

Identification de solutions d'adaptation aux aléas côtiers pour augmenter la résilience des communautés des Premières Nations dans un contexte de changements climatiques:

Rapport final

Présenté au Conseil Tribal Mamuitun et au ministère des Ressources naturelles
Canada (RNCan) et

Appuyé par le Programme d'adaptation aux changements climatiques de
Ressources naturelles Canada

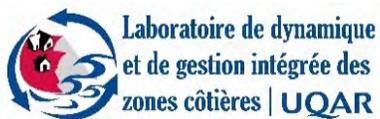


Ressources naturelles
Canada

Natural Resources
Canada

Canada

Sous la direction de
Pascal Bernatchez, Ph. D.
Mars 2021



Équipe de réalisation

Direction scientifique, recherche et rédaction

Pascal Bernatchez, Ph. D.

Université du Québec à Rimouski

Département de biologie, chimie et géographie

Chaire de recherche en géoscience côtière

Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières (LDGIZC)

300, allée des Ursulines, case postale 3300

Rimouski (Québec) G5L 3A1

Téléphone : (418) 723-1986, poste 1257 (bureau) ou poste 1206 (laboratoire)

Télécopieur : (418) 724-1847

Courriel : pascal_bernatchez@uqar.ca

Site web : <https://ldgizc.uqar.ca/>

Stephanie Friesinger, M. Sc. Géographie, professionnelle de recherche, LDGIZC, UQAR

Analyse de risque, caractérisation et évolution côtière, cartographie et rédaction

Philippe Sauvé, ing. jr, M.Sc. Doctorant en sc. de l'environnement, LDGIZC, UQAR

Développement outil d'identification OPC, analyse multicritère, rédaction

Marion Bandet, Ph.D. Ocean Engineering, professionnelle de recherche, LDGIZC, UQAR

Traitement des données hydrodynamiques et hydrologiques, rédaction

Charles Caulet, Ph. D. Océanographie, postdoctorant, LDGIZC, UQAR

Modélisation de la submersion et des niveaux d'eau à la côte, rédaction

Conseil Tribal Mamuitun

David Toro, M.Sc. Environnement, Conseiller en environnement, Conseil Tribal Mamuitun

Chef de projet et coordination locale

Gaëlle André-Lescop, ing. M.Sc., Conseil Tribal Mamuitun

Collaborateurs

Mathieu Cusson, Ph.D., Laboratoire d'écologie marine, Université du Québec à Chicoutimi

Analyse des écosystèmes côtiers et services écologiques

Mathias Glaus, ing., Ph.D., Laboratoire de la STEPPE-ÉTS, École de technologie supérieure

Analyse multicritère pour l'évaluation des ouvrages de protection côtière

Remerciements

L'équipe de recherche tient à remercier le Conseil Tribal Mamuitun pour leur confiance ainsi que les communautés innues de Pessamit et de Uashat pour leur participation et leur collaboration. Nous tenons aussi à remercier le ministère des Ressources naturelles du Canada (RNCan) pour sa contribution financière accordée pour l'adaptation au changement climatique.

L'équipe de recherche remercie également les étudiants Charles béland, Antoine Biehler, Yves Blanchard, Benjamin Ferris, Marc-Olivier Goudreault, Brigitte Légaré, Raphael Mabit, Philippe Sauvé et François Savoie-Ferron ainsi que les chargés de cours Ronan Autret, Robert Barnett, David Didier et Jérôme Goslin du cours Géomorphologie et aménagement (été 2019) de l'Université du Québec à Rimouski pour les relevés terrains et l'analyse du risque d'érosion et de submersion à Pessamit.

Référence complète

FRIESINGER, S., SAUVÉ P., BERNATCHEZ, P., BANDET, M., CAULET, C, GLAUS, M., CUSSON, M. 2021. Identification de solutions d'adaptation aux aléas côtiers pour augmenter la résilience des communautés des Premières Nations dans un contexte de changements climatiques. Rapport final remis ministère des Ressources naturelles Canada et au Conseil Tribal Mamuitun. Chaire de recherche en géoscience côtière, Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières, Université du Québec à Rimouski, 200 pages + annexes.

Photographies de la page de couverture :

Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières

TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES FIGURES	vi
LISTE DES TABLEAUX	xiv
1 Mise en contexte du projet	1
2 Contenu du rapport.....	3
3 Communauté de Pessamit	4
3.1 Atelier d'échanges et solutions d'adaptation identifiées.....	4
3.1.1 Déroulement de l'atelier	4
3.1.2 Besoins exprimés en termes de solutions d'adaptation	5
3.2 Contexte environnemental côtier de Pessamit.....	7
3.2.1 Caractérisation côtière de Pessamit (estuaire Betsiamites à la riv. Papinachois)...	7
3.2.2 Caractérisation des écosystèmes côtiers	20
3.2.3 Usages et activités	26
3.2.4 Climat des vagues au large	43
4 Communauté de Uashat.....	46
4.1 Ateliers et solutions d'adaptation identifiées	46
4.1.1 Besoins exprimés en termes de solutions d'adaptation	46
4.2 Contexte environnemental côtier de Uashat	49
4.2.1 Caractérisation côtière de la baie de Sept-Îles et de Uashat	50
4.2.2 Caractérisation des écosystèmes côtiers	61
4.2.3 Usages et sites importants de Uashat	67
4.2.4 Usages et sites importants de la baie de Sept-Îles (excluant Uashat).....	73
4.2.5 Climat des vagues	85
5 Analyse des risques côtiers	92
5.1 Analyse des risques côtiers à Pessamit	92
5.1.1 Analyse du risque d'érosion à Pessamit en fonction de l'exposition à l'érosion ...	92
5.1.2 Analyse du risque de submersion à Pessamit	98
5.2 Analyse des risques côtiers à Uashat	111
5.2.1 Analyse du risque d'érosion côtière en fonction de l'exposition à l'érosion	111
5.2.2 Analyse du risque de submersion côtière à Uashat	122
6 Évaluation des ouvrages de protection côtière.....	146

6.1	Algorithme d'identification	146
6.1.1	Communauté de Pessamit.....	152
6.1.2	Communauté de Uashat.....	158
6.2	Analyse multicritère	163
6.2.1	Critères de sélection.....	164
6.2.2	Évaluation des OPC en regard des critères de sélection	165
6.2.3	Hiérarchisation des OPC.....	171
7	Propositions de solutions d'adaptation	176
7.1	Communauté de Pessamit	176
7.1.1	Secteur du tuyau pluvial.....	178
7.1.2	Secteur de l'atelier	182
7.1.3	Secteur de la flèche littorale.....	185
7.1.4	Solutions non structurelles pour Pessamit.....	187
7.2	Comunauté de Uashat.....	189
7.2.1	Secteur de la flèche littorale et de la terrasse de plage	189
7.2.2	Solutions non structurelles pour Uashat.....	193
8	Conclusion	195
	Annexe A – Méthodologie pour l'analyse multicritère	201
	Critères de sélection.....	201
	Contexte de consultation	201
	Identification des critères de sélection	202
	Priorisation des critères de sélection	203
	Traitement des résultats	204
	Méthode PROMETHEE.....	205
	Analyse de sensibilité	207
	Communauté de Pessamit	208
	Communauté de Uashat.....	229

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Flèche littorale en érosion devant la communauté de Pessamit (septembre 2017).	8
Figure 2. Comparaison de l'état de la flèche littorale entre 2010 et 2017 (source : LDGIZC).....	9
Figure 3. Évolution de la flèche littorale de Pessamit (1987, 2006, 2016 et 2019).....	10
Figure 4. Déplacement (m) de la flèche littorale aux intervalles 1987-2006, 1987-2019 et 2006-2019.....	11
Figure 5. Terrasse de plage semi-végétalisée dans l'estuaire de la rivière Betsiamites	12
Figure 6. Terrasse de plage à marais maritime dans l'estuaire de la rivière Betsiamites	12
Figure 7. Falaise meuble à terrasse de plage au nord de la communauté de Pessamit	13
Figure 8. Falaise meuble en érosion sur le territoire de Pessamit.....	14
Figure 9. Marais maritime en érosion devant la communauté de Pessamit (2019)	15
Figure 10. Types de côtes du territoire de Pessamit.....	16
Figure 11. Types de côtes longeant la communauté de Pessamit	17
Figure 12. Types de côtes du territoire de Pessamit (secteur Papinachois)	18
Figure 13 État de la côte longeant la communauté de Pessamit.....	19
Figure 14. Espèces de mollusques observés en juin 2019. (Figure tirée du rapport Béland et al, 2019).....	22
Figure 15. Type d'écosystème côtier sur le territoire de Pessamit.....	23
Figure 16. Type d'écosystème côtier adjacent aux côtes de la zone habitée de Pessamit.....	24
Figure 17. Type d'écosystème côtier du territoire de Pessamit (secteur Papinachois).	25
Figure 18. Légende des usages et sites importants à Pessamit	36
Figure 19. Usages et services écologiques actuels et affectés sur le territoire de Pessamit.	37
Figure 20. Usages et sites importants cessés sur le territoire de Pessamit.	38
Figure 21. Usages et services écologiques actuels et affectés près de Pessamit (secteur urbanisé).	39
Figure 22. Usages et sites importants cessés près de Pessamit (secteur urbanisé).	40
Figure 23. Usages et services écologiques actuels et affectés sur le territoire de Pessamit (secteur Papinachois).	41
Figure 24. Usages et sites importants cessés sur le territoire de Pessamit (secteur Papinachois).....	42
Figure 25: localisation du point de grille WW3 (132 m de profondeur) utilisé pour caractériser le régime de vagues au large de Pessamit.	44
Figure 26: séries temporelles des a) hauteurs significatives de vagues Hs et b) périodes moyennes Tm issues du modèle de vagues WW3 pour la période 1980-2015 au large de la communauté de Pessamit.	45
Figure 27 : Caractéristiques des vagues au large de Pessamit : a) Hs (hauteur significative) en fonction de la direction moyenne d'arrivée des vagues incidentes; et b) Tm (période moyenne) en fonction de la direction moyenne d'arrivée des vagues incidentes (réf. nord géographique).....	45
Figure 28. Pondération des idées ressorties lors de l'atelier 1 (projet Résilience côtière) concernant les besoins en termes de solutions d'adaptation.	47
Figure 29. Pondération des idées ressorties lors de l'atelier 1 (projet Résilience côtière) concernant les outils d'aide à la décision en termes de solutions d'adaptation.	48

Figure 30. Flèches littorales, marais maritimes et herbier de zostère du territoire de Uashat....	51
Figure 31. Évolution de la flèche littorale Naneu pour les années 1950, 1970, 1987 et 2017.	52
Figure 32. Terrasse de plage à Uashat en 2010 et 2017 (photos obliques septembre 2010 et septembre 2017, source : LDGIZC).....	53
Figure 33. Falaise meuble située sur le littoral du côté de la rivière du Poste.	54
Figure 34. Marais maritime situé à l'intérieur de la baie de Sept-Îles	55
Figure 35. Caractérisation côtière 2017 à l'intérieur de la baie de Sept-Îles (carte 1).....	56
Figure 36. Caractérisation côtière 2017 à l'intérieur de la baie de Sept-Îles (carte 2).....	57
Figure 37. Caractérisation côtière 2017 à l'intérieur de la baie de Sept-Îles (carte 3).....	58
Figure 38. Caractérisation côtière 2017 à Uashat (carte 4).....	59
Figure 39. État de la côte 2017 du littoral à Uashat.....	60
Figure 40. Écosystèmes côtiers analysés sur les photographies aériennes 2016 dans la baie de Sept-Îles (Carte 1).	63
Figure 41. Écosystèmes côtiers analysés sur les photographies aériennes 2016 dans la baie de Sept-Îles (Carte 2).	64
Figure 42. Écosystèmes côtiers analysés sur les photographies aériennes 2016 dans la baie de Sept-Îles (Carte 3).	65
Figure 43. Écosystèmes côtiers analysés sur les photographies aériennes 2016 à Uashat (Carte 4).	66
Figure 44. Photographie de l'ancienne chapelle en 1920-1930 (source : Fonds Joseph-Emile Chabot - BANQ Sept-Îles) et une photographie prise à l'époque actuelle (2013) (Google Streetview 2013). Photographies de la plage à Sept-Îles en 1920 (source : Collection Société historique du Golfe - BANQ Sept-Îles) et du quai en 1946 (source : Benoît Brouillette .- 1946, Fonds Ministère de la Culture et des Communications - BANQ Québec). Cette comparaison est surtout pour montrer l'abondance du sable devant la communauté de Uashat et de Sept-Îles.	70
Figure 45. Indice de la présence d'un ancien pont ou quai sur la flèche littorale Naneu en 1976 et présence d'un pont naturel quasi complet de sable en 1987 (source : Ministère des ressources naturelles, de la Faune et des Parcs, gouvernement du Québec).....	72
Figure 46. Disparition de la marina et du bar le Vieux Club sur la pointe du Poste, comparaison entre 1976 et 2017 (source : source : Ministère des ressources naturelles, de la Faune et des Parcs, gouvernement du Québec et imagerie satellite 2017 WVIEW, ministère de la Sécurité publique).	73
Figure 47. Légende des usages et sites importants.....	79
Figure 48. Services écologiques des écosystèmes côtiers, usages et sites actuels, affectés et cessés dans la baie de Sept-Îles (carte 1).	80
Figure 49. Services écologiques des écosystèmes côtiers, usages et sites actuels, affectés et cessés dans la baie de Sept-Îles (carte 2).	81
Figure 50. Services écologiques des écosystèmes côtiers, usages et sites actuels, affectés et cessés dans la baie de Sept-Îles (carte 3).	82
Figure 51. Services écologiques des écosystèmes côtiers, usages et sites actuels et affectés à Uashat (carte 4).	83
Figure 52. Services écologiques des écosystèmes côtiers, usages et sites cessés à Uashat.	84

Figure 53. Localisation des points de grille utilisés pour caractériser le régime de vagues au large (B, 110 m de profondeur) et dans la baie (A, 22,7 m de profondeur), à proximité du secteur de Uashat.....	85
Figure 54. Séries temporelles des a) hauteurs significatives de vagues Hs et b) périodes moyennes Tm issues du modèle de vagues WW3 pour la période 1980-2017 à l'intérieur de la baie de Sept-Îles.	86
Figure 55. Séries temporelles des a) hauteurs significatives de vagues Hs et b) périodes moyennes Tm issues du modèle de vagues WW3 pour la période 1980-2017 au large.	87
Figure 56. Caractéristiques des vagues au point A dans la baie et au point B au large; a) et c) Hs (hauteur significative) en fonction de la direction moyenne d'arrivée des vagues incidentes; et b) et d) Tm (période moyenne) en fonction de la direction moyenne d'arrivée des vagues incidentes (réf. nord géographique).	88
Figure 57. Séries temporelles des a) hauteurs significatives de vagues Hs et b) périodes moyennes Tm issues du modèle de vagues WW3 pour la tempête du 6 décembre 2010, au point A situé dans la baie de Sept-Îles. La ligne verticale rouge spécifie le moment où les niveaux d'eau ont atteint un maximum à 18h30 UTC au marégraphe de Sept-Îles.	90
Figure 58. Séries temporelles des a) hauteurs significatives de vagues Hs et b) périodes moyennes Tm issues du modèle de vagues WW3 pour la tempête du 6 décembre 2010, au point B situé au large de la baie de Sept-Îles. La ligne verticale rouge spécifie le moment où les niveaux d'eau ont atteint un maximum à 18h30 UTC au marégraphe de Sept-Îles.	90
Figure 59. Séries temporelles des a) hauteurs significatives de vagues Hs et b) périodes moyennes Tm issues du modèle de vagues WW3 pour la tempête du 30 décembre 2016, au point A situé dans la baie de Sept-Îles. La ligne verticale rouge spécifie le moment où les niveaux d'eau ont atteint un maximum à 18h30 UTC au marégraphe de Sept-Îles.	91
Figure 60. Séries temporelles des a) hauteurs significatives de vagues Hs et b) périodes moyennes Tm issues du modèle de vagues WW3 pour la tempête du 30 décembre 2016, au point B situé au large de la baie de Sept-Îles. La ligne verticale rouge spécifie le moment où les niveaux d'eau ont atteint un maximum à 18h30 UTC au marégraphe de Sept-Îles.	91
Figure 61. Infrastructures actuellement exposées à l'érosion côtière A) Chalet au sud de la rivière Papinachois (2017), B) Tuyau pluvial au nord de la communauté (2019), C) Tuyau du surplus des étangs aérés de la communauté (2019), D) Mise à l'eau dans l'estuaire de la rivière Betsiamites (2017). (source : LDGIZC).	93
Figure 62. Infrastructures exposées entre 2020-2029. A) Chalet au sud de la rivière Papinachois sur une terrasse de plage. B) 8 bâtiments sur la flèche littorale de Pessamit exposés entre 2020-2029 (2019). C) Les 8 mêmes bâtiments sur la flèche littorale exposés entre 2020-2029 (2017). (source : LDGIZC)	94
Figure 63. Infrastructures de la communauté de Pessamit exposées à l'érosion côtière et leur classe d'exposition.	97
Figure 64. Photos prises lors de la tempête du 6 décembre 2010 (source : Conseil des Innus de Pessamit, 2010).	101
Figure 65. Photos prises lors de la tempête du 6 décembre 2010 (source : Conseil des Innus de Pessamit, 2010).	102

Figure 66. Modélisation Xbeach de l'évènement de tempête du 6 décembre 2010 avec une période de retour de 100 ans pour un niveau d'eau actuel. Le trait rouge est le niveau d'eau observé réel pendant la tempête.....	103
Figure 67. Risque et exposition à la submersion sur la flèche littorale de Pessamit à l'horizon 2100 (modélisation empirique).....	104
Figure 68: Localisation des piézomètres dans la communauté de Pessamit.....	105
Figure 69: Séries temporelles de pression enregistrées par les piézomètres.....	106
Figure 70: Séries temporelles de température enregistrées aux piézomètres.....	107
Figure 71: spectres des niveaux d'eau effectués sur : a) toute la longueur de la série temporelle (environ 1 an) b) sur des morceaux de 30 jours.....	109
Figure 72: Séries temporelles de niveaux d'eau déduites des mesures aux piézomètres. Superposée en bleu est la reconstruction harmonique réalisée à partir des composantes périodiques dominantes identifiées dans T_TIDE.....	110
Figure 73. Bâtiments exposés à l'érosion le long de la falaise meuble (photos obliques héliportées 2017). La photo du haut : site patrimonial du Vieux-Poste et la photo du bas : Immeuble à logement Aussi protégé par un enrochement dans la falaise meuble.	113
Figure 74. Résidences exposées au niveau de la terrasse de plage à Uashat (photo oblique héliportée 2017).....	114
Figure 75. Modélisation de l'érosion et de l'accrétion à 17h00 et à 18h00 pour la tempête du 6 décembre 2010 (A) et pour la tempête du 30 décembre 2016 (B). Les iso-contours (lignes noires) sont aussi indiqués (en mètre, CGVD28).....	114
Figure 76. Bâtiments et segments de route exposés à l'érosion selon des classes d'exposition (Uashat).	115
Figure 77. Localisation des profils de plage sur la flèche littorale et la terrasse de plage.....	116
Figure 78. Profil de plage 17 à 21 sur la flèche littorale (pointe Naneu) (années 2013 LIDAR du MFFP et 2020 LIDAR du LDGIZC).	117
Figure 79. Profil de plage 22 à 26 sur la flèche littorale (pointe Naneu) (années 2013 LIDAR du MFFP et 2020 LIDAR du LDGIZC).	118
Figure 80. Profil de plage 27 à 31 sur la flèche littorale (pointe Naneu) (années 2013 LIDAR du MFFP et 2020 LIDAR du LDGIZC).	119
Figure 81. Profil de plage 32 à 36 devant la communauté de Uashat (années 2013 LIDAR du MFFP et 2020 LIDAR du LDGIZC) (section de la terrasse de plage).....	120
Figure 82. Profils de plage 37 à 39 devant la communauté de Uashat (années 2013 LIDAR du MFFP et 2020 LIDAR du LDGIZC) (section de la terrasse de plage).....	121
Figure 83. Conditions hydrodynamiques mesurées le 6 décembre au centre de la baie de Sept-Îles (point C1). Le niveau d'eau prédit est celui de WaveWatch III, celui mesuré provient des observations du marégraphe de Sept-Îles. La marée associée à la période de tempête est indiquée en gras. Les lignes verticales en pointillés noirs montrent les conditions utilisées dans les modèles numériques et empiriques.	123
Figure 84. Conditions hydrodynamiques mesurées le 30 décembre au centre de la baie de Sept-Îles (point C1). Le niveau d'eau prédit est celui de WaveWatch III, celui mesuré provient des observations du marégraphe de Sept-Îles. La marée associée à la période de tempête est indiquée	

en gras. Les lignes verticales en pointillés noirs montrent les conditions utilisées dans les modèles numériques et empiriques.	124
Figure 85. Surface topo-bathymétrique créée pour le secteur de Uashat.	126
Figure 86. Grille de calcul pour le modèle XBeach 2D pour le secteur de Uashat.	127
Figure 87. Exemple de quelques profils topographiques extraits avec MOBITC à partir des surfaces topo-bathymétriques pour le secteur de Uashat. Les profils sont représentés par une ligne noire en gras, la surface topo-bathymétrique en échelle de couleurs et les contours d'élévation (isobathes) en lignes fines noires.	128
Figure 88. Illustration de la méthode utilisée pour calculer empiriquement le NET le long des transects pour le secteur de Uashat. Le transect d'étude est en noir. La position du niveau d'eau moyen correspondante sur le profil est en bleu. Un tronçon du profil de quelques dizaines de mètres (en vert) est déterminé autour de l'élévation du niveau moyen afin de calculer la pente locale, nécessaire aux équations empiriques. Enfin, la position sur le profil du NET (point rouge) obtenu avec les équations empiriques est extraite.	129
Figure 89. Position du NET calculé empiriquement lors de la tempête du 6 décembre 2010....	131
Figure 90. La nappe de submersion à 19h00 selon le modèle empirique lors de la tempête du 6 décembre 2010.....	132
Figure 91. La nappe de submersion à 18h00 et 19h00 selon le modèle empirique lors de la tempête du 6 décembre 2010.....	133
Figure 92. Exposition et position du NET calculé empiriquement lors de la tempête du 6 décembre 2010 pour l'ancienne réserve de Uashat, à l'horizon 2100.....	135
Figure 93. Exposition et position du NET calculé empiriquement lors de la tempête du 6 décembre 2010 pour la terrasse de plage à Uashat, à l'horizon 2100.....	136
Figure 94. Position du NET calculé empiriquement lors de la tempête du 30 décembre 2016 .	138
Figure 95. Exposition et position du NET calculé empiriquement lors de la tempête du 30 décembre 2016 pour la terrasse de plage à Uashat, à l'horizon 2100.....	139
Figure 96. Exposition et position du NET calculé empiriquement lors de la tempête du 30 décembre 2016 pour l'ancienne réserve de Uashat, à l'horizon 2100.....	140
Figure 97. Position du NET calculé numériquement à 18h00 et 19h00 (maximum des NET) lors des tempêtes du 6 décembre 2010 et du 30 décembre 2016.....	142
Figure 98. Exposition et position du NET calculé numériquement à 19h00 et 20h00 (maximum du NET) lors des tempêtes du 6 décembre 2010 et du 30 décembre 2016, projetées à l'horizon 2100 (simulation Xbeach).....	144
Figure 99. Modélisation des courants lors de l'évènement du 30 décembre 2016, projeté à l'horizon 2100.....	145
Figure 100. Schématisation de l'évaluation des ouvrages de protection côtière.....	146
Figure 101. Schéma synthèse de l'algorithme d'identification.....	147
Figure 102. Localisation des regroupements par segments géomorphologiques homogènes à Pessamit.....	153
Figure 103. Localisation des regroupements par segments géomorphologiques homogènes à Uashat.....	159

