire qui sera révisée en fonction des recommandations des chercheurs de l'UQAR et de l'INRS qui seront sollicités pour ce faire.

Ce suivi permettra de mieux comprendre la dynamique côtière suite aux enrochements. La méthodologie de suivi sera établie à l'aide des chercheurs qui seront mis à contribution. Il pourrait permettre notamment, pour des projets futurs, de bonifier les coupes-types d'enrochement du MTQ. Toutefois, les résultats de l'étude du suivi sur 5 ans de l'état de deux sections de plage suite aux enrochements du MTQ (annexe 2) indiquent que dans la portion de plage située devant les enrochements, ni la largeur de la plage, ni sa granulométrie, ni le positionnement du marais à spartine ne semblent avoir changé, et ce malgré des événements de tempêtes et de fortes marées qui ont entraîné d'importants dégâts riverains ailleurs autour de l'île.

8 Références citées

- Roche, 2011. Réponses à la deuxième série de questions du ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs. Stabilisation des berges en bordure de routes à l'Isle-aux-Coudres – Étude d'impact sur l'environnement. 25 p. + 3 annexes.
- Roche, 2010. Réponses aux questions du ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs. Stabilisation des berges en bordure de routes à l'Isle-aux-Coudres – Étude d'impact sur l'environnement. 35 p. + 4 annexes.



Stabilisation des berges en bordure de routes

Isle-aux-Coudres, Québec

Dossier 7103-12-FA10

Rapport technique **FINAL**



Par

Yann ROPARS, ing., M.Sc.



CONSULTANTS ROPARS INC
3643, Chemin Saint-Louis
Québec (Québec) G1W 1T2
yann_ropars@videotron.ca

Décembre 2012

Pour



On gère de près

TABLES DES MATIÈRES

| | |
|---|-----------|
| <u>1 Introduction.....</u> | <u>1</u> |
| <u>2 État des lieux.....</u> | <u>4</u> |
| <u>2.1 Définition de la zone à l'étude.....</u> | <u>4</u> |
| <u>2.2 Observations générales.....</u> | <u>5</u> |
| <u>2.3 Visite du MTQ.....</u> | <u>5</u> |
| <u>2.4 Photos XEOS.....</u> | <u>5</u> |
| <u>2.5 Secteur sud-ouest du Chemin des Coudriers.....</u> | <u>6</u> |
| <u>2.6 Secteur central du Chemin des Coudriers.....</u> | <u>10</u> |
| <u>2.7 Secteur nord-est du Chemin des Coudriers.....</u> | <u>15</u> |
| <u>2.8 Interprétation des observations.....</u> | <u>17</u> |
| <u>3 Données de base.....</u> | <u>18</u> |
| <u>3.1 Plans de bathymétrie et topographie.....</u> | <u>18</u> |
| <u>3.2 Rapport de géotechnique.....</u> | <u>18</u> |
| <u>4 Niveaux d'eau.....</u> | <u>19</u> |
| <u>4.1 Source de l'information.....</u> | <u>19</u> |
| <u>4.2 Station du SHC au port de référence de Pointe-au-Père.....</u> | <u>19</u> |
| <u>4.3 Niveaux d'eau hauts actuels à Rimouski.....</u> | <u>20</u> |
| <u>4.4 Niveaux d'eau hauts actuels devant Saint-Joseph-de-la-Rive.....</u> | <u>21</u> |
| <u>4.5 Influence des changements climatiques sur les niveaux d'eau hauts.....</u> | <u>23</u> |
| <u>4.6 Niveaux d'eau hauts recommandés à Saint-Joseph-de-la-Rive.....</u> | <u>24</u> |
| <u>5 Vagues au large.....</u> | <u>25</u> |
| <u>5.1 Génération des vagues</u> | <u>25</u> |
| <u>5.2 Vents.....</u> | <u>25</u> |
| <u>5.3 Fetchs.....</u> | <u>28</u> |
| <u>5.4 Calcul des hauteurs et direction des vagues.....</u> | <u>30</u> |
| <u>6 Vagues près du rivage.....</u> | <u>34</u> |
| <u>6.1 Réfraction</u> | <u>34</u> |
| <u>6.2 Élévation de la berge.....</u> | <u>34</u> |
| <u>6.3 Hauteur de vagues recommandée près de la rive.....</u> | <u>36</u> |
| <u>6.4 Calcul de l'élévation de la crête des enrochements ou du mur.....</u> | <u>37</u> |
| <u>6.5 Méthodes de protection de berge.....</u> | <u>39</u> |
| <u>6.6 Calcul de la grosseur des enrochements de type rip-rap.....</u> | <u>40</u> |

| | |
|---|----|
| 6.7 Coupes-types d'enrochements de type rip-rap..... | 41 |
| 6.8 Évaluation des quantités d'enrochement..... | 42 |
| 7 Concepts de recharge de plage..... | 43 |
| 7.1 Concept | 43 |
| 7.2 Profil d'équilibre de la plage actuelle..... | 44 |
| 7.3 Profils d'équilibre d'une plage rechargée..... | 44 |
| 7.4 Évaluation des quantités de matériel de recharge..... | 45 |
| 8 Conclusion et recommandations..... | 46 |
| 8.1 Conclusion..... | 46 |
| 8.2 Recommandations..... | 47 |

1 Introduction

L'île aux Coudres, où se trouve la municipalité de l'Isle-aux-Coudres, est située dans l'estuaire supérieur du Saint-Laurent, en face de Baie-Saint-Paul, à une centaine de kilomètres au nord-est de Québec (figure 1.1).

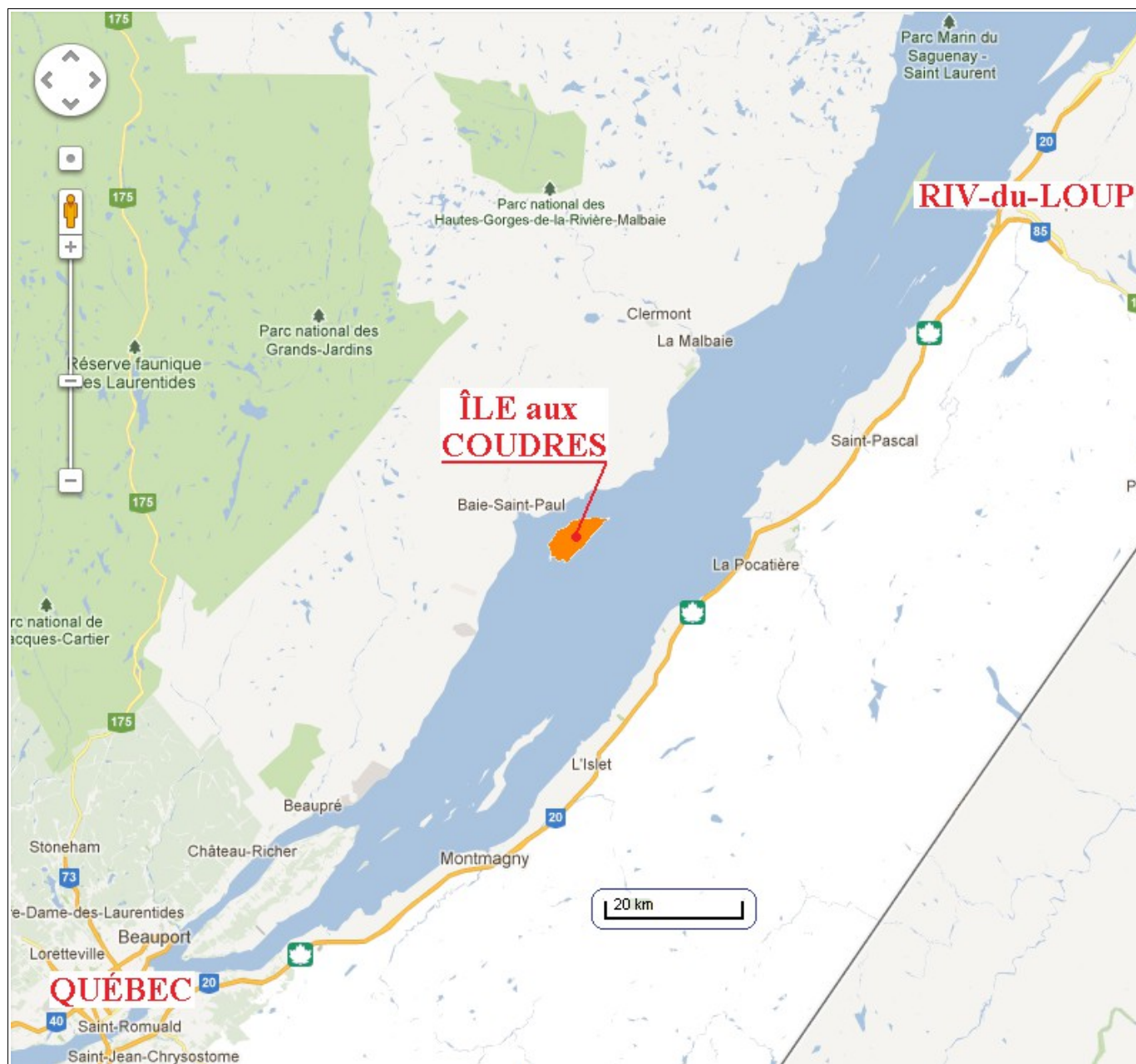


Figure 1.1 Localisation de l'île aux Coudres – Fleuve Saint-Laurent (Google™ Map)

L'environnement côtier de l'île aux Coudres se caractérise par des battures relativement étroites du côté du chenal principal du fleuve Saint-Laurent qui passe au nord et à l'ouest de l'île et par de grandes battures sur les faces sud-est et sud de l'île.

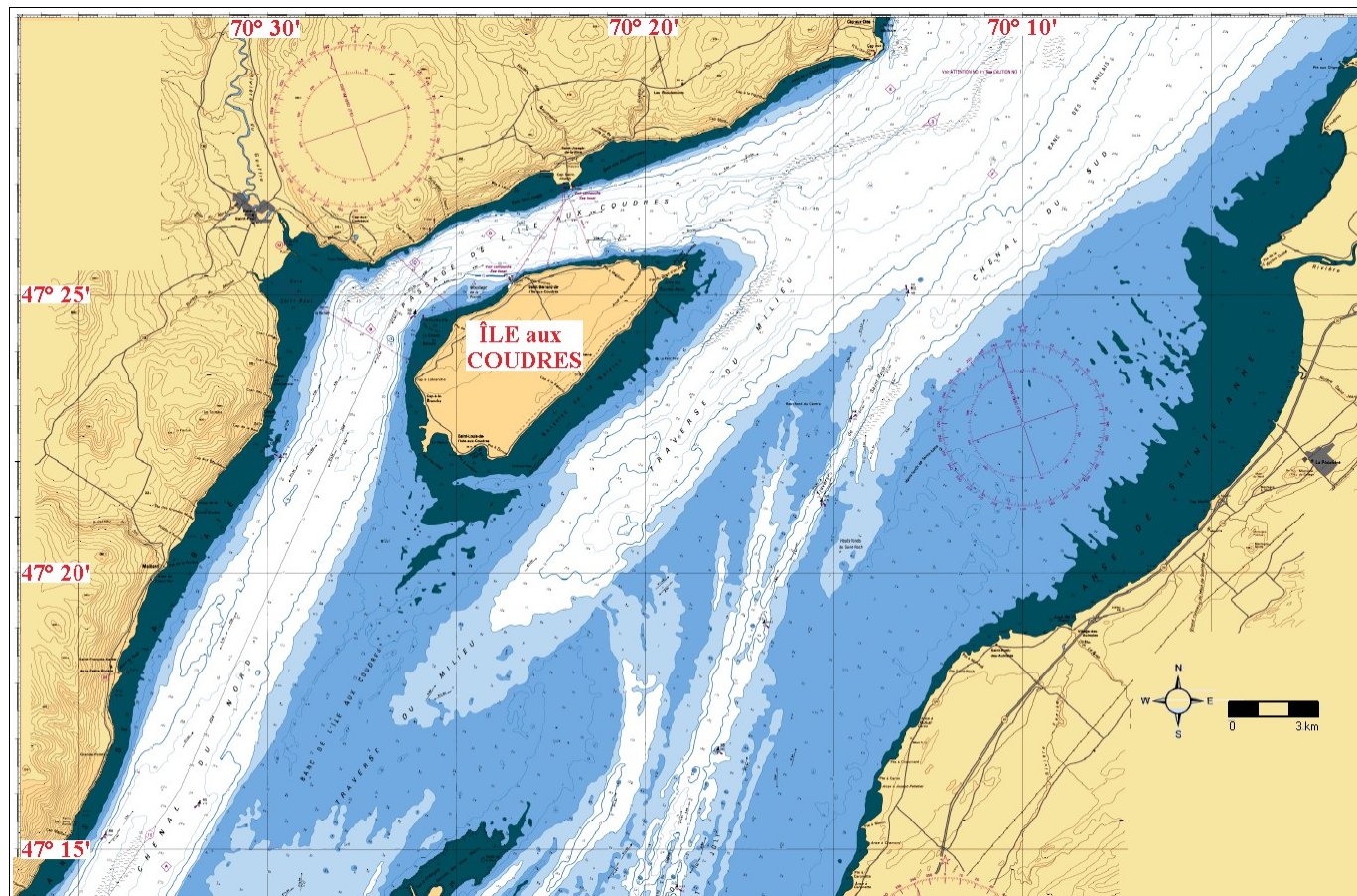


Figure 1.2 Localisation de l'île aux Coudres – Fleuve Saint-Laurent (carte marine 1233)

Les berges de la face sud-est de l'île aux Coudres sont plus particulièrement affectées que les autres berges de l'île par l'érosion et les risques de submersion qui touchent cette zone. Les infrastructures situées en bordure de côte sont actuellement relativement protégées par des plages et des enrochements, mais l'élévation de la crête de ces ouvrages de protection semble parfois insuffisante pour protéger les terrains lors d'épisodes de très hauts niveaux d'eau (onde de tempête ou surcote) comme cela s'est produit le 6 décembre 2010.

Le ministère des Transports du Québec (MTQ) a mandaté Roche ltée, Groupe-conseil (Roche) pour examiner les solutions de protection de la berge sud-est de l'île aux Coudres. Le mandat « *consiste à réaliser une étude hydraulique maritime et la préparation des plans et devis pour la construction d'un ouvrage de protection des berges (recharge de plage) afin de contrer l'érosion tout en minimisant les*

impacts sur l'environnement ainsi qu'à évaluer les effets des travaux sur l'ensemble de la cellule hydrosédimentaire¹ ».

Roche a demandé à Consultants Ropars inc. d'examiner plus particulièrement les aspects hydrodynamiques du phénomène d'érosion de la berge sud-est de l'île aux Coudres et de l'assister dans la définition des travaux qui pourraient être envisagés pour contrer cette érosion.

Ce document présente la situation sur le terrain et les évaluations (analyse des vagues, analyse des niveaux d'eau, solutions de protection de berge) faites pour aboutir à une recommandation d'intervention de protection de berges sur la face sud-est de l'île aux Coudres.

¹MTQ, Mandat : 7103-12-FA10, Contrat à exécution sur demande de services professionnels, 12 mars 2012

2.2 Observations générales

Le secteur concerné par le mandat se situe le long du Chemin des Coudriers sur la rive sud-est de l'île aux Coudres. La figure 2.2 décrit le système de chaînage qui sert de repère pour les travaux de protection de berge du MTQ dans le secteur du chemin des Coudriers à l'étude.



Figure 2.2 Localisation des chaînages servant de repère aux travaux de protection de berge

2.3 Visite du MTQ

Une visite de l'ensemble des berges de la municipalité de l'Isle-aux-Coudres a été faite par Roche. La visite de la rive sud-est de l'île, celle plus particulièrement visée par ce mandat, s'est déroulée (selon les informations tirées du fichier Excel qui accompagnait les photos) du 24 au 28 août et le 31 août 2009.

2.4 Photos XEOS

Des photos aériennes ont été prises par la compagnie XEOS le 2 juillet 2008 dans le secteur à l'étude ainsi que dans les autres secteurs de l'île.

2.5 Secteur sud-ouest du Chemin des Coudriers

Cette zone débute quelques centaines de mètres à l'est du quai de l'Anse et s'étend jusqu'au départ du Chemin de la Baleine au niveau de l'aéroport de l'Isle-aux-Coudres (chaînages 7+520 à 10+000).

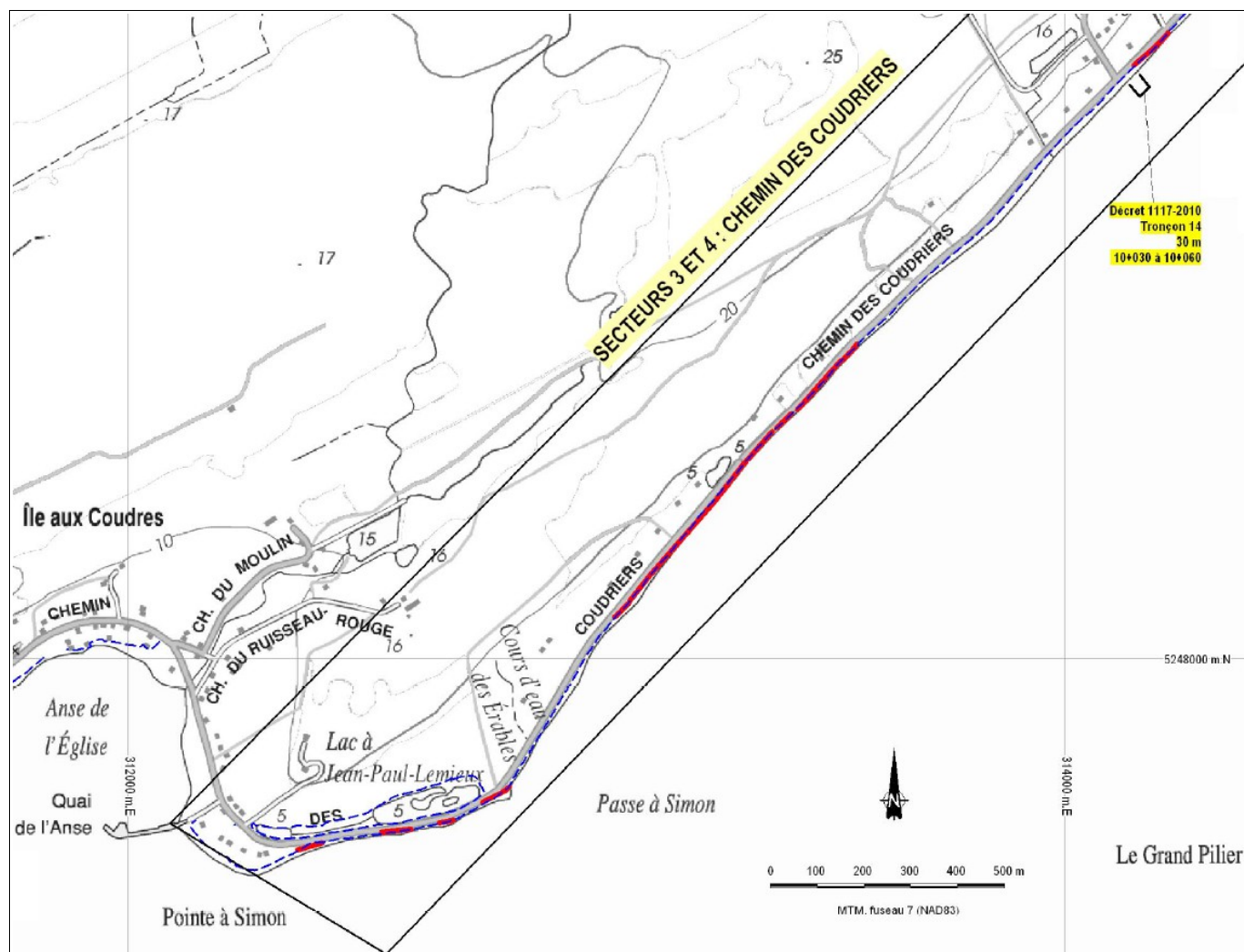


Figure 2.3 Secteur sud-ouest de la zone à l'étude

Les deux figures suivantes présentent une photo de la micro-falaise d'érosion (figure 2.4, en août 2009) et une photo de la protection de berge en enrochements devant une plage essentiellement constituée de galets et cailloux (figure 2.5).



Figure 2.4 Photo du MTQ du 24 août 2009 – Érosion dans le secteur de la Pointe à Simon (chaînage approximatif 7+800)



Figure 2.5 Photo du MTQ du 24 août 2009 – Enrochement dans le secteur de la Pointe à Simon

Les deux figures suivantes présentent la constitution (galets et cailloux) du bas de la plage et la micro-falaise d'érosion au droit de la Pointe à Simon (voir figure 2.3). Le remblai servant d'assise à la route provient visiblement de matériaux « importés » et non de matériaux de haut de plage originaux. La route a donc été construite à cet endroit par mise en place d'un remblai artificiel (tout-venant) sur le haut de plage.



Figure 2.6 Photo du MTQ du 24 août 2009 – Plage et batture du côté est de la Pointe à Simon



Figure 2.7 Photo du MTQ du 24 août 2009 – Érosion du côté est de la Pointe à Simon

Les photos suivantes présentent l'érosion qui a presque atteint les arbres tout en préservant une partie de la végétation de haut de plage (figure 2.8) et de la pierre de protection relativement petite (figure 2.9).



Figure 2.8 Photo du MTQ du 25 août 2009 – Érosion (ch. approx. 8+800)



Figure 2.9 Photo du MTQ du 25 août 2009 – Enrochement récent (ch. approx. 8+900)

2.6 Secteur central du Chemin des Coudriers

Cette zone s'étend du début du Chemin de la Baleine jusqu'au nord-est du Chemin de la Traverse ou Route de la Tourbière (chaînages 10+000 à 12+500).

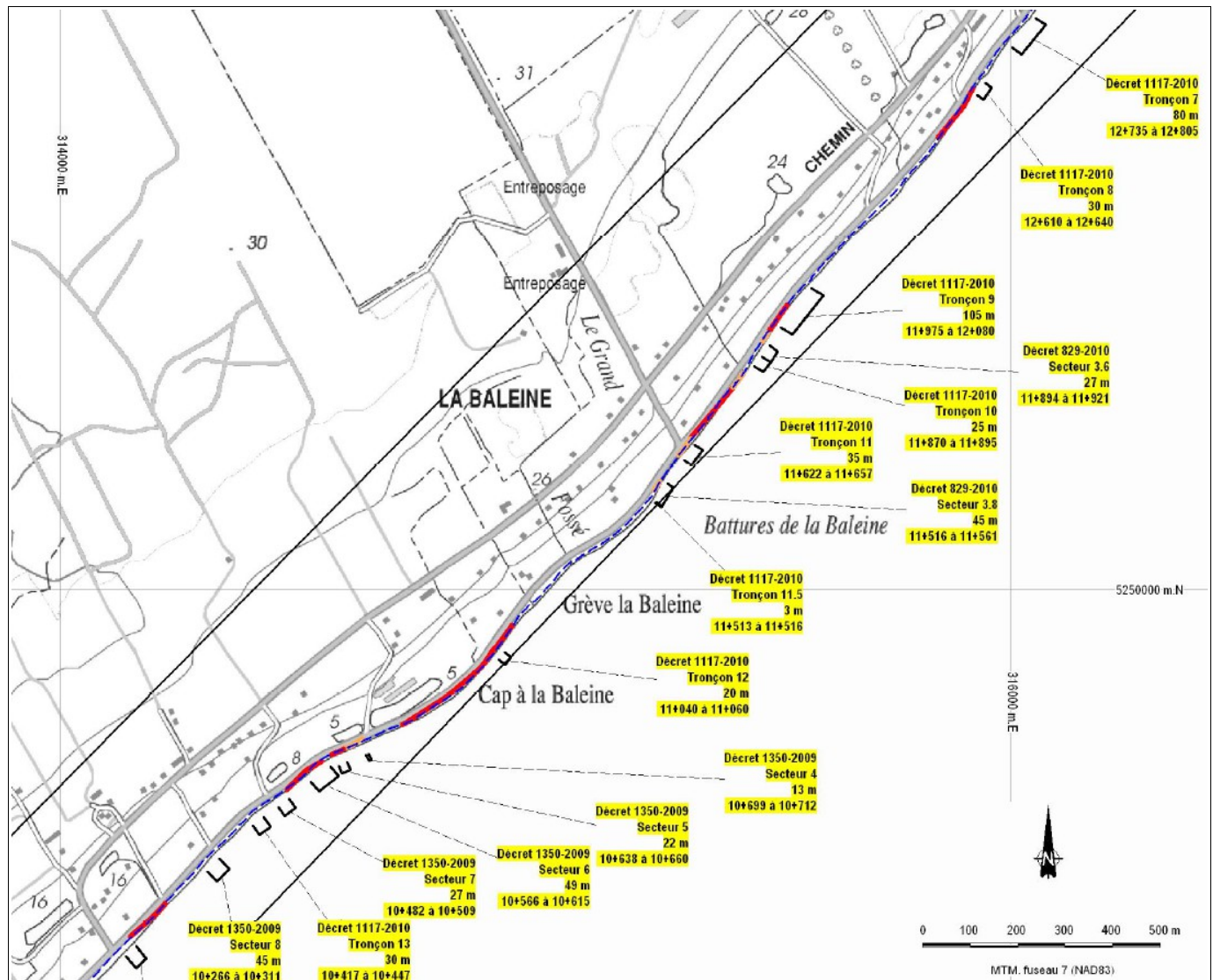


Figure 2.10 Secteur central de la zone à l'étude

Les photos suivantes présentent la configuration de la plage et de la batture (sable et gravier, spartines – figure 2.11) et l'érosion qui affecte les racines des arbres (figure 2.12). Le « génie végétal » dans le contexte de l'estuaire supérieur du Saint-Laurent atteint très vite ses limites en haut de plage, les vagues étant relativement fortes et les glaces endommageant les réseaux racinaires, même ceux des arbres matures.



Figure 2.11 Photo du MTQ du 25 août 2009 – Plage et batture (ch. approx. 10+200)



Figure 2.12 Photo du MTQ du 25 août 2009 – Déracinement d'arbres (ch. approx. 10+500)

La figure 2.13 présente un ouvrage de protection de berge fait de gabions (contenants de grillage métallique remplis de petite pierre). Cette protection de berge était fonctionnelle au moment de la photo, mais il s'agit d'une protection en général très fragile et peu durable dans cet environnement.



Figure 2.13 Photo du MTQ du 26 août 2009 – Protection en gabions du côté sud-ouest du Cap à la Baleine (ch. approx. 10+700)

La figure 2.14 présente une falaise d'érosion dépassant le mètre de hauteur à proximité de la route. Quelques pierres isolées de l'ordre du mètre de diamètre se trouvent sur la plage et le remblai en érosion est un remblai de tout-venant. Les arbres étaient en 2009 sur le point de tomber.



Figure 2.14 Photo du MTQ du 26 août 2009 – Déracinement d'arbres (ch. approx. 10+900)

Les figures 2.15 et 2.16 présentent un mécanisme d'érosion de berge qui semble passer par-dessus la végétation de haut de plage pour attaquer la berge. L'érosion est nettement plus sévère dans le cas de la figure 2.15 que dans le cas de la figure 2.16. Les laisses de haute mer indiquent que toute la zone doit se retrouver régulièrement sous l'eau, les niveaux d'eau dans les jours précédant la photo ayant tout juste atteint +6,6 m ZC à Saint-Joseph-de-la-Rive, alors que les extrêmes de niveau d'eau de cette station sont de l'ordre de +8,0 m ZC (voir chapitre 4).



Figure 2.15 Photo du MTQ du 26 août 2009 – Érosion en arrière de la végétation de haut de plage (ch. approx. 11+100)



Figure 2.16 Photo du MTQ du 26 août 2009 – Double micro-falaise d'érosion (ch. approx. 11+300)

Les deux figures suivantes présentent des protections de berges (en gabion sur la figure 2.17 et en enrochement traditionnel sur la figure 2.18). L'enrochement de la figure 2.18 a visiblement subi des dommages, plusieurs pierres (de petit calibre) se retrouvant sur la plage. La végétation semble très bien implantée à travers les enrochements de protection de berge.



Figure 2.17 Photo du MTQ du 27 août 2009 – Protection en gabions (ch. approx. 11+500)



Figure 2.18 Photo du MTQ du 27 août 2009 – Protection de berge endommagée (ch. approx. 12+300)

2.7 Secteur nord-est du Chemin des Coudriers

Cette zone comprend la dernière partie du secteur jusqu'au Cap aux Pierres (chaînages 12+500 à 15+000).

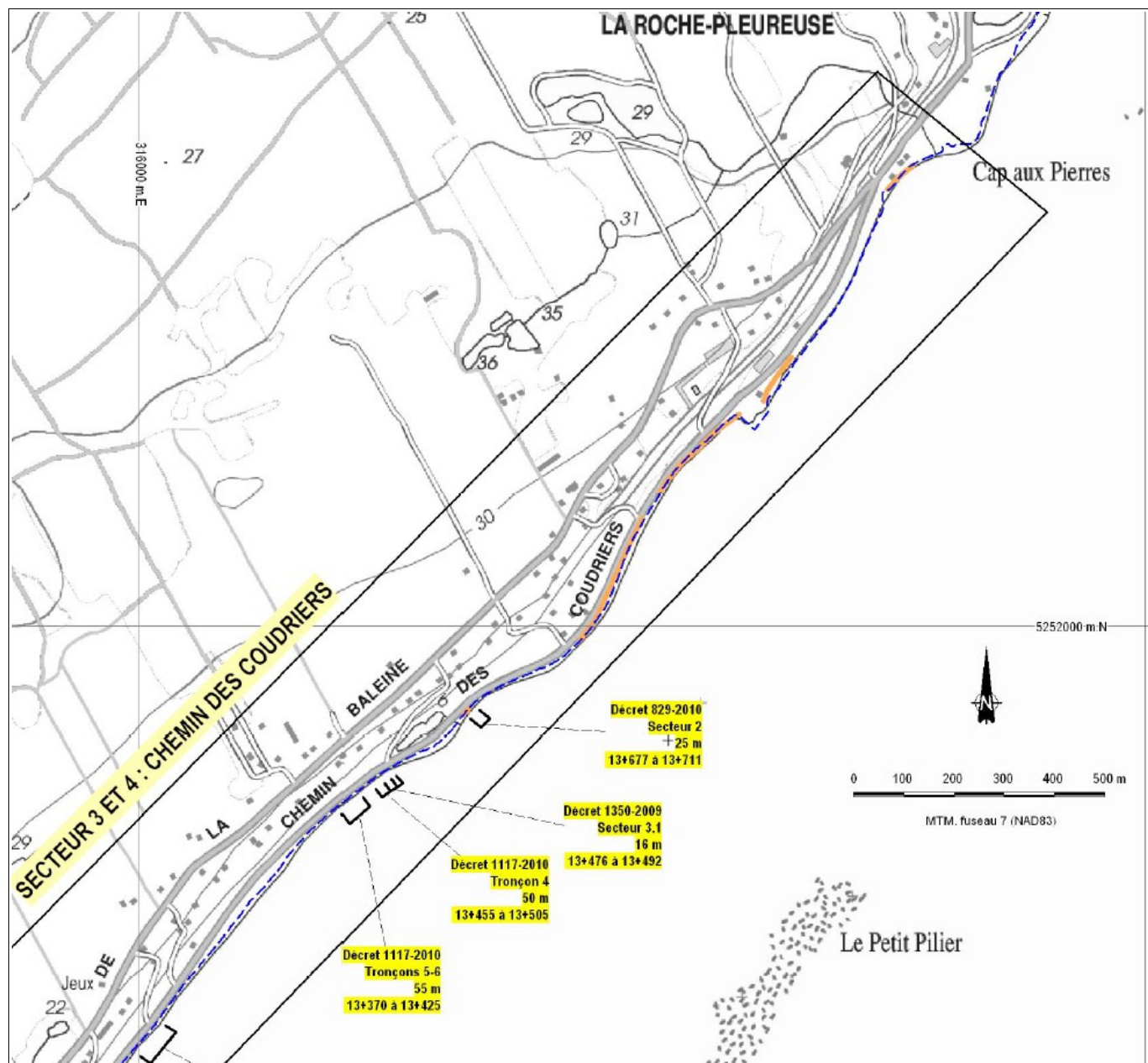


Figure 2.19 Secteur nord-est de la zone à l'étude

Les deux figures suivantes présentent le haut de plage qui est exposé sans protection dans le cas de la figure 2.20 et protégé par des enrochements ayant subi des dommages dans le cas de la figure 2.21. Une mince bande de sable et gravier se retrouve en haut de plage près des enrochements, mais le bas de plage est essentiellement en gravier et cailloux (dont certains provenant probablement de la protection de berge).



Figure 2.20 Photo du MTQ du 28 août 2009 – Érosion de berge très près de la route, sans protection en enrochements (ch. approx. 13+500)



Figure 2.21 Photo du MTQ du 28 août 2009 – Protection de berge endommagée très près de la route (ch. approx. 13+600)

La figure 2.22 illustre l'extrême étroitesse de l'accotement de la route avant l'enrochement de protection de berge et la plage. Le franchissement par les vagues de cette route lors des événements de hauts niveaux d'eau doit être important.



Figure 2.22 Photo du MTQ du 28 août 2009 – Chaussée très proche de la rive protégée par des enrochements (ch. approx. 13+700)

2.8 Interprétation des observations

Lors de la visite du MTQ, la plage dans les zones inspectées était parfois constituée de sable, mais cette plage avait souvent disparu, laissant en place des graviers, galets et cailloux. De nombreuses plaques de spartines se trouvaient au pied de la plage et sur la batture.

Il est remarquable de constater la proximité du haut de plage en érosion et de la chaussée de la route en plusieurs endroits.

L'autre élément remarquable est l'élévation très basse de la rive par rapport aux niveaux d'eau extrêmes hauts.

3 Données de base

3.1 Plans de bathymétrie et topographie

Les données bathymétriques sommaires (référence zéro des cartes ou ZC) sont disponibles sur la carte marine no 1233 du Service hydrographique du Canada (SHC – voir figure 1.2).

Les informations topographiques fournies dans le cadre de cette étude proviennent d'un relevé LIDAR effectué probablement en 2009³. Ce relevé LIDAR en élévation géodésique a servi à produire une série de transects dans la zone à l'étude. Non seulement les zones désignées comme devant être protégées ont-elles été retenues, mais tout le secteur a fait l'objet de la production de ces transects pour situer les zones ciblées par rapport aux zones adjacentes. Les données du LIDAR ont dû être complétées par celles de la carte marine sur la batture. La qualité de l'information en provenance de la carte marine (précision et densité) est nettement moins bonne que celle du relevé LIDAR, ce qui pourrait poser quelques problèmes de fiabilité et de représentativité de cette information dans sa partie la plus au large.

Le Service hydrographique donne une différence de 3,37 m entre le zéro des cartes (ZC) et le zéro géodésique (niveau moyen des mers ou NMM) à Saint-Joseph-de-la-Rive.

3.2 Rapport de géotechnique

Aucune information géotechnique n'a été rendue disponible dans ce secteur.

Les photos ont permis de constater la présence sur la batture et à proximité de la plage de crans rocheux constitués de roche sédimentaire (schiste).

³Communication personnelle d'Alexandre Lavoie, MTQ, le 5 décembre 2012 – Trois relevés LIDAR ont servi dans la région de l'île aux Coudres, soit ceux du 5 mai 2005, du 30 octobre 2007 et du 13 mai 2009.

4 Niveaux d'eau

4.1 Source de l'information

Le service de la GDSI⁴ du MPO met à la disposition du public les niveaux d'eau de ses stations sur Internet (http://www.meds-sdmm.dfo-mpo.gc.ca/meds/Databases/Data_f.htm).

Des stations de mesure des niveaux d'eau de la GDSI opèrent à proximité de l'île aux Coudres:

- La station de Saint-Joseph-de-la-Rive (N° 3057) pour laquelle des données aux heures sont disponibles de juin 1967 à aujourd'hui (sauf 1968);
- La station de Saint-Bernard, Isle-aux-Coudres (N° 3058) qui n'a opéré que du 4 juillet au 8 août 1985;
- La station de la Traverse Saint-Roch (N° 3166) qui n'a opéré que du 17 juin au 2 juillet 1967;
- La station de référence de Pointe-au-Père (N° 2980) / Rimouski (N° 2985) pour laquelle des données aux heures sont disponibles depuis 1897 pour Pointe-au-Père et depuis 1984 pour Rimouski.

Nous n'avons utilisé que les données des stations (3057, 2980 et 2985) qui disposent de séries chronologiques suffisantes pour déduire les niveaux d'eau probables à l'île aux Coudres. Ces données se retrouvent sur le site Internet du SHC [<http://www.meds-sdmm.dfo-mpo.gc.ca/isdm-gdsi/twl-mne/maps-cartes/inventory-inventaire-fra.asp#divGoogleMaps>].

Les élévations de niveaux d'eau sont données en mètres par rapport au zéro des cartes marines (m ZC). La correspondance en niveau moyen des mers (m NMM) est également indiquée (3,37 m de différence pour Saint-Joseph-de-la-Rive).

4.2 Station du SHC au port de référence de Pointe-au-Père

Le Service hydrographique du Canada (SHC) fournit les données suivantes pour le port de référence de Pointe-au-Père (niveaux d'eau fournis par rapport au zéro des cartes marines ou ZC) :

⁴ Gestion des données scientifiques intégrées – Ministère des Pêches et des océans Canada

Tableau 4.1 Données du SHC pour Pointe-au-Père (m ZC)

| | | | |
|-----------------------|-----------------------|----------------|---------|
| Localité | | Pointe-au-Père | |
| Port de référence | | Pointe-au-Père | |
| Carte marine no | | 1236 | |
| Type de marées | | semi-diurne | |
| Marnage | Marée moyenne | 3,2 m | |
| | Grande marée | 4,6 m | |
| Hauteur | Pleine mer supérieure | Marée moyenne | 3,9 m |
| | | Grande marée | 4,8 m |
| | Basse mer inférieure | Marée moyenne | 0,7 m |
| | | Grande marée | 0,2 m |
| Extrêmes enregistrés | Extrême de pleine mer | | 5,4 m |
| | Extrême de basse mer | | - 0,9 m |
| Niveau moyen de l'eau | | | 2,3 m |

Par rapport à cette station de référence de Pointe-au-Père (ou Rimouski), le SHC fournit des informations permettant de transférer l'information de niveaux d'eau du port de référence vers les ports secondaires (Table des courants et marées du Canada – MPO). Le tableau présenté ci-dessous fournit les différentes corrections de niveaux d'eau à utiliser entre la station de référence et le port secondaire. En ce qui concerne les extrêmes (hauts et bas), à défaut d'avoir une valeur spécifique de correction du niveau d'eau, la valeur utilisée est celle des grandes marées (pleine mer ou basse mer).

Tableau 4.2 Corrections proposées par le SHC pour le site de Saint-Joseph-de-la-Rive à partir du port de référence de Pointe-au-Père (m ZC) – Table des marées et courants

| Station | Extrême bas | BMIGM | BMIMM | Niveau moyen | PMSMM | PMSGM | Extrême haut |
|----------------------|-------------|-------|-------|--------------|-------|-------|--------------|
| Rimouski | -0,85 | 0,18 | 0,73 | 2,26 | 3,93 | 4,82 | 5,85 |
| Correction | -0,03 | -0,03 | 0,37 | | 2,01 | 2,29 | 2,29 |
| St-Joseph-de-la-Rive | -0,88 | 0,15 | 1,10 | 3,60 | 5,94 | 7,10 | 8,14 |

- Les chiffres en rouge sont des extrapolations

4.3 Niveaux d'eau hauts actuels à Rimouski

Une analyse des récurrences des niveaux d'eau hauts faite pour Rimouski entre 1984 et 2012 a fourni les valeurs suivantes de niveaux d'eau pour des périodes de retour données.

- Une heure par 50 années : +5,41 m ZC
- Une heure par 25 années : +5,33 m ZC

- Une heure par 10 années : +5,23 m ZC
- Une heure par 5 années : +5,15 m ZC
- Une heure par année : +4,97 m ZC
- Douze heures par année : +4,69 m ZC
- Une journée par année : +4,62 m ZC

4.4 Niveaux d'eau hauts actuels devant Saint-Joseph-de-la-Rive

Pour calculer la récurrence des niveaux d'eau dépassés vers le haut devant Saint-Joseph-de-la-Rive selon des périodes de retour données, deux calculs ont été faits, soit :

- Une extrapolation des calculs faits à partir des données de Rimouski / Pointe-au-Père
- Une analyse des données de niveaux d'eau enregistrés à Saint-Joseph-de-la-Rive.

L'extrapolation à partir des données de Rimouski n'a pas donné de résultats concluants. Cette méthode sous-estime les niveaux extrêmes hauts et surestime les niveaux hauts ordinaires. La figure 4.1 illustre la comparaison entre la série de données enregistrées à Saint-Joseph-de-la-Rive (ligne rouge) et l'extrapolation faite à partir des données de niveaux extrêmes à Rimouski (pointillés verts).

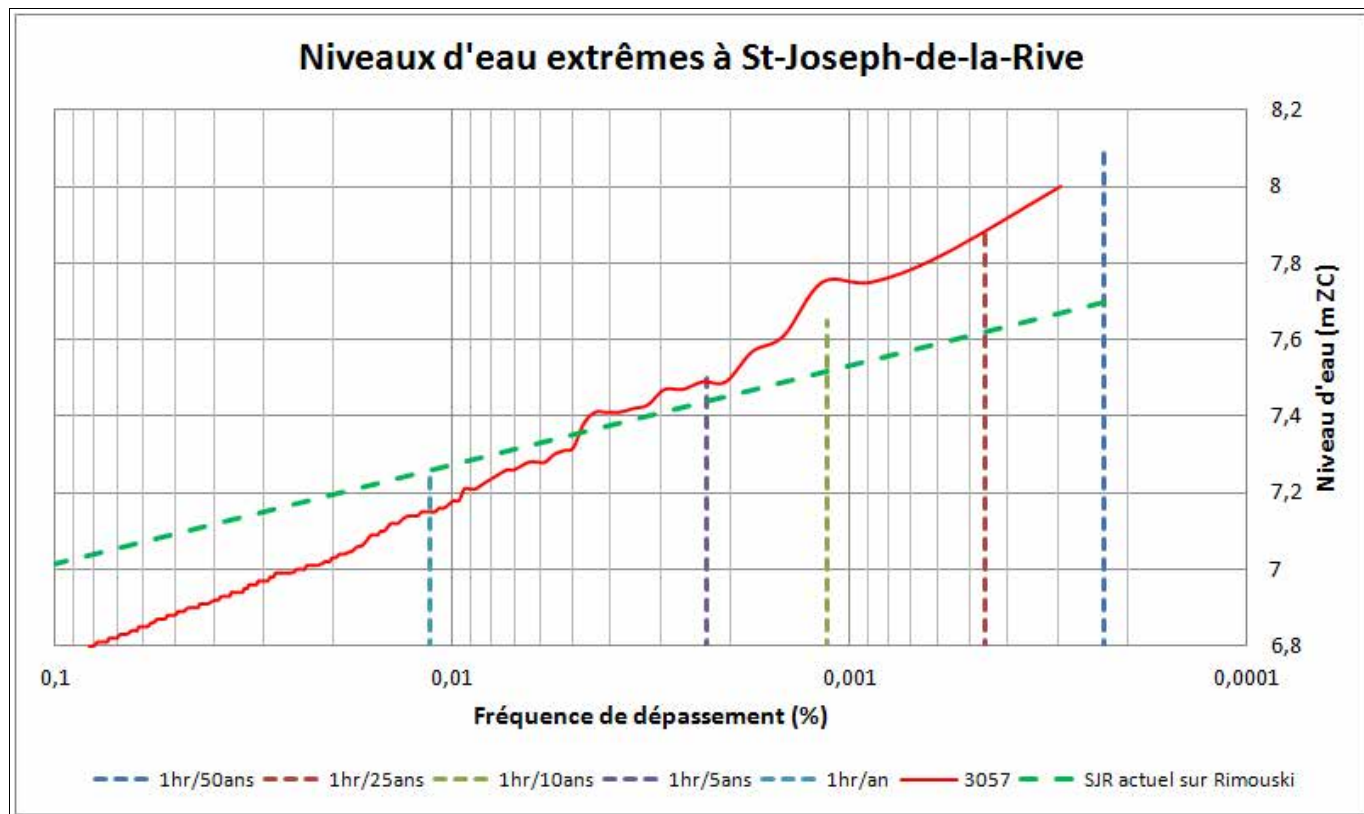


Figure 4.1 Niveaux extrêmes prédits sur Rimouski et données de la station 3057

La figure 4.2 présente les fréquences de dépassement des niveaux d'eau hauts à partir des données de la station de Saint-Joseph-de-la-Rive (# 3057) ainsi que la régression obtenue sur ces données.