Figure 104. Poids attribués par les participants de l’atelier de Pessamit aux critères de sélection (moyenne, maximum et minimum)	165
Figure 105. Hiérarchisation des OPC pour le regroupement 3 se segments géomorphologiques homogènes de Pessamit en regard de la pondération accordée aux critères de sélection par les participants de l’atelier de Pessamit. (a) graphique sous forme de diamant; (b) flux net, sortant et entrant.....	172
Figure 106. Hiérarchisation des OPC pour le regroupement 4 se segments géomorphologiques homogènes de Pessamit en regard de la pondération accordée aux critères de sélection par les participants de l’atelier de Pessamit. (a) graphique sous forme de diamant; (b) flux net, sortant et entrant.....	173
Figure 107. Hiérarchisation des OPC pour le regroupement 5 se segments géomorphologiques homogènes de Pessamit en regard de la pondération accordée aux critères de sélection par les participants de l’atelier de Pessamit. (a) graphique sous forme de diamant; (b) flux net, sortant et entrant.....	174
Figure 108. Hiérarchisation des OPC pour le regroupement 3 se segments géomorphologiques homogènes de Pessamit en regard de la pondération accordée aux critères de sélection par les participants de l’atelier de Pessamit. (a) graphique sous forme de diamant; (b) flux net, sortant et entrant.....	175
Figure 109. Localisation des secteurs prioritaires pour l’analyse des solutions d’adaptation....	177
Figure 110. Première solution d’adaptation proposée pour le secteur du tuyau pluvial – Reprofilage et végétalisation de la falaise meuble, déplacement du tuyau pluvial à 200 m vers l’est de la sortie actuelle.	179
Figure 111. Deuxième solution d’adaptation proposée pour le secteur du tuyau pluvial – Enrochement de la falaise active et ponceau à l’intérieur de l’ouvrage.....	181
Figure 112. Première solution d’adaptation proposée pour le secteur de l’atelier.....	182
Figure 113. Deuxième solution d’adaptation proposée pour le secteur de l’atelier – Recharge de plage pour former une dune bordière devant l’atelier et végétalisation.	184
Figure 114. Une partie de la solution d’adaptation pour le secteur de la flèche littoral – Végétalisation des accès à la plage pour réduire le nombre de sentiers et balisement de certains sentiers ciblés par la communauté.	186
Figure 115. Solution d’adaptation proposée pour le secteur de la flèche et de la terrasse de plage – Recharge de plage et végétalisation en limitant l’accès à la plage avec un sentier balisé à l’est de l’émissaire.....	191
Figure 116. Solution d’adaptation proposée pour le secteur de la flèche et de la terrasse de plage – Recharge de plage et végétalisation en limitant l’accès à la plage avec un sentier balisé derrière la recharge.....	192
Figure 117. Schématisation de la table de vote de la table de discussion Identification des critères de sélection des ouvrages de protection côtière	204
Figure 118. a) relation de surclassement entre a_i et a_j , b) relation de surclassement a_1 et $a_{2, 3, 4, 5}$	206
Figure 119. Influence de la variation de la proportion du critère Répercussion économique sur la position des OPC pour le regroupement 3 de la communauté de Pessamit	208

Figure 120. Influence de la variation de la proportion du critère Coûts de construction sur la position des OPC pour le regroupement 3 de la communauté de Pessamit	208
Figure 121. Influence de la variation de la proportion du critère Coûts d’entretien sur la position des OPC pour le regroupement 3 de la communauté de Pessamit	209
Figure 122. Influence de la variation de la proportion du critère Effets géomorphologiques sur la position des OPC pour le regroupement 3 de la communauté de Pessamit	209
Figure 123. Influence de la variation de la proportion du critère Effets écosystémiques sur la position des OPC pour le regroupement 3 de la communauté de Pessamit	210
Figure 124. Influence de la variation de la proportion du critère Répercussions sociales sur la position des OPC pour le regroupement 3 de la communauté de Pessamit	210
Figure 125. Influence de la variation de la proportion du critère Perception sociale sur la position des OPC pour le regroupement 3 de la communauté de Pessamit	211
Figure 126. Influence de la variation de la proportion du critère Esthétisme sur la position des OPC pour le regroupement 3 de la communauté de Pessamit	211
Figure 127. Influence de la variation de la proportion du critère Aptitude de réalisation sur la position des OPC pour le regroupement 3 de la communauté de Pessamit	212
Figure 128. Influence de la variation de la proportion du critère Assujettissement réglementaire sur la position des OPC pour le regroupement 3 de la communauté de Pessamit.....	212
Figure 129. Influence de la variation de la proportion du critère Faisabilité technique sur la position des OPC pour le regroupement 3 de la communauté de Pessamit	213
Figure 130. Influence de la variation de la proportion du critère Durée de vie sur la position des OPC pour le regroupement 3 de la communauté de Pessamit.....	213
Figure 131. Influence de la variation de la proportion du critère Efficacité sur la position des OPC pour le regroupement 3 de la communauté de Pessamit	214
Figure 132. Influence de la variation de la proportion du critère Répercussion économique sur la position des OPC pour le regroupement 4 de la communauté de Pessamit	215
Figure 133. Influence de la variation de la proportion du critère Coûts de construction sur la position des OPC pour le regroupement 4 de la communauté de Pessamit	215
Figure 134. Influence de la variation de la proportion du critère Coûts d’entretien sur la position des OPC pour le regroupement 4 de la communauté de Pessamit	216
Figure 135. Influence de la variation de la proportion du critère Effets géomorphologiques sur la position des OPC pour le regroupement 4 de la communauté de Pessamit	216
Figure 136. Influence de la variation de la proportion du critère Effets écosystémiques sur la position des OPC pour le regroupement 4 de la communauté de Pessamit	217
Figure 137. Influence de la variation de la proportion du critère Répercussions sociales sur la position des OPC pour le regroupement 4 de la communauté de Pessamit	217
Figure 138. Influence de la variation de la proportion du critère Perception sociale sur la position des OPC pour le regroupement 4 de la communauté de Pessamit	218
Figure 139. Influence de la variation de la proportion du critère Esthétisme sur la position des OPC pour le regroupement 4 de la communauté de Pessamit	218
Figure 140. Influence de la variation de la proportion du critère Aptitude de réalisation sur la position des OPC pour le regroupement 4 de la communauté de Pessamit	219

Figure 141. Influence de la variation de la proportion du critère Assujettissement réglementaire sur la position des OPC pour le regroupement 4 de la communauté de Pessamit.....	219
Figure 142. Influence de la variation de la proportion du critère Faisabilité technique sur la position des OPC pour le regroupement 4 de la communauté de Pessamit	220
Figure 143. Influence de la variation de la proportion du critère Durée de vie sur la position des OPC pour le regroupement 4 de la communauté de Pessamit.....	220
Figure 144. Influence de la variation de la proportion du critère Efficacité sur la position des OPC pour le regroupement 4 de la communauté de Pessamit	221
Figure 145. Influence de la variation de la proportion du critère Répercussion économique sur la position des OPC pour le regroupement 5 de la communauté de Pessamit	222
Figure 146. Influence de la variation de la proportion du critère Coûts de construction sur la position des OPC pour le regroupement 5 de la communauté de Pessamit	222
Figure 147. Influence de la variation de la proportion du critère Coûts d’entretien sur la position des OPC pour le regroupement 5 de la communauté de Pessamit	223
Figure 148. Influence de la variation de la proportion du critère Effets géomorphologiques sur la position des OPC pour le regroupement 5 de la communauté de Pessamit	223
Figure 149. Influence de la variation de la proportion du critère Effets écosystémiques sur la position des OPC pour le regroupement 5 de la communauté de Pessamit	224
Figure 150. Influence de la variation de la proportion du critère Répercussions sociales sur la position des OPC pour le regroupement 5 de la communauté de Pessamit	224
Figure 151. Influence de la variation de la proportion du critère Perception sociale sur la position des OPC pour le regroupement 5 de la communauté de Pessamit	225
Figure 152. Influence de la variation de la proportion du critère Esthétisme sur la position des OPC pour le regroupement 5 de la communauté de Pessamit	225
Figure 153. Influence de la variation de la proportion du critère Aptitude de réalisation sur la position des OPC pour le regroupement 5 de la communauté de Pessamit	226
Figure 154. Influence de la variation de la proportion du critère Assujettissement réglementaire sur la position des OPC pour le regroupement 5 de la communauté de Pessamit.....	226
Figure 155. Influence de la variation de la proportion du critère Faisabilité technique sur la position des OPC pour le regroupement 5 de la communauté de Pessamit	227
Figure 156. Influence de la variation de la proportion du critère Durée de vie sur la position des OPC pour le regroupement 5 de la communauté de Pessamit.....	227
Figure 157. Influence de la variation de la proportion du critère Efficacité sur la position des OPC pour le regroupement 5 de la communauté de Pessamit	228
Figure 158. Influence de la variation de la proportion du critère Répercussion économique sur la position des OPC pour les regroupement 1, 2 et 3 de la communauté de Uashat.....	229
Figure 159. Influence de la variation de la proportion du critère Coûts de construction sur la position des OPC pour les regroupement 1, 2 et 3 de la communauté de Uashat.....	229
Figure 160. Influence de la variation de la proportion du critère Coûts d’entretien sur la position des OPC pour les regroupement 1, 2 et 3 de la communauté de Uashat.....	230
Figure 161. Influence de la variation de la proportion du critère Effets géomorphologiques sur la position des OPC pour les regroupement 1, 2 et 3 de la communauté de Uashat.....	230

Figure 162. Influence de la variation de la proportion du critère Effets écosystémiques sur la position des OPC pour les regroupement 1, 2 et 3 de la communauté de Uashat.....	231
Figure 163. Influence de la variation de la proportion du critère Répercussions sociales sur la position des OPC pour les regroupement 1, 2 et 3 de la communauté de Uashat.....	231
Figure 164. Influence de la variation de la proportion du critère Perception sociale sur la position des OPC pour les regroupement 1, 2 et 3 de la communauté de Uashat.....	232
Figure 165. Influence de la variation de la proportion du critère Esthétisme sur la position des OPC pour les regroupement 1, 2 et 3 de la communauté de Uashat	232
Figure 166. Influence de la variation de la proportion du critère Aptitude de réalisation sur la position des OPC pour les regroupement 1, 2 et 3 de la communauté de Uashat.....	233
Figure 167. Influence de la variation de la proportion du critère Assujettissement réglementaire sur la position des OPC pour les regroupement 1, 2 et 3 de la communauté de Uashat	233
Figure 168. Influence de la variation de la proportion du critère Faisabilité technique sur la position des OPC pour les regroupement 1, 2 et 3 de la communauté de Uashat.....	234
Figure 169. Influence de la variation de la proportion du critère Durée de vie sur la position des OPC pour les regroupement 1, 2 et 3 de la communauté de Uashat	234
Figure 170. Influence de la variation de la proportion du critère Efficacité sur la position des OPC pour les regroupement 1, 2 et 3 de la communauté de Uashat	235

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Services publics de la communauté représentés à l’atelier à Pessamit	4
Tableau 2. Besoins exprimés en termes de solutions d’adaptation.....	6
Tableau 3. Éléments ressortis concernant le volet de sensibilisation.....	7
Tableau 4. Surface en km ² des écosystèmes côtiers (estuaire de la rivière Betsiamites jusqu’à la rivière Papinachois)	21
Tableau 5. Services écologiques générés par l’écosystème des battures meubles et des bas estrans rocheux à macroalgues de Pessamit (Écosystème, état de l’usage, service écologique, usage détaillé).....	26
Tableau 6. Services écologiques générés par l’écosystème du chenal estuarien de Pessamit (Écosystème, état de l’usage, service écologique, usage détaillé).....	28
Tableau 7. Services écologiques générés par l’écosystème du delta meuble de Pessamit (Écosystème, état de l’usage, service écologique, usage détaillé).....	29
Tableau 8. Services écologiques générés par l’écosystème de l’infra littoral meuble de Pessamit (Écosystème , état de l’usage, service écologique, usage détaillé)	29
Tableau 9. Services écologiques générés par l’écosystème de marais maritime et de la slikke de Pessamit (Écosystème , état de l’usage, service écologique, usage détaillé).....	30
Tableau 10. Services écologiques générés par l’écosystème de la plage de Pessamit (Écosystème , état de l’usage, service écologique, usage détaillé).....	31
Tableau 11. Services écologiques générés par les écosystèmes terrestre relié au type de côte de Pessamit (Écosystème , état de l’usage, service écologique, usage détaillé).....	33

Tableau 12. Comparaison de la superficie de la flèche littorale en 1987 et 2017	50
Tableau 13. Étendue des écosystèmes côtiers.....	62
Tableau 14. Services écologiques générés par les battures meubles, du delta de marée, du marais (inf) à plantes vasculaires et de la vasière à Uashat (Écosystème , état de l'usage, service écologique, usage détaillé).....	67
Tableau 15. Services écologiques générés par l'écosystème côtier de la plage à Uashat (Écosystème , état de l'usage, service écologique, usage détaillé)	69
Tableau 16. Services écologiques générés par les écosystèmes terrestre relié au type de côte de Uashat (Écosystème , état de l'usage, service écologique, usage détaillé).....	71
Tableau 17. Services écologiques générés par les hauts estrans rocheux et les plages dans la baie de Sept-Îles (Écosystème , état de l'usage, service écologique, usage détaillé)	73
Tableau 18. Services écologiques générés par les battures meubles et les bas estrans meubles dans la baie de Sept-Îles (Écosystème , état de l'usage, service écologique, usage détaillé)	74
Tableau 19. Services écologiques générés par les schorres supérieurs, inférieurs et les slikkes de la baie de Sept-Îles (Écosystème , état de l'usage, service écologique, usage détaillé).....	75
Tableau 20. Services écologiques générés par les zones infralittorales meubles de la baie de Sept-Îles (Écosystème , état de l'usage, service écologique, usage détaillé).....	76
Tableau 21. Services écologiques générés par les écosystèmes terrestre relié au type de côte de la baie de Sept-Îles (Écosystème , état de l'usage, service écologique, usage détaillé).....	77
Tableau 22. Années des imageries utilisées à Pessamit.....	92
Tableau 23. Classe d'exposition à l'érosion pour les infrastructures ponctuelles à l'étude	95
Tableau 24. Classe d'exposition à l'érosion pour les routes à l'étude	96
Tableau 25. Équations empiriques tirées de la littérature scientifique pour estimer le niveau du jet de rive et évaluées selon les conditions du secteur d'étude	99
Tableau 26. Conditions de vagues et niveau d'eau total obtenus avec l'équation de Voudoukas et al. (2012) pour les événements de tempête du 6 décembre 2010 et du 30 octobre 2018.....	99
Tableau 27. Projection de hausse du niveau marin relatif à Pessamit.....	100
Tableau 28. Niveau d'eau total calculé avec l'équation de Voudoukas et al. (2012) pour chaque période de retour en fonction du niveau d'eau actuel et des niveaux d'eau projetés pour 2055 et 2100.....	101
Tableau 29. Classe d'exposition à la submersion et le nombre de bâtiments submergé selon les classes, simulation empirique du risque de submersion.	102
Tableau 30. Détails des piézomètres implantés à Pessamit en 2019-2020	105
Tableau 31. Bâtiments exposés et non exposés d'ici 2099 situés le long de la falaise meuble..	112
Tableau 32. Résidences exposées et non exposées d'ici 2099 situées le long de la terrasse de plage.	113
Tableau 33. Set d'équation pour les niveaux de jet de rive excédentaire ($R_{2\%}$) et pour la surélévation du niveau d'eau à la côte (η) pour l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent, d'après les travaux de Didier et al., 2020. Les équations sont différentes en fonction de la valeur de pente locale (β). H_0 correspond à la hauteur de vague au large et λ_0 à la longueur d'onde.....	129
Tableau 34. Catégorisation des effets observés (catégorie , type, sous-type d'effet observé)...	147

Tableau 35. Échelle de pondération de base pour l'évaluation de l'effet d'un OPC sur le milieu	152
Tableau 36. Caractéristiques côtières des regroupements de segments géomorphologiques homogènes de la cellule hydrosédimentaire Tourbière Pessamit.....	152
Tableau 37. Résultats de l'effet géomorphologique des OPC dans le contexte du regroupement 3	154
Tableau 38. Résultats de l'effet écosystémique des OPC dans le contexte du regroupement 3	155
Tableau 39. Résultats de l'effet des OPC sur les services écologiques du regroupement 3	155
Tableau 40. Résultats de l'effet géomorphologique des OPC dans le contexte des regroupements de segments géomorphologiques homogènes 4 et 5	156
Tableau 41. Résultats de l'effet écosystémique des OPC dans le contexte des regroupements 4 et 5.....	157
Tableau 42. Résultats de l'effet des OPC sur les services écologiques des regroupements de segments géomorphologiques homogènes 4 et 5.....	158
Tableau 43. Caractéristiques côtières des regroupements de segments géomorphologiques homogènes de la partie de la cellule hydrosédimentaire baie des Sept-Îles présentes sur la communauté de la Uashat	158
Tableau 44. Résultats de l'effet géomorphologique des OPC dans le contexte des regroupements de segments géomorphologiques homogènes 1 et 2	160
Tableau 45. Résultats de l'effet écosystémique des OPC dans le contexte des regroupements de segments géomorphologiques homogènes 1 et 2.....	160
Tableau 46. Résultats de l'effet des OPC sur les services écologiques des regroupements de segments géomorphologiques homogènes 1 et 2.....	161
Tableau 47. Résultats de l'effet géomorphologique des OPC dans le contexte du regroupement 3	162
Tableau 48. Résultats de l'effet écosystémique des OPC dans le contexte du regroupement 3 .	162
Tableau 49. Résultats de l'effet des OPC sur les services écologiques du regroupement 3	163
Tableau 50. Définitions des critères de sélection identifiés par les participants de Pessamit (Catégorie de critère).....	164
Tableau 51. Définition, échelle de notation et signification de la note des critères de sélection du contexte économique	166
Tableau 52. Éléments théoriques considérés pour l'évaluation des OPC en regard des critères de sélection du contexte économique (note attribuée à l'OPC en regard du critère de sélection; bases référentielles tirées du rapport de Bernatchez et al. (2015))	167
Tableau 53. Définition, échelle de notation et signification de la note des critères de sélection du contexte environnemental.....	167
Tableau 54. Éléments théoriques considérés pour l'évaluation des OPC en regard des critères de sélection du contexte environnemental (note attribuée à l'OPC en regard du critère de sélection)	168
Tableau 55. Définition, échelle de notation et signification de la note des critères de sélection du contexte social	168

<i>Tableau 56. Éléments théoriques considérés pour l'évaluation des OPC en regard des critères de sélection du contexte social</i>	169
<i>Tableau 57. Définition, échelle de notation et signification de la note des critères de sélection du contexte social</i>	169
<i>Tableau 58. Éléments théoriques considérés pour l'évaluation des OPC en regard des critères de sélection de la catégorie de critère Gestion de projet</i>	170
<i>Tableau 59. Définition, échelle de notation et signification de la note des critères de sélection du contexte social</i>	171
<i>Tableau 60. Éléments théoriques considérés pour l'évaluation des OPC en regard des critères de sélection de la catégorie de critère Caractéristiques techniques</i>	171
Tableau 61. Volumes de sédiments érodés de la falaise (tiré de Béland et al., 2019).....	184
Tableau 62. Solutions non structurelles à envisager pour la communauté de Pessamit	187
Tableau 63. Solutions non structurelles à envisager pour la communauté de Uashat.....	193
Tableau 64. Nombre de participants ayant participé à l'identification et la pondération des critères de sélection d'OPC lors des ateliers réalisés dans le contexte de consultation des projets Résilience côtière et du présent projet	201
Tableau 65. Séquence des points mentionnés aux participants durant la mise en contexte de l'identification de critères de sélection d'ouvrages de protection côtière	202
Tableau 66. Type d'irrégularités dans l'identification des critères de sélection entre les ateliers	204
Tableau 67. Variation de l'intensité de la préférence de l'action a_i par rapport à l'action a_j (tiré de Brans et al. (Brans et al., 1986))	205
Tableau 68. Variation de l'intensité de la préférence de l'action a_i par rapport à l'action a_j en regard de tous les critères simultanément (tiré de Brans et al. (Brans et al., 1986)).....	206

1 Mise en contexte du projet

À l'échelle mondiale, les effets des changements climatiques engendrent une augmentation de la vulnérabilité des communautés côtières. Les littoraux de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent ne sont pas épargnés par les aléas côtiers où les risques d'érosion et de submersion côtières sont augmentés par la combinaison de la hausse du niveau marin et de la diminution du nombre de jours avec un couvert de glace (Corriveau et al., 2019; Didier et al., 2019). Dans ce contexte, les communautés autochtones côtières doivent s'adapter et sont amenées à identifier des solutions pour réduire leur risque aux aléas côtiers.