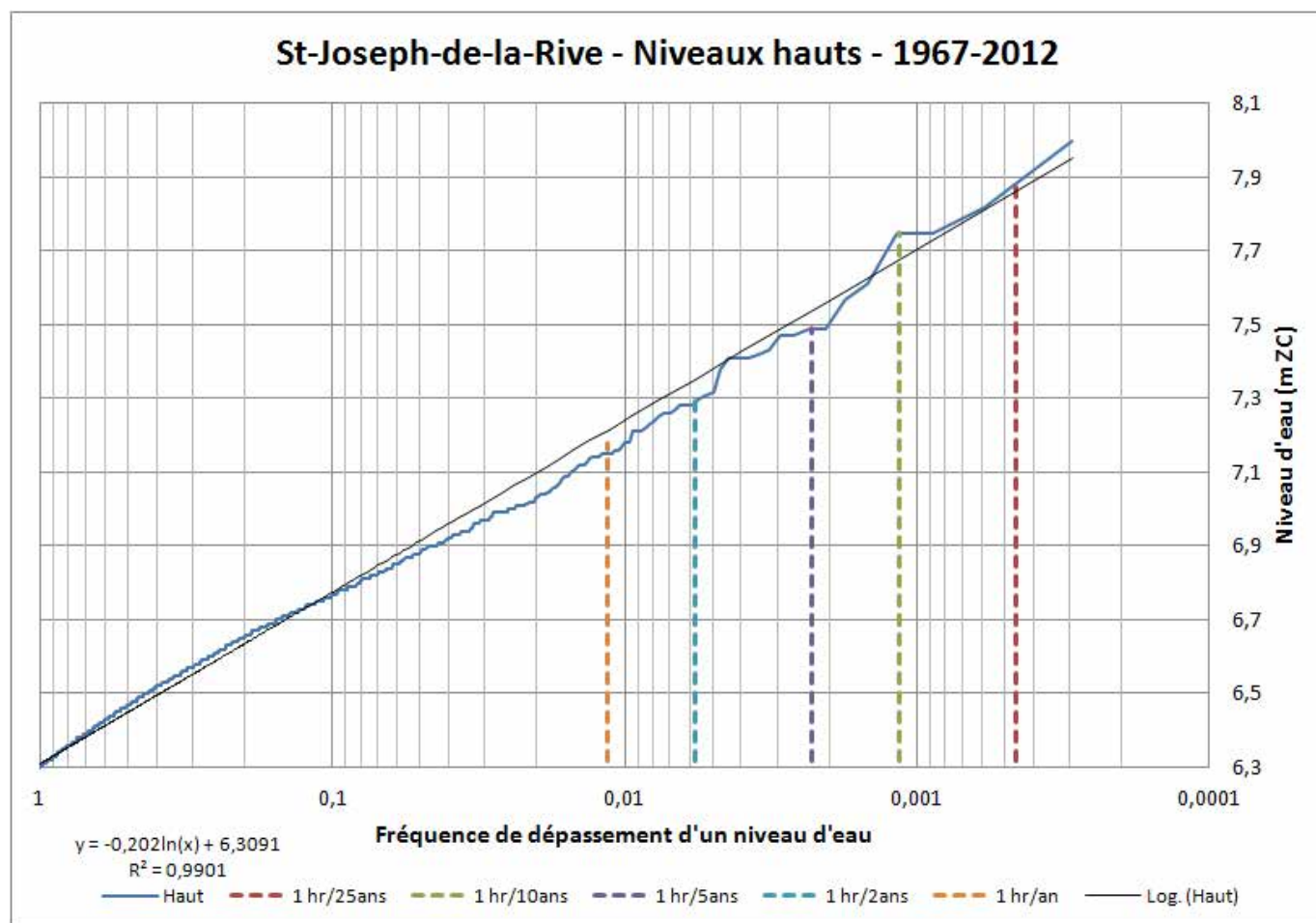


Figure 4.2 Récurrence des niveaux d'eau hauts à la station 3057 (1967-2012)

L'analyse (régression) des données de niveaux d'eau enregistrés à Saint-Joseph-de-la-Rive a fourni les niveaux suivants pour les périodes de retour données :

- Une heure par 50 années : +8,00 m ZC ou +4,63 m NMM
- Une heure par 25 années : +7,86 m ZC ou +4,49 m NMM
- Une heure par 10 années : +7,68 m ZC ou +4,31 m NMM
- Une heure par 5 années : +7,54 m ZC ou +4,17 m NMM
- Une heure par 2 années : +7,35 m ZC ou +3,98 m NMM
- Une heure par année : +7,21 m ZC ou +3,84 m NMM
- Douze heures par année : +6,71 m ZC ou +3,34 m NMM
- Une journée par année : +6,57 m ZC ou +3,20 m NMM

Le niveau très haut observé le 6 décembre 2010 était de +7,569 m ZC, mais dans la série de données horaires disponibles pour la station 3057, ce niveau se situe seulement au sixième rang, l'extrême enregistré étant de +8,0 m ZC en 1978 et quatre autres niveaux supérieurs à +7,6 m ZC s'étant produits en 1978. D'après la régression, le niveau d'eau haut du 6 décembre 2010 aurait une période de retour d'un peu moins de 6 années.

4.5 Influence des changements climatiques sur les niveaux d'eau hauts

Les dernières analyses du GIEC⁵ en matière de changements climatiques indiquent un relèvement moyen du niveau des océans de l'ordre de 0,2 à 0,6 m au cours du prochain siècle⁶ si on ne tient pas compte de la fonte accélérée des calottes glaciaires. Selon ces analyses⁷, au cours des prochaines 50 années, il faudrait s'attendre à un relèvement de 0,05 à 0,2 m dans la région du Golfe du Saint-Laurent.

Toutefois, l'incertitude entourant plusieurs paramètres (hausse de la température et surtout fonte des glaciers) pourrait faire varier cette prévision à la hausse. Les chiffres qui circulent actuellement à propos de la remontée du niveau d'eau moyen des océans sont plutôt de 0,8 m à 2 m d'ici la fin de ce siècle⁸ en tenant compte de la fonte accélérée des glaciers, si bien qu'il faudrait plutôt parler d'un **relèvement de l'ordre de 0,5 m dans les prochaines 50 années** et d'au moins 0,8 m à 1 m d'ici 2100. La figure 4.3 illustre les valeurs de remontée du niveau d'eau retenues pour les calculs.

⁵ Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat – Programme des Nations Unies pour l'environnement

⁶ Rapport 2007 du Groupe de travail I du GIEC “Résumé à l'intention des décideurs”, Chapitre 2 Tableau RID.3 page 13
“<http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4-wg1-spm-fr.pdf>”

⁷ Rapport du GIEC “Climate changes 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability”, Chapitre 2 Encadré 2.5 page 153
“<http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg2/ar4-wg2-chapter2.pdf>”

⁸ Pfeffer, W.T. & al, “Kinematic Constraints on Glacier Contribution to 21st-Century Sea-Level Rise”, SCIENCE, Vol 321, 5
September 2008, www.sciencemag.org

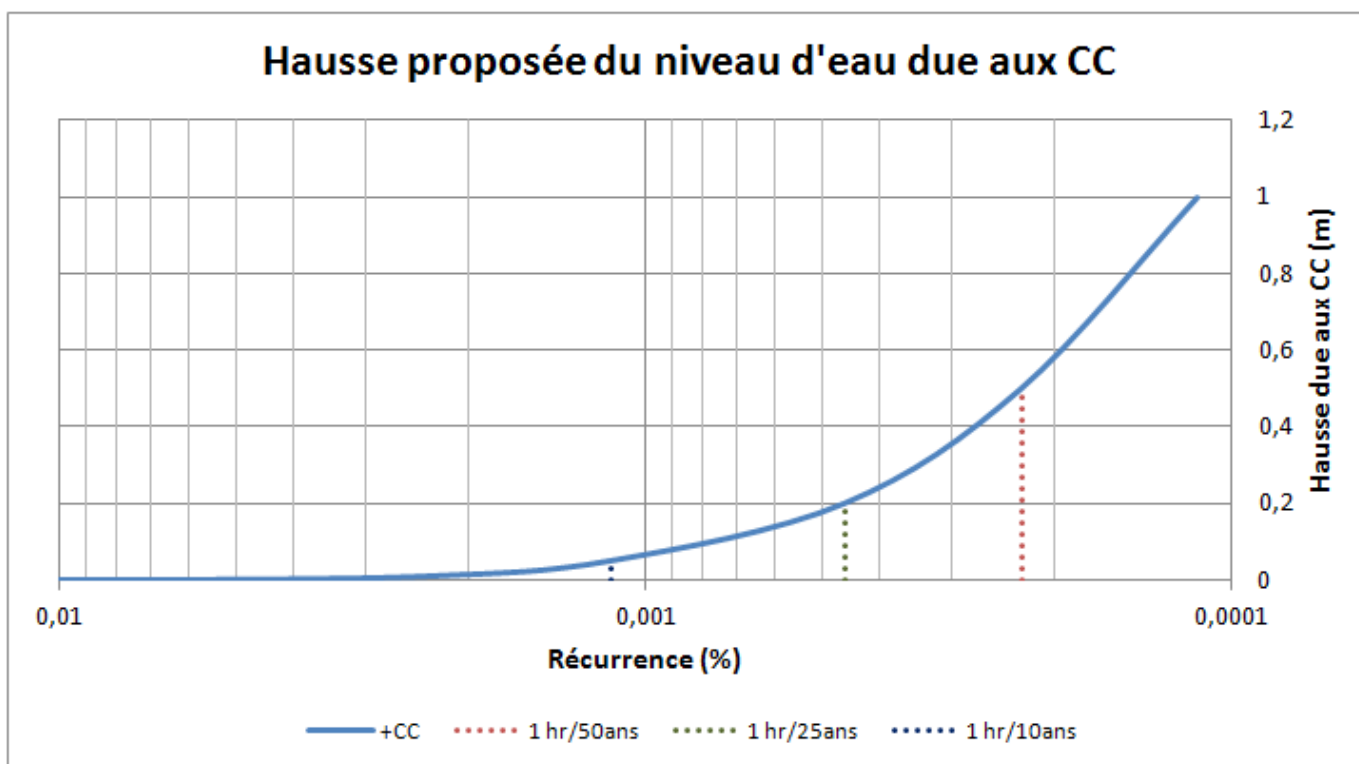


Figure 4.3 Hausse de niveau d'eau proposée pour tenir compte des changements climatiques

4.6 Niveaux d'eau hauts recommandés à Saint-Joseph-de-la-Rive

L'analyse des niveaux d'eau à la station marégraphique de Saint-Joseph-de-la-Rive, en face de l'île aux Coudres, indique que les concepteurs d'infrastructures côtières ou portuaires dans cette région du fleuve devraient se servir des niveaux d'eau suivants qui tiendraient compte de la hausse probable du niveau des océans dans les prochaines années :

- Niveau d'eau atteint ou dépassé une heure tous les 50 ans : +8,50 m ZC (+5,13 m NMM),
- Niveau d'eau atteint ou dépassé une heure tous les 25 ans : +8,06 m ZC (+4,69 m NMM),
- Niveau d'eau atteint ou dépassé une heure tous les 10 ans : +7,73 m ZC (+4,36 m NMM),
- Niveau d'eau haut atteint ou dépassé une heure par année : +7,21 m ZC (+3,84 m NMM).

Il serait recommandé de suivre l'évolution des prévisions de rehaussement de niveaux d'eau en relation avec les changements climatiques pour s'assurer de la pertinence des niveaux d'eau recommandés avec les recommandations officielles actuelles.

5 Vagues au large

5.1 Génération des vagues

Une étude de vagues a été réalisée dans le cadre de l'étude de la protection des rives de la municipalité de l'Isle-aux-Coudres. La première étape a été de générer les vagues au large à partir des données de vents de stations météorologiques.

Les vagues de tempêtes se produisant au large de l'île aux Coudres subissent de la réfraction et du déferlement sur la batture avant d'atteindre le rivage, ce qui a constitué la deuxième étape de l'étude des vagues.

5.2 Vents

Les stations de vent qui ont été considérées dans le calcul des vagues au large de l'île aux Coudres sont les stations de l'aéroport de Mont-Joli, de l'Île Rouge et de l'aéroport de Rivière-du-Loup en plus des stations virtuelles « Fleuve VI » et « Fleuve VII ».

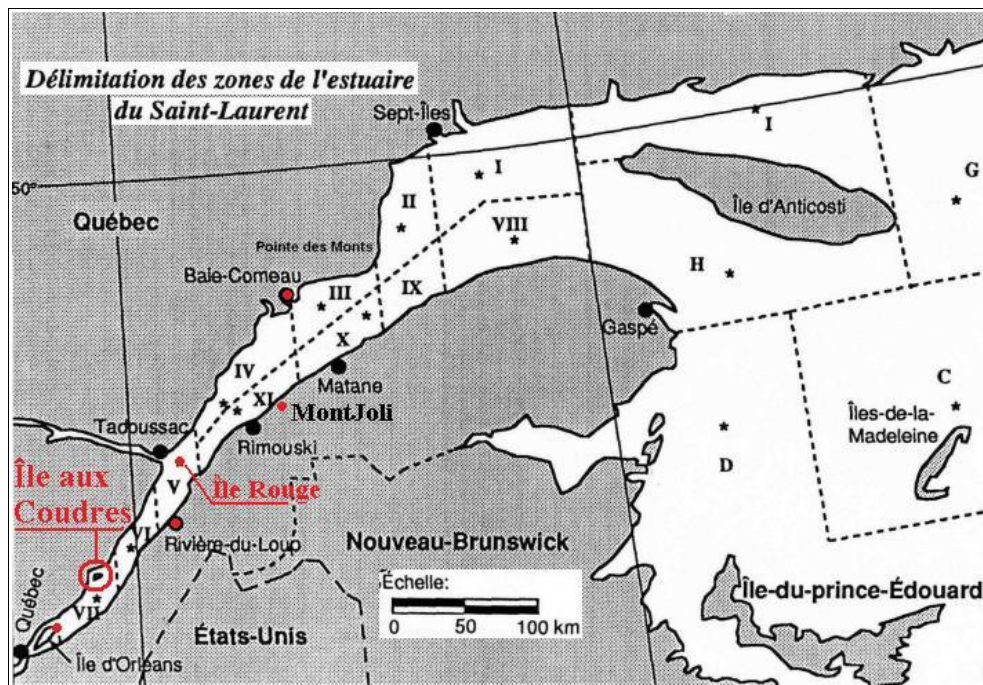


Figure 5.1 Position des différentes stations de vent

La station de Mont-Joli est définitivement trop loin de l'île aux Coudres pour adéquatement représenter les vents qui soufflent dans la zone de l'île aux Coudres.

La station de Rivière-du-Loup n'est pas recommandée lorsqu'il s'agit des vents soufflant sur l'eau. Des biais systématiques dans les données de cette station ont été démontrés par le professeur Yvon Ouellet de l'Université Laval par rapport aux vents qui soufflent sur l'eau.

La station de l'Île Rouge de même que les stations virtuelles « Fleuve VI » et « Fleuve VII » ont été retenues pour la génération des vagues au large de l'île aux Coudres. Les trois figures suivantes illustrent les roses des vents de chacune de ces stations. La base de données de vents de la station de l'Île Rouge est nettement plus importante (environ 160 000 valeurs) que celles des stations virtuelles de Fleuve VI ou Fleuve VII (un peu moins de 100 000 valeurs). Les périodes de disponibilité des données sont :

- Île Rouge de 1988 à 2006,
- Fleuve VI de 1987 à 1998 et
- Fleuve VII de 1985 à 1988.

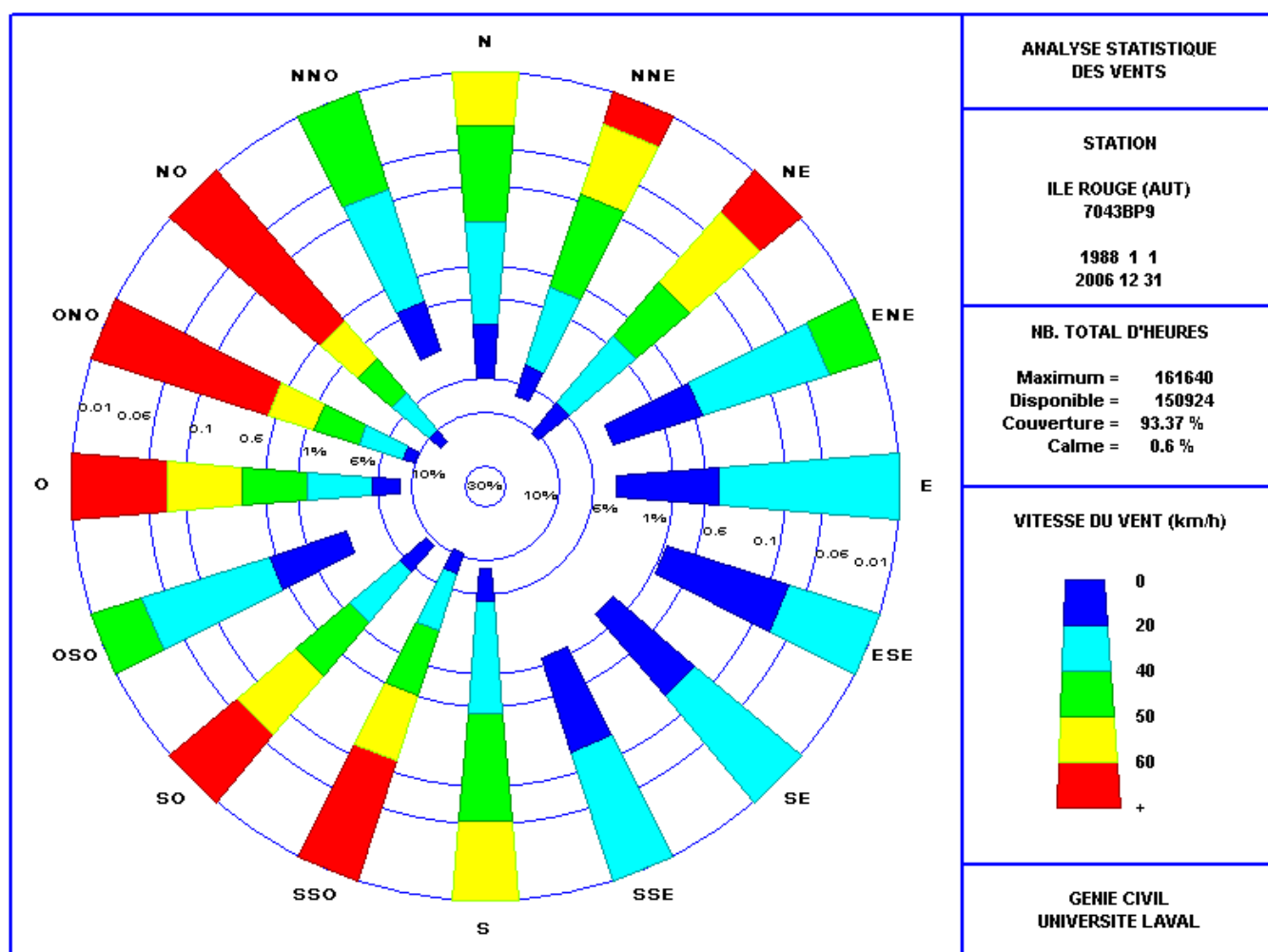


Figure 5.2 Rose des vents de l'Île Rouge (1988-2006)

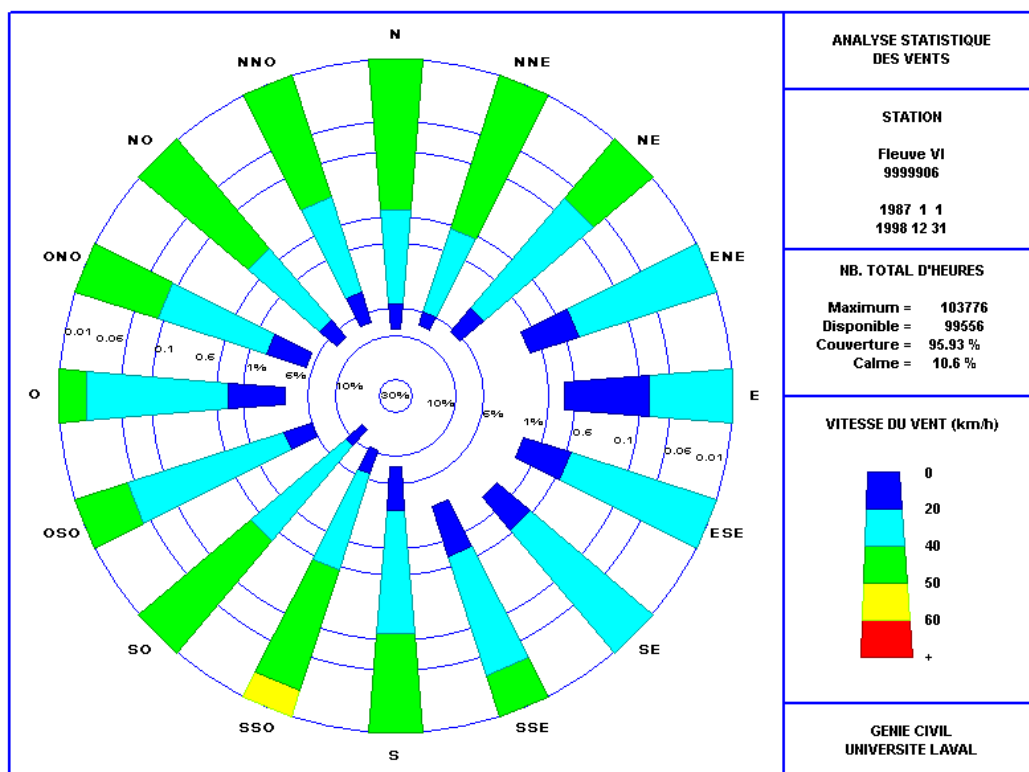


Figure 5.3 Rose des vents de la station virtuelle « Fleuve VI »

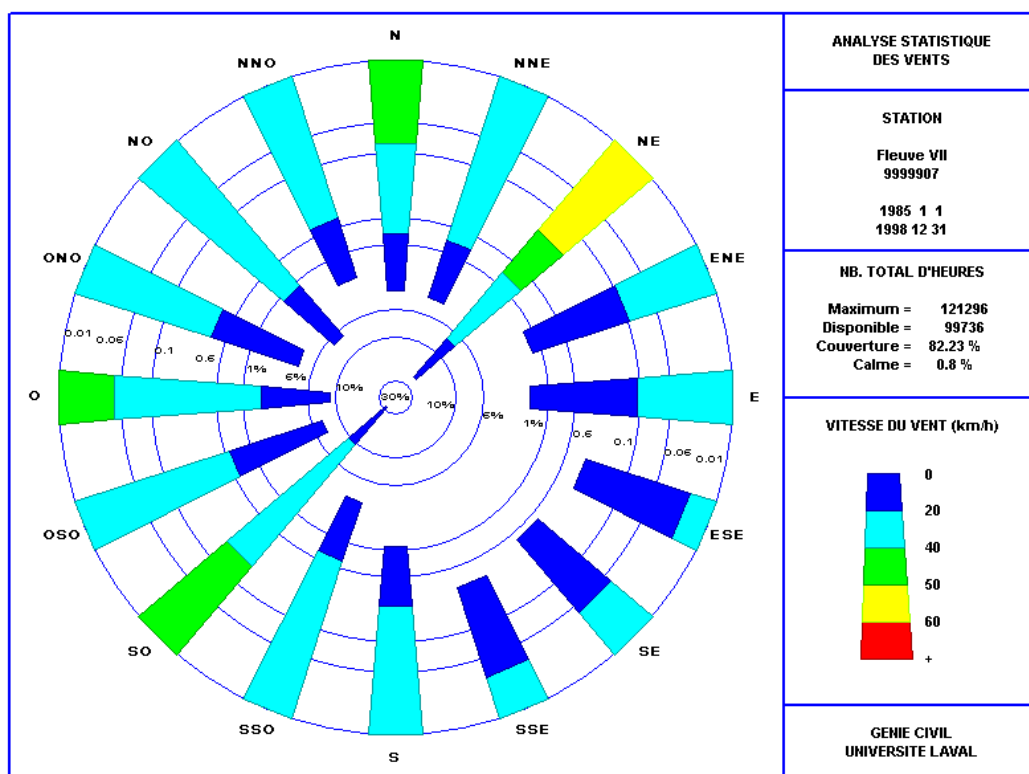


Figure 5.4 Rose des vents de la station virtuelle « Fleuve VII »

La comparaison des trois roses illustre des divergences assez nettes entre les séries de données. La série de l'Île Rouge est de loin celle qui donne les vents les plus forts. La série de Fleuve VI semble réaliste mais donne des vents vraiment faibles. La série de Fleuve VII semble un peu bizarre avec des vents forts uniquement dans le secteur nord-est et presque rien dans les autres secteurs. Il se pourrait que la courte période de disponibilité des données des deux stations virtuelles soit à l'origine de ces particularités.

5.3 Fetchs

Les fetchs (distance d'eau libre sur laquelle le vent peut soulever des vagues dans une direction donnée) ont été calculés à partir de trois points situés le long de la face sud-est de l'île et ayant les coordonnées suivantes :

- Point IAC-1 : 47° 25,17' N - 70° 18,52' W
- Point IAC-2 : 47° 23,28' N - 70° 20,83' W
- Point IAC-3 : 47° 21,73' N - 70° 23,37' W

Les radiales ont été calculées tous les 3° à partir de ces points, illustrés sur la figure 5.5.

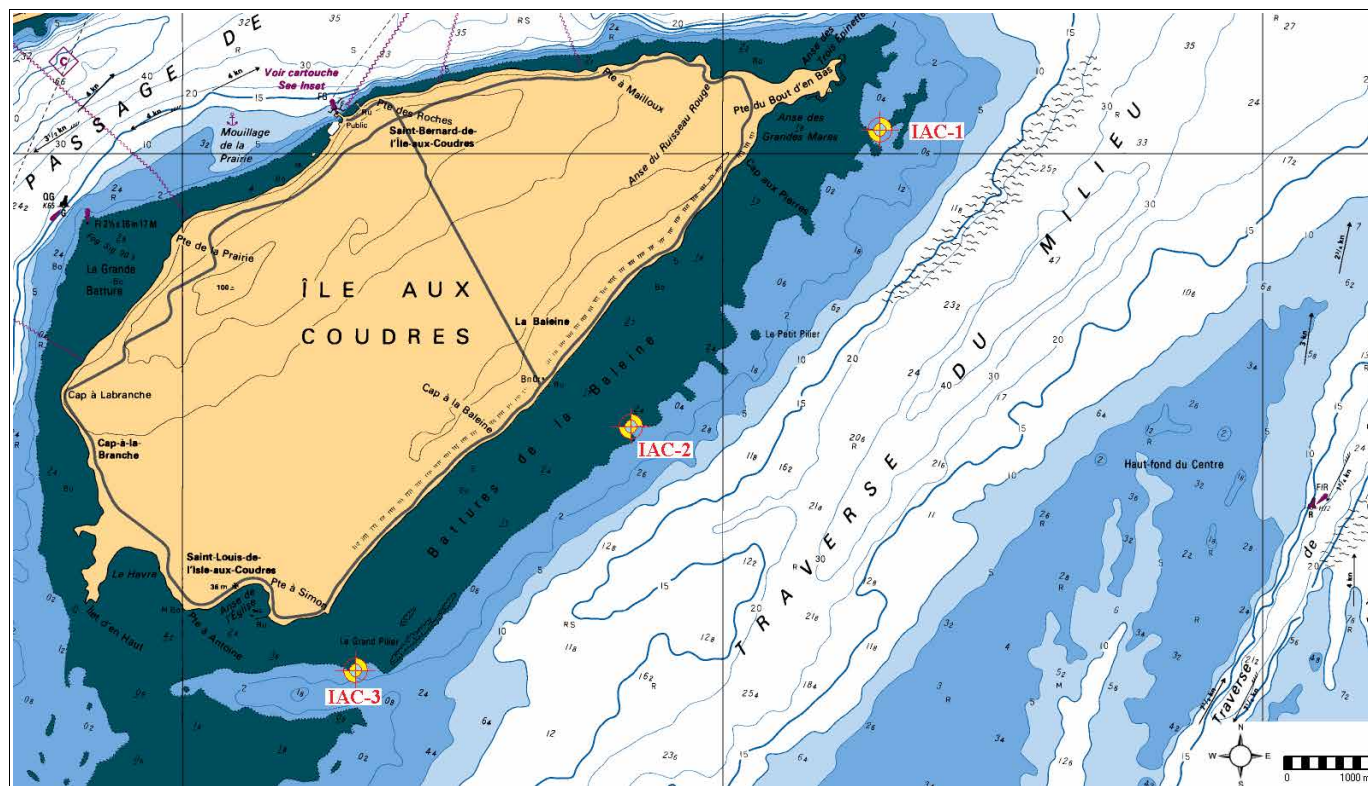


Figure 5.5 Position des trois points de calcul des fetchs (IAC-1 à IAC-3)

Les fetchs effectifs utilisés dans les prévisions de vague suivant les directions d'intérêt ont été calculés à l'aide de la méthode des fetchs effectifs pour chacun des trois points et sont reproduits dans la figure 5.6. À noter que le fetch effectif utilisé correspond à la moyenne plus un demi-écart-type.

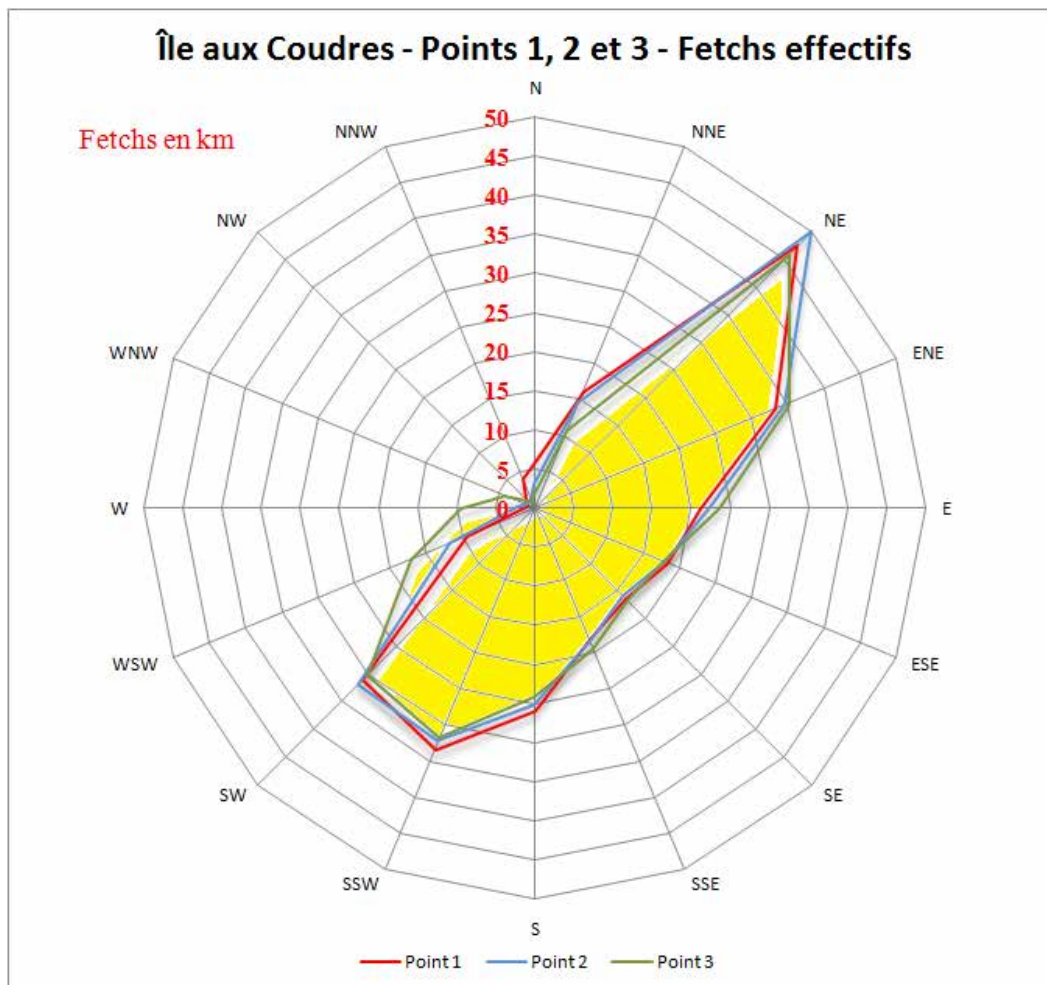


Figure 5.6 Roses des fetchs calculés à partir des trois points sélectionnés

On constate sur la figure 5.6 le peu de variation des valeurs de fetchs selon le point sélectionné. De façon à ne pas sous-estimer les hauteurs de vagues, la valeur maximale obtenue pour l'un des trois calculs sera retenue comme fetch dans une direction donnée. Les valeurs de fetch retenues sont indiquées dans le tableau ci-dessous pour un point virtuel représentant les trois points ayant fait l'objet du calcul.

Tableau 5.1 Fetchs sélectionnés pour les calculs de vagues

| Fetchs | N | NNE | NE | ENE | E | ESE | SE | SSE | S | SSW | SW | WSW | W | WNW | NW | NNW |
|--------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|
| km | 5,9 | 16,1 | 49,9 | 35,1 | 23,6 | 18,4 | 16,7 | 19,5 | 25,9 | 33,4 | 31,9 | 17 | 9,5 | 4,2 | 1,6 | 4 |

5.4 Calcul des hauteurs et direction des vagues

À l'aide d'un modèle paramétrique sur ordinateur développé à l'Université Laval, les données de vent de l'Île Rouge et des stations virtuelles « Fleuve VI » et « Fleuve VII » ont été utilisées pour la reconstitution des vagues au large de l'île aux Coudres.

Le modèle GENER utilisé applique la méthode S.M.B. (Shore Protection Manual, 1984) de façon séquentielle aux données horaires du vent pour obtenir les statistiques des vagues en un point au large de l'île aux Coudres. Les données du vent sont préalablement lissées pour éliminer le plus possible les irrégularités présentes dans les données de ce genre.

À partir de ces calculs, on a tracé sur les trois figures suivantes la rose des vagues (échelle de 0 à 3,0 m) correspondant à chacune des trois stations de vent utilisées : Île Rouge de 1988 à 2006, Fleuve VI de 1987 à 1998 et Fleuve VII de 1985 à 1988. L'échelle logarithmique permet de mettre en évidence les fortes vagues.

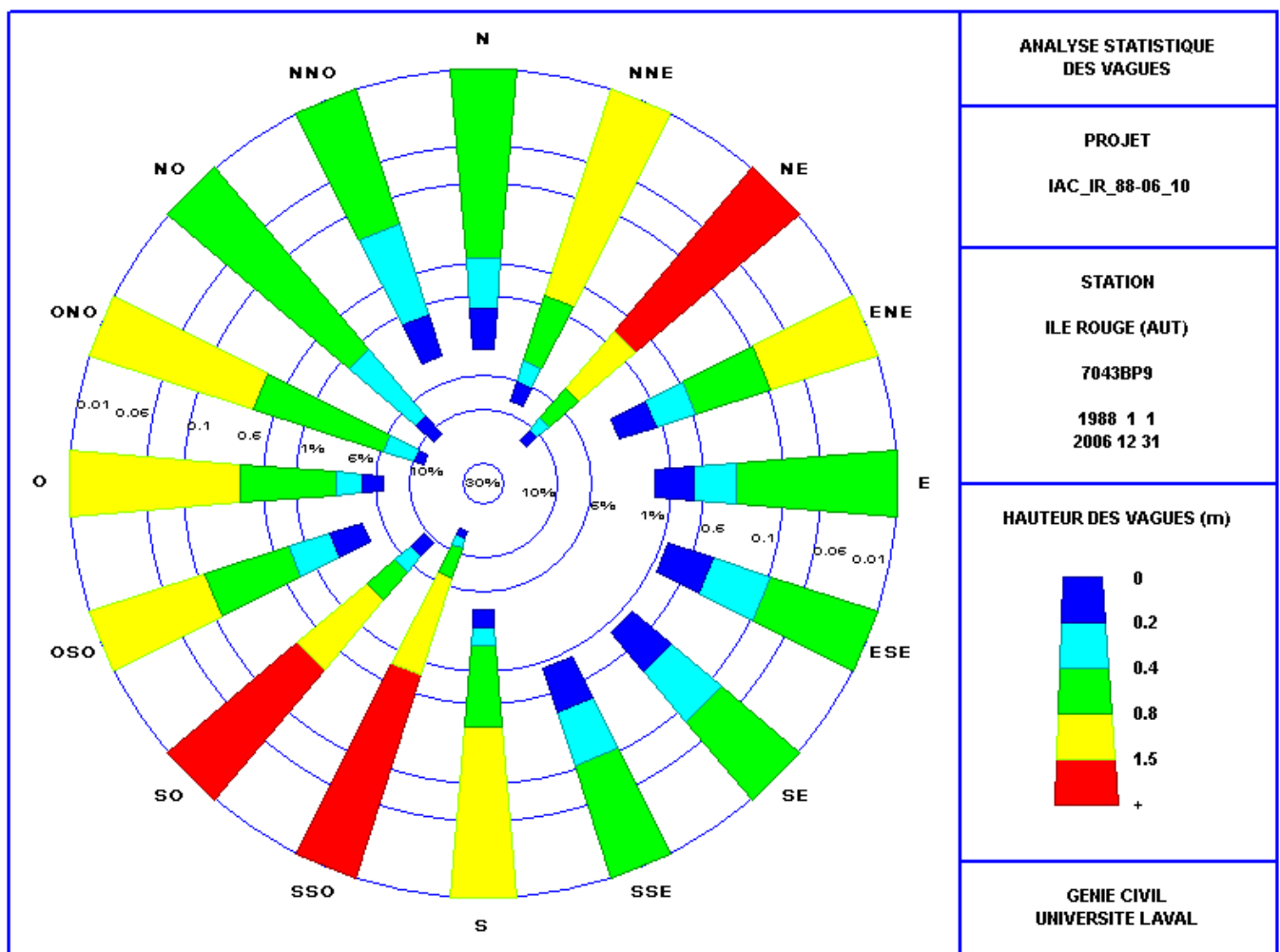


Figure 5.7 Rose des vagues au large de l'île aux Coudres (vents de l'Île Rouge)

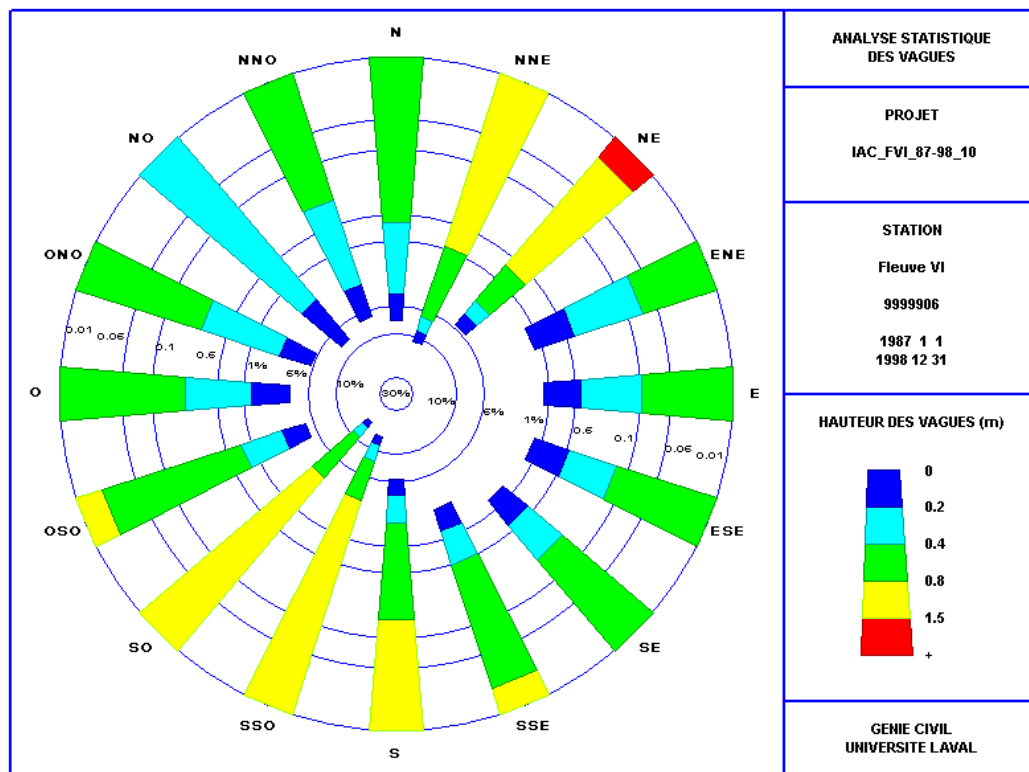


Figure 5.8 Rose des vagues au large de l'île aux Coudres (vents de « Fleuve VI »)

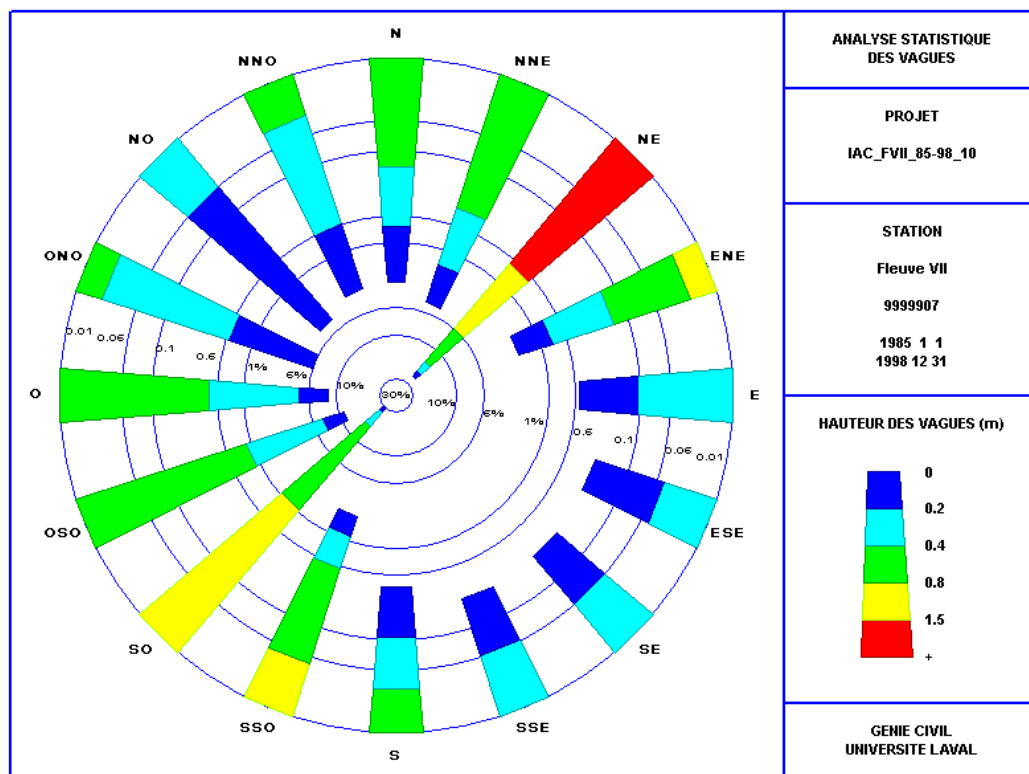


Figure 5.9 Rose des vagues au large de l'île aux Coudres (vents de « Fleuve VII »)

Les divergences entre les séries de données de vent se retrouvent en partie sur les figures précédentes. La série de l'Île Rouge donne de fortes vagues dans les secteurs nord-est et sud-ouest. Les deux séries Fleuve VI et Fleuve VII ne donnent de fortes vagues que dans le secteur nord-est.

À l'aide de la base de données de vagues calculées, la récurrence des hauteurs de vagues extrêmes a été déterminée selon les formulations de Gumbel et Weibull. La figure 5.10 illustre les hauteurs de vagues extrêmes prédites devant la batture selon la récurrence retenue (de 10 à 100 ans) à l'aide des données de chacune des trois stations de vent retenues (méthode de Gumbel). Les vitesses de vents de chacune des stations ont été multipliées par un facteur variable de façon à déterminer la base de données la plus réaliste à utiliser pour la suite des calculs (8 cas de calcul en tout). Les différents facteurs multiplicatifs utilisés sont :

- Île Rouge : 1,0 et 0,9
- Fleuve VI : 1,0, 1,1 et 1,2
- Fleuve VII : 1,0, 1,1 et 1,2

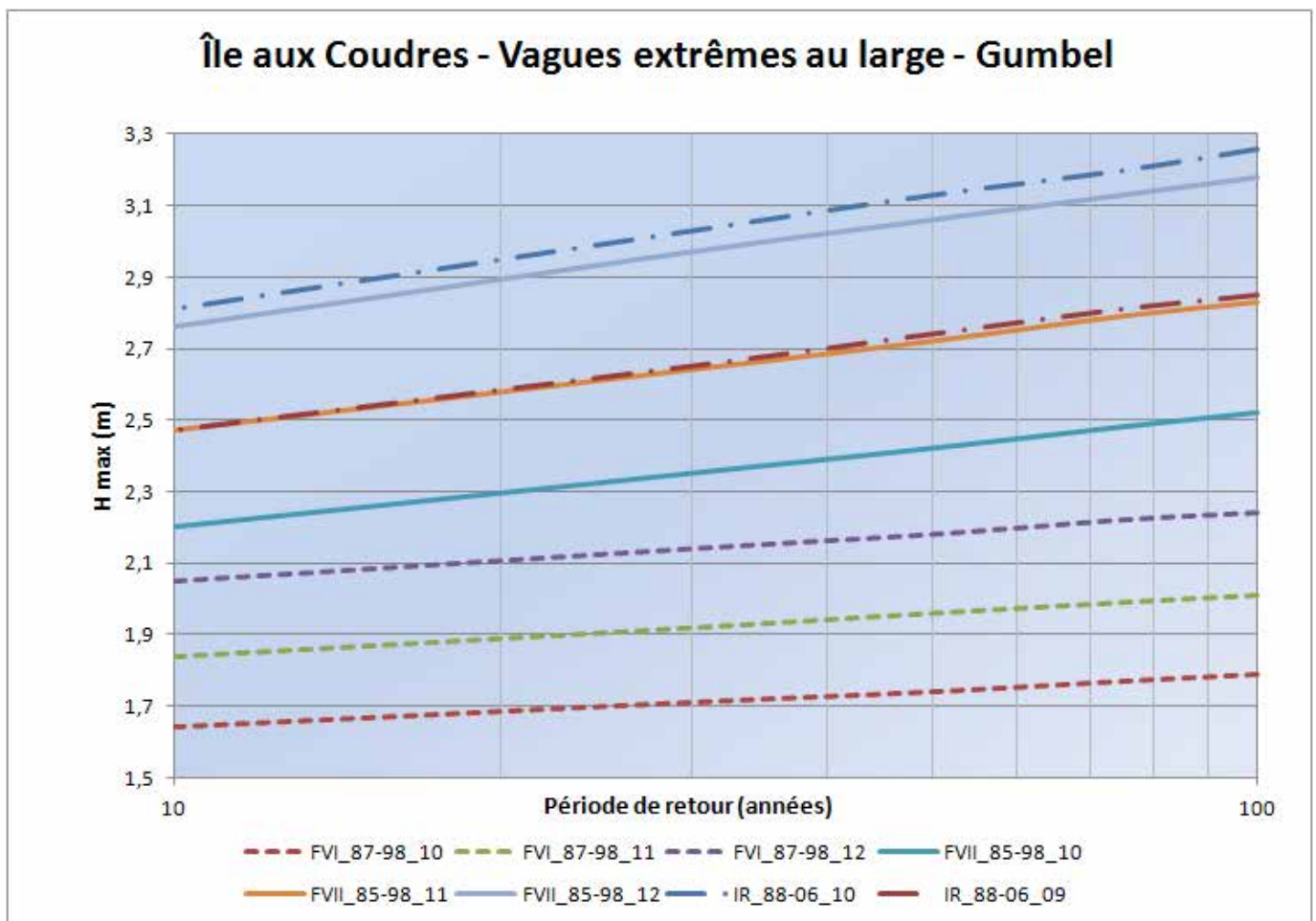


Figure 5.10 Hauteur de vague extrême prédite au large de l'île aux Coudres

La série de la station Fleuve VI donne systématiquement les plus faibles valeurs de hauteur de vagues extrêmes. La série de l'Île Rouge donne les plus fortes valeurs de hauteur de vagues extrêmes.