Traditionnellement, au Québec comme ailleurs dans le monde, les ouvrages de protection côtière ont été largement utilisés pour lutter contre les aléas côtiers. Au Québec, les structures réfléchives, soit une catégorie d'ouvrage de protection côtière incluant les enrochements, les blocs déversés et les murs de protection, compte pour plus de 97 % des ouvrages de protection côtière aménagés (Bernatchez et al., 2020; Sauvé et al., 2020). Or, ce type d'ouvrage modifie les processus côtiers. Les ouvrages réfléchifs contribuent à réduire la largeur et la hauteur des plages sableuses (Bernatchez et al., 2011; Bernatchez and Fraser, 2012; Dugan et al., 2008) ce qui engendre une réduction de la capacité naturelle des écosystèmes à atténuer l'énergie des vagues (Dugan et al., 2011; Moschella et al., 2005), puis une augmentation des risques d'érosion et de submersion côtières (Bernatchez et al., 2011; Chini and Stansby, 2014; Didier et al., 2015). De plus, les perturbations occasionnées par ce type d'ouvrage entraîne des changements dans la composition, l'abondance et la diversité des espèces, tout en menant à des conséquences négatives sur la productivité et les cycles de nutriment, affectant ultimement les services écologiques (Airoldi et al., 2005; Martin et al., 2005). D'un point de vue socio-économique, les modifications de l'environnement côtier associées à ces ouvrages peuvent apporter entre autres des changements des activités pratiquées en zone côtière ainsi que d'autres changements en lien avec l'aménagement du territoire et des infrastructures.

Entre les années 1980 et le début des années 2000, ce type d'ouvrage était aménagé en situation d'urgence en réponse à des événements de tempête. Une meilleure approche pour analyser les effets des ouvrages de protection côtière sur les systèmes socio-écologiques aurait été basée sur un processus de décision intégrée (Baquerizo and Losada, 2008; Boyer-Villemare et al., 2015; Polasky et al., 2011). La dynamique côtière résulte de processus non linéaires à échelles spatiales multiples impliquant les conditions hydrodynamiques en interaction avec les conditions géomorphologiques en changement constant (Baquerizo and Losada, 2008), menant à des rétroactions sur les aspects écologiques et sociaux (Polasky et al., 2011). Aussi, les changements climatiques engendrent une augmentation de l'incertitude dans le processus décisionnel (Hallegatte, 2009; Wahl et al., 2017). Cette complexité propre à chaque site doit être la base de l'analyse du processus décisionnel menant à la sélection d'un ouvrage de protection côtière. Il est donc important que les décideurs s'appuient sur les connaissances scientifiques tout en étant conscients des différentes sources d'incertitudes et des facteurs imprévisibles (Polasky et al., 2011).

L'objectif général du projet est d'identifier les solutions d'adaptation à préconiser pour s'adapter aux aléas côtiers dans un contexte de changements climatiques en poussant la réflexion au-delà des ouvrages réfléchifs traditionnellement aménagés. Un processus de co-construction entre le Conseil tribal Mamuitun (CTM) et le laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières (LDGIZC), fondé sur des

Identification de solutions d'adaptation aux aléas côtiers pour augmenter la résilience des communautés des Premières Nations dans un contexte de changements climatiques: rapport final 2021.

collaborations en cours et antérieures dans le cadre de différents projets comme le projet Résilience côtière et le projet Géorisques côtiers, vulnérabilité et adaptation des communautés innues de la Côte-Nord dans un contexte de changements climatiques (Bernatchez et al., 2012a,b,c,d), sont à la base de cette étude.

L'objectif principal du présent projet est donc de développer un outil d'aide à la décision pour choisir des solutions d'adaptation qui s'harmonisent avec les besoins du milieu tant au niveau de l'écosystème côtier qu'au niveau socio-économique. Les objectifs spécifiques sont de : 1) identifier les besoins pour améliorer la gestion de la zone côtière, 2) développer une analyse de risques à l'érosion et à la submersion côtières, 3) développer une approche intégrée d'identification des ouvrages de protection côtière (OPC) les plus appropriés aux conditions spécifiques des systèmes socio-écologiques en intégrant, d'une part, les effets des OPC sur l'évolution du système côtier et, d'autre part, les besoins exprimés par les acteurs du territoire, 4) identifier les solutions d'adaptation adaptées aux contextes socio-écologiques des communautés de Pessamit et de Uashat.

2 Contenu du rapport

Ce rapport comporte quatre chapitres de contenu (sections 3, 4, 5, et 6). Les deux premiers chapitres décrivent les deux régions d'étude (Pessamit et Uashat) et représentent toutes les informations incluses dans l'outil d'aide à la décision. Les résultats des ateliers d'échanges et des solutions d'adaptation préconisées sont mentionnés pour chacune des communautés. Le contexte environnemental côtier associé à chaque territoire est détaillé. On entend par contexte environnemental côtier : 1) la caractérisation côtière, 2) la cartographie des écosystèmes côtiers, 3) les usages et activités pratiquées le long de la zone côtière en lien avec les écosystèmes côtiers (services écologiques) et 4) le climat des vagues et le niveau d'eau lors d'évènements de tempête pour chaque territoire.

L'analyse des risques côtiers pour chacun des sites est ensuite présentée et comprend une cartographie et une analyse du risque d'érosion et du risque de submersion.

Le chapitre 6 du rapport porte sur l'évaluation des ouvrages de protection appropriés pour chacun des contextes selon les régions d'étude. Cette partie décrit les résultats obtenus par l'algorithme d'identification d'ouvrages de protection et les résultats de l'analyse multicritère. Un document méthodologique décrivant le protocole de l'algorithme a été rédigé dans le cadre de ce même projet (Sauvé et Bernatchez, 2021c).

Finalement, le chapitre 7 propose des solutions d'adaptation dans les secteurs les plus à risques à l'érosion et à la submersion pour chacune des communautés.

3 Communauté de Pessamit

Dans un premier temps, une première section met de l'avant les besoins exprimés par les membres de la communauté de Pessamit lors de l'atelier concernant les solutions d'adaptation. Dans un deuxième temps, le contexte environnemental côtier de Pessamit est détaillé.

3.1 Atelier d'échanges et solutions d'adaptation identifiées

L'atelier d'échanges à Pessamit s'est déroulé le 19 juin 2019 durant la semaine de visite des étudiants à la maîtrise de l'UQAR dirigé par le professeur Bernatchez. D'ailleurs, ces étudiants ont fourni un rapport de leurs analyses au conseil de bande en septembre 2019 (Béland, et al., 2019).

3.1.1 Déroulement de l'atelier

Les ateliers d'échanges avaient comme objectifs de mettre à jour les connaissances des participants sur les aléas côtiers et les impacts sur leur territoire. Des présentations faites par l'équipe de l'UQAR ont d'abord eu lieu pour faire le point sur différents aspects. Premièrement, un bilan des connaissances de la problématique de l'érosion côtière dans un contexte de changements climatiques a été présenté. Deuxièmement, une présentation des différentes solutions d'adaptation et des ouvrages de protection côtière a également été effectuée. Aussi, les ateliers avaient comme objectif de faire ressortir les besoins de chacune des communautés en termes de solutions d'adaptation aux aléas côtiers et de faire ressortir les critères de sélection d'ouvrages de protection préconisés (voir la section 6.2.1). Lors de l'atelier à Pessamit, les participants étaient séparés en deux groupes de personnes. Chaque groupe devait passer à deux tables de discussion qui avaient lieu simultanément. Chacun des groupes passait 25-30 minutes aux tables. À une table, une discussion portant sur les besoins exprimés par les participants en termes de solutions d'adaptation avait lieu. À l'autre table, la discussion portait sur l'identification de critères de sélection d'OPC. À la fin de l'exercice, un système de votes avec jetons avait été créé pour pondérer toutes les idées exprimées aux deux tables. Cet exercice était inspiré par la méthode utilisée dans le cadre du projet *Résilience côtière* (Marie, et al. 2017).

Durant l'atelier, les participantes et participants ont également participé à une activité de cartographie interactive visant à valider et à bonifier la cartographie sur les usages et les sites d'intérêt socio-culturels pour leur communauté. Les commentaires et connaissances des participants ont servi à bonifier la base de données existante. Les usages et sites importants sont présentés dans la section 3.2.3 de ce rapport.

À Pessamit, 12 personnes ont participé à l'atelier et aux tables de discussion. Des personnes du secteur des travaux publics, des services territoriaux, de la géomatique ainsi que des élus et des citoyens étaient présents. Sept d'entre eux ont voté à l'exercice de pondération (tableau 1). La prochaine section présente les idées qui sont ressorties lors de la table de discussion sur les besoins de solutions d'adaptation.

Tableau 1. Services publics de la communauté représentés à l'atelier à Pessamit

Secteurs	Nombre
Infrastructures, immobilisations et développement communautaire (travaux publics)	3
Territoire et ressources (services territoriaux, géomatique, restauration du saumon)	3
Élu politique	1
Total de personnes qui ont voté	
	7

3.1.2 Besoins exprimés en termes de solutions d'adaptation

Les personnes ayant participé à la discussion sur leurs besoins concernant les solutions d'adaptation aux aléas côtiers ont mentionné plusieurs éléments qui sont énumérés dans le tableau 2. Les outils de sensibilisation font partie des besoins prioritaires selon les participants. Les idées d'outils de sensibilisation sont décrites dans le tableau 3. Malgré l'effort de la communauté au niveau de la sensibilisation dans les années précédentes, le développement d'outils de sensibilisation demeure une priorité en termes de solutions d'adaptation et était également préconisé par les répondants qui ont participé à l'enquête menée en 2010 (Bernatchez, et al. 2012). Cette sensibilisation devrait selon les participants être déployée à tous les groupes d'âge de la communauté et à toutes les sphères économiques et socio-culturelles de la communauté. La traduction du français en innu des documents de sensibilisation demeure un aspect important afin de transmettre le mieux possible les informations sur la problématique des aléas côtiers dans un contexte de changements climatiques et environnementaux. Cette traduction pourrait contribuer à l'appropriation des connaissances transmises par les experts. Les participants ont également mentionné un besoin d'assurer une suite dans cette sensibilisation. Un plan d'action de sensibilisation serait donc une façon d'assurer cette continuité.

En ce qui concerne l'aspect économique, les participants ont suggéré la mise en place d'un comité local qui gérerait un budget-participatif pour créer un fond pour la prévention et la relocalisation planifiée. Des besoins au niveau du financement pour la mise en œuvre des solutions ont été soulevés. La création d'une caisse ou d'un fond spécial pour le volet environnement et la mise en œuvre de solutions a alors été suggérée. À titre de rappel, selon l'étude de Bernatchez et al. (2012a), la création de comités côtiers était prioritaire selon 74 % des répondants.

Les résultats de cette table de discussion ont montré également qu'il y a un important besoin d'avoir une plus grande expertise locale, donc de former des experts avec des membres de la communauté. Les formations de pilotage de drone, d'installation de station météorologique et de l'interprétation des données récoltées ont notamment été identifiées. Il y a donc un manque de connaissances techniques et d'expertise au niveau local. L'augmentation de l'expertise locale permettrait une plus grande autonomie en termes d'analyse de la problématique de l'érosion et la submersion côtières sur leur territoire.

De plus, une mise à jour du plan de mesures d'urgence a été soulevée comme étant un besoin de la communauté. D'ailleurs, cet élément a également été mentionné lors des rencontres individuelles dans le cadre de l'étude Bernatchez, et al, (2012a) où les répondants signalaient que le plan de mesures d'urgence était désuet.

Un volet intéressant a été identifié concernant l'arrimage entre la communauté et les municipalités avoisinantes. Les participants ont mentionné qu'il y avait un besoin d'une collaboration et d'une concertation entre les élus de Pessamit et les municipalités axées sur les enjeux environnementaux. Ils déplorent que la concertation actuelle ne se fasse qu'au niveau économique.

Une réglementation d'urbanisme applicable à la communauté a également été demandée ainsi que des codes ou des normes du bâtiment adaptés aux contraintes physiques.

Une cartographie des zones de submersion et des études de la nappe phréatique sont des manques identifiées par les participants.

D'autres éléments intéressants ont été soulevés comme besoins en termes de solutions d'adaptation. Le tableau ci-dessous les décrits, comme de promouvoir le savoir des aînés dans l'utilisation des outils technologiques, ou encore de mettre à disposition le matériel nécessaire pour augmenter l'expertise locale. Le besoin d'accompagnement a aussi été mentionné et a été pondéré qu'à 1,7 % du total des votes. Si l'on compare les résultats obtenus lors de l'atelier avec les gens de la MRC de Manicouagan dans le cadre du projet *Résilience côtière*, le besoin d'accompagnement est ressorti beaucoup plus fort en priorité, soit en deuxième, après le besoin d'une réglementation adaptée qui fût en première priorité (Marie, et al. 2017).

Tableau 2. Besoins exprimés en termes de solutions d'adaptation

% de priorisation	Solutions d'adaptation - Besoins et outils
11,5	- Outils de sensibilisation
8,6	- Création d'un comité avec un budget-participatif dans lequel les gens décident où mettre l'argent - Création d'un fond pour la prévention et la relocalisation planifiées - Création d'un programme de financement pour la mise en application - Disponibilité d'un fond pour la mise en œuvre - Création d'une caisse pour le volet environnemental
8,6	- Augmentation des ressources humaines locales
8,6	- Création d'une expertise locale avec des formations ex. drone, station météorologique - Connaissances techniques
5,7	- Mise à jour du plan de mesures d'urgence: -équipes, matériels, chaîne d'appels
5,2	- Besoin d'un ouvrage de protection devant l'entrepôt - Projet pilote de recharge de sable devant l'entrepôt - Épi ou enrochement pour protéger la communauté
5,2	- Évaluation de la couverture végétale en bordure de la plage et du marais
5,2	- Collaboration entre la communauté et les municipalités - Concertation au niveau environnemental entre Pessamit et les municipalités voisines et pas seulement au niveau politique et économique
5,2	- Maintien des usages près de l'entrepôt
5,2	- Réglementation d'urbanisme applicable à la communauté - Codes/Normes nationales du bâtiment adaptés aux contraintes physiques - Plan d'aménagement paysager et territorial
4,6	- Évaluation des activités anthropiques dans le marais et les plages de Pessamit
4,6	- Cartographie des zones de submersion et études de la nappe phréatique
4,0	- Mise en place d'un observatoire sur les activités d'HQ
4,0	- Conception d'une banque de données environnementales pour contribuer à augmenter l'expertise locale
3,4	- Le savoir des aînés à mettre de l'avant en concordance avec les outils technologiques
3,4	- Ressources matérielles, ex. piézomètre, etc. - Station météorologique avoir directement accès, avec une formation
2,3	- Création d'un outil pour connaître la qualité physico-chimique de l'eau de la rivière, la salinité et la température

1,7	- Accompagnement des gens territoires-ressources
1,7	- Maximisation des réseaux de communication, la radio pour les aînés, diffusion SOCAM, et utilisation des réseaux sociaux - Réseautage (faciliter les contacts avec les experts)
1,1	- Mobilisation communautaire

Tableau 3. Éléments ressortis concernant le volet de sensibilisation

Mise à jour du contenu des outils de sensibilisation existants
Sensibilisation avec des images intéressantes
Assurer une continuité dans la sensibilisation
Traduction des documents en français et en innu
Méthode de sensibilisation par plus petits groupes (groupe d'âge, autres groupes)
Sensibilisation dans les écoles
Développement d'outils de vulgarisation sur le marais maritime
Formation pour les gens de la communauté
Aide à la gestion des connaissances à divulguer au public
Sensibilisation aux mesures légales par rapport à la problématique des aléas côtiers
Sensibilisation aux changements climatiques de la main d'œuvre locale

3.2 Contexte environnemental côtier de Pessamit

Cette partie contient l'information sur l'environnement côtier de Pessamit, comprenant la caractérisation côtière (types de côtes dominants et état de la côte), la caractérisation des écosystèmes côtiers de manière surfacique, les services écologiques des écosystèmes en lien avec les usages et les activités pratiquées, affectées et cessées ainsi que le climat des vagues et des niveaux d'eau lors d'importantes tempêtes.

3.2.1 Caractérisation côtière de Pessamit (estuaire Betsiamites à la riv. Papinachois)

3.2.1.1 Côte basse meuble

3.2.1.1.1 Flèche littorale

Pessamit repose en partie sur une flèche littorale qui représente plus de 9 % de la longueur de côte entre le pont de la rivière Betsiamites et la rivière Papinachois. Les processus actifs dominants sont le sapement des vagues et le vent. Les VTT et le piétinement sont également des processus importants qui engendrent l'érosion de la flèche sablonneuse. Des signes d'érosion sont visibles devant l'atelier du conseil de bande ainsi que de part et d'autre du bâtiment à 400 m vers le sud et 300 m vers le nord le long de la limite de la végétation dense (figure 1). La présence d'une micro-falaise démontre l'effet de l'érosion des vagues sur le sable et la végétation.



Figure 1. Flèche littorale en érosion devant la communauté de Pessamit (septembre 2017).

La partie distale de la flèche littorale est actuellement dans un état stable alors que l'imagerie aéroportée effectuée en 2010 montrait des signes d'érosion (figure 2). En effet, on peut remarquer une augmentation de la végétation entre 2010 et 2017 (cercle rouge sur la figure 2). En 2010, les buttes de sable étaient en érosion et formaient de basses falaises actives tandis que sur l'image de 2017, la végétation s'est installée et stabilise le talus. Les figure 3 et figure 4 montrent le déplacement de la ligne de rivage entre 1987 et 2019. On remarque une section en accumulation entre 1987 et 2019 située entre les transects 7 à 15 et une autre section en déficit située entre les transects 16 à 29. Généralement, la dynamique d'une flèche littorale est ainsi, c'est-à-dire que la partie distale (non attachée à la côte) s'accumule alors que la partie proximale (attachée à la côte) s'érode. Avec la présence de la rivière Betsiamites au débit important, le bout de la flèche située entre les transects 1 à 6 est en érosion. Puisque l'atelier du conseil de bande se situe dans la partie proximale de la flèche, il risque plus d'être sujet à des événements d'érosion côtière. Plusieurs bâtiments sont situés sur cette forme littorale dynamique, ce qui peut augmenter le risque côtier. Cet aspect est détaillé dans la section 5.1.1 du rapport.



Figure 2. Comparaison de l'état de la flèche littorale entre 2010 et 2017 (source : LDGIZC).



Figure 3. Évolution de la flèche littorale de Pessamit (1987, 2006, 2016 et 2019).

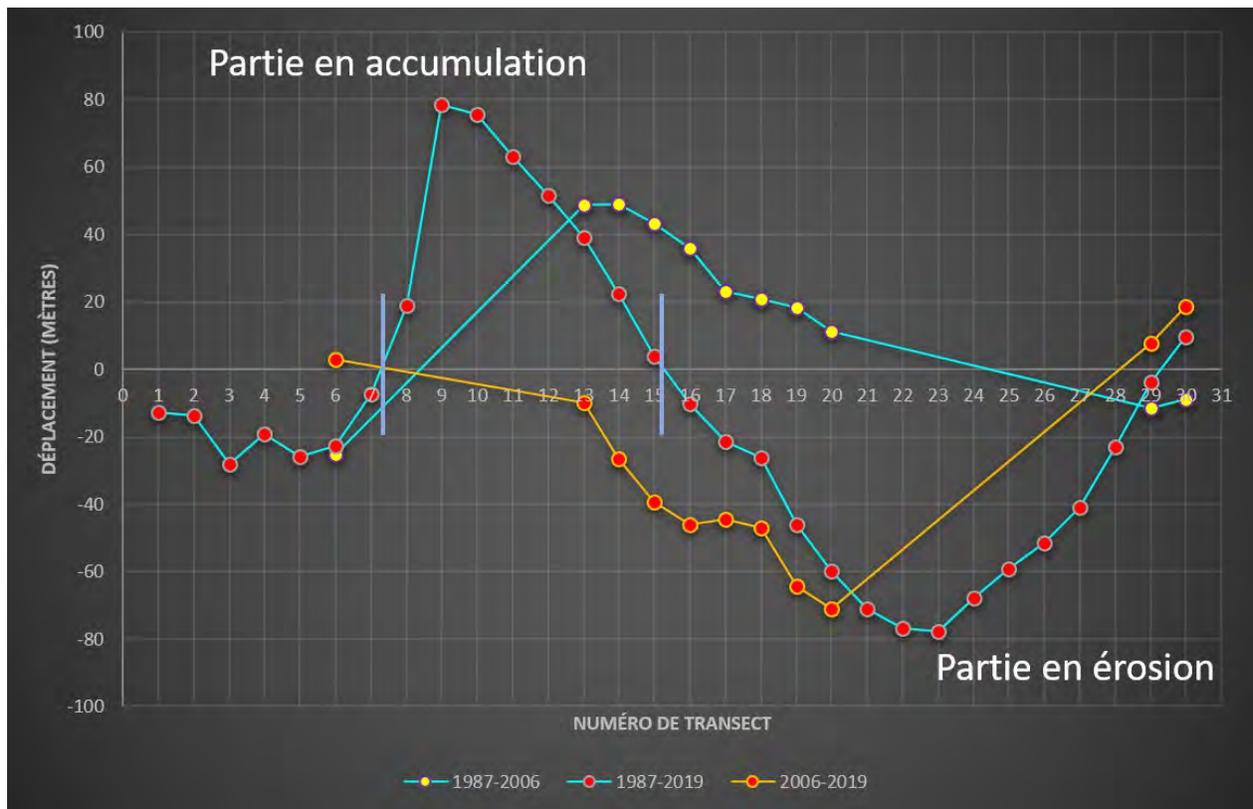


Figure 4. Déplacement (m) de la flèche littorale aux intervalles 1987-2006, 1987-2019 et 2006-2019

3.2.1.1.2 Terrasse de plage

Les terrasses de plage ne sont qu'à 2,1 % présentes sur le territoire à l'étude. Les processus qui engendrent l'érosion ou l'accumulation sont également les vagues et le vent. On remarque que ce type de côte est présent à l'intérieur de l'estuaire de la rivière Betsiamites, un environnement plutôt abrité, mais montre tout de même quelques signes d'érosion. En observant les photographies obliques prises en hélicoptère en 2017, la terrasse de plage est en effet semi-végétalisée (figure 5). Les terrasses de plage à marais maritime caractérisent aussi à 2,1 % de la côte (figure 6).