Compte tenu de la position respective des stations, des problèmes de qualité et de représentativité des données des stations virtuelles (Fleuve VI et VII), il est recommandé de sélectionner la **station de l'Île Rouge avec un facteur multiplicatif de 0,9** pour la suite des calculs de hauteur et direction des vagues.

La figure 5.11 illustre les hauteurs de vagues extrêmes prédites à partir des données de la station de l'Île Rouge avec le facteur multiplicatif de 0,9 sur la vitesse des vents. Selon ces résultats, pour une récurrence de 30 à 35 ans (durée de vie utile courante des infrastructures côtières), il faudrait sélectionner une **hauteur significative de vague au large de l'ordre de 2,7 m** dans les calculs.

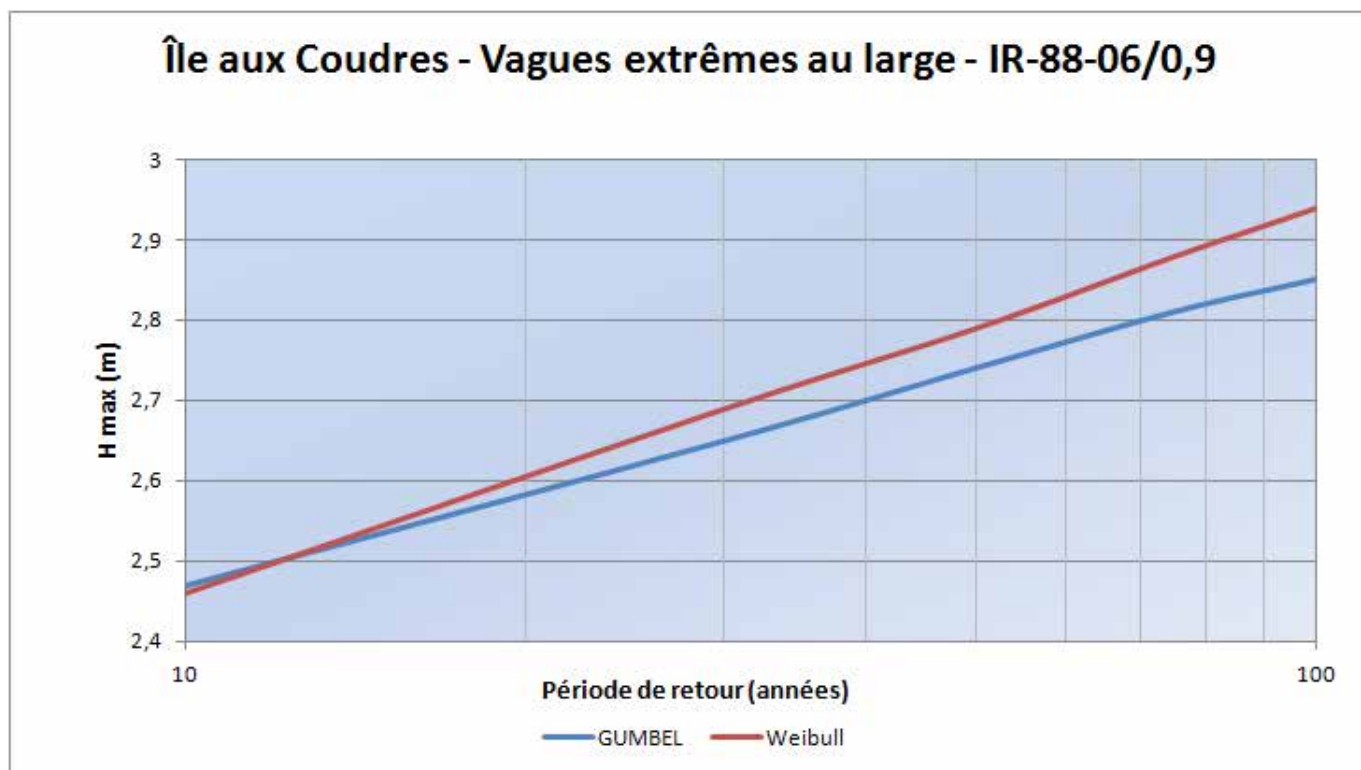


Figure 5.11 Hauteur de vague extrême prédite avec la station de l'Île Rouge (F=0,9)

6 Vagues près du rivage

6.1 Réfraction

La hauteur de vague calculée au large doit être corrigée pour tenir compte de la réfraction et du déferlement des vagues à l'approche de la rive. La réfraction risque d'être relativement efficace pour réduire la hauteur des fortes vagues étant donné la faible profondeur d'eau sur les battures près de la protection en enrochement à concevoir. Il faudrait faire des calculs complexes avec des modèles numériques performants (MIKE 21, SWAN, par exemple) pour avoir une valeur précise de la hauteur résiduelle des vagues au droit des protections de berge de l'île aux Coudres.

Compte tenu des contraintes budgétaires de la présente étude, l'étude de la réfraction a consisté à estimer la rotation des vagues à l'approche de la côte et à calculer les coefficients de réfraction en tenant compte de cette rotation, de la profondeur d'eau et de la limite de déferlement d'une vague approchant des ouvrages de protection de berge. Les calculs des coefficients de réfraction des vagues ont été faits à l'aide des modèles paramétriques du Coastal Engineering Manual⁹ (CEM).

La récurrence combinée des événements exceptionnels (tempêtes, niveaux d'eau) a été calculée en faisant l'hypothèse de l'indépendance de ces deux types d'événements. Il faudrait des séries temporelles continues de vagues et de niveaux d'eau pour vérifier cette indépendance des variables, mais les données de vents des stations météorologiques présentent des discontinuités qui empêchent actuellement de faire cette vérification.

6.2 Élévation de la berge

Les caractéristiques géométriques de la berge sud-est de l'île aux Coudres ont été définies, le long d'une soixantaine de transects sur les sept kilomètres visés par l'étude, à partir de relevés LIDAR fournis par le MTQ. Afin de tenter de comprendre la variabilité de la vulnérabilité du rivage sud-est de l'île aux Coudres, les zones désignées par le MTQ comme devant faire l'objet d'interventions de protection de berge ont été systématiquement couvertes par ces transects (41 en tout) mais des transects ont aussi été établis dans les zones situées entre les zones ciblées en vue d'interventions.

Les coupes de la berge ainsi définies à partir des relevés LIDAR ont été utilisées pour évaluer la profondeur d'eau dans laquelle se trouvaient les vagues frappant la protection de berge. D'après ces coupes-types, cette profondeur est variable (ce qui pourrait expliquer la variabilité des dommages le long de la route).

Les trois figures suivantes définissent les points caractéristiques de la berge sur une coupe-type (figure 6.1) puis la position de ces points caractéristiques le long de la rive sud-est de l'île en fonction du chaînage

⁹U.S. Army Corps of Engineers

(figure 6.2 pour la partie supérieure de la berge et figure 6.3 pour la partie inférieure de la berge). C'est l'élévation du rivage à une trentaine de mètres de la rive qui a servi pour la définition de la profondeur d'eau servant à calculer le déferlement des vagues. Les courbes jaunes et rouges concernent les zones considérées comme devant faire l'objet d'interventions alors que les courbes vertes et gris-vert représentent les zones qui n'auraient pas besoin d'interventions. Il est remarquable de constater sur les figures 6.2 et 6.3 que rien ne distingue vraiment les zones « à risque » des zones « sans risque ». Trois élévations de la berge (+0,9 m, +1,2 m et +1,5 m NMM) ont ainsi été retenues pour la sélection de la hauteur de vague et le dimensionnement des protections de berge (figure 6.3).

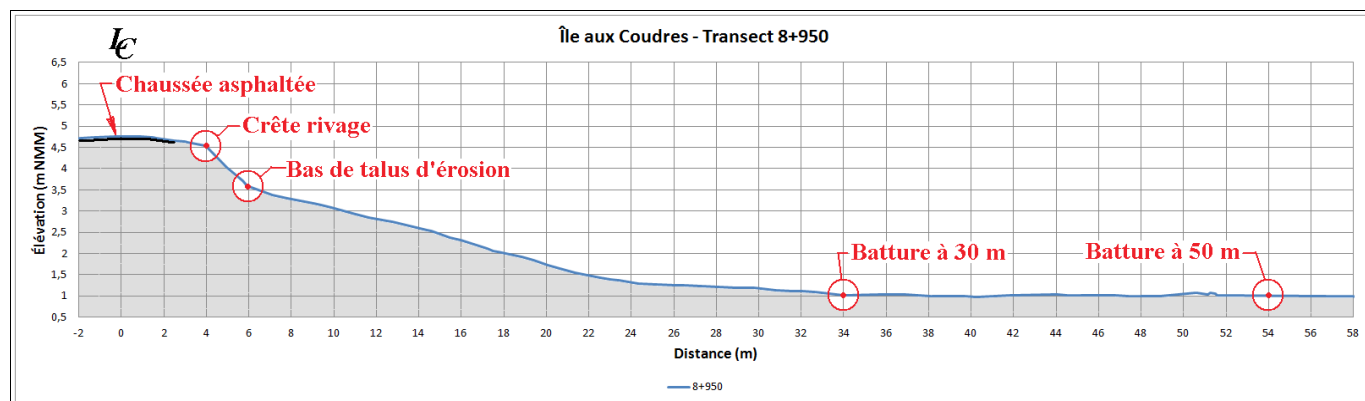


Figure 6.1 Coupe-type de la rive au chaînage 8+950 – Définition des points caractéristiques

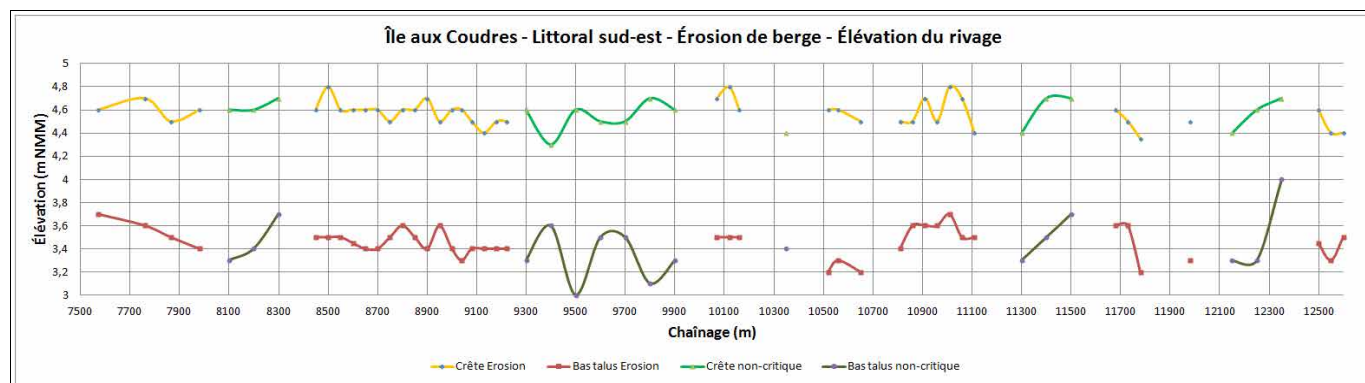


Figure 6.2 Élévation de la crête du rivage et du bas de talus d'érosion – Rive sud-est de l'île

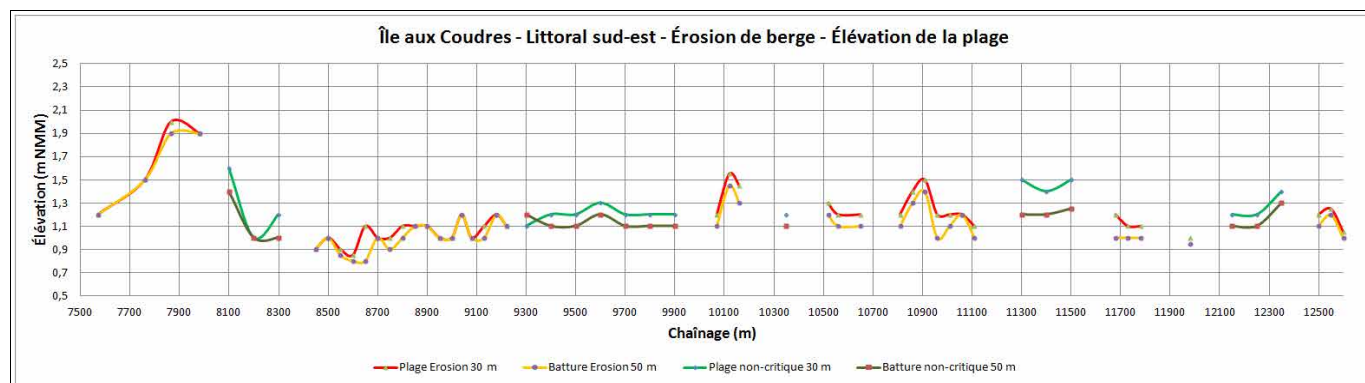


Figure 6.3 Élévation de la batture à 30 et 50 m du rivage – Rive sud-est de l'île

6.3 Hauteur de vagues recommandée près de la rive

Pour qu'un événement de tempête se produise à l'île aux Coudres, il est nécessaire de réunir deux conditions, soit :

- Une forte tempête du secteur sud-ouest ou nord-est et
- Un très haut niveau d'eau au moment du plus fort de la tempête.

Si les récurrences de chacun des deux événements (tempête, niveau d'eau) sont relativement bien connues, la récurrence combinée des deux événements extrêmes l'est moins. On sait que les fortes tempêtes du secteur nord-est peuvent s'accompagner d'une hausse des niveaux d'eau par rapport aux niveaux prédits par les tables de marée. Ce phénomène de surcote est par contre pratiquement absent en cas de tempête de secteur ouest.

L'hypothèse d'indépendance des variables « niveau d'eau » et « hauteur des vagues » a dû être posée pour permettre de calculer la récurrence d'événements combinés de hauts niveaux d'eau et de fortes vagues. A partir des caractéristiques statistiques des deux variables, il a alors été possible de calculer les couples « Niveau d'eau / Hauteur de vagues » pour une période de retour donnée.

Les figures 6.4 à 6.6 présentent graphiquement ces couples « Niveau d'eau / Hauteur de vagues » selon deux périodes de retour, soit 35 ans et 10 ans, pour les trois cas-types d'élévation (+0,9m, +1,2 m et +1,5 m) définissant la berge sud-est de l'île aux Coudres.

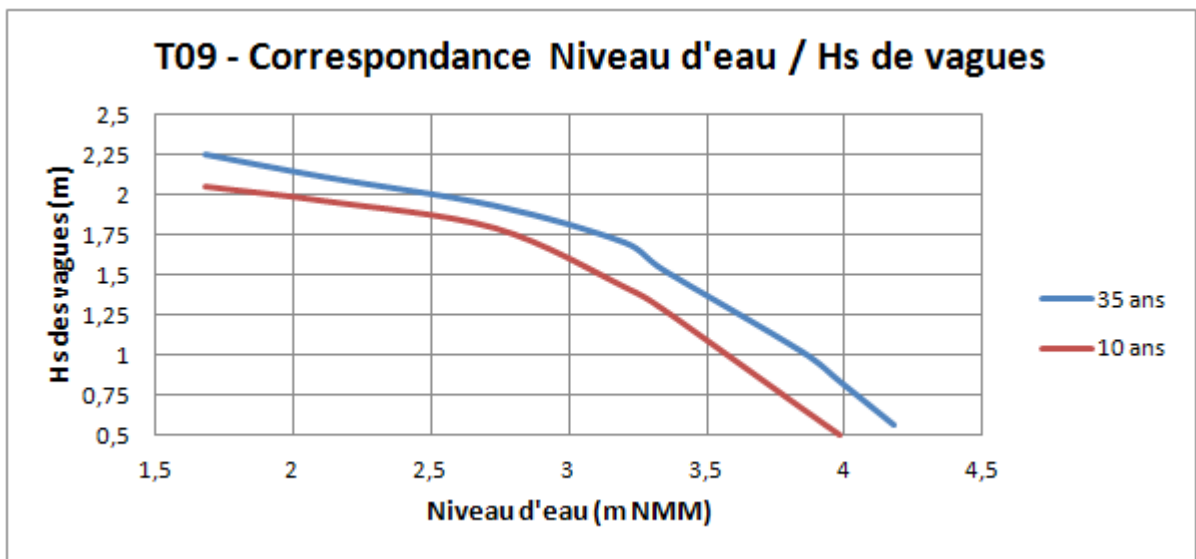


Figure 6.4 Relation « Niveau d'eau / Hauteur de vagues » pour une berge à +0,9 m NMM

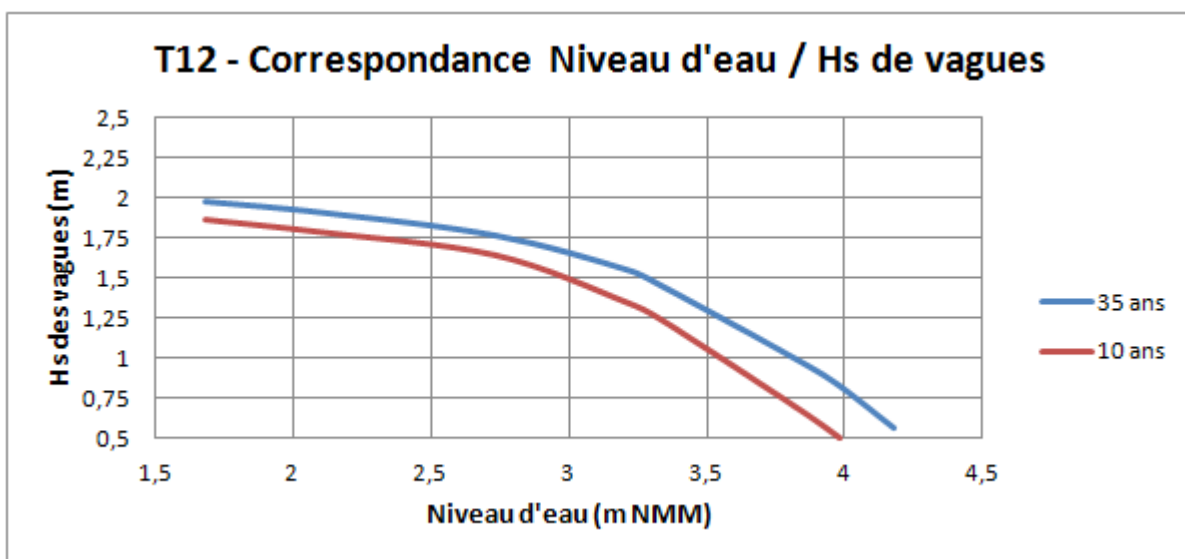


Figure 6.5 Relation « Niveau d'eau / Hauteur de vagues » pour une berge à +1,2 m NMM

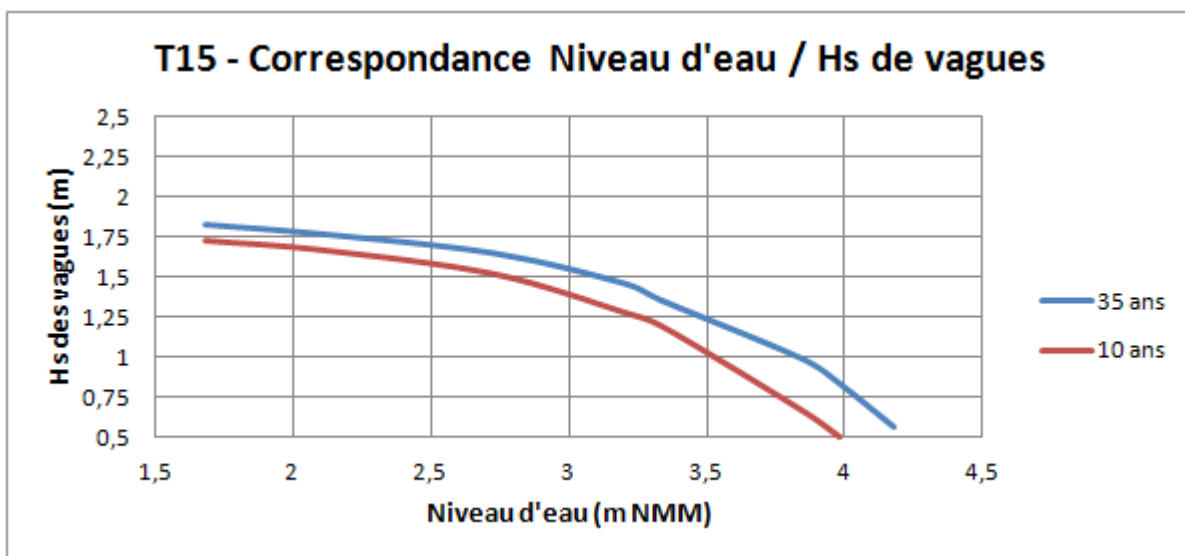


Figure 6.6 Relation « Niveau d'eau / Hauteur de vagues » pour une berge à +1,5 m NMM

6.4 Calcul de l'élévation de la crête des enrochements ou du mur

Des calculs de remontée du niveau d'eau sur un enrochement de type rip-rap ont été faits pour les valeurs de niveaux d'eau et de hauteur de vagues indiquées ci-dessus. Les figures 6.7 à 6.9 illustrent le résultat de ces calculs qui ont permis de déterminer l'élévation de la crête des enrochements. Les calculs ont été faits pour des événements de période de retour de 35 ans et 10 ans.

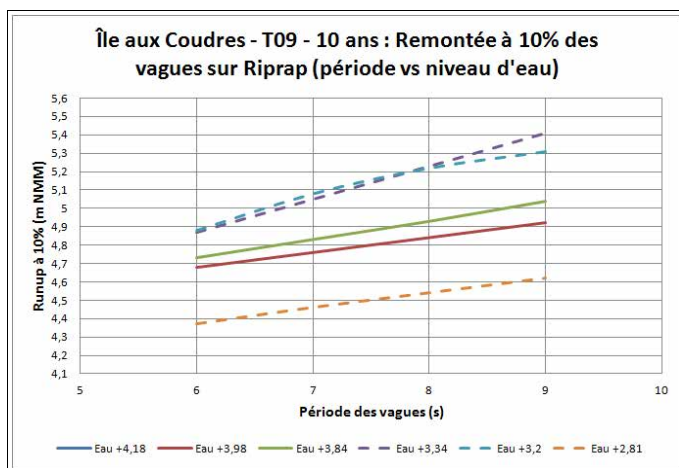
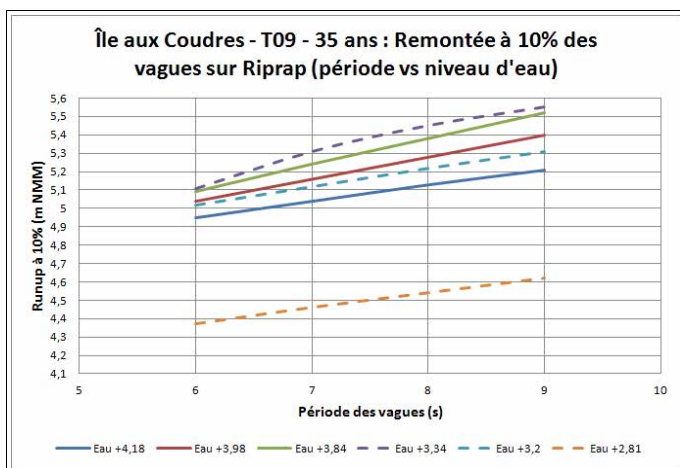


Figure 6.7 Résultat des calculs de remontée des niveaux d'eau pour une berge à +0,9 m NMM

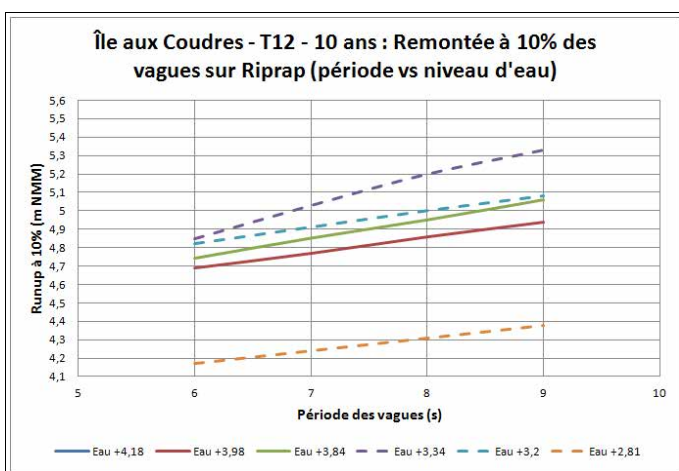
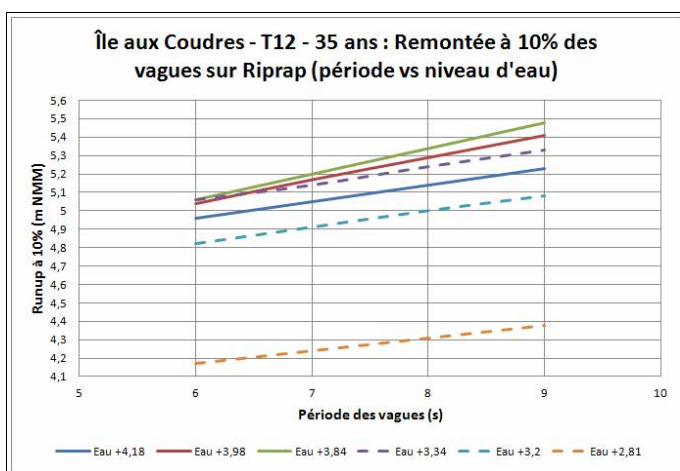


Figure 6.8 Résultat des calculs de remontée des niveaux d'eau pour une berge à +1,2 m NMM

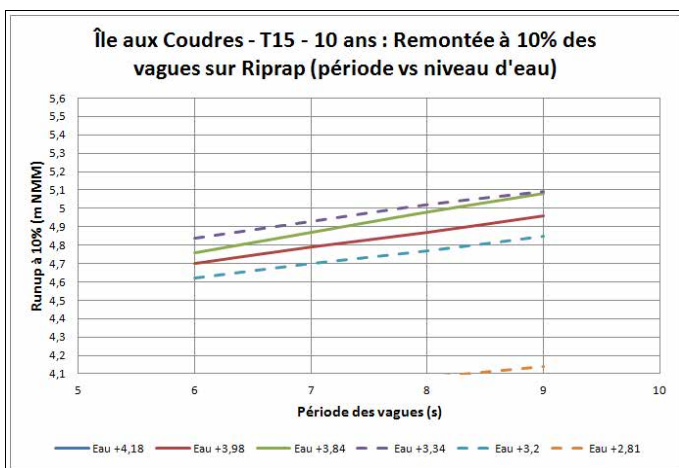
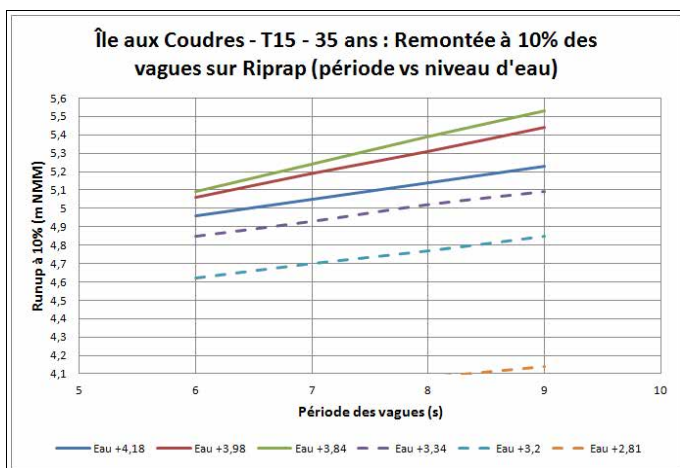


Figure 6.9 Résultat des calculs de remontée des niveaux d'eau pour une berge à +1,5 m NMM

On constate sur les figures précédentes qu'à cause du phénomène de déferlement, l'influence de l'élévation de la plage sur la remontée des vagues et sur l'élévation recommandée de la crête ne se fait pratiquement

pas sentir pour une période de retour de 35 ans. Ce paramètre est un peu plus efficace pour diminuer l'élévation de la crête des enrochements pour une période de retour de 10 ans, la hauteur des vagues de conception étant moins grande.

6.5 Méthodes de protection de berge

Plusieurs méthodes de protection de berge ont été développées pour tenter de maintenir un rivage en place, malgré les phénomènes d'érosion. Si l'on exclut les méthodes très rigides que sont les murs (béton, palplanches, encaissements de bois, etc.), la méthode traditionnelle de protection de berge est l'enrochement. Cette méthode est en général efficace en termes de coût de construction, mais elle pose des problèmes, dont une certaine fragilité aux événements extrêmes, et elle provoque à plus ou moins long terme la disparition des plages sur lesquelles sont installés ces enrochements classiques à pente relativement raide (souvent 1,5H / 1V).

Des méthodes alternatives de protection de berge existent et ont été évaluées dans le cadre de ce projet.

Les enrochements de type « rip-rap » se caractérisent par une dimension moyenne des pierres plus petite et une granulométrie des enrochements plus étalée que celle des enrochements classiques, ainsi que par des pentes externes plus douces. Ces caractéristiques en font une méthode moins dommageable pour les plages qui se trouvent au pied de ce type d'enrochement. En contre-partie, à cause de la présence de pierres relativement petites dans l'enrochement, ce genre de protection de berge requiert des interventions de recharge pour compenser les pertes provoquées par le bris des petites pierres lors des tempêtes et le « prélèvement » de ces petites pierres par les glaces en hiver. Les avantages de ce type de protection de berge par rapport à l'enrochement classique sont une disponibilité plus grande des matériaux (moins de sélection) et un travail moindre pour l'entrepreneur dans la carrière et sur le site de mise en place (moindre coût des matériaux à mettre en place). Le Coastal Engineering Manual mentionne qu'une limite à l'utilisation des enrochements de type « rip-rap » est la hauteur de vague. Au-delà de 1,5 m de hauteur significative de vague, l'enrochement classique est en général plus économique.

Les méthodes de recharge de plage à l'aide de sable, de gravier ou de galets sont également des méthodes qui, lorsqu'elles sont applicables, se révèlent la meilleure protection qui peut être mise en place sur une plage existante. L'un des avantages majeurs des plages est qu'elles sont très efficaces à réduire l'impact des événements extrêmes sur les côtes. Comme il faut s'attendre, avec la hausse du niveau moyen des océans, à une récurrence accrue des événements extrêmes sur les côtes, la solution de recharge de plage doit certainement être envisagée dans une perspective de protection à long terme des côtes. Cependant, les principaux problèmes de ces solutions de recharge de plage sont souvent une configuration de la côte qui n'est pas propice à la mise en place d'une telle solution (à moins de mettre en place un système d'épis transversaux), la difficulté à trouver les matériaux adéquats en quantité suffisante et à un coût raisonnable et la nécessité de recharger régulièrement les plages.

6.6 Calcul de la grosseur des enrochements de type rip-rap

Les calculs de remontée des vagues ont également permis de déterminer la hauteur réelle des vagues de dimensionnement des enrochements de type rip-rap en tenant compte du déferlement.

Les deux tableaux suivants résument l'ensemble des informations concernant le dimensionnement d'une protection de type rip-rap dans le contexte de la rive sud-est de l'île aux Coudres en fonction d'une période de retour des événements de dimensionnement de 35 ans puis de 10 ans.

Tableau 6.1 Dimensionnement d'un rip-rap en fonction d'une période de retour de 35 ans

| Récurrence 35 ans | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------|----------|-------|---------|---------|-------|------|------|------|------|------|------|-----------|---------------|-----------|
| Section | Chaînage | Hsmax | Eau | Runup | Pente | Wmin | Wmoy | Wmax | Dmin | Dmoy | Dmax | Épaisseur | Largeur crête | Quantités |
| -type | | (m) | (m NMM) | (m NMM) | | (kg) | (kg) | (kg) | (mm) | (mm) | (mm) | (m) | (m) | (m³/m) |
| T09 | 8+600 | 1,7 | 3,34 | 5,5 | 2 | 95 | 750 | 3000 | 380 | 760 | 1200 | 1,5 | 2,3 | 14 |
| | | | | | 3 | 60 | 500 | 2000 | 330 | 660 | 1050 | 1,3 | 2 | 19 |
| | | | | | 4 | 50 | 375 | 1500 | 310 | 600 | 950 | 1,2 | 1,8 | 26 |
| T12 | 11+010 | 1,5 | 3,34 | 5,4 | 2 | 65 | 515 | 2055 | 330 | 670 | 1060 | 1,35 | 2 | 10 |
| | | | | | 3 | 45 | 345 | 1370 | 300 | 580 | 920 | 1,2 | 1,75 | 14 |
| | | | | | 4 | 35 | 255 | 1025 | 270 | 530 | 840 | 1,05 | 1,6 | 18 |
| T15 | 10+910 | 1,3 | 3,34 | 5,4 | 2 | 45 | 335 | 1340 | 300 | 580 | 920 | 1,15 | 1,75 | 9 |
| | | | | | 3 | 30 | 225 | 890 | 260 | 510 | 800 | 1 | 1,5 | 11 |
| | | | | | 4 | 20 | 170 | 670 | 230 | 460 | 730 | 0,95 | 1,4 | 16 |

Tableau 6.2 Dimensionnement d'un rip-rap en fonction d'une période de retour de 10 ans

| Récurrence 10 ans | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------|----------|-------|---------|---------|-------|------|------|------|------|------|------|-----------|---------------|-----------|
| Section | Chaînage | Hsmax | Eau | Runup | Pente | Wmin | Wmoy | Wmax | Dmin | Dmoy | Dmax | Épaisseur | Largeur crête | Quantités |
| -type | | (m) | (m NMM) | (m NMM) | | (kg) | (kg) | (kg) | (mm) | (mm) | (mm) | (m) | (m) | (m³/m) |
| T09 | 8+600 | 1,6 | 3,34 | 5,3 | 3 | 50 | 415 | 1700 | 310 | 640 | 990 | 1,25 | 1,9 | 16 |
| | | | | | 4 | 40 | 310 | 1250 | 280 | 560 | 900 | 1,15 | 1,7 | 23 |
| | | | | | 5 | 30 | 250 | 1000 | 260 | 520 | 830 | 1,05 | 1,6 | 28 |
| T12 | 11+010 | 1,45 | 3,34 | 5,25 | 3 | 40 | 310 | 1240 | 280 | 560 | 890 | 1,15 | 1,7 | 13 |
| | | | | | 4 | 30 | 235 | 930 | 260 | 510 | 810 | 1,05 | 1,55 | 17 |
| | | | | | 5 | 25 | 185 | 740 | 240 | 470 | 750 | 0,95 | 1,45 | 22 |
| T15 | 10+910 | 1,3 | 3,34 | 5,05 | 3 | 30 | 225 | 890 | 260 | 510 | 800 | 1 | 1,5 | 10 |
| | | | | | 4 | 20 | 170 | 670 | 230 | 460 | 730 | 0,95 | 1,4 | 13 |
| | | | | | 5 | 20 | 135 | 635 | 230 | 430 | 710 | 0,85 | 1,3 | 17 |

Les calculs de la grosseur du rip-rap ont été faits à l'aide des équations du Coastal Engineering Manual¹⁰.

¹⁰C.E.M. - US Army Corps of Engineers – Chapitre VI-5-3-7, page VI-5-84

6.7 Coupes-types d'enrochements de type rip-rap

Les figures suivantes illustrent les différentes coupes-types d'enrochement de type rip-rap qu'il faudrait mettre en place le long de la rive sud-est de l'île aux Coudres pour contrer les phénomènes d'érosion en fonction de la période de retour considérée (35 ans ou 10 ans). Les variables illustrées sont l'élévation de concept de la plage (de +0,9 m à +1,5 m NMM), la période de retour des événements de dimensionnement (35 ans ou 10 ans) et la pente externe du rip-rap (de 2/1 à 5/1).

Seules les élévations de concept extrêmes de la plage (+0,9 m et +1,5 m NMM) ont été retenues pour ces illustrations, les différences en termes de rip-rap (taille, élévation de la crête, épaisseur de couche, etc.) n'étant pas très grandes d'un type de plage à l'autre.

Les figures 6.10 et 6.11 montrent les coupes-types pour des transects où l'élévation de concept de la plage serait de +0,9 m NMM.

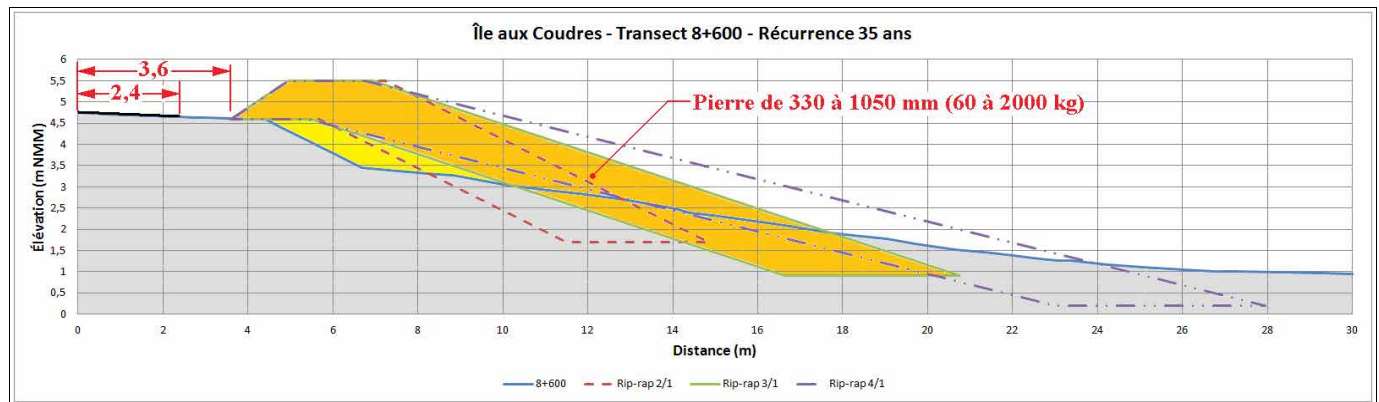


Figure 6.10 Coupe-type d'un rip-rap au chaînage 8+600 (+0,9 m NMM) – Période de retour de 35 ans

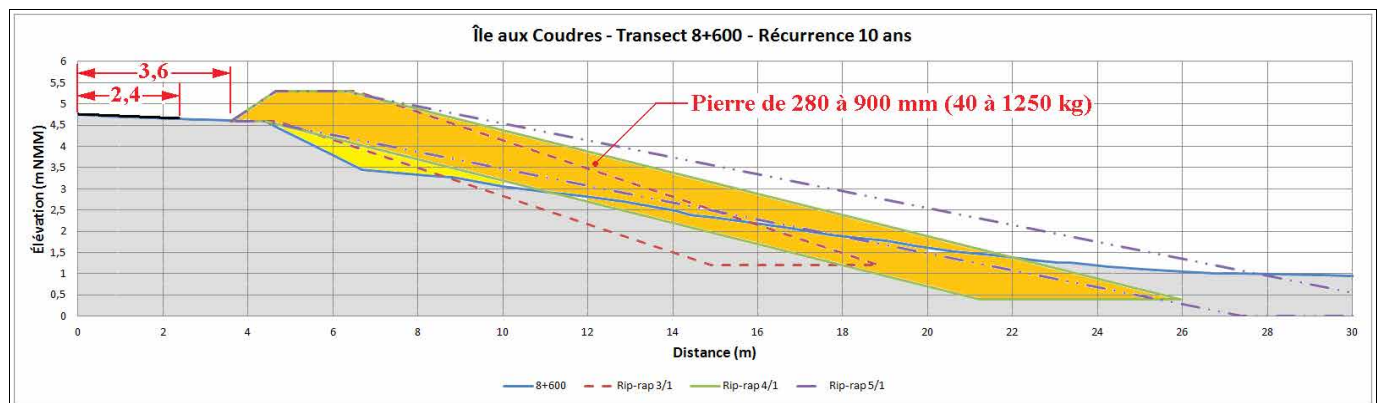


Figure 6.11 Coupe-type d'un rip-rap au chaînage 8+600 (+0,9 m NMM) – Période de retour de 10 ans

Les figures 6.12 et 6.13 montrent les coupes-types pour des transects où l'élévation de concept de la plage serait de +1,5 m NMM.

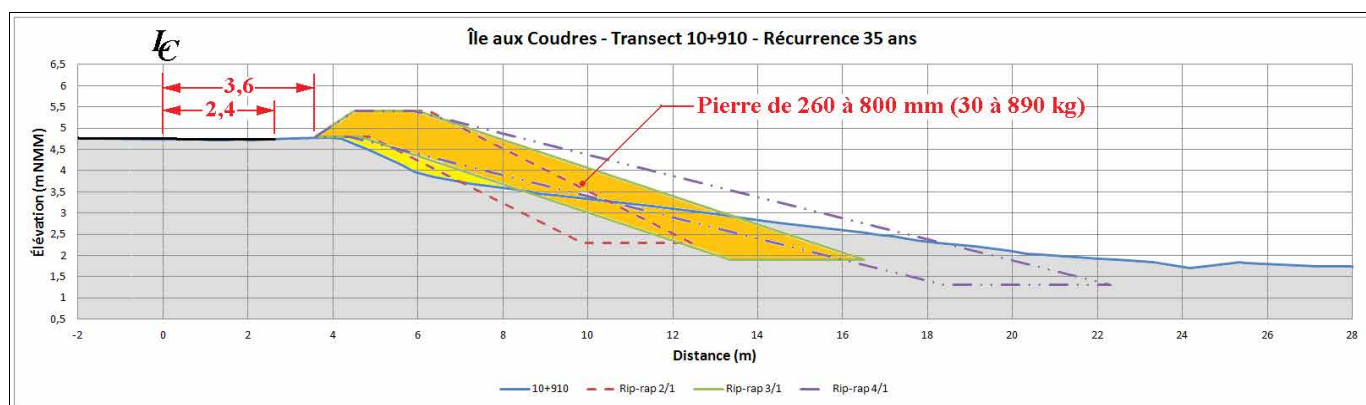


Figure 6.12 Coupe-type d'un rip-rap au chaînage 10+910 (+1,5 m NMM) – Période de retour de 35 ans

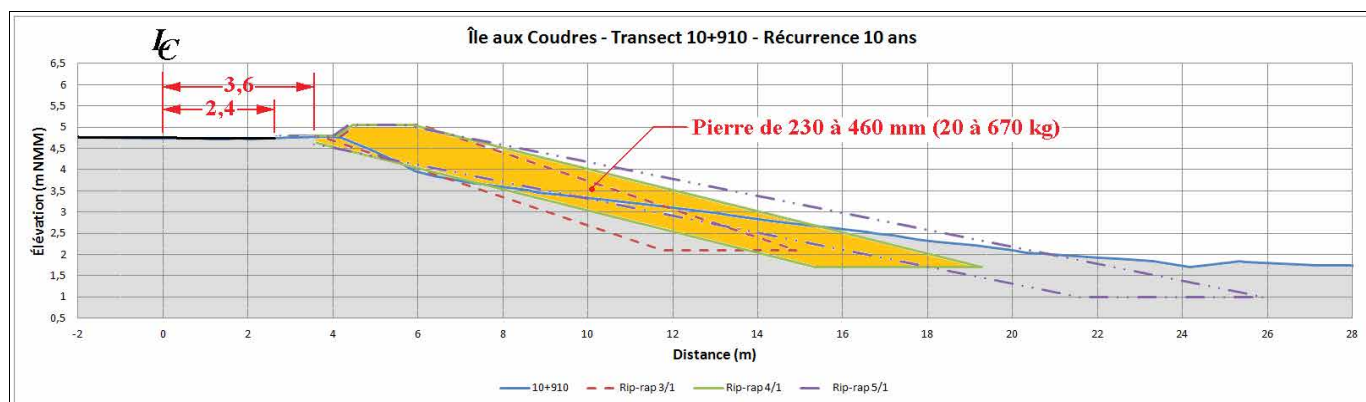


Figure 6.12 Coupe-type d'un rip-rap au chaînage 10+910 (+1,5 m NMM) – Période de retour de 10 ans

6.8 Évaluation des quantités d'enrochement

Une évaluation sommaire a été faite des quantités de matériaux qu'impliquerait un projet de protection en enrochement de type rip-rap de la plage le long du Chemin des Coudriers à l'Isle-aux-Coudres, du côté sud-est de l'île. La zone concernée par cette évaluation toucherait une longueur d'environ 1,8 kilomètres de rive.