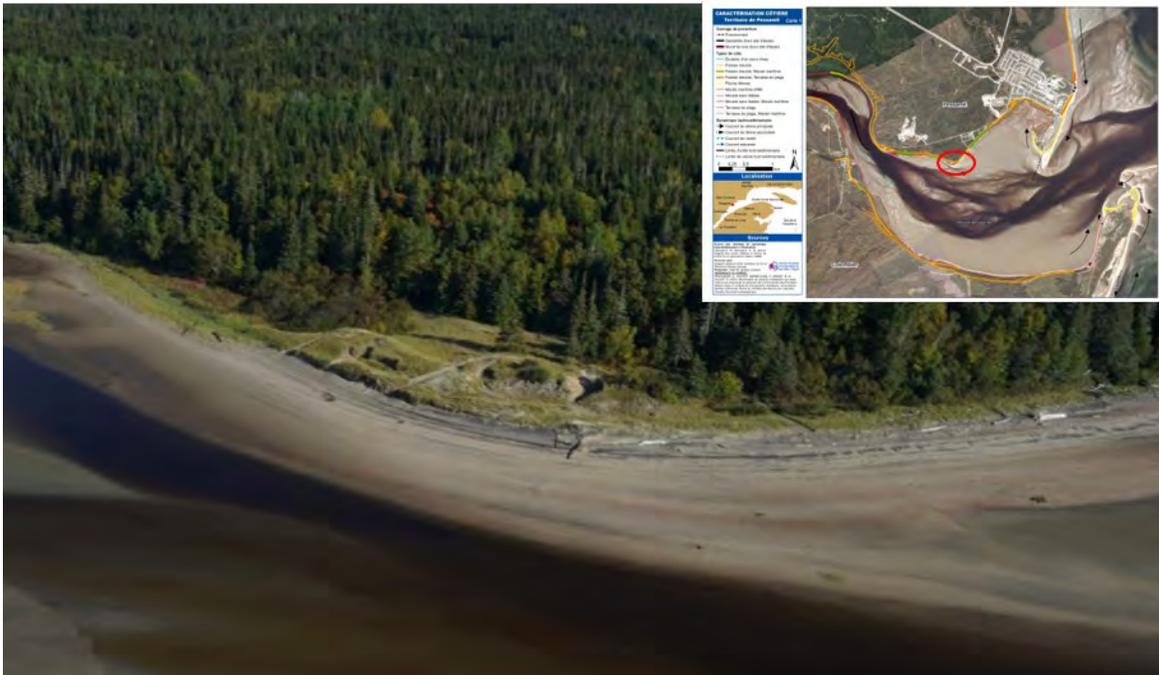


Figure 5. Terrasse de plage semi-végétalisée dans l'estuaire de la rivière Betsiamites



Figure 6. Terrasse de plage à marais maritime dans l'estuaire de la rivière Betsiamites

Identification de solutions d'adaptation aux aléas côtiers pour augmenter la résilience des communautés des Premières Nations dans un contexte de changements climatiques: rapport final 2021.

À l'est de la flèche littorale, une terrasse de plage est également présente. Puisqu'elle mesure moins de 5 m de largeur, le type de côte est une falaise meuble à terrasse de plage qui représente 0,8 % des types de côtes de Pessamit (figure 7).



Figure 7. Falaise meuble à terrasse de plage au nord de la communauté de Pessamit

3.2.1.1.3 Côte meuble sans falaise

Les côtes meubles sans falaise sont constituées de substrat meuble dont la provenance exacte est inconnue en raison d'un manque de données. Elles sont en général des côtes constituées de dépôt estuarien, de dépôt de glissement de terrain ou encore tout dépôt meuble d'origine indéterminée. À Pessamit, ces types de côtes se situent à l'intérieur de l'estuaire de la rivière Betsiamites. Nous analysons ces côtes meubles sans falaise comme les autres côtes basses meubles, selon le substrat dominant les formant. Ces types de côtes sont à 12,6 % présents sur le territoire de Pessamit, en grande majorité situés près du pont de la rivière (figure 10).

3.2.1.2 Côte à falaise meuble

Les falaises meubles sont les principales côtes présentes sur le territoire de Pessamit. Elles représentent 41,5 % du littoral. Comme mentionné auparavant, les falaises meubles à terrasse de plage forment le paysage à moins de 1 % du littoral alors que des falaises meubles avec un marais maritime au pied caractérisent un peu plus de 6 % la côte. Les falaises au nord de la communauté sont constituées de différents dépôts (Bernatchez, 2003), soit le premier sur le dessus de matière organique reposant sur un

Identification de solutions d'adaptation aux aléas côtiers pour augmenter la résilience des communautés des Premières Nations dans un contexte de changements climatiques: rapport final 2021.

dépôt de silt sableux et de sable. Le dernier dépôt du bas de la falaise est formé de silt sableux à argileux (figure 8).



Figure 8. Falaise meuble en érosion sur le territoire de Pessamit.

3.2.1.3 Côte à marais maritime

Le littoral de Pessamit est composé d'environ 21 % de côte à marais maritime. Le schorre supérieur du marais maritime est à plus de 50 % en érosion. Comme le montre la figure 9, le marais en érosion se caractérise par une importante micro-falaise dans le substrat silt (ou limon) sableux (figure 13).

Les marais maritimes sont des écosystèmes importants en termes de services écologiques et de biodiversité. Pour cette raison, ce type de côte est décrit plus en détail dans les sections 3.2.2 et 3.2.3.5 du rapport.



Figure 9. Marais maritime en érosion devant la communauté de Pessamit (2019)

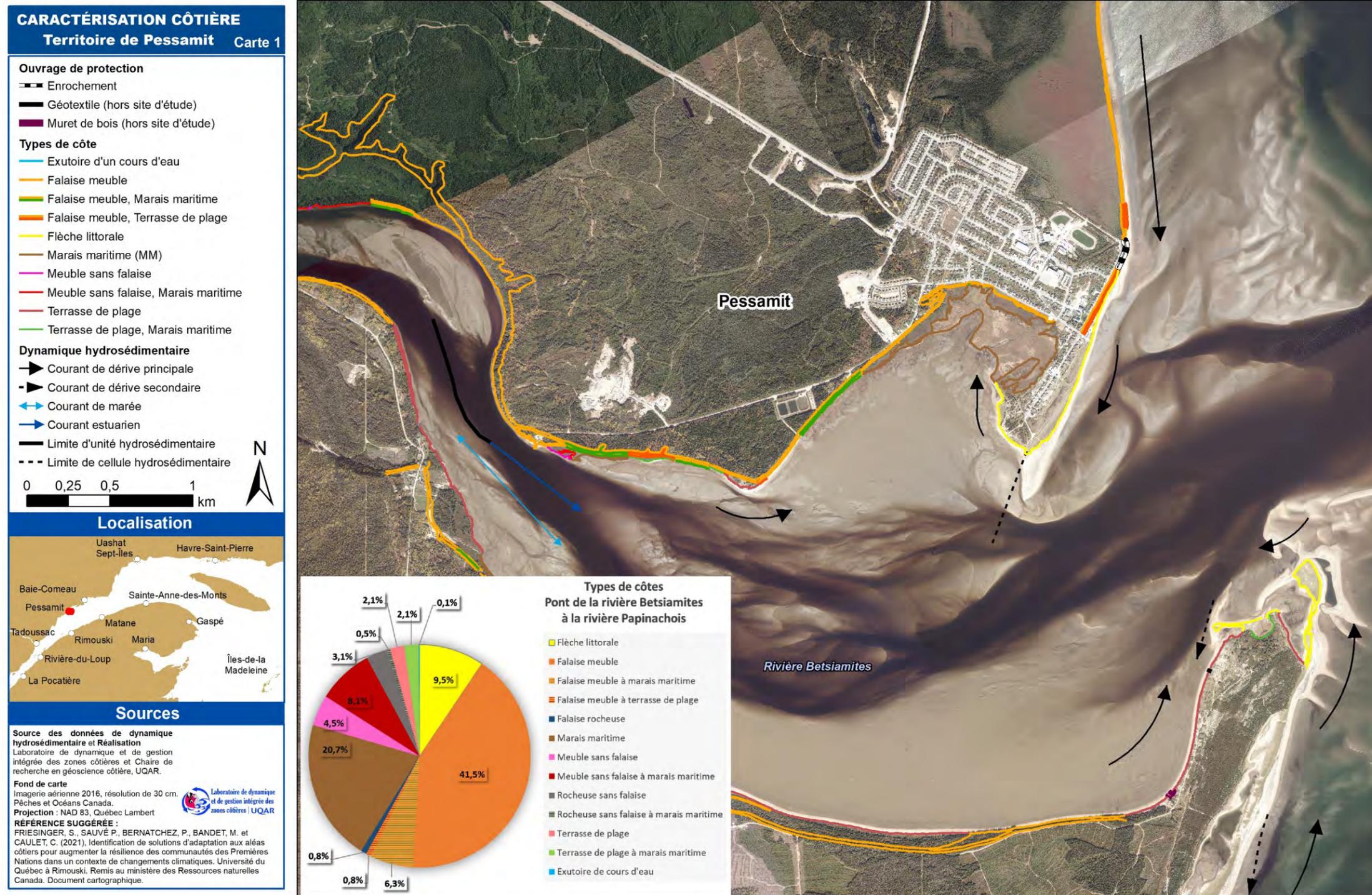


Figure 10. Types de côtes du territoire de Pessamit



Figure 11. Types de côtes longeant la communauté de Pessamit

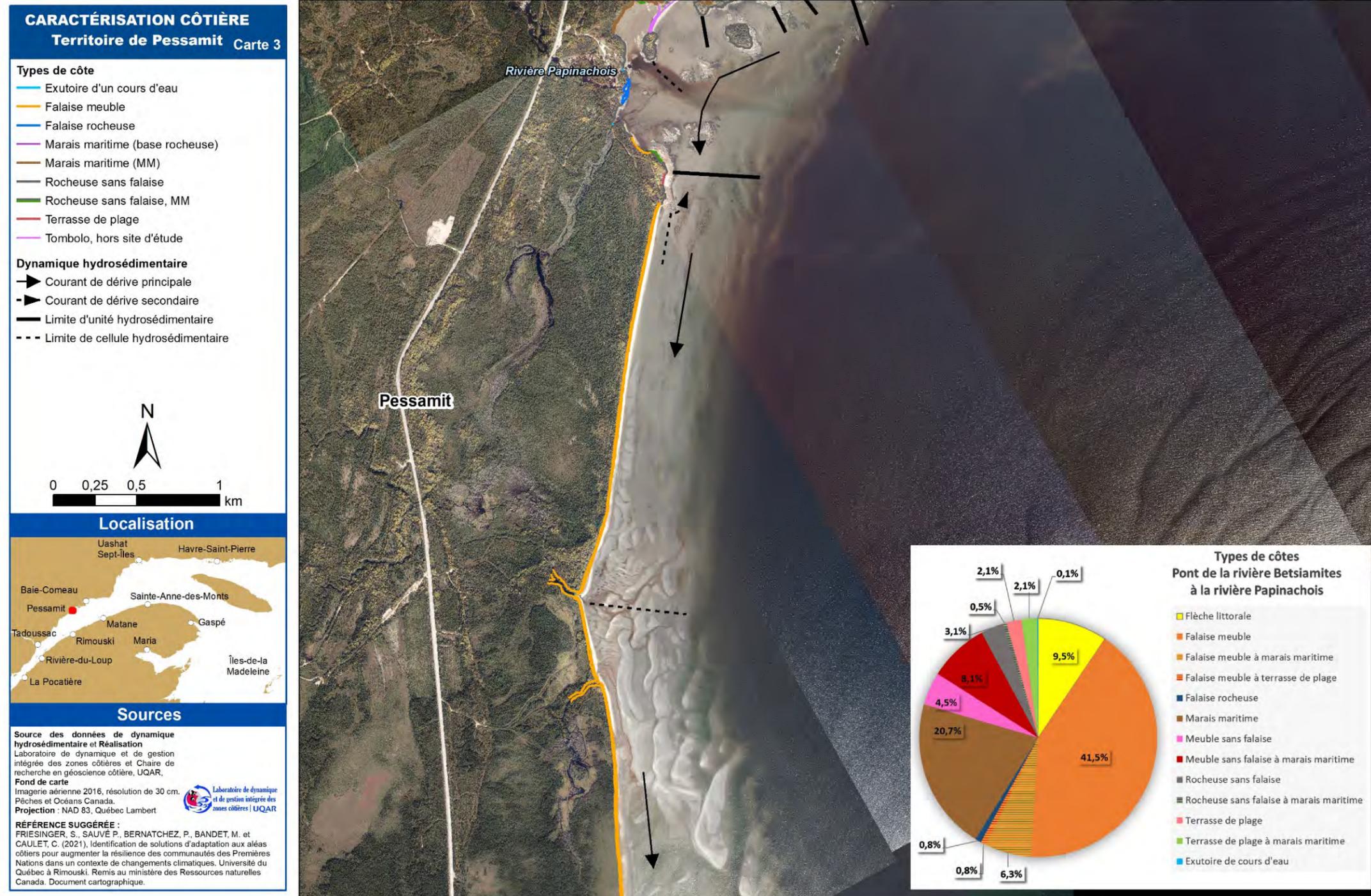


Figure 12. Types de côtes du territoire de Pessamit (secteur Papinachoïse)

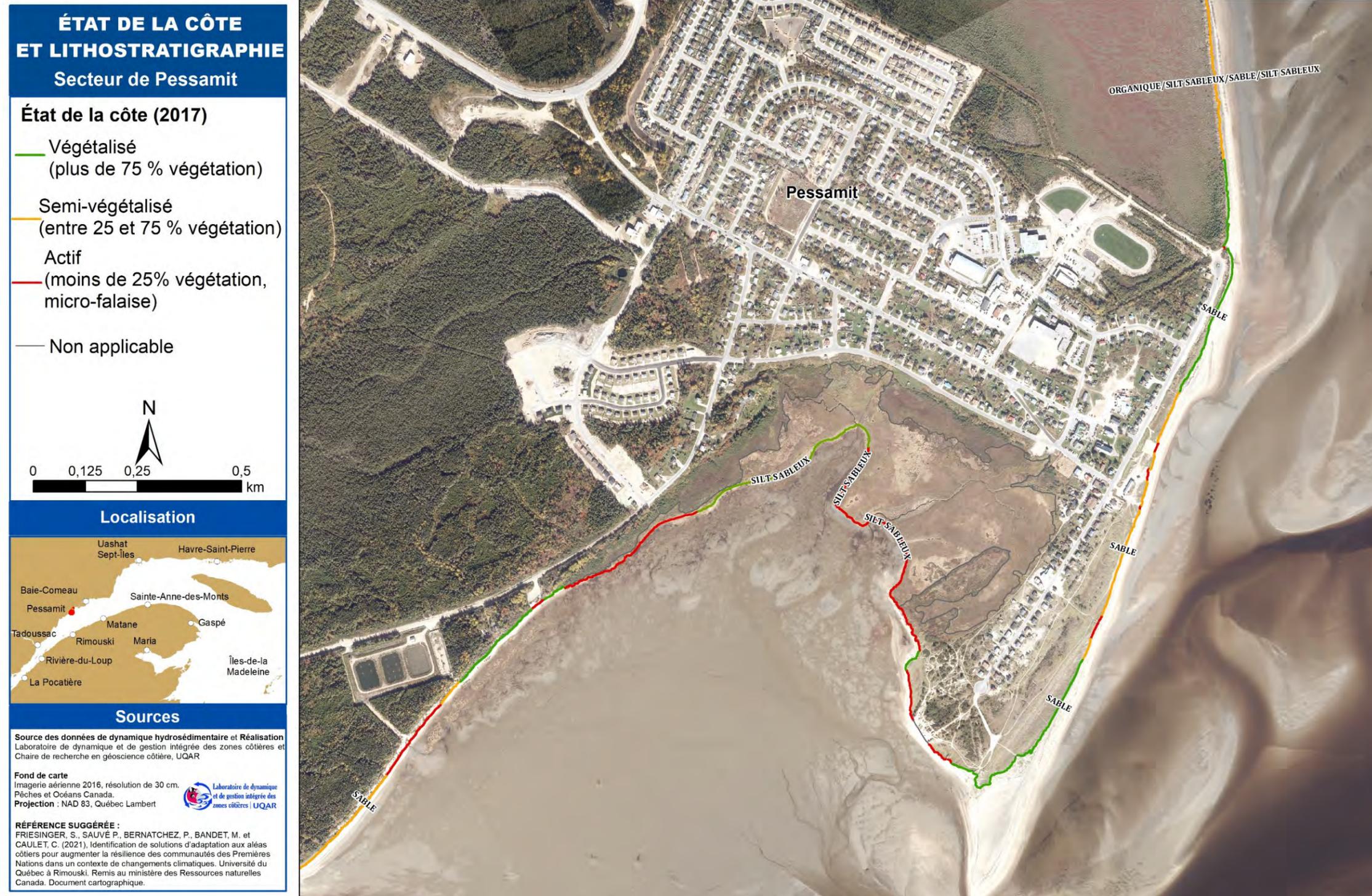


Figure 13 État de la côte longeant la communauté de Pessamit.

3.2.2 Caractérisation des écosystèmes côtiers

La caractérisation surfacique des écosystèmes côtiers a été effectuée sur l'ensemble du territoire de Pessamit, cependant la zone ciblée dans ce rapport en couvre 28 km², soit de l'estuaire de la rivière Betsiamites jusqu'à la rivière Papinachoïs. Les figure 15, figure 16 et figure 17 illustrent l'étendue de chacun des écosystèmes côtiers jusqu'à 500 m vers le large et le tableau 4 indique la surface en km² pour chaque écosystème. Les résultats donnent une bonne idée de la proportion de l'environnement côtier qui entoure la communauté.

Le chenal de l'estuaire de la rivière Betsiamites est l'écosystème dont la surface est la plus importante (6,35 km² et 22 % du total). Le chenal est caractérisé par le courant de la rivière et des marées, les organismes vivants présents dans l'eau, les sédiments en suspension ainsi que le lit de l'estuaire. La végétation y est absente selon notre caractérisation, comme c'est le cas pour l'écosystème de delta meuble principalement constitué de sable et se retrouve adjacent au chenal estuarien.

La batture meuble (à dépôts meubles) et l'infra littoral meuble (à dépôts meubles) sont composés a priori de sable et sont également dépourvus de végétations visibles selon les analyses d'imagerie aérienne datant de 2016. Toutefois, on a constaté tout de même en 2019 de petites surfaces de zostère marine. Bernatchez, et al. (2012) mentionne l'ensablement de l'estuaire qui est observé par les répondants de l'enquête réalisée dans le cadre du projet Bernatchez, et al. (2012a). Cet ensablement serait dû aux centrales hydroélectriques qui régularisent le débit naturel de la rivière et qui engendrent une dynamique dominée par les courants marins qui pénètrent dans l'estuaire. L'effet de pression des courants marins sur le débit de la rivière empêche la sortie des sédiments vers le large. Quelques activités sont affectées en raison de cet ensablement de l'estuaire comme l'accès à l'eau, le canot, la pêche et la chasse aux oiseaux migrateurs (Bernatchez, et al., 2012a). En effet, le débit naturel de la rivière avant l'implantation du barrage Bersimis-2 variait entre 100 à 850 m³/s avec des pointes de crues de 1500 m³/s (Hydro-Québec, 2007). À la suite de la construction et des dérivations partielles de certaines rivières vers le réservoir Pipmuacan, le débit de la rivière à la centrale Bersimis-2 varie entre 328 m³/s et 392 m³/s, et le débit moyen à l'embouchure de la rivière est d'environ 400 m³/s (MPO, 2002). Selon les études de débits, ils peuvent varier brusquement et fréquemment de 150 m³/s de part et d'autre de la moyenne sur une base journalière (BPR Inc. Alliance Environnement, 2007; Hydro-Québec, 1999). Il ne semble plus y avoir des pointes de crues depuis la construction du barrage en 1954. Les courants de marée sont prédominants en aval du 5^e kilomètre de l'embouchure alors qu'en amont de cette limite, les courants fluviaux deviennent plus importants (InteRives Ltée et Naturam Environnement inc., 2000).

La plage et le delta sableux devant la flèche littorale de Pessamit accueillent plusieurs espèces de mollusques et de poissons. Comme le mentionne le rapport des étudiants (Béland et al, 2019), trois espèces de mollusques y ont été répertoriées, soit la mye commune (*Mya arenaria*), la macoma (*Macomas sp*), et la mésodesme arctique (*Mesodesma arctatum* ou la clovisse arctique). Selon leurs résultats, la mye commune est présente partout sur la plage sableuse et le delta sableux alors que la macoma se situe plutôt près de la flexure entre le haut estran et le bas estran. La mésodesme arctique semble préférer être submergée plus longtemps et se situe dans la partie plus basse du delta sableux vers le chenal estuarien (figure 14). La mactre de Stimpson est

présente également, mais encore plus au large (Comité ZIP RNE, 2010). En ce qui concerne les espèces de poissons, le saumon atlantique, l'esturgeon noir et la plie étaient des espèces pêchées au filet en face de la communauté sur le delta sableux dans les années 1970. Le saumon et la plie sont encore des espèces présentes dans la partie du delta sableux, mais elles ne sont plus pêchées aujourd'hui à cet endroit. Selon la littérature, la rivière Betsiamites était un lieu de fraie pour l'esturgeon noir, mais ne semble plus présent de nos jours (Naturam, 1995). L'aire de reproduction et d'habitat pour l'esturgeon noir est plutôt la rive sud (Naturam, 1995). La morue est pêchée encore aujourd'hui sur le delta sableux près de la pointe à Michel situé du côté ouest de l'estuaire de la rivière Betsiamites. Une frayère à capelan semblait encore présente en 2010 sur cette même pointe, mais la pêche au capelan ne se pratique plus, selon les participants à l'atelier de juin 2019 (section 3.2.3, figure 20).

L'écosystème de marais maritime est formé de trois environnements différents, soit la slikke, le schorre inférieur et le schorre supérieur. La slikke est la partie du marais maritime ayant une surface plus importante, soit 3,59 % de l'ensemble. Cet écosystème est constitué d'un substrat sable fin et de vase et est non végétalisé pour sa plus grande superficie. Quelques scirpes maritimes recouvrent de 1 à 25 % de la surface de la slikke adjacente au schorre inférieur (marais inférieur à scirpes (0,98 km²) et marais inférieur à spartine alterniflore (0,08 km², figure 16). Un projet de restauration de la slikke est en cours en face des étangs aérés à Pessamit. En effet, selon le plan d'action Saint-Laurent 2011-2026, une plantation de zostère marine a été effectuée dans cette slikke (figure 20). Le schorre inférieur à scirpes maritimes fait 3,4 % de la superficie total à l'étude. Son substrat est principalement formé de vase ou de substrat sable fin. Les schorres supérieurs représentent 1,33 % de la surface totale. Ils sont caractérisés de plantes vasculaires mixtes à joncs près de la communauté de Pessamit et de plantes vasculaires mixtes et myrique baumier sur la rive ouest de l'estuaire de la rivière Betsiamites (figure 15).