Les quantités unitaires varient selon le scénario retenu (durabilité du concept, pente externe), mais en prenant une valeur moyenne de $18 \text{ m}^3/\text{m}$, on obtiendrait $32\,400 \text{ m}^3$ de pierre à mettre en place.

En fonction de la solution retenue et de la période de retour de l'événement de conception, il faut prévoir une recharge récurrente pour compenser les pertes de pierres provoquées par les vagues et les glaces. La fréquence à laquelle ces recharges pourraient être requises serait de 10 à 15 ans pour un concept dont l'événement de conception a une récurrence de 35 ans et de 5 à 8 ans pour un concept dont l'événement de conception a une récurrence de 10 ans.

7 Concepts de recharge de plage

7.1 Concept

Le CEM¹¹ propose une équation permettant de calculer la géométrie d'une plage à partir des caractéristiques du matériel la constituant. Il s'agit d'une relation très simplifiée ne faisant intervenir que le diamètre médian des matériaux de la plage et l'équation ne peut que donner une idée du profil d'équilibre probable de la plage. Une plage réelle est nettement plus complexe que cette idéalisation. Cette équation est la suivante :

$$h = A y^{2/3} \quad [\text{Équation III-3-14}]$$

où h est l'élévation et y la distance en mètres.

La figure 7.1 présente l'une des deux relations proposées dans le CEM entre le coefficient « A » et le diamètre D_{50} du matériel de la plage.

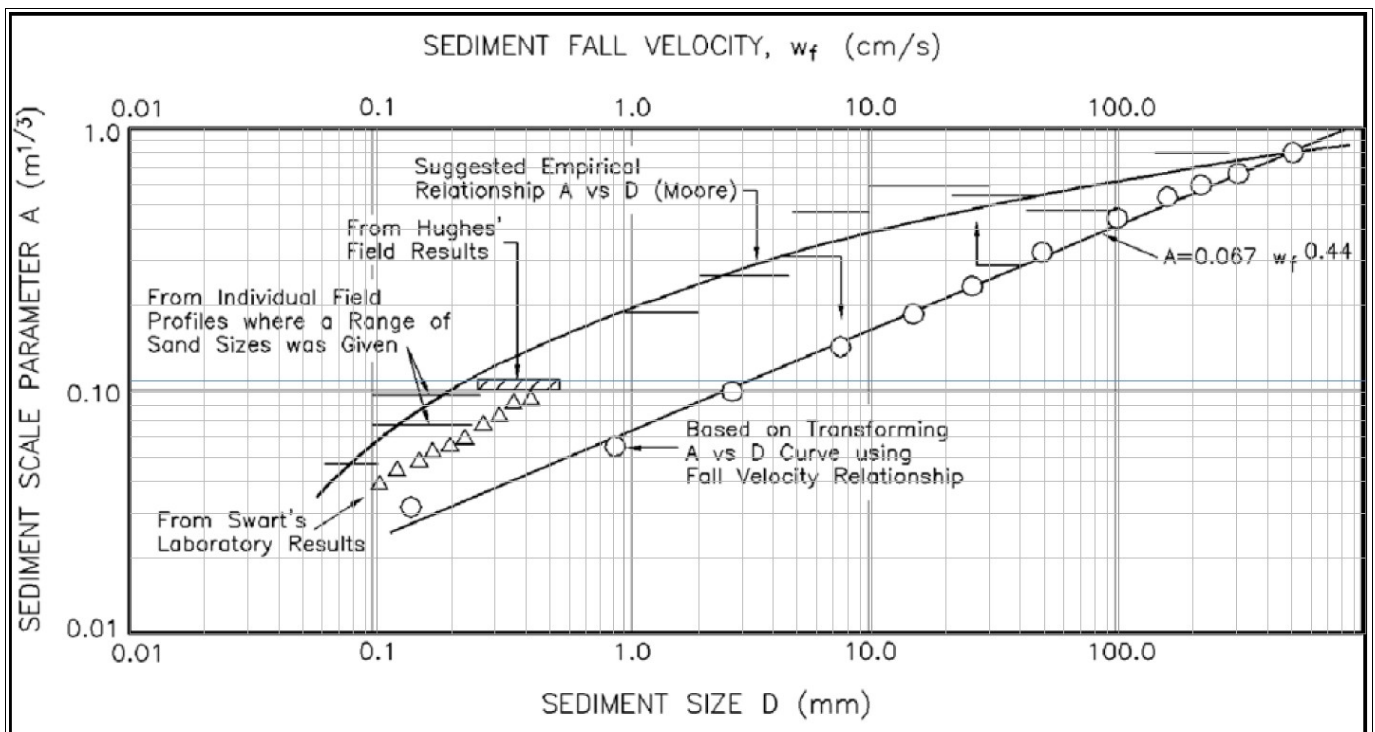


Figure III-3-17. Variation of sediment scale parameter A with sediment size D and fall velocity w_f (Dean 1987b)

Figure 7.1 Relation entre le paramètre « A » et le diamètre médian du matériel de recharge

¹¹Coastal Engineering Manual, U.S. Army Corps of Engineer, Chapitre III-3-3

7.2 Profil d'équilibre de la plage actuelle

La première chose qui a été faite avec cette équation a été de déterminer le D_{50} des sédiments constituant les plages actuelles de l'île selon l'équation du CEM.

Les figures 7.2 et 7.3 montrent qu'il faut faire l'hypothèse d'un matériel ayant un D_{50} de l'ordre de 40 mm pour le transect 8+600 (plage plus exposée) et de 20 mm pour le transect 10+910 (plage moins exposée) pour que les profils des transects se comparent au profil d'équilibre d'une plage.

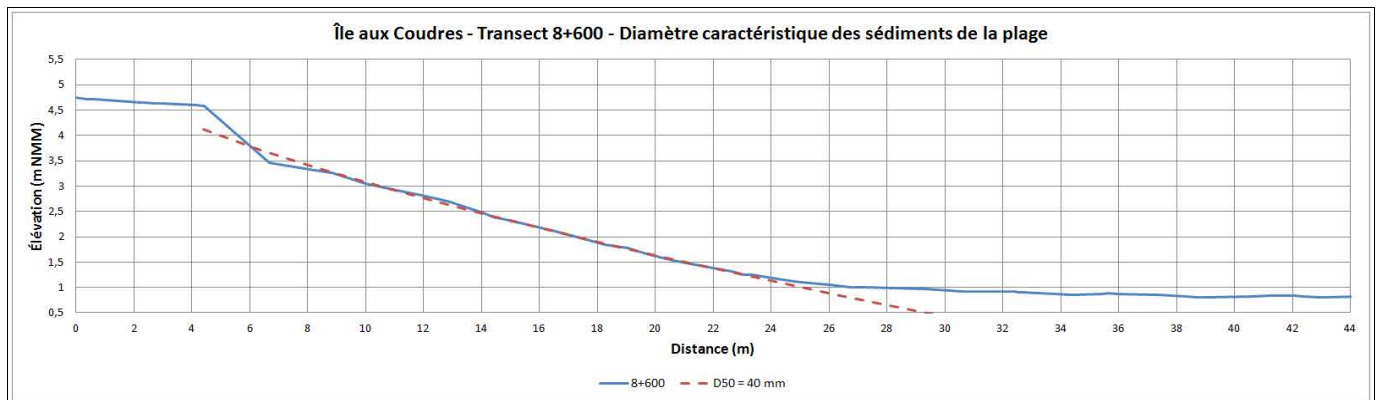


Figure 7.2 Coupe-type de la plage en 8+600 et D_{50} équivalent (40 mm)

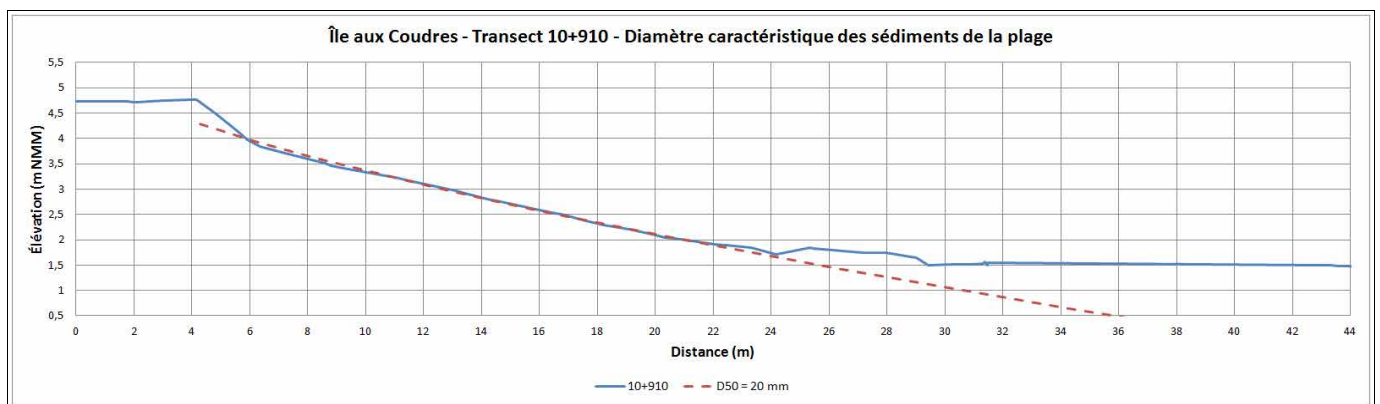


Figure 7.3 Coupe-type de la plage en 10+910 et D_{50} équivalent (20 mm)

7.3 Profils d'équilibre d'une plage rechargée

Les figures 7.4 et 7.5 illustrent les profils d'équilibre d'une plage qui serait rechargée avec des sédiments ayant des valeurs caractéristiques du diamètre médian D_{50} variant de 5 mm à 100 mm. La pente de la plage en équilibre décroît assez rapidement avec la valeur du D_{50} .

Ces figures illustrent le fait qu'il faudrait envisager du matériel de recharge de plage qui s'apparenterait à du gravier grossier (D_{50} de 40 mm – Ch. 11+910 – Figure 7.5) ou même du caillou (D_{50} de 100 mm – Ch. 8+600 – Figure 7.4) pour obtenir des profils de plage qui n'empièteraient pas trop sur la batture et qui limiteraient les quantités de matériaux à mettre en place.

Même avec ces diamètres médians de 40 mm et 100 mm, le projet de recharge de plage ferait disparaître une partie non négligeable des herbiers de spartine présents sur les berges de l'île aux Coudres.

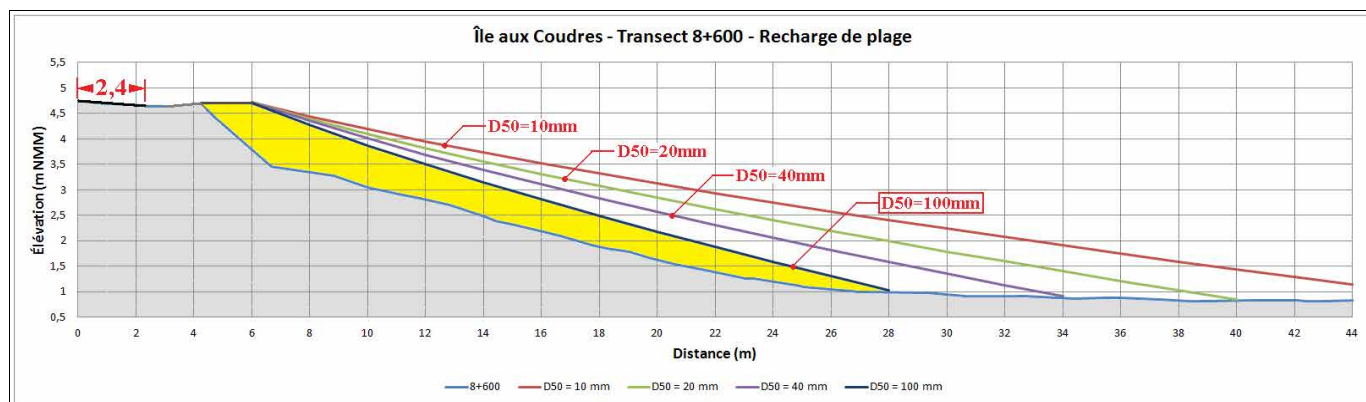


Figure 7.4 Transect 8+600 et profils d'équilibre de plage - D_{50} = 10 à 100 mm

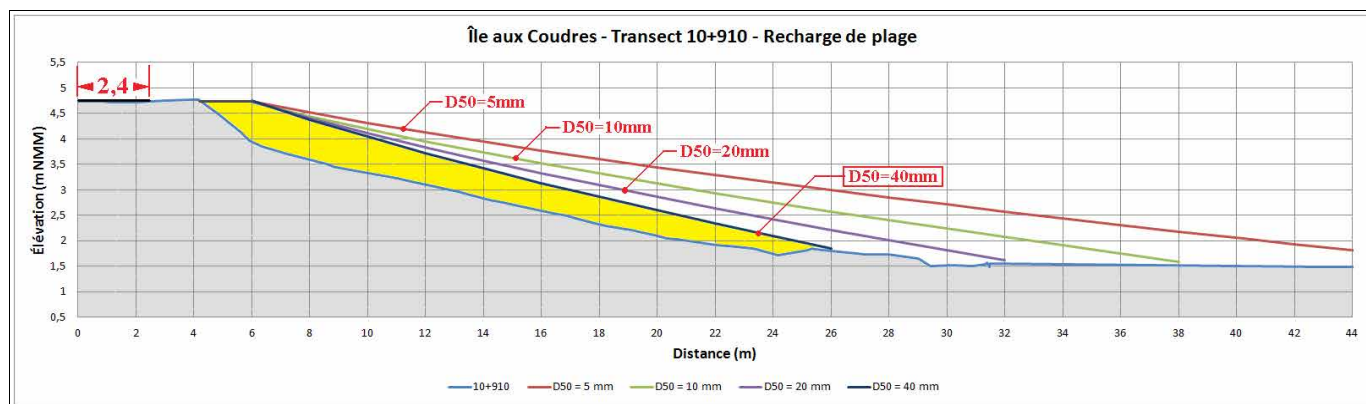


Figure 7.5 Transect 10+910 et profils d'équilibre de plage - D_{50} = 5 à 40 mm

7.4 Évaluation des quantités de matériel de recharge

Une évaluation sommaire a été faite des quantités de matériaux qu'impliquerait un projet de recharge de la plage le long de la rive sud-est de l'île aux Coudres. La zone concernée par ce projet ferait environ 2,4 km de long (alors que les enrochements ne concernent qu'une longueur d'environ 1,8 km de rive) parce qu'un tel projet de recharge de plage ne peut pas s'envisager sur des tronçons de rive courts et discontinus.

Les quantités calculées pour la configuration de la figure 7.4 (Ch. 8+600 - D_{50} de 100 mm) sont de 14 m³/m et elles sont de 11,7 m³/m pour la configuration de la figure 7.5 (Ch. 10+910 - D_{50} de 40 mm). Compte tenu du peu de longueur de rive que représente le cas du transect 10+910 (9 %), un projet de recharge de plage sur la rive sud-est de l'île aux Coudres devrait probablement s'orienter vers un matériel granulaire présentant un D_{50} de 100 mm. Il s'agirait d'une plage de gros galets et non de sable et gravier tel qu'on en retrouve actuellement sur cette rive.

Pour 2,4 km de rive, on parlerait d'environ 33 000 m³ de matériel à mettre en place la première fois. Des recharges récurrentes seraient requises tous les 5 à 7 ans.

8 Conclusion et recommandations

8.1 Conclusion

Dans le cadre de ce rapport, une évaluation des infrastructures de protection de berge de la rive sud-est de l'île aux Coudres a été faite en fonction des variations de niveau d'eau et de la hauteur des vagues de tempêtes dans cette partie du fleuve Saint-Laurent.

Le MTQ ayant déjà évalué deux solutions de protection de berge en enrochement (enrochement classique avec crête environ deux mètres au-dessus de la route et enrochement classique avec crête à la hauteur de la route), les solutions plus particulièrement étudiées dans ce rapport ont été celle de l'enrochement de type « rip-rap » (granulométrie des pierres plus étalées et dimension moyenne des pierres plus petites que pour la solution des enrochements classiques) et celle de la recharge de plage en gravier.

La première conclusion est que l'élévation des terrains et de la route qui longent la rive sud-est de l'île aux Coudres est relativement faible et ne permet pas de mettre la berge et la route naturellement à l'abri d'événements de submersion lors de tempêtes accompagnées de très hauts niveaux d'eau. Dans une perspective à moyen et long termes, il faudra en plus tenir compte des changements climatiques et de la hausse du niveau moyen des océans qui va augmenter la fréquence des événements dommageables pour cette rive de l'île aux Coudres. La solution consistant à ne rien faire devrait conduire à court ou moyen terme (1 à 5 ans) à la fermeture de la route côtière, certaines sections de cette route étant directement menacées par l'érosion de la berge. Il y a également une problématique de sécurité publique, l'accès à certaines résidences pouvant être compromis.

Les alternatives à l'enrochement étudiées dans le cadre de ce mandat ne sont pas des solutions sans problème. Que ce soit l'enrochement de type rip-rap ou la recharge de plage, ces alternatives à l'enrochement classique provoquent une modification drastique de la nature même de la plage et un empiètement éliminant non seulement la plage mais aussi une partie des plaques de spartines qui jalonnent ce rivage. Ces deux types de solutions impliquent par ailleurs des interventions d'entretien (ou de recharge) récurrentes tous les 5 à 15 ans.

La solution ayant actuellement le moins d'impacts négatifs pour maintenir la route en place est l'enrochement avec une crête minimale (à hauteur de la route) qui permettrait de limiter les perturbations sur la berge. La faible élévation de la crête de cet enrochement proposé par le MTQ minimise l'empiètement sur la plage et les risques de disparition de la plage au pied des enrochements. De plus, le fait de réduire la pente externe des enrochements (mesure proposée par le MTQ) diminuerait encore les risques de disparition de la plage. L'implantation naturelle et la croissance de la végétation en crête et dans l'enrochement en place se font de façon efficace dans les sections déjà enrochées (voir figures 2.9, 2.13, 2.17, 2.18 et 2.22). Une crête plus haute (destinée à réduire les franchissements) augmenterait

l'empiètement sur la plage et poserait un problème de visibilité du fleuve aux utilisateurs de la route et notamment aux touristes qui viennent surtout à cet endroit pour observer le paysage marin.

8.2 Recommandations

La solution de protection de berge recommandée le long de la rive sud-est de l'île aux Coudres est celle de l'enrochement dont l'élévation de la crête est similaire à celle de la route. Bien que la durée de vie utile probable de cette solution soit moindre que celle de l'enrochement avec une crête plus élevée, mais du même ordre de grandeur que celle des deux autres solutions (rip-rap et recharge), cette solution présente nettement moins d'impacts sur la plage que toutes les autres solutions envisagées.

Des inspections annuelles (de préférence au printemps) sont recommandées sur les enrochements pour détecter à l'avance les problèmes potentiels. L'entretien nécessaire pour maintenir le bon état et la pérennité des travaux d'enrochements est normalement minime si le contrôle de qualité requis a été fait lors de la construction.

Un suivi du rehaussement du niveau moyen des océans serait recommandé pour évaluer à l'avance les conséquences des modifications importantes qui pourraient se produire à une échelle régionale suite à ces changements du niveau moyen des océans.



Yann Ropars, ing., M. Sc.

Annexe 2

Étude de suivi du MTQ sur l'état de deux sections de plage suite aux enrochements réalisés

ÉTAT DE LA PLAGE DE DEUX SECTEURS DU CHEMIN DES COUDRIERS À L'ISLE-AUX-COUDRES SELON LES DONNÉES DE SUIVI DEPUIS 5 ANS

**PRÉSENTÉ AU MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT, DE LA
FAUNE ET DES PARCS**

PAR

SARA MARMEN, biologiste stagiaire

DIRECTION DE LA CAPITALE-NATIONALE

MINISTÈRE DES TRANSPORTS

AUTOMNE 2012

TABLE DES MATIÈRES

| | |
|--------------------------|---|
| TABLE DES MATIÈRES | i |
| Liste des figures | i |
| INTRODUCTION | 1 |
| MÉTHODOLOGIE | 3 |
| RÉSULTATS | 5 |
| CONCLUSION..... | 7 |

Liste des figures

| | | |
|-----------|---|----|
| Figure 1 | Plan de la plage du secteur La Baleine à l'Île-aux-Coudres, en juin 2012..... | 8 |
| Figure 2 | Plan de la plage du secteur de la maison au toit rouge à l'Île-aux-Coudres en juin 2012 . | 9 |
| Figure 3 | Carte « GoogleMap » de localisation des points d'échantillonnage de La Baleine et de la maison au toit rouge à l'Île-aux-Coudres en juin 2012 | 10 |
| Figure 4 | Photo XEOS 2005 du secteur d'échantillonnage de la maison au toit rouge à l'Île-aux-Coudres avant les travaux d'empierrement (positionner le secteur d'échantillonnage et au même endroit que la figure 4 (avant travaux))..... | 11 |
| Figure 5 | Photo XEOS 2005 du secteur d'échantillonnage de La Baleine à l'Île-aux-Coudres avant les travaux d'empierrement | 12 |
| Figure 6 | Photo XEOS 2012 des secteurs d'échantillonnage de la maison au toit rouge à l'Île-aux-Coudres après les travaux d'empierrement..... | 13 |
| Figure 7 | Photo XEOS 2012 des secteurs d'échantillonnage de Baleine à l'Île-aux-Coudres après les travaux d'empierrement (positionner le secteur d'échantillonnage au même endroit que la figure 5 (avant travaux))..... | 14 |
| Figure 8 | Photo oblique de la plage vis-à-vis l'enrochement dans le secteur de la maison au toit rouge, à l'Île-aux-Coudres en juin 2012 | 15 |
| Figure 9 | Photo oblique de la végétalisation de l'enrochement du secteur de la maison au toit rouge, à l'Île-aux-Coudres en juin 2012 | 16 |
| Figure 10 | Photo oblique du haut de l'enrochement du secteur de la maison au toit rouge, à l'Île-aux-Coudres en juin 2012..... | 17 |
| Figure 11 | Photo oblique de la végétation en fin d'enrochement du secteur de la maison au toit rouge, à l'Île-aux-Coudres en juin 2012 – À noter : aucune trace d'érosion..... | 18 |

Figure 12 Photo oblique de la végétation d'enrochement du secteur de la maison au toit rouge, à l'Île-
aux-Coudres en septembre 2011. Il est possible d'observer sur cette photo la présence de
plantes de bord de mer comme l'arroche hastée (*Atriplex hastata*), l'élyme des sables
(*Elymus arenarius*) et le caquillier édentulé (*Cakile edentula*). 19

État de la plage

INTRODUCTION

La partie sud de l'Isle-aux-Coudres est soumise aux intempéries du fleuve qui fragilisent le réseau routier situé en bord de mer. Certains endroits spécifiques ont été endommagés par l'érosion et des enrochements ont été implantés dans deux secteurs pour contrer le phénomène. Ces enrochements ont été réalisés en hiver 2007-2008 suite à l'obtention d'un certificat d'autorisation en vertu de l'article 22 la *Loi sur la qualité de l'environnement* (L.Q.E.) (no dossier 7106-07-0909).