On retrouve les bas et hauts estrans rocheux dans la partie nord du site d'étude et forment respectivement 0,54 % et 0,20 % de la superficie totale (tableau 4). Le bas estran rocheux est parfois colonisé par des macroalgues.

Tableau 4. Surface en km² des écosystèmes côtiers (estuaire de la rivière Betsiamites jusqu'à la rivière Papinachois)

Écosystème côtier	Surface	
	km ²	%
Batture meuble	8,35	30,03
Chenal estuarien	6,35	22,82
Delta meuble	5,03	18,08
Infralittoral meuble	3,99	14,33
Slikke	1,03	3,71
Marais (inf) à scirpes	0,98	3,52
Plage	0,68	2,43
Marais (sup) à plantes vasculaires mixtes	0,38	1,37
Vasière	0,38	1,36
Batture à macroalgues	0,33	1,17
Marais (inf) à spartine alterniflore	0,08	0,29

Identification de solutions d'adaptation aux aléas côtiers pour augmenter la résilience des communautés des Premières Nations dans un contexte de changements climatiques:

Rapport final 2021

Bas estran rocheux à macroalgues	0,08	0,28
Bas estran rocheux	0,08	0,28
Haut estran rocheux	0,06	0,20
Supralittoral	0,02	0,07
Bas estran sableux	0,01	0,04
Ecueil à macroalgues	0,00	0,01
Total surfacique à l'étude	27,82	100,00

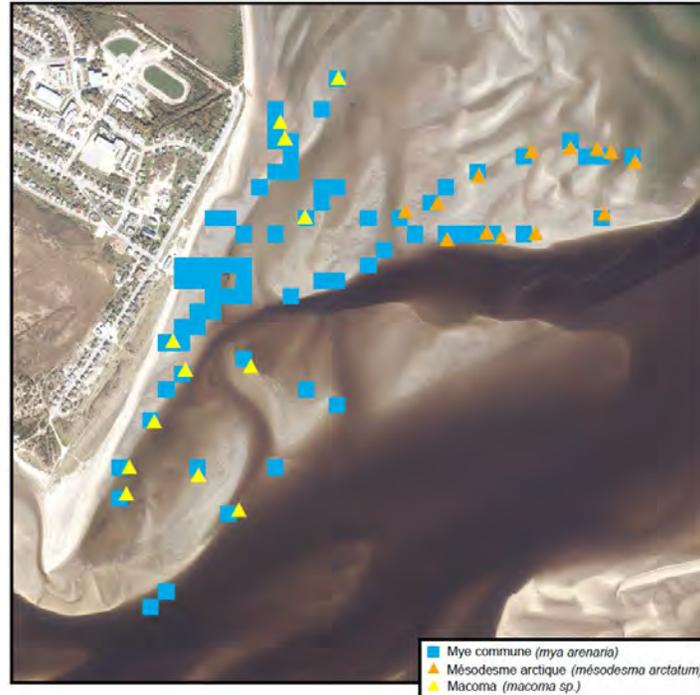


Figure 14. Espèces de mollusques observés en juin 2019. (Figure tirée du rapport Béland et al, 2019).

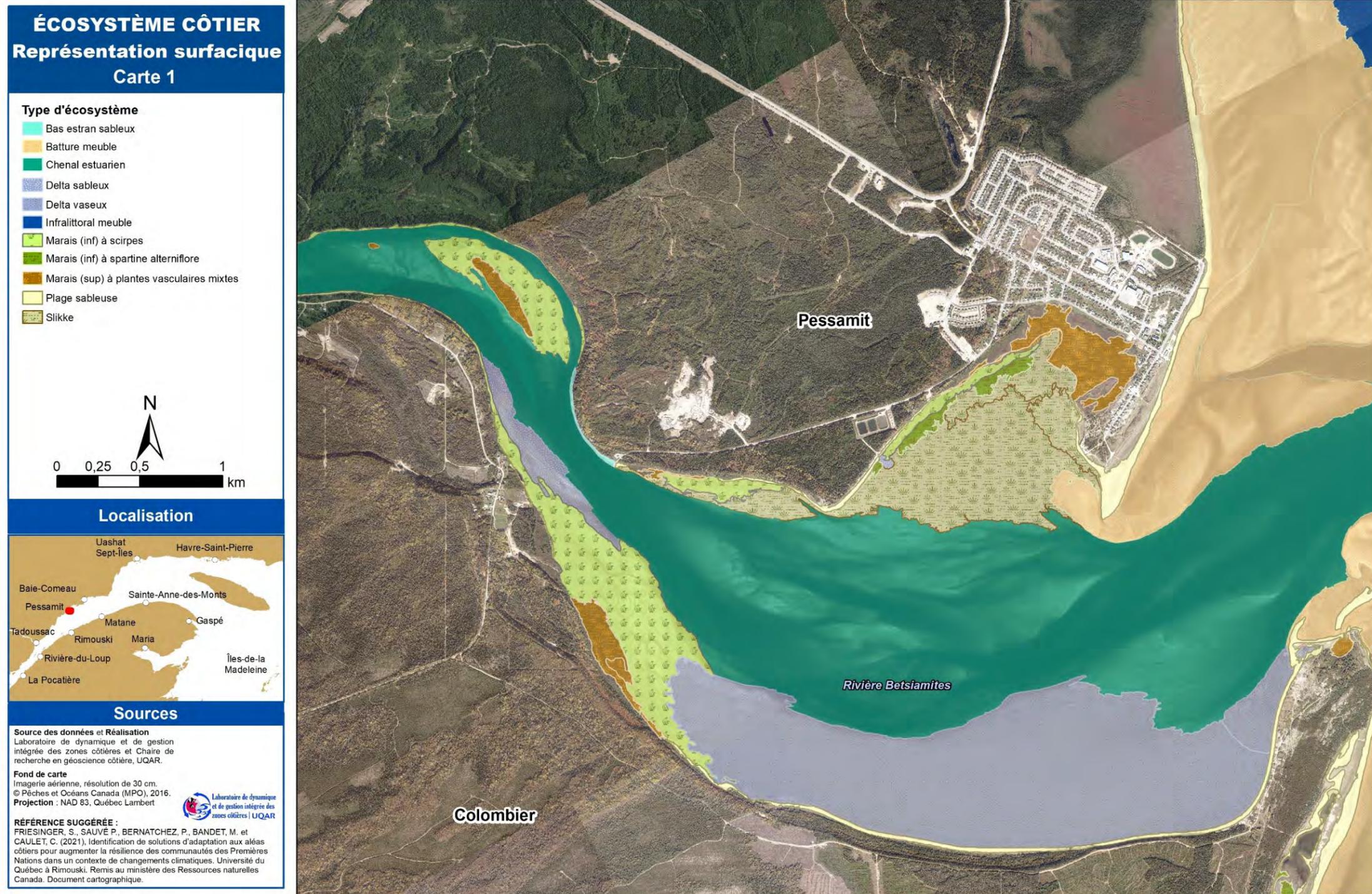


Figure 15. Type d'écosystème côtier sur le territoire de Pessamit.



Figure 16. Type d'écosystème côtier adjacent aux côtes de la zone habitée de Pessamit.

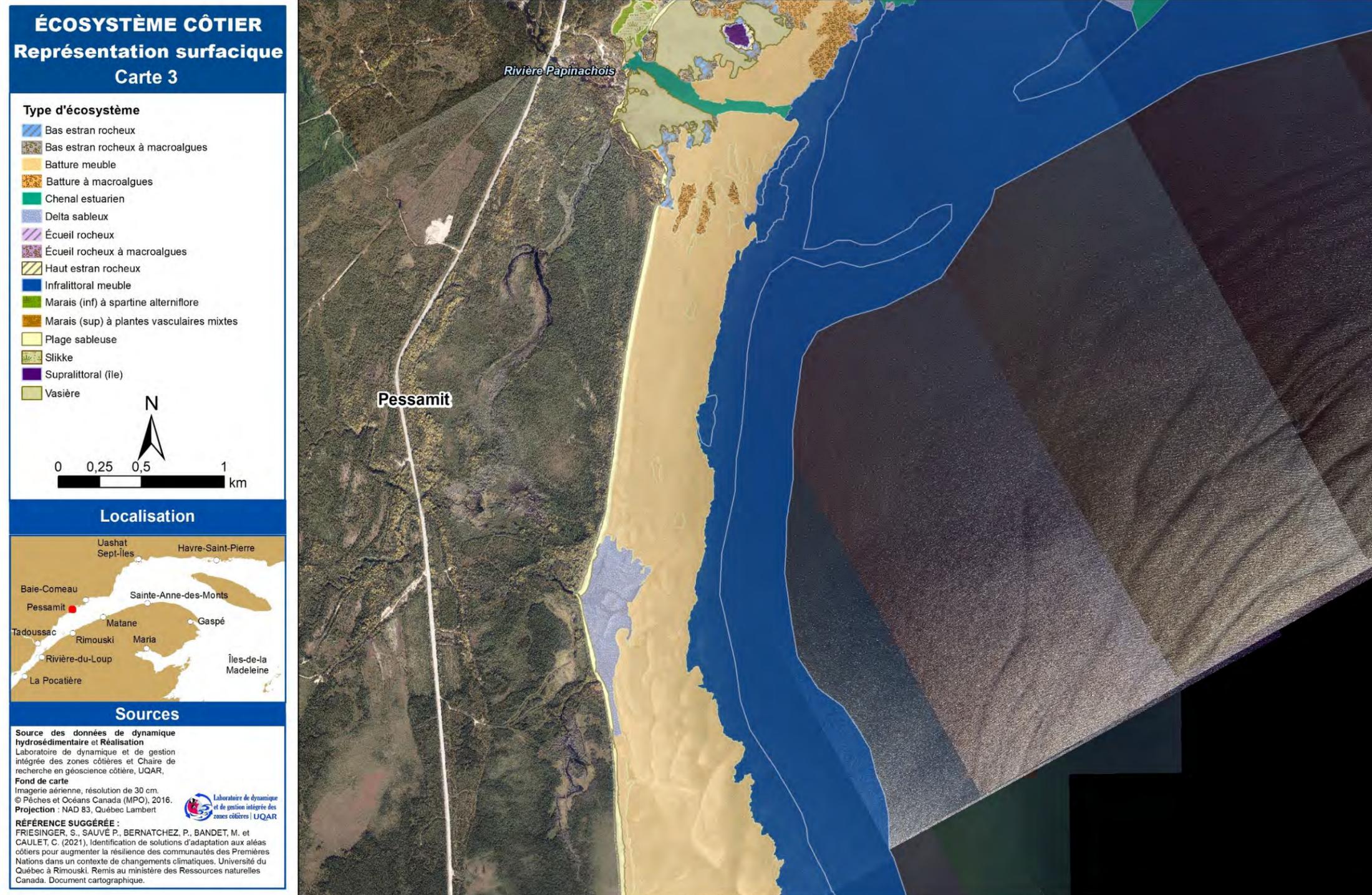


Figure 17. Type d'écosystème côtier du territoire de Pessamit (secteur Papinachois).

3.2.3 Usages et activités

Les écosystèmes fournissent des services écologiques en grand nombre. Les activités que font les utilisateurs dans les milieux côtiers sont nombreuses et ont une importance pour la société. Selon le concept, les services écologiques lient les processus biophysiques des écosystèmes, la biodiversité et l'environnement au bien-être de l'humain (Potschin & Haines-Young, 2016). Les figure 19 à figure 24 illustrent l'endroit de ces usages et sites ainsi que les écosystèmes côtiers présents sur le territoire de Pessamit.

3.2.3.1 Services écologiques des battures meubles et du bas estran rocheux à macroalgues

L'écosystème de batture meuble accueille des usages comme la chasse au canard, la pêche, les activités liées à la plage et en hiver la motoneige (tableau 5). Les changements observés au niveau de la batture sableuse apportent des inquiétudes auprès des répondants. C'est pourquoi les festivités innues, la baignade, la marche et la promenade en VTT sont des activités affectées selon les répondants. L'érosion et la présence d'un enrochement seraient les principaux phénomènes affectant les usages (Bernatchez et al, 2012). Cet écosystème offre la possibilité de pratiquer la chasse à l'outarde ou à l'oie blanche. Aussi, l'observation de la faune est une activité commune pour les gens de Pessamit. L'important site d'échouerie de phoques à la hauteur de la pointe à Michel semble être une attraction particulière. La pêche à la morue et la cueillette de mollusques se font dans cet environnement sableux, tout comme la baignade, le golf sur le sable, la marche et les balades en VTT. L'hiver, le patin, la promenade en luge et la motoneige peuvent avoir lieu sur la batture enneigée et englacée. Comme activités de loisirs, celles en lien avec la plage comme le jeu dans le sable et la détente se font dans cet écosystème. Il semble que celui-ci est un site à haute valeur socio-culturelle qui accueille divers rassemblements de la communauté. Le site archéologique reconnu du poste de Bersimis est en lien direct avec cette batture ainsi que la plage et la flèche littorale. Ces hauts fonds sableux ont permis les échanges entre les colons et la communauté.

Cet écosystème est une aire de concentration d'oiseaux aquatiques, une zone de conservation et un hotspot de biodiversité ce qui permet les activités de chasse et de pêche puisque plusieurs espèces d'oiseaux et de poissons profitent du milieu.

L'écosystème de bas estran rocheux à macroalgues accueille une station de suivi des macroalgues ce qui démontre une facilité d'accès et permet l'avancement de la recherche et des connaissances scientifiques à ce sujet.

Tableau 5. Services écologiques générés par l'écosystème des battures meubles et des bas estrans rocheux à macroalgues de Pessamit (**Écosystème**, état de l'usage, service écologique, usage détaillé)

Catégorie d'usages ou site	
Bas estran rocheux à macroalgues	
<u>Usages actuels</u>	
Recherche	
- Station de suivi des macroalgues marines	
Batture meuble	
<u>Usages actuels</u>	
Aire de concentration d'oiseaux aquatiques	
Chasse et piégeage d'animaux	
- Chasse au canard	- Chasse à l'outarde ou à l'oie blanche

Catégorie d'usages ou site	
Hotspot de biodiversité	
- <i>Marécage inondé</i>	
Pêche récréative	
- <i>Cueillette récréative de myes</i>	- <i>Pêche récréative à la plie</i>
- <i>Pêche récréative (indéterminé)</i>	
Activités reliées à la plage	
- <i>Châteaux de sable, détente</i>	
Secteur coquillier	
Site archéologique	
- <i>Pointe à Bouleau</i>	
Sportive	
- <i>Motoneige</i>	- <i>Véhicule tout-terrain</i>
- <i>Marche</i>	- <i>Golf</i>
- <i>Patin</i>	- <i>Luge</i>
- <i>Baignade</i>	
Zone de conservation	
- <i>Aire de concentration d'oiseaux aquatiques</i>	
Observation de la faune et de la flore	
Pêche récréative	
- <i>Pêche récréative à la morue</i>	
Site à haute valeur socio-culturelle	
- <i>Site de divers rassemblements</i>	
Échouerie de phoques	
Site archéologique en lien avec la plage	
- <i>Poste de Bersimis</i>	
Épave	
Accès à un site	
- <i>Traverse en canot pour la cueillette des petits fruits</i>	
Accès à l'eau	
<u>Usages affectés</u>	
Activités socio-culturelles	
- <i>Festivités innues</i>	
Sportive	
- <i>Baignade</i>	- <i>Véhicule tout-terrain</i>
- <i>Marche</i>	

3.2.3.2 Services écologiques du chenal estuarien

Le chenal estuarien est un écosystème d'une grande importance en termes de services écologiques (tableau 6). Il permet le déplacement de la communauté par le bateau et le canot. À la marée basse, certains traversent à pied aux endroits voulus. Le chenal accueille une aire de concentration d'oiseaux aquatiques, ainsi que la chasse à la sauvagine, la chasse au canard et l'observation d'oiseaux sont les activités pratiquées dans cet écosystème riche en biodiversité. La pêche récréative bien répandue et parfois la pêche de subsistance sont pratiquées en canot ou en bateau à moteur dans l'estuaire. Une partie de cet écosystème est un secteur coquillier où certaines personnes font la cueillette de mollusques. La baignade est également une activité liée au chenal qui semble importante pour la communauté.

Identification de solutions d'adaptation aux aléas côtiers pour augmenter la résilience des communautés des Premières Nations dans un contexte de changements climatiques:

Rapport final 2021

Selon l'étude de Bernatchez, et al (2012), les résidents observent des changements environnementaux dont l'ensablement de l'estuaire de la rivière, la hausse du niveau marin, l'érosion, et les effets négatifs des barrages hydroélectriques. Les usages qui sont alors affectés par ces phénomènes sont la chasse au canard, la pêche, la baignade, la bateau et le canot.

Tableau 6. Services écologiques générés par l'écosystème du chenal estuarien de Pessamit (**Écosystème, état de l'usage, service écologique, usage détaillé**)

Catégorie d'usages ou site	
Chenal estuarien	
<u>Usages actuels</u>	
Accès à un site	
- <i>Traverse à pied à marée basse</i>	
Aire de concentration d'oiseaux aquatiques	
Chasse et piégeage d'animaux	
- <i>Chasse à la sauvagine (indéterminé)</i>	
Mise à l'eau	
Observation de la faune et de la flore	
- <i>Observation d'oiseaux (indéterminé)</i>	
Pêche récréative	
- <i>Pêche récréative (indéterminé)</i>	- <i>Pêche récréative au bar rayé</i>
- <i>Pêche récréative à l'éperlan</i>	- <i>Pêche récréative au saumon</i>
Quai	
Rivière à saumon	
Secteur coquillier	
Sportive	
- <i>Baignade</i>	- <i>Canot</i>
- <i>Bateau</i>	
Zone de conservation	
Aire de concentration d'oiseaux aquatiques	
<u>Usages affectés</u>	
Chasse et piégeage d'animaux	
- <i>Chasse au canard</i>	
Pêche récréative	
- <i>Pêche récréative (indéterminé)</i>	
Sportive	
- <i>Baignade</i>	- <i>Canot</i>
- <i>Bateau</i>	

3.2.3.3 Services écologiques du delta meuble

L'écosystème de delta meuble (à dépôt meuble) principalement sableux est également une aire de concentration d'oiseaux aquatiques et une zone de conservation d'oiseaux aquatiques (tableau 7). Ce delta permet aussi de se rapprocher du chenal estuarien pour finalement traverser la rivière en canot pour la cueillette des petits fruits. La hausse du niveau marin et l'ensablement accentué du chenal qui augmente la superficie du delta affectent les activités comme la chasse au canard et la baignade. Selon les répondants, les utilisateurs doivent s'adapter à ces phénomènes et doivent changer leurs habitudes.

Identification de solutions d'adaptation aux aléas côtiers pour augmenter la résilience des communautés des Premières Nations dans un contexte de changements climatiques:

Rapport final 2021

Tableau 7. Services écologiques générés par l'écosystème du delta meuble de Pessamit (**Écosystème**, état de l'usage, service écologique, usage détaillé)

Catégorie d'usages ou site
Delta meuble
<u>Usages actuels</u>
Aire de concentration d'oiseaux aquatiques
Zone de conservation
- <i>Aire de concentration d'oiseaux aquatiques</i>
<u>Usages affectés</u>
Chasse et piégeage d'animaux
- <i>Chasse au canard</i>
Sportive
- <i>Baignade</i>

3.2.3.4 Services écologiques des zones infralittorales meubles

Puisque l'écosystème d'infralittoral meuble, tout comme l'écosystème marin au-delà des 500 m étudiés, est une aire de concentration d'oiseaux aquatiques, il permet aux usagers de pratiquer la chasse à l'outarde ou à l'oie blanche (tableau 8). La pêche récréative à la morue est également une activité pratiquée dans cet écosystème. Ces activités de chasse se font principalement par bateau. Selon quelques membres de la communauté, la chasse au canard serait une activité affectée par les barrages hydroélectriques qui provoqueraient l'ensablement d'une partie de l'infralittoral.

Tableau 8. Services écologiques générés par l'écosystème de l'infralittoral meuble de Pessamit (**Écosystème**, état de l'usage, service écologique, usage détaillé)

Catégorie d'usages ou site
Infralittoral meuble
<u>Usages actuels</u>
Chasse et piégeage d'animaux
- <i>Chasse à l'outarde ou à l'oie blanche</i>
Pêche récréative
- <i>Pêche récréative à la morue</i>
Sportive
- <i>Bateau</i>
Aire de concentration d'oiseaux aquatiques
Zone de conservation
- <i>Aire de concentration d'oiseaux aquatiques</i>
<u>Usages affectés</u>
Chasse et piégeage d'animaux
- <i>Chasse au canard</i>
Écosystème marin au-delà des 500 m étudiés
<u>Usages actuels</u>
Aire de concentration d'oiseaux aquatiques
Zone de conservation

Identification de solutions d'adaptation aux aléas côtiers pour augmenter la résilience des communautés des Premières Nations dans un contexte de changements climatiques:

Rapport final 2021

3.2.3.5 Services écologiques des marais maritimes et les slikkes

Les marais maritimes sont connus pour être des écosystèmes très riches en biodiversité (tableau 9). La slikke est une aire de concentration d'oiseaux aquatiques et a été un site de restauration pour la plantation de zostère marine. Elle semble être affectée par des changements environnementaux ou anthropiques non spécifiés par les résidents. Les marais maritimes offrent la possibilité de pratiquer la chasse à l'outarde ou l'oie blanche, l'observation d'oiseaux et la marche. À Pessamit, le marais situé devant la communauté offre une aire de jeu de ballon et la pratique de patin l'hiver. Le marais héberge aussi un site patrimonial et archéologique reconnu. Déposée sur le schorre inférieur à scirpes situé devant les bâtiments de la Société de restauration du saumon de la rivière Betsiamites, la mise à l'eau permet de profiter du chenal estuarien en y offrant l'accès par des eaux saumâtres peu profondes de ces milieux intertidaux qui subissent le battement des marées.

Tableau 9. Services écologiques générés par l'écosystème de marais maritime et de la slikke de Pessamit (Écosystème, état de l'usage, service écologique, usage détaillé)

Catégorie d'usages ou site
1. Marais maritime
<u>Usages actuels</u>
Chasse et piégeage d'animaux
- <i>Chasse à l'outarde ou à l'oie blanche</i>
Observation de la faune et de la flore
- <i>Observation d'oiseaux (indéterminé)</i>
Mise à l'eau
Sportive
- <i>Jeu de ballon</i> - <i>Patin</i>
- <i>Marche</i>
Hotspot de biodiversité
- <i>Herbaçaie</i>
Site archéologique
<u>Usages affectés</u>
Observation de la faune et de la flore
- <i>Observation des outardes ou des oies blanches</i>
2. Slikke
<u>Usages actuels</u>
Aire de concentration d'oiseaux aquatiques
Secteur coquillier
<u>Usages affectés</u>
Site en restauration
- <i>Plantation de zostère marine</i>
Sportive
- <i>Véhicule tout-terrain</i>

3.2.3.6 Services écologiques de la plage

La plage offre plusieurs options d'activités et des sites importants pour la communauté (tableau 10). Ce sont principalement des usages de loisirs, mais cet écosystème sert également d'accès à des sites d'approvisionnement de subsistance entre autres pour la cueillette de mollusques qui se fait sur la batture ou encore dans la zone infralittorale. Aussi, la plage sert d'endroit de mise à l'eau pour la pêche et la chasse

Identification de solutions d'adaptation aux aléas côtiers pour augmenter la résilience des communautés des Premières Nations dans un contexte de changements climatiques:

Rapport final 2021

aux oiseaux migrateurs. Les usages à des fins de loisir qui sont pratiqués sur la plage sont le campement, le VTT, les jeux dans le sable et la détente, les festivités comme les Pow-wows et pour d'autres types de rassemblements de la communauté. Le site archéologique reconnu du poste de Bersimis englobe tout le secteur de la plage puisque les échanges et trocs s'y réalisaient. En hiver, la motoneige se fraie un chemin sur la plage enneigée et glacée par endroit. Les usages qui semblent être affectés par des phénomènes sont la marche, le campement, les pique-niques et les festivités. Selon les résidents, ces activités sont affectées par l'érosion, la hausse du niveau marin et l'enrochement. En ce qui concerne les changements environnementaux affectant les activités hivernales, la diminution de la glace en est un, assurément.

Tableau 10. Services écologiques générés par l'écosystème de la plage de Pessamit (**Écosystème**, état de l'usage, service écologique, *usage détaillé*)

Catégorie d'usages ou site
Plage
<u>Usages actuels</u>
Sportive
- <i>Motoneige</i> - <i>Véhicule tout-terrain</i>
Mise à l'eau
Rassemblement
- <i>Festivités-Pow-wow</i>
Campement
Site à haute valeur socio-culturelle
- <i>Site de divers rassemblements</i>
Site archéologique
- <i>Poste de Bersimis</i>
Activités reliées à la plage
- <i>Châteaux de sable, détente</i>
<u>Usages affectés</u>
Loisirs
- <i>Pique-nique</i>
Sportive
- <i>Marche</i>
Campement
Rassemblement
- <i>Festivités innues</i>

3.2.3.7 Services écologiques des écosystèmes terrestres côtiers

Les écosystèmes terrestres côtiers comme les flèches littorales, les terrasses de plage et les tourbières côtières offrent la cueillette de petits fruits et de plantes médicinales. Aussi, la flèche littorale devant la communauté est un endroit où la promenade à pied et en VTT est bien répandue. Dans un autre ordre d'idées, l'utilisation du VTT dans cet environnement contribue à augmenter la fragilité du milieu et l'érosion côtière. Pour continuer sur les services écologiques, cet environnement sableux est propice pour les activités de plage comme la fabrication de châteaux de sable et la détente sur la plage. Près de l'atelier, les gens jouent parfois au base-ball. Aussi, le site patrimonial et archéologique du poste de Bersimis se retrouve sur la flèche littorale. Le côté intérieur de la flèche littorale est un hotspot de biodiversité vu la proximité du marais maritime (tableau 11).

Identification de solutions d'adaptation aux aléas côtiers pour augmenter la résilience des communautés des Premières Nations dans un contexte de changements climatiques:

Rapport final 2021

Ensuite, l'écosystème d'anciennes terrasses marines et de tourbières en bordure des falaises meubles offre plusieurs possibilités d'usages. Dans ces milieux, la chasse et le piégeage font partie des bénéfices que fournissent ces terrasses marines et leurs forêts ou les tourbières. À Pessamit, le piégeage du castor demeure dans leurs habitudes de chasse. Aussi, la cueillette de la chicoutai ou d'airelles a lieu dans ces environnements de tourbière ou d'herbaciaie terrestre. Ces herbaciaies sont également des hotspots de biodiversité. Comme la hauteur de certaines falaises meubles le permet, la communauté a construit un belvédère avec une vue magnifique surplombant l'estuaire de la rivière Betsiamites. Un site archéologique est également un des services écologiques qui a été découvert sur une basse falaise meuble (rue Pisto qui longe le marais maritime) et offre un potentiel d'accès au patrimoine de la culture innue. Ce site fait encore partie des études archéologiques et se retrouvera comme un site officiel d'archéologie projeté dans l'avenir. Le pont de la rivière Betsiamites installé sur les rives caractérisées par des falaises meubles fait partie des monuments patrimoniaux du territoire. Puisque les falaises meubles principalement composées de sable et de silt-sableux permettent un drainage facile. C'est pourquoi l'ouvrage de surverse canalisé fait partie de la liste des infrastructures et usages en lien avec le type de côte et le type d'écosystème qui ont de l'importance pour la communauté. Par contre, ce genre d'ouvrage peut avoir des conséquences néfastes sur l'érosion de la falaise s'il n'est pas surveillé et entretenu régulièrement. Les chemins de VTT sur le dessus des falaises meubles sont affectés par les phénomènes d'érosion et les processus de glissements de terrain.

Les côtes rocheuses sans falaise sont présentes dans la partie nord du territoire de Pessamit. L'étendue du site d'étude nous transporte vers le site de villégiature Papinachois et aussi le site archéologique de la rivière du même nom. Un autre site archéologique repose aussi sur une côte rocheuse et se situe sur la pointe de l'anse des Aulnes.

Identification de solutions d'adaptation aux aléas côtiers pour augmenter la résilience des communautés des Premières Nations dans un contexte de changements climatiques:

Rapport final 2021

Tableau 11. Services écologiques générés par les écosystèmes terrestre relié au type de côte de Pessamit (Écosystème, état de l'usage, service écologique, usage détaillé)

Catégorie d'usages ou site
1. Flèche littorale côté intérieur/MM
Flèche littorale
<u>Usages actuels</u>
Hotspot de biodiversité
Herbaciaie
Sportive
- <i>Marche</i>
- <i>Véhicule tout-terrain</i> - <i>Base-ball</i>
Cueillette récréative de ressources végétale
- <i>Cueillette récréative de petits fruits</i>
Cueillette récréative de plantes médicinales
Activités reliées à la plage
- <i>Châteaux de sable, détente</i>
Site archéologique
- <i>Poste de Bersimis</i>
2. Terrasse de plage sur la Pointe-à-Michel
<u>Usages actuels</u>
Cueillette récréative de ressources végétale
- <i>Cueillette récréative de petits fruits</i>
3. Terrasses marines en bordure de falaise meuble
<u>Usages actuels</u>
Chasse et piégeage d'animaux
- <i>Piégeage récréatif du castor</i>
Cueillette récréative de ressources végétale
- <i>Cueillette récréative de chicoutai</i>
Ouvrage de surverse - Point de rejet
- <i>Canal</i>
4. Falaise meuble
<u>Usages actuels</u>
Belvédère
Site récréatif
- <i>Terrain de balle</i>
Patrimoniale
- <i>Pont de la rivière Betsiamites</i>
Site archéologique projeté
- <i>Rue Pisto</i>
Hotspot de biodiversité
- <i>Herbaciaie Canards illimité</i>
5. Tourbière
<u>Usages actuels</u>
Cueillette récréative de ressources végétale
- <i>Cueillette récréative d'airelles et chicoutai</i>
Dépôt à neige
6. Falaise meuble à marais maritime
<u>Usages affectés</u>
Sportive
- <i>Véhicule tout-terrain</i>
7. Côte rocheuse sans falaise

Identification de solutions d'adaptation aux aléas côtiers pour augmenter la résilience des communautés des Premières Nations dans un contexte de changements climatiques:

Rapport final 2021

Catégorie d'usages ou site

Usages actuels

Villégiature

Site archéologique

- *Pointe de l'anse des Aulnes*
 - *Rivière Papinachois*
-

Identification de solutions d'adaptation aux aléas côtiers pour augmenter la résilience des communautés des Premières Nations dans un contexte de changements climatiques:

Rapport final 2021

3.2.3.8 Usages cessés et sites abandonnés

L'inventaire des usages cessés et des sites abandonnés est personnalisé aux répondants. Ce qui veut dire qu'il peut y avoir une activité qui se poursuit encore aujourd'hui par une personne alors qu'une autre ne la pratique plus. Nous présentons ici, que les activités complètement cessées selon les répondants.

Dans l'écosystème de batture meuble, le transport de bois de chauffage par chevaux et une infrastructure maritime sont des éléments qui avaient lieu avant, mais qui aujourd'hui ne se font plus ou sont absents en raison du mode de vie changeant et du changement dans le secteur de l'industrie des ressources maritimes.

La traverse en hiver du chenal estuarien en voiture ou à pied ne peut plus se faire en raison de la diminution de la glace et des barrages hydroélectriques qui régularisent à l'année le débit de la rivière.

Dans l'écosystème de batture meuble; la pêche commerciale de mollusques est interdite selon les réglementations du MPO dans la zone de Pessamit puisque la ressource serait trop polluée. Cependant, pour consommation individuelle, cette pêche est permise. C'est un sujet controversé entre le ministère et la communauté. La chasse à la bécasse d'Amérique ne se fait plus de même que la chasse aux phoques. Les raisons de cet arrêt sont principalement un changement de mode de vie et l'intérêt pour d'autres chasses plus avantageuses et faciles. La pêche à la plie, à la sole et à l'esturgeon n'est plus pratiquée selon les répondants en raison de la diminution de ces espèces et le changement d'aire de répartition de celles-ci. Par exemple, on retrouve l'esturgeon sur la rive sud du fleuve Saint-Laurent et rarement sur la rive nord. Historiquement, le sable sur le delta pouvait être excavé à des fins d'utilisation pour la communauté, mais cette pratique est interdite dorénavant.

Dans le marais maritime, la communauté préparait un anneau de glace pour le patinage. Maintenant, ils ont abandonné cette activité. Les raisons n'ont malheureusement pas pu être déterminées. Également, la pêche à la sole dans la slikke n'est plus pratiquée. La raison est inconnue.

Sur la flèche littorale et les terrasses de plage, certaines personnes y cueillaient des fraises sauvages, mais ne le font plus en raison de l'érosion, des changements climatiques et des VTT. La ressource a également diminué fortement.

Dans la communauté, certains cultivaient des pommes de terre, mais ne le font plus de nos jours. Les raisons n'ont pu être identifiées.

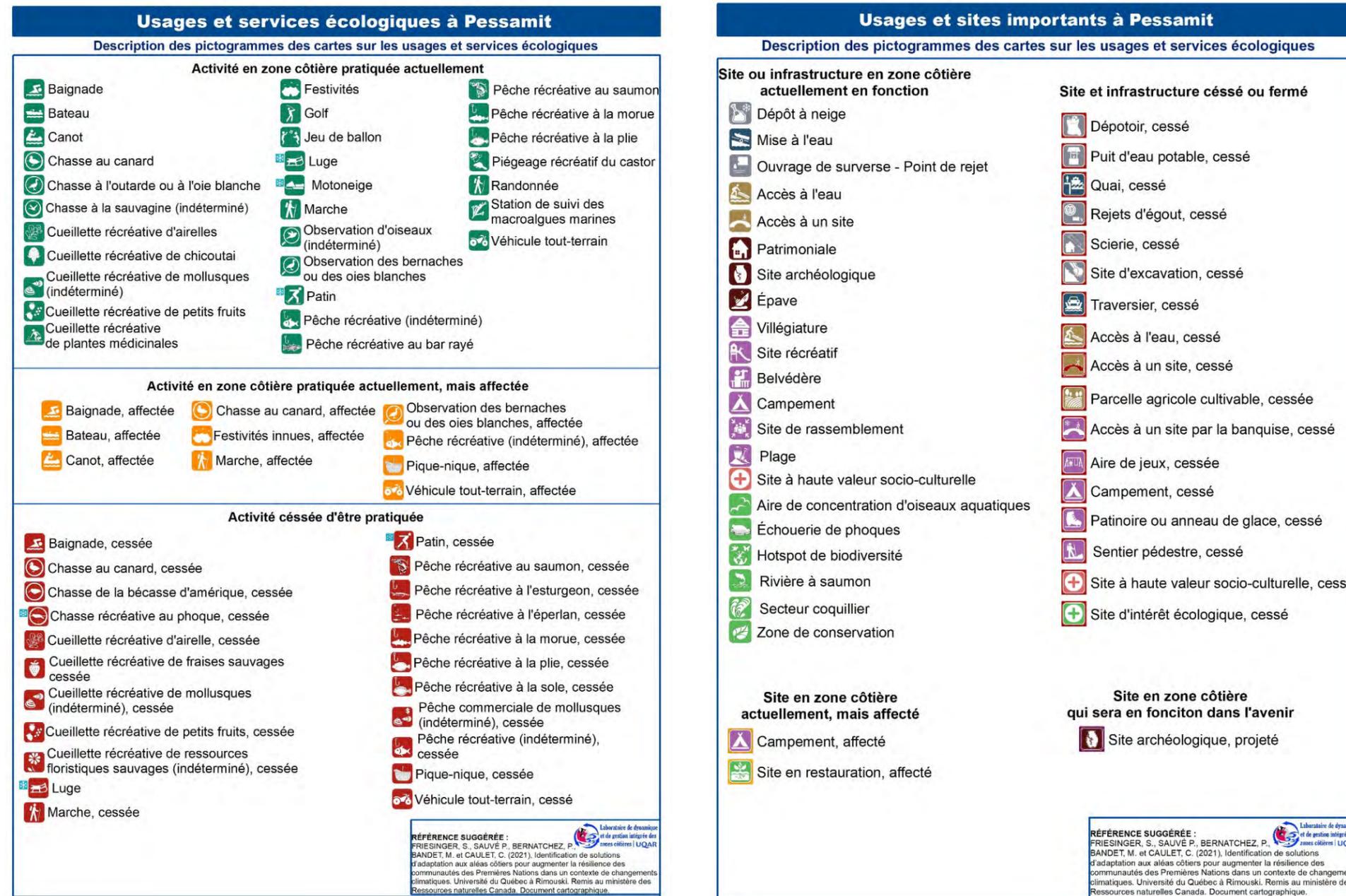


Figure 18. Légende des usages et sites importants à Pessamit

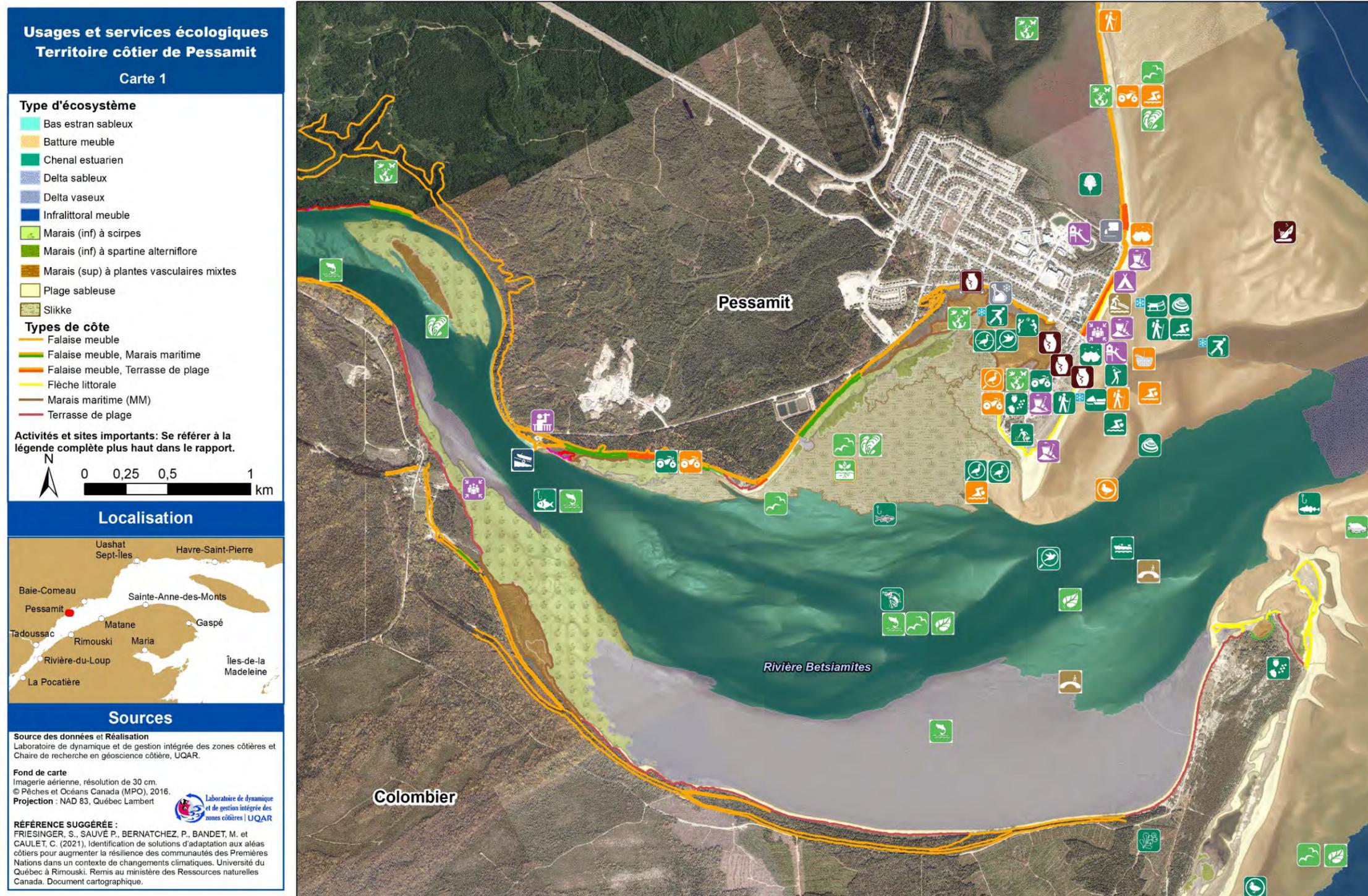


Figure 19. Usages et services écologiques actuels et affectés sur le territoire de Pessamit.

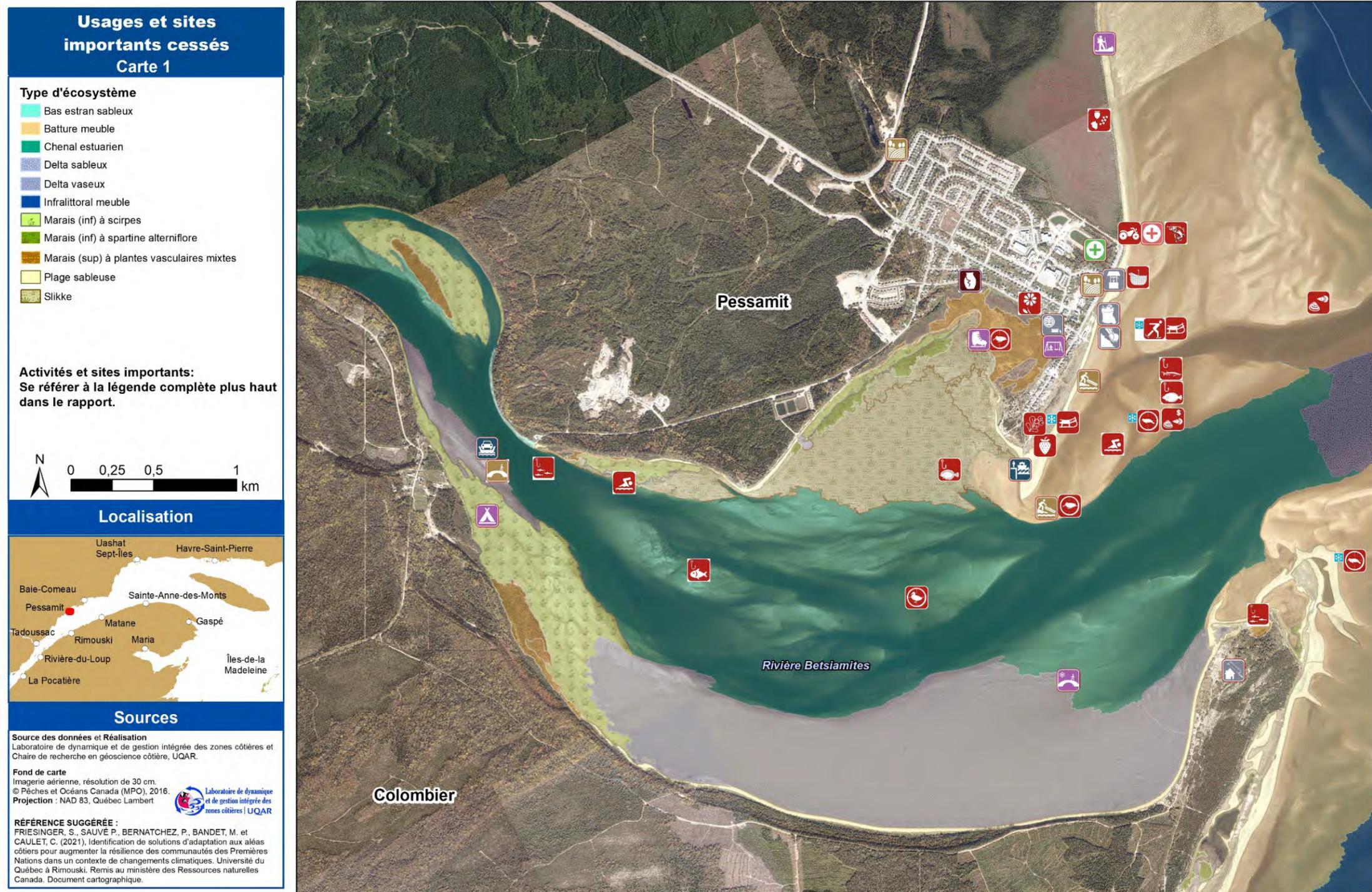


Figure 20. Usages et sites importants cessés sur le territoire de Pessamit.