Par ailleurs, le ministère des Transports, conjointement avec la municipalité de l'Isle-aux-Coudres, a réalisé une étude d'impact dans le but d'obtenir un décret du ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs (MDDEFP) pour stabiliser d'autres secteurs de la côte qui nécessitent une protection.

Dans le cadre de cette étude d'impact, les représentants du MDDEFP ont soulevé beaucoup de craintes sur le devenir de la plage au pied des enrochements prévus et sur l'apparence de ces enrochements dans le paysage de l'île. Le Ministère des Transports a donc profité du fait que des enrochements avaient été réalisés il y a cinq ans pour y effectuer un suivi afin de documenter l'état des lieux relativement aux appréhensions du MDDEFP sur les impacts que les enrochements suscitent. Divers mesures et des photographies ont donc été prises aux deux secteurs où des enrochements ont été faits il y a cinq ans (voir leur localisation à la figure 3).

De plus, un examen des images à haute définition XEOS acquises pour les années 2005 et 2012 (respectivement avant et après les travaux) a été réalisé.

MÉTHODOLOGIE

Le 28 juin 2012, une visite a été effectuée sur deux des secteurs enrochés il y a cinq ans (respectivement en face des numéros civiques 2335 et 2365 Chemin des Coudriers) afin d'y mesurer la largeur de la plage actuelle et d'y examiner la nature des matériaux qui la composent . Un examen sommaire de la végétation y a de plus été réalisé dans le but d'évaluer le succès de reprise des plantations et d'identifier la végétation qui s'est implantée naturellement suite aux travaux d'enrochement.

Le premier objectif des relevés était d'obtenir une vue en plan et à l'échelle de la plage actuelle devant les enrochements et dans des secteurs adjacents exempts d'enrochement. La ligne de rive de la route jouxtant l'enrochement a servi de point de départ, donc de valeur '0'. À l'aide d'un gallon à mesurer, des transects perpendiculaires à la ligne de rive et espacés de dix mètres ont été établis afin d'y mesurer la limite de l'enrochement, la position de la première laisse de mer (qui représente en fait une ligne de niveau) et la partie amont du marais à spartine. Dans les secteurs non enrochés situés de part et d'autre de l'enrochement, c'est la micro-falaise qui était mesurée plutôt que la base de l'enrochement.

Par la suite, des photos XEOS (photos verticales à haute définition) des sites à l'étude ont été analysées en comparant deux séries de photos, la première datant de 2005 (avant les travaux) et la seconde de 2012 (après les travaux).

Enfin, des photographies obliques ont été prises pour illustrer la nature des matériaux composant la plage et l'état de la végétation dans les enrochements et à leurs extrémités.

RÉSULTATS

Comme le montrent les figures 1 et 2, la superficie de la plage comprise entre la première laisse de mer et le marais à scirpe ne semble pas avoir changé et correspond à ce que l'on peut voir de part et d'autre de l'enrochement. La seule superficie qui a diminué est celle reliée directement à l'enrochement. Concernant le type de matériel qui compose la plage, aucune différence ne peut être observée à l'œil nu (*in situ*) ni par les photos XEOS, entre les secteurs enrochés et les secteurs qui ne le sont pas (voir figures 4 à 8, 9, 11 et 12). De plus, les enrochements s'intègrent bien au paysage puisqu'ils ont été végétalisés à l'aide de plantations dans leur partie supérieure et que la végétation s'y est implantée naturellement, particulièrement dans les laisses de mer mêlées à du matériel granulaire (sable et gravier) où la principale plante qui a envahi le milieu est la roquette de mer (*Cakile edentula*), qui à la fin de l'été couvre une partie des enrochements (voir figure 12). De plus, l'arroche hastée (*Atriplex hastata*) et l'élyme des sables (*Elymus arenarius*) se sont implantés dans les enrochements.

CONCLUSION

En résumé, bien que ces relevés soient relativement sommaires, ils indiquent bien qu'à première vue rien ne semble avoir changé depuis les cinq dernières années dans la portion de plage située devant les enrochements : la largeur de la plage est demeurée similaire, ainsi que sa granulométrie et le positionnement du marais à spartine, et ce malgré qu'en hiver 2010-2011, il y ait eu des événements de tempête et de fortes marées qui ont causé d'importants dégâts ailleurs sur l'île. Sur la figure 11, on peut aussi remarquer que les effets de bout appréhendés ne se sont pas manifestés. De plus, sur le plan visuel, le succès de l'implantation de la végétation en haut de l'empierrement combinée à la végétation qui s'est implantée naturellement dans l'enrochement permet une bonne intégration et limite l'impact négatif des enrochements. Sur ce plan on peut remarquer à la figure 9 dans la partie supérieure de l'empierrement, la présence d'arbres implantés naturellement.

Figure 1 Plan de la plage du secteur Chemin des Coudriers à l'Île-aux-Coudres, en juin 2012

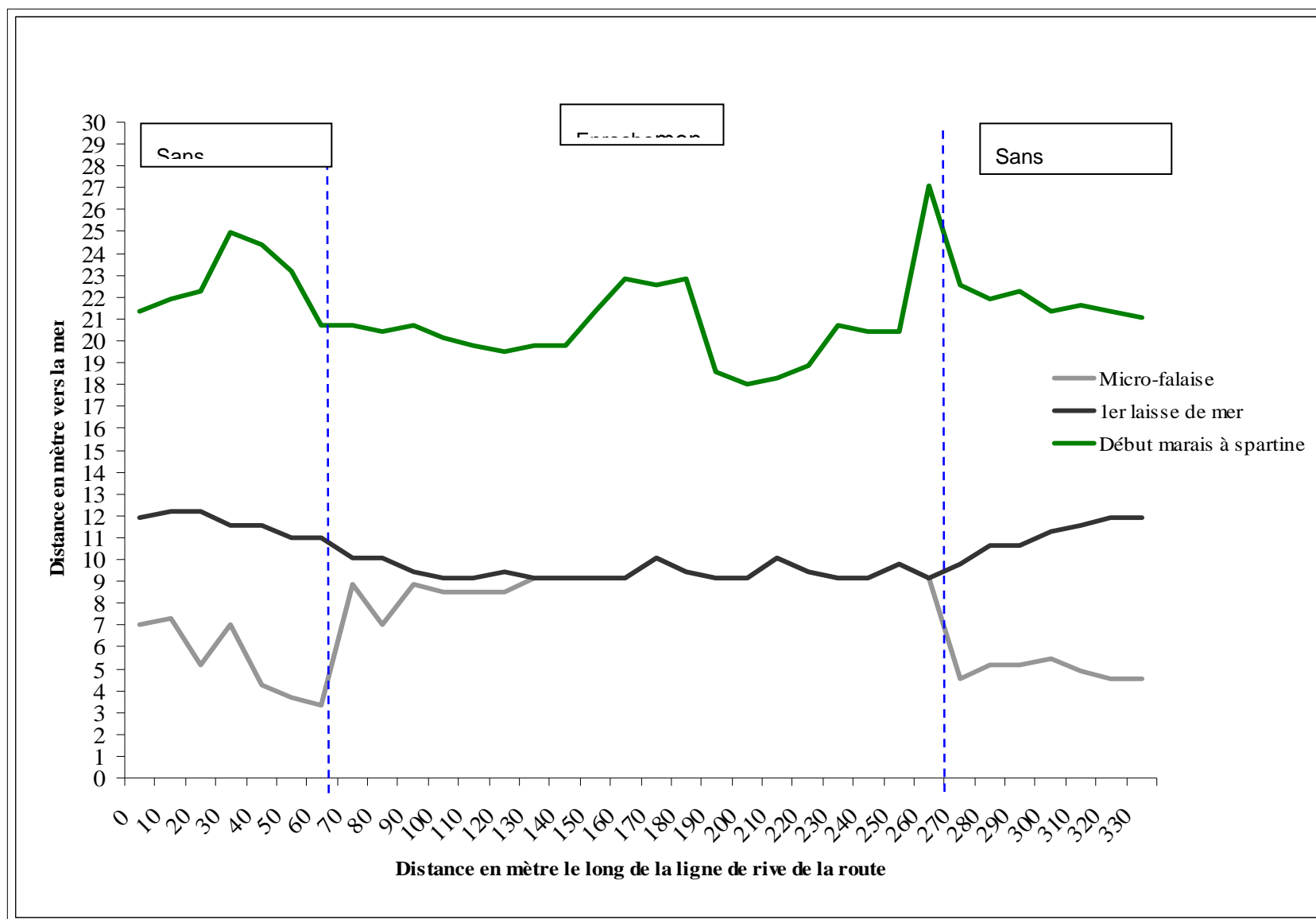


Figure 2

Plan de la plage du secteur de la maison au toit rouge à l'Île-aux-Coudres en juin 2012

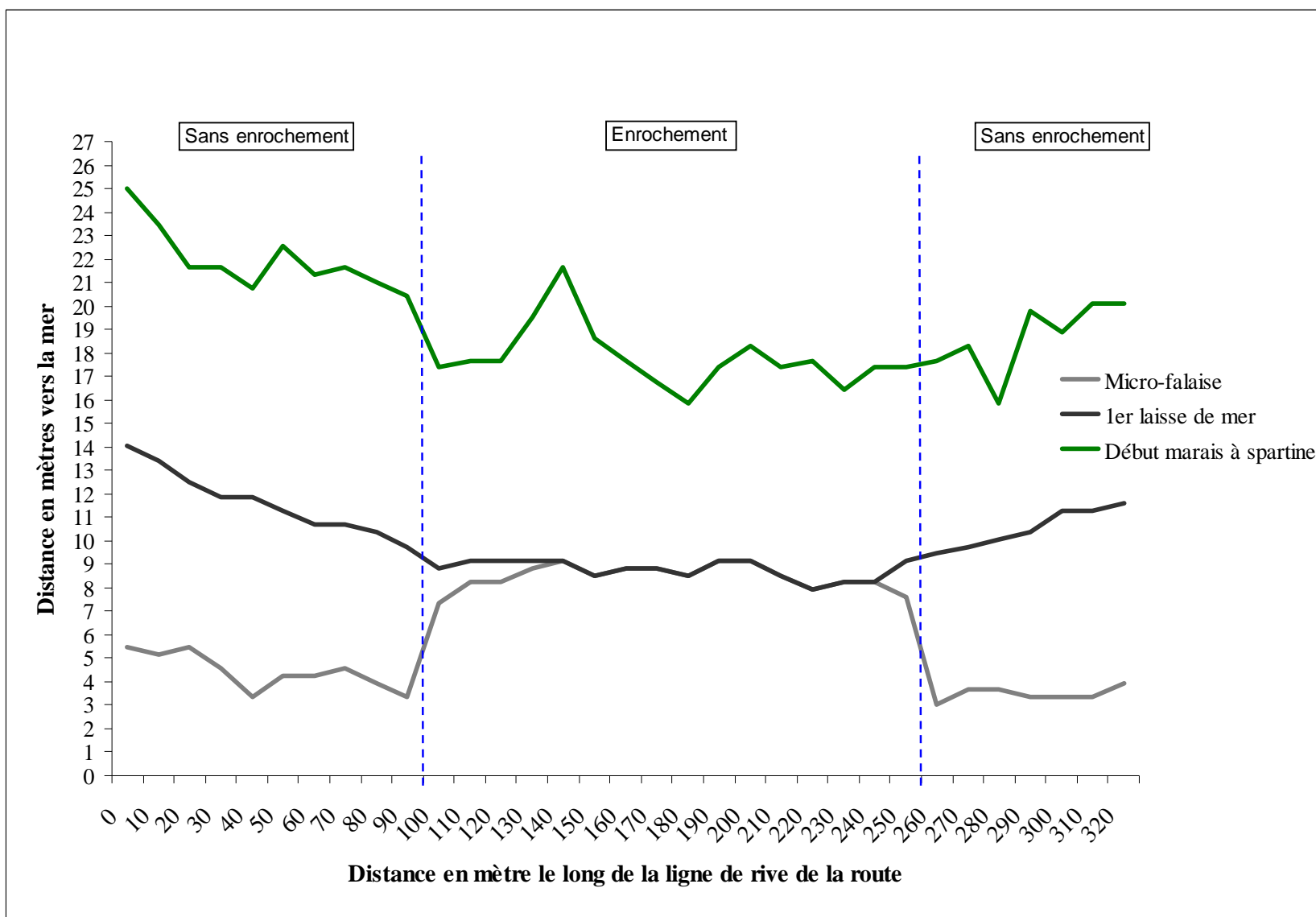


Figure 3 Carte « GoogleMap » de localisation des points d'échantillonnage de La Baleine et de la maison au toit rouge à l'Île-aux-Coudres en juin 2012

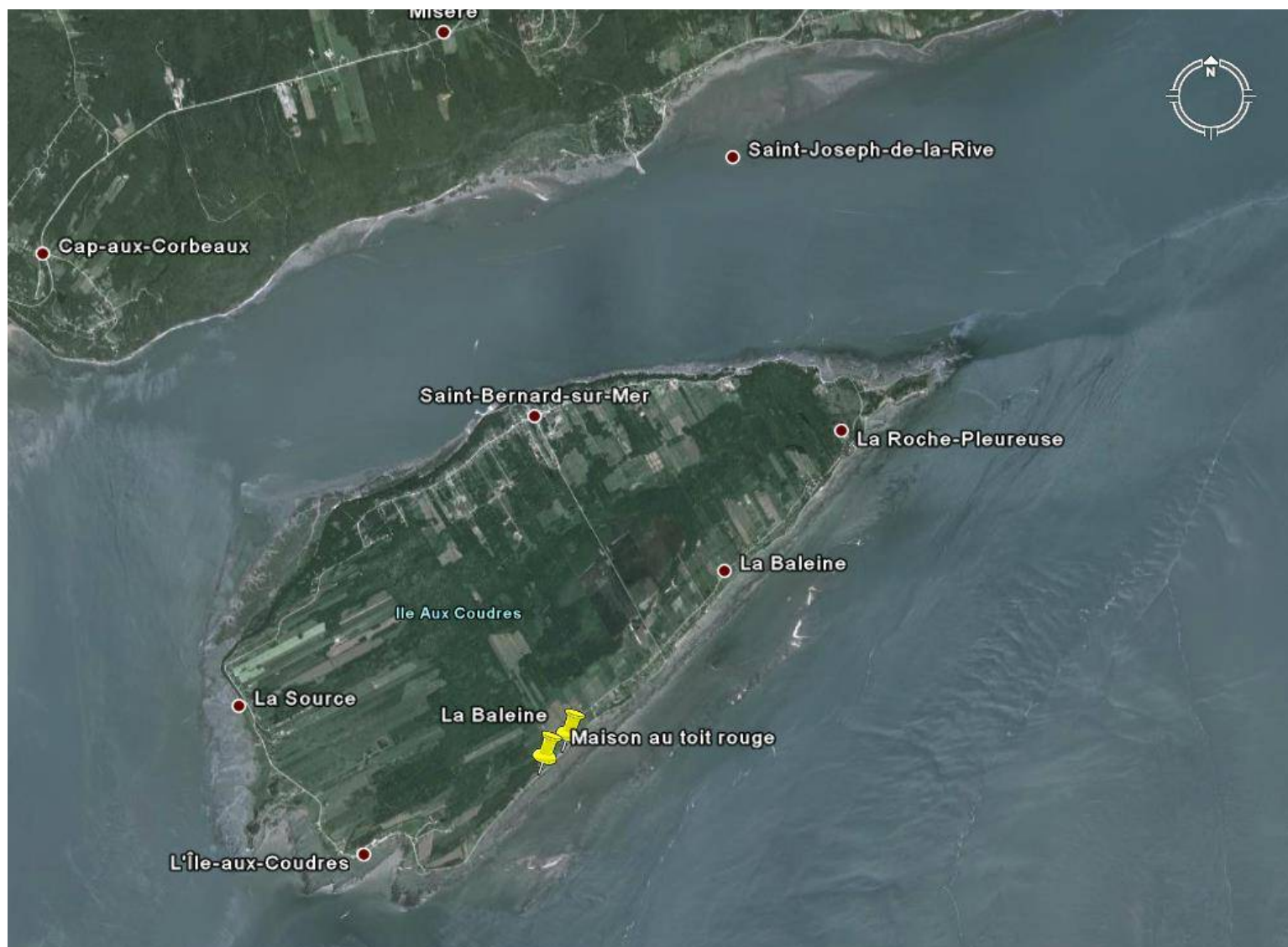


Figure 4

Photo XEOS 2005 du secteur d'échantillonnage de la maison au toit rouge à l'Île-aux-Coudres avant les travaux d'empierrement (positionner le secteur d'échantillonnage et au même endroit que la figure 4 (avant travaux))



Figure 5 Photo XEOS 2005 du secteur d'échantillonnage de La Baleine à l'Île-aux-Coudres avant les travaux d'empierrement



Figure 6 Photo XEOS 2012 des secteurs d'échantillonnage de la maison au toit rouge à l'Île-aux-Coudres après les travaux d'empierrement



Figure 7 Photo XEOS 2012 des secteurs d'échantillonnage de Baleine à l'Île-aux-Coudres après les travaux d'empierrement (positionner le secteur d'échantillonnage au même endroit que la figure 5 (avant travaux))

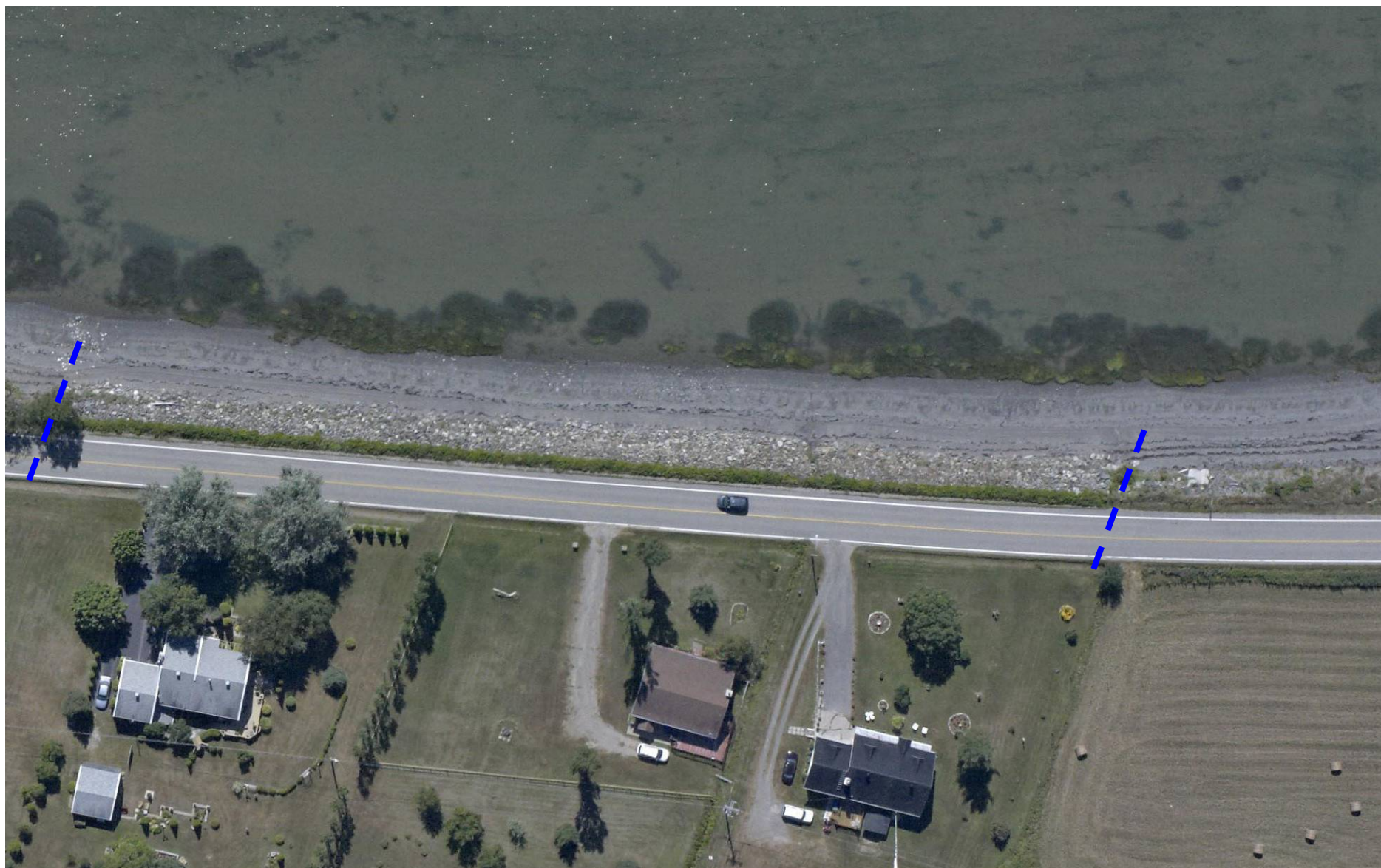


Figure 8 Photo oblique de la plage vis-à-vis l'enrochement dans le secteur de la maison au toit rouge, à l'Île-aux-Coudres en juin 2012



Figure 9 Photo oblique de la végétalisation de l'enrochement du secteur de la maison au toit rouge, à l'Île-aux-Coudres en juin 2012



Figure 10 Photo oblique du haut de l'enrochement du secteur de la maison au toit rouge, à l'Île-aux-Coudres en juin 2012



Figure 11

**Photo oblique de la végétation en fin d'enrochement du secteur de la maison au toit rouge, à l'Île-aux-Coudres en juin 2012 –
À noter : aucune trace d'érosion**



Figure 12 Photo oblique de la végétation d'enrochement du secteur de la maison au toit rouge, à l'Île-aux-Coudres en septembre 2011. Il est possible d'observer sur cette photo la présence de plantes de bord de mer comme l'arroche hastée (*Atriplex hastata*), l'élyme des sables (*Elymus arenarius*) et le caquillier édentulé (*Cakile edentula*).





www.roche.ca