Figure 21. Usages et services écologiques actuels et affectés près de Pessamit (secteur urbanisé).

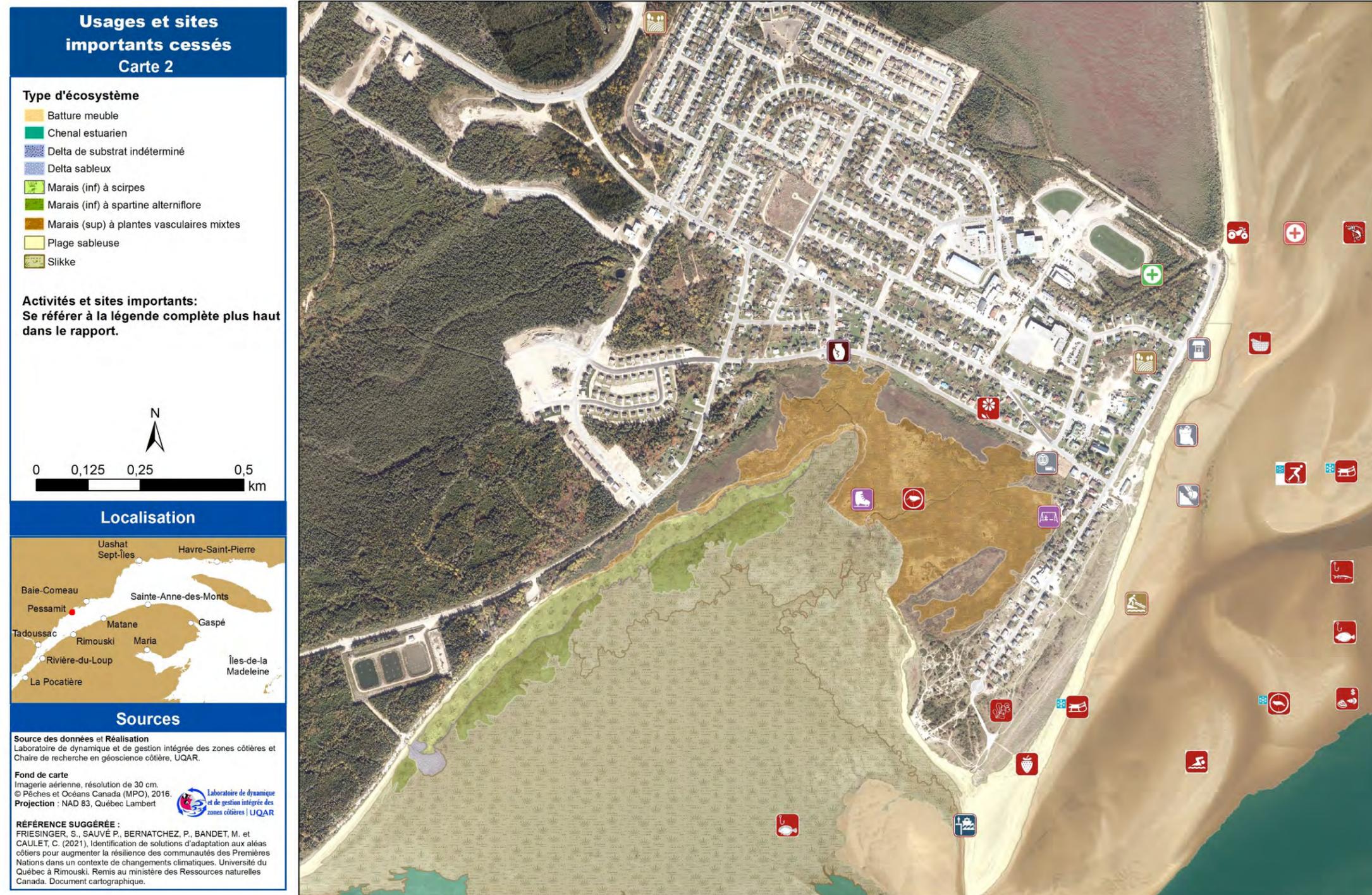


Figure 22. Usages et sites importants cessés près de Pessamit (secteur urbanisé).

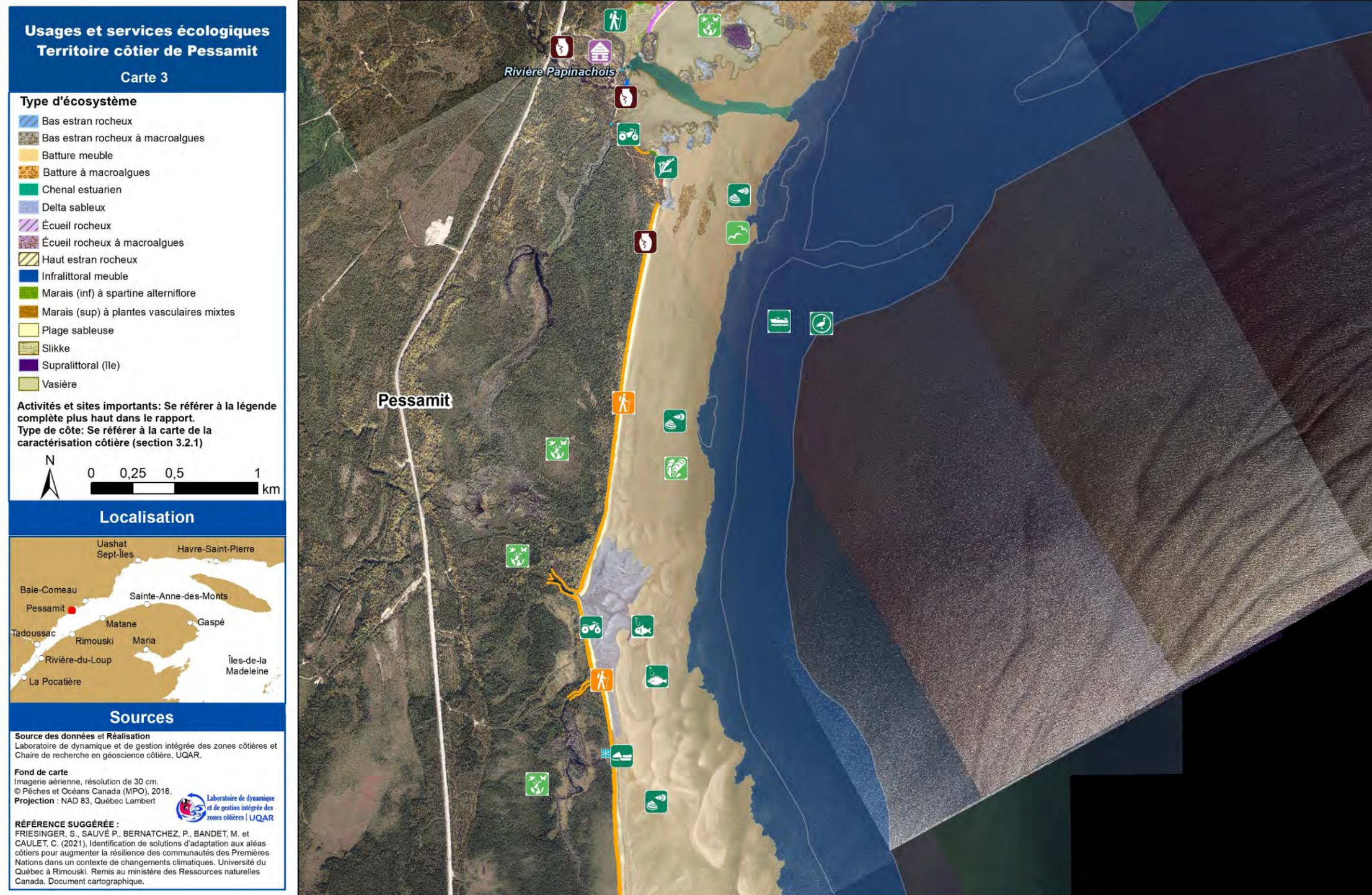


Figure 23. Usages et services écologiques actuels et affectés sur le territoire de Pessamit (secteur Papinachoïse).

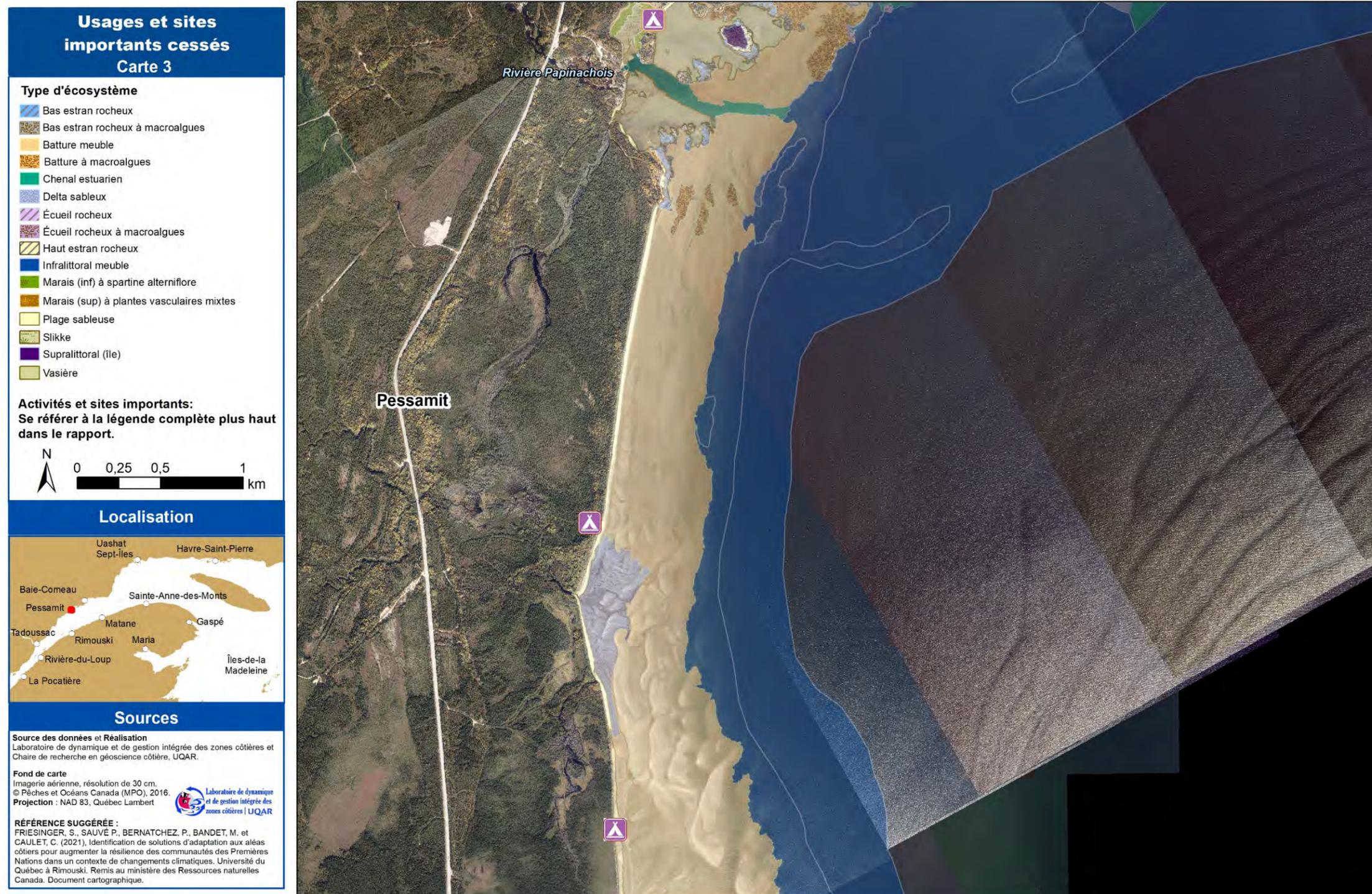


Figure 24. Usages et sites importants cessés sur le territoire de Pessamit (secteur Papinachois)

3.2.4 Climat des vagues au large

Les caractéristiques de vagues ont été générées par le modèle WaveWatch III (WW3) (Tolman et al, 2014) au sein du LDGIZC dans le cadre du projet MoDESCo (Bernatchez et al, 2017; Bandet et al, 2020) pour l'ensemble de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent sur une grille à 1 km de résolution. Pour décrire le régime moyen des vagues au large de la communauté de Pessamit, un point de la grille a été sélectionné en eau profonde pour représenter le climat des vagues pour la période 1980-2015.

Les sorties du modèle de vagues WW3 fournissent les caractéristiques des vagues : la hauteur significative de vagues H_s , la période moyenne des vagues T_m , et la direction de provenance θ par rapport au nord géographique. WW3 fournit également les séries temporelles des niveaux d'eau, cependant ces derniers ne prennent pas en compte l'effet des variations de la pression atmosphérique sur les niveaux d'eau. Ces variations peuvent engendrer des surcotes ou des décotes barométriques qui peuvent modifier de manière conséquente les niveaux d'eau et ainsi causer des dommages à la côte lors de tempêtes. Pour ce secteur, malheureusement, il n'existe pas de station marégraphique du Service hydrographique du Canada active pour avoir les niveaux d'eau réels, et nous n'avons pas d'instruments hydrodynamiques capables de fournir des mesures *in situ* des niveaux d'eau dans les environs de la communauté de Pessamit. Seuls les niveaux d'eau prédits sont disponibles. Quelques instruments du LDGIZC sont implantés dans le secteur de la péninsule de Manicouagan mais ceux-ci sont trop éloignés de la communauté de Pessamit pour être exploités dans ce contexte.

La figure 25 présente la localisation du point de grille sélectionné pour présenter la climatologie des vagues au large de Pessamit. Ce point de grille a pour coordonnées : latitude = 48,96N, longitude = 68,51O et profondeur = 132 m.

Sur la figure 27, la climatologie des vagues – effectuée sur 36 ans de simulations - est représentée sur un graphique similaire à une rose des vents. Le format circulaire de la rose montre la direction d'où arrivent les vagues et la longueur de chaque « rayon » ou secteur autour du cercle montre à quelle fréquence les vagues ont été observées arrivant de cette direction. L'ensemble des directions moyennes des vagues ont été regroupées en secteurs de 11,25 degrés pour faciliter la lecture et l'interprétation. Ensuite, par direction (le long d'un rayon ou pour un secteur donné), on peut voir quelles hauteurs (ou périodes) ont été observées et à quelle fréquence (en pourcentage).

La rose des vagues ci-dessous montre que les vagues arrivent de façon prédominante du est-nord-est (ENE) et en proportion moindre du sud-sud-ouest (SSO). De la direction ENE, environ 18 % des vagues ont une hauteur significative inférieure à 1 m (bleu foncé). Du secteur adjacent (est-quart-nord-est E¼NE), environ 23 % des vagues ont une hauteur significative inférieure à 1 m (bleu foncé) et un peu moins de 2 % ont une hauteur significative entre 1 et 2 m (bleu clair). En ce qui concerne la période (panel b), de la direction ENE, 12 % des vagues ont une période moyenne

Identification de solutions d'adaptation aux aléas côtiers pour augmenter la résilience des communautés des Premières Nations dans un contexte de changements climatiques:

Rapport final 2021

entre 2 et 4 secondes, 4 % ont une période moyenne entre 4 et 6 secondes, moins de 2 % ont une période moyenne entre 6 et 8 secondes, et moins de 1 % ont une période moyenne supérieure à 10 secondes.



Figure 25: localisation du point de grille WW3 (132 m de profondeur) utilisé pour caractériser le régime de vagues au large de Pessamit.

Si on élargit cette interprétation au secteur adjacent (ENE et E¼NE), on peut estimer que du secteur ENE, un total de 36% des vagues (en cumulatif) ont une hauteur de moins de 1m et 28% une période moyenne entre 2 et 4 secondes, et 2% des vagues de ce secteur ont une hauteur significative supérieure à 1 m, 10% ont une période moyenne entre 4 et 6 secondes et 2% une période moyenne entre 6 et 8 secondes. Ces vagues proviennent de l'estuaire maritime et du golfe du Saint-Laurent.

Des vagues proviennent également, même si en proportion un peu moindre, du secteur SSO. Environ 22% des vagues proviennent de cette direction avec des hauteurs significatives inférieures à 1m et une période moyenne entre 2 et 4 secondes.

Ces hauteurs significatives de vagues et périodes moyennes sont corroborées sur la figure 26. Les 95^{ième}, 98^{ième} et 99^{ième} percentiles ont été calculés pour l'ensemble des hauteurs significatives de vagues entre 1980 et 2015. La valeur du 50^e percentile, correspondant à la moyenne de Hs, est de 0,15 m. 5% des vagues ont une hauteur significative supérieure à 0,86 m (valeur du 95^e percentile),

Identification de solutions d'adaptation aux aléas côtiers pour augmenter la résilience des communautés des Premières Nations dans un contexte de changements climatiques:

Rapport final 2021

2% des vagues ont une Hs supérieure à 1,12 m et 1% ont une Hs supérieure à 1,38 m. 5% des vagues ont une période moyenne de 6,29 secondes et seules 1% des vagues ont une période moyenne supérieure à 8,72 secondes.

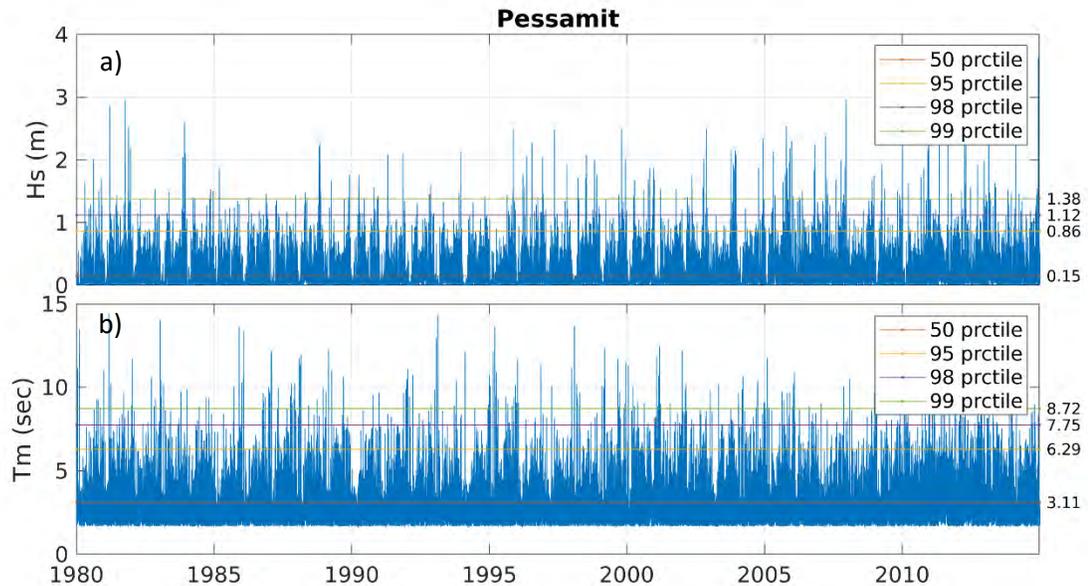


Figure 26: séries temporelles des a) hauteurs significatives de vagues Hs et b) périodes moyennes Tm issues du modèle de vagues WW3 pour la période 1980-2015 au large de la communauté de Pessamit.

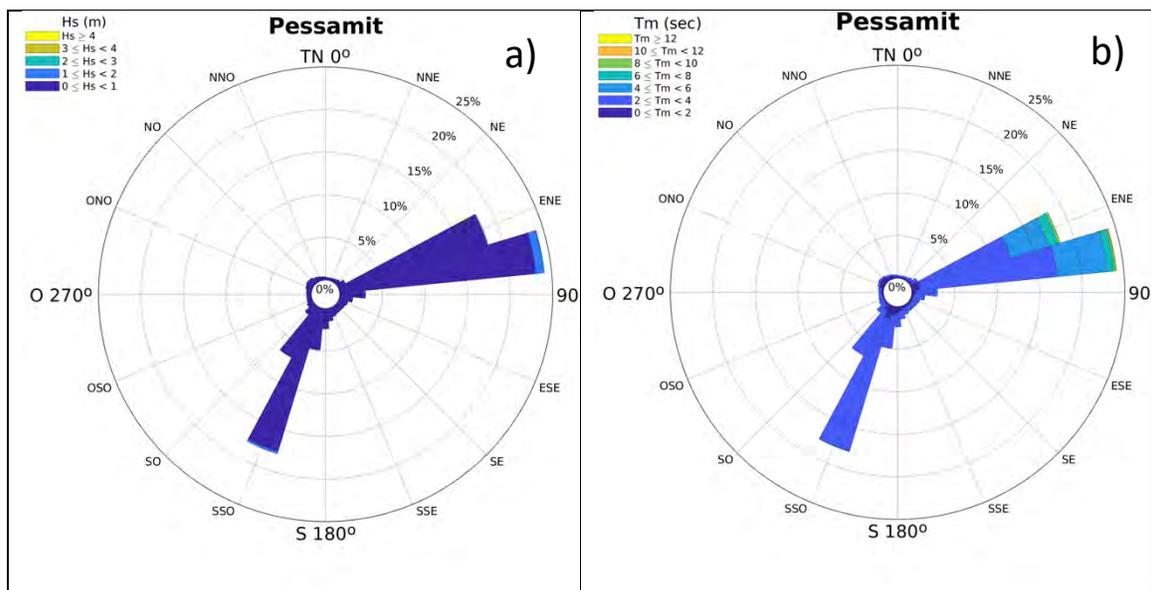


Figure 27 : Caractéristiques des vagues au large de Pessamit : a) Hs (hauteur significative) en fonction de la direction moyenne d'arrivée des vagues incidentes; et b) Tm (période moyenne) en fonction de la direction moyenne d'arrivée des vagues incidentes (réf. nord géographique).

4 Communauté de Uashat

Dans un premier temps, la prochaine section décrit les besoins exprimés par les membres de la communauté de Uashat lors de deux ateliers concernant les solutions d'adaptation. Dans un deuxième temps, le contexte environnemental côtier à Uashat est détaillé.

4.1 Ateliers et solutions d'adaptation identifiées

Lors du premier atelier dans le cadre du projet *Résilience côtière (RC)* qui a eu lieu à l'hiver 2017 (indiqué par un diminutif dans les paragraphes suivants, soit « atelier 1 du projet RC »), 7 personnes représentant des institutions innues y ont participé et 6 d'entre eux ont voté pour émettre leurs opinions sur les idées ressorties aux différentes tables de discussion. Les organismes représentés dans le vote étaient : Innu Takuaikan Uashat mak Mani-Utenam - ITUM¹ (2 personnes), l'AMIK² (1 personne), le conseil tribal Mamuitun (2 personnes) et le conseil tribal Mamit-Innuat (1 personne).

Lors du deuxième atelier, qu'on nommera dans les paragraphes suivants l'« atelier d'échanges » à Uashat, qui s'est déroulé le 18 février 2020, trois membres de la communauté sont venus participés et discutés avec l'équipe de l'UQAR. D'autres personnes y participaient également comme l'ingénieure et le conseiller en environnement du Conseil tribal Mamuitun ainsi que le conseiller en environnement du ministère des Services aux Autochtones Canada. Deux membres de l'équipe de l'UQAR étaient présents à titre d'animateur.

La prochaine section du document rapporte les idées retenues lors de ces ateliers en termes de solutions d'adaptation pour la communauté de Uashat.

4.1.1 Besoins exprimés en termes de solutions d'adaptation

Dans un premier temps, l'atelier 1 du projet RC s'est déroulé de la même manière qu'à Pessamit, c'est-à-dire que les participants de la MRC de Sept-Rivières incluant Uashat ont dû donner leurs opinions sur les besoins et outils en termes de solutions d'adaptation. Des tables de discussion ont eu lieu pour faire ressortir des idées et ensuite, chaque participant devait voter avec des jetons pour identifier les meilleures idées retenues (Marie, et al, 2017). Les résultats qui concernent seulement les participants innus sont représentés dans la figure 28 et figure 29.

Sur la figure 28, on remarque que trois besoins principaux ressortent, soit l'accompagnement des communautés dans la mise en place de mesures d'adaptation (besoin prioritaire à 14,2 %), la mise à jour des données d'érosion et de submersion (besoin prioritaire à 13,3 %) ainsi que l'accès à des spécialistes lorsque les citoyens ont des questions (besoin prioritaire à 12,5 %). L'accès aux études et aux données semble également important pour les participants (besoin prioritaire à 10 %). Du côté des outils d'aide à la décision, ce sont d'abord des outils de vulgarisation des enjeux liés aux aléas côtiers qu'ils estiment nécessaires (outil prioritaire à 16,7 %) (figure 29). Ensuite, un recueil des types de solutions avec leurs avantages et inconvénients est ressorti comme outil à prioriser

¹ Conseil de bande de Uashat mak Mani-Utenam

² Agence Mamu Innu Kaikusseht

Identification de solutions d'adaptation aux aléas côtiers pour augmenter la résilience des communautés des Premières Nations dans un contexte de changements climatiques:
Rapport final 2021

(12,5 %). Le prochain outil qui a été priorisé à 11,7 % est une plateforme WEB pour centraliser les informations sur les risques côtiers. Aussi, une cartographie des zones prioritaires à intervenir fut pondérée à 10 % par les participants (figure 29).

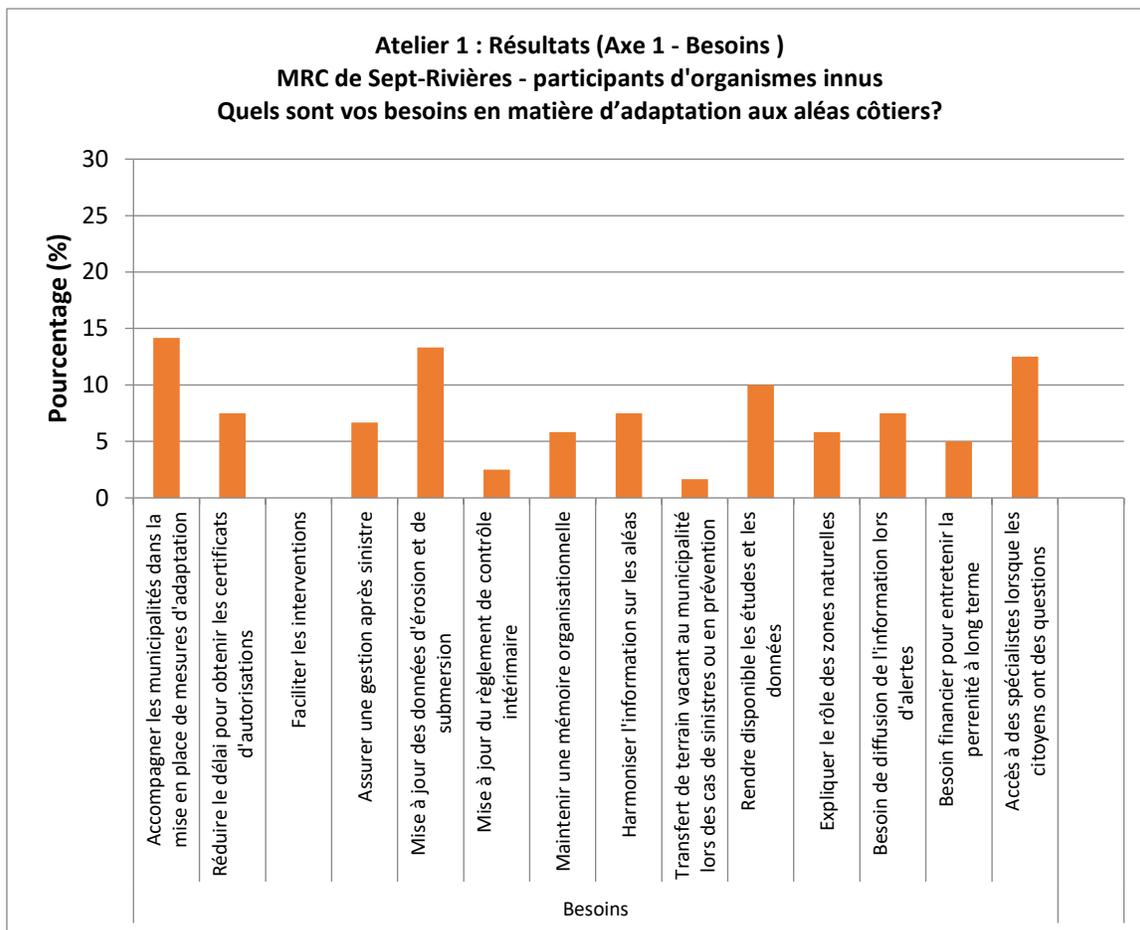


Figure 28. Pondération des idées ressorties lors de l'atelier 1 (projet Résilience côtière) concernant les besoins en termes de solutions d'adaptation.

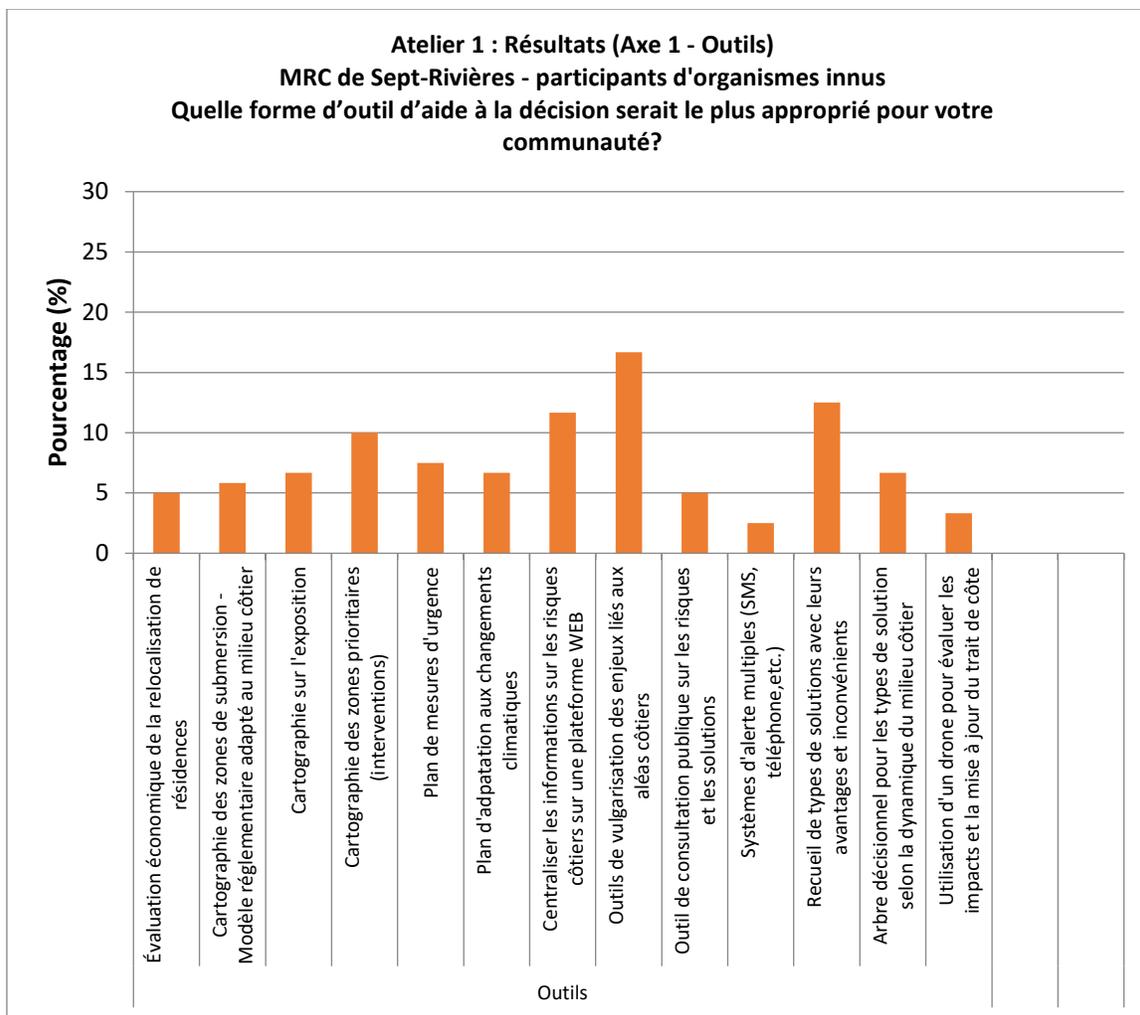


Figure 29. Pondération des idées ressorties lors de l'atelier 1 (projet Résilience côtière) concernant les outils d'aide à la décision en termes de solutions d'adaptation.

Dans un deuxième temps, l'atelier d'échanges à Uashat s'est déroulé d'une manière informelle puisque le groupe était formé que de six participants externes à l'équipe de l'UQAR (2 membres). La discussion était dirigée vers des questions à savoir quels besoins avaient la communauté en termes de solutions d'adaptation et quels critères de sélection d'un ouvrage de protection étaient importants à tenir en compte. Les deux parties de la discussion ne furent pas intégrées dans un système de votes puisqu'ils étaient peu nombreux à voter et à représenter la communauté (3). Les éléments ressortis étaient fort intéressants. Les personnes qui ont assisté à l'atelier avaient des opinions et des visions concernant des besoins et des pistes de solutions d'adaptation aux aléas côtiers. D'abord, il est important de mentionner que la préoccupation liée aux aléas côtiers en est une majeure pour le secteur de la sécurité civile de la communauté.

Comme il a été mentionné au cours de l'atelier 1 dans le cadre du projet RC, les participants remarquent qu'il y a un besoin important de sensibilisation de la communauté de Uashat et des élus à la problématique des risques côtiers. Une participante suggère de tenir un atelier public

pour l'ensemble de la population et d'envoyer des invitations aux aînés ou à d'autres personnes ciblées, considérées importantes aux yeux de la communauté. Les participants mentionnent aussi un besoin de connaissances sur les effets des ouvrages de protection. Selon eux, la communauté devrait entamer une réflexion sur les solutions d'adaptation alternatives à l'enrochement. Ils voient également un besoin énorme concernant l'expertise pour la mise en place de solutions et d'ouvrages de protection alternatifs comme le génie végétal. Comme il avait été mentionné à l'atelier 1 dans le cadre du projet RC, un besoin d'accompagnement a été identifié pour la mise en œuvre de solutions d'adaptation (Marie, et al., 2017). Des ressources professionnelles à même la communauté sont aussi une nécessité à Uashat. Une cartographie des zones à risque d'érosion et de submersion a été demandée de la part d'un des participants. Cette cartographie pourra aider à instaurer une gestion du territoire adaptée aux risques côtiers.

De plus, au niveau de la qualité de l'eau en face de la communauté, les participants souhaiteraient une vérification de la qualité de l'eau et des sédiments près de l'émissaire des eaux sanitaires situé en amont de la dérive littorale.

Dans la deuxième partie de l'atelier, les critères de sélection d'un ouvrage de protection côtière ont été discutés.

Voici les points saillants ressortis lors de la discussion qui portait sur les critères de sélection :

- Les démarches administratives doivent être simplifiées;
- Les démarches doivent être structurées et réglementées;
- L'importance de la perception des gens par rapport à l'ouvrage;
- L'impact de l'ouvrage sur les activités récréatives (par exemple le VTT);
- L'impact de l'ouvrage sur les activités récréotouristiques;
- L'importance de la mise en valeur du milieu d'un point de vue social que peut avoir l'ouvrage;
- Les coûts d'entretien et des études;
- La résistance et robustesse de l'ouvrage;
- La pérennité de l'ouvrage;
- Disponibilité de l'accompagnement pour l'exécution (exemple pour la plantation);
- Les impacts de l'ouvrage sur les sites naturels à hautes valeurs écologiques.

Puisqu'il n'y a pas eu de votes sur les critères de sélection préconisés et que les visions se ressemblaient entre celles énoncées à Pessamit et celles à Uashat, l'analyse de cette étape fut jointe en une seule et est présentée dans la section 6.2.2.

4.2 Contexte environnemental côtier de Uashat

Cette partie contient l'information sur l'environnement côtier de Uashat, comprenant la caractérisation côtière (les types de côte dominants et l'état de la côte), la caractérisation des écosystèmes côtiers de manière surfacique, le climat des vagues ainsi que les services écologiques offerts par les écosystèmes en lien avec les usages, les sites et les activités pratiquées, affectées et cessées.

4.2.1 Caractérisation côtière de la baie de Sept-Îles et de Uashat

4.2.1.1 Côte basse meuble

4.2.1.1.1 Flèche littorale (dynamique) en mouvement et abaissement vertical

La longueur de côte caractérisée comme flèche littorale pour l'ensemble du site d'étude représente 4,3 % sur le total de 52 km de littoral. La seule flèche littorale se situe à Uashat (pointe Naneu) et mesure plus de 2 km de longueur, soit 38 % du littoral de la communauté (figure 38). Ce milieu comme pour celui à Pessamit est en mouvement constant. Cette flèche littorale existe que depuis les années 1950 et elle s'est allongée rapidement vers le nord-ouest par la suite (figure 31). Dans les années 1950, le quai sous sa forme industriel fut construit dans la ville de Sept-Îles. Avec le développement de la municipalité, différentes infrastructures portuaires ont été développées et des ouvrages de protection rigides ont été implantés en bordure de la plage. Ces interventions ont provoqué la réduction de 98 % de la largeur de la plage entre 1965 et 2006 (Bernatchez et Fraser, 2012). Les sédiments se sont alors déplacés dans le sens de la dérive littorale et ont contribué à la formation de la flèche littorale (Bernatchez, et al., 2008). Puisque l'apport sédimentaire a diminué, la flèche littorale est en déficit. En effet, on voit qu'entre 1987 et 2017 sa superficie a diminué de 1,6 acre ou 6 481 m² en 30 ans. Ces résultats montrent qu'il y a eu, en moyenne, une réduction de la superficie de la pointe Naneu de 216 m² par année depuis 1987. Plus de la moitié de la longueur de la flèche montre des signes d'érosion.

La pointe du Poste n'évolue plus beaucoup puisque des blocs déversés empêchent le transit sédimentaire et l'érosion.

Tableau 12. Comparaison de la superficie de la flèche littorale en 1987 et 2017

ANNÉE	SUPERFICIE DE LA FLÈCHE LITTORALE	
	m ²	Acres
1987	48878	12,08
2017	42397	10,48
DÉFICIT ENTRE 1987 ET 2017	6481	1,60



Figure 30. Flèches littorales, marais maritimes et herbier de zostère du territoire de Uashat



Figure 31. Évolution de la flèche littorale Naneu pour les années 1950, 1970, 1987 et 2017.

4.2.1.1.2 Terrasse de plage sablonneuse en déficit

Les terrasses de plage sont présentes à 15,5 % de la pointe Noire jusqu'à la pointe des Basques. Les terrasses de plage compose 22,3 % de la longueur de côte du territoire de Uashat. Selon les images obliques de 2010 et de 2017 (figure 32), la terrasse de plage devant la communauté est en érosion. Un recul variant entre 1,7 et 2,7 m/an est constaté depuis 1987 (figure 31).



Figure 32. Terrasse de plage à Uashat en 2010 et 2017 (photos obliques septembre 2010 et septembre 2017, source : LDGIZC)

4.2.1.2 Côte à falaise meuble

Pour l'ensemble de la côte à l'étude comprise entre la pointe Noire et la pointe des Basques, 6,5 % sont caractérisés de falaises meubles, 0,3 % de falaise meuble à terrasse de plage et 2,5 % de falaises meubles à marais maritime (figure 35, figure 36 et figure 37). Sur la carte 4 montrant seulement le territoire de Uashat, on peut y voir que les falaises meubles sont à près de 26 % présentes (figure 38). De cette longueur, les falaises meubles à marais maritime sont plus

nombreuses. En effet, le littoral vis-à-vis de la rivière du Poste est caractérisé par une falaise meuble généralement stable et ayant à sa base un schorre inférieur étroit et en érosion. Une partie de cette falaise meuble maintenant est munie d'un ouvrage de protection alors qu'en 2010 cet ouvrage de protection n'y était pas.



Figure 33. Falaise meuble située sur le littoral du côté de la rivière du Poste.

4.2.1.3 Côte à marais maritime

La côte à marais maritime ne représente que 8,4 % de la côte qui borde Uashat alors que pour l'ensemble du littoral de la baie de Sept-Îles, les marais maritimes forment 34,2 %. À Uashat, le marais maritime est abrité par la flèche littorale, la pointe du Poste.

Dans la baie de Sept-Îles, les sédiments du fond de la baie sont surtout argileux et silteux (INREST, 2018). Ces sédiments permettent l'implantation de végétaux de marais maritime. Ces marais maritimes sont des écosystèmes très riches en biodiversité.

Identification de solutions d'adaptation aux aléas côtiers pour augmenter la résilience des communautés des Premières Nations dans un contexte de changements climatiques:
Rapport final 2021



Figure 34. Marais maritime situé à l'intérieur de la baie de Sept-Îles

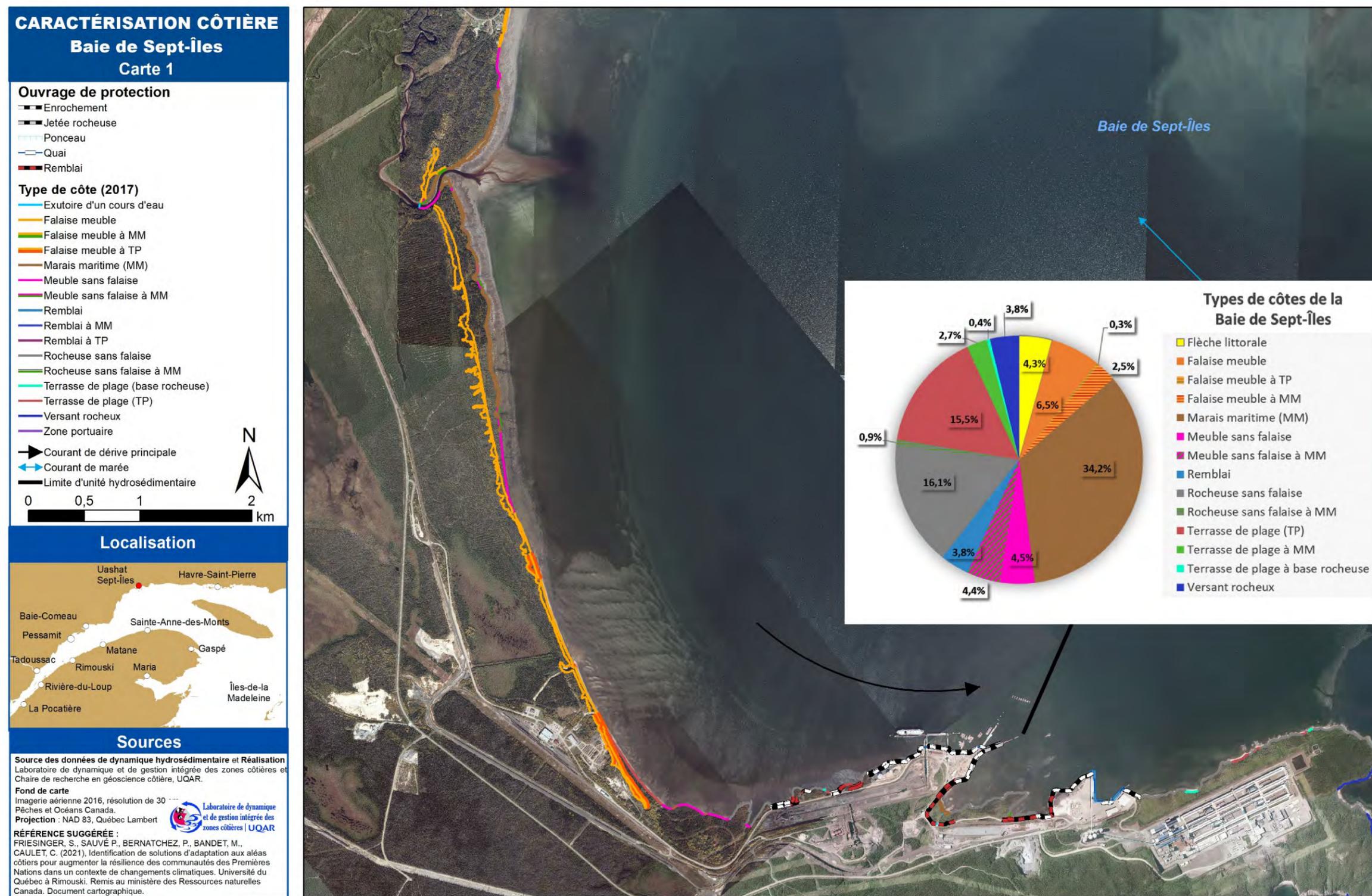


Figure 35. Caractérisation côtière 2017 à l'intérieur de la baie de Sept-Îles (carte 1).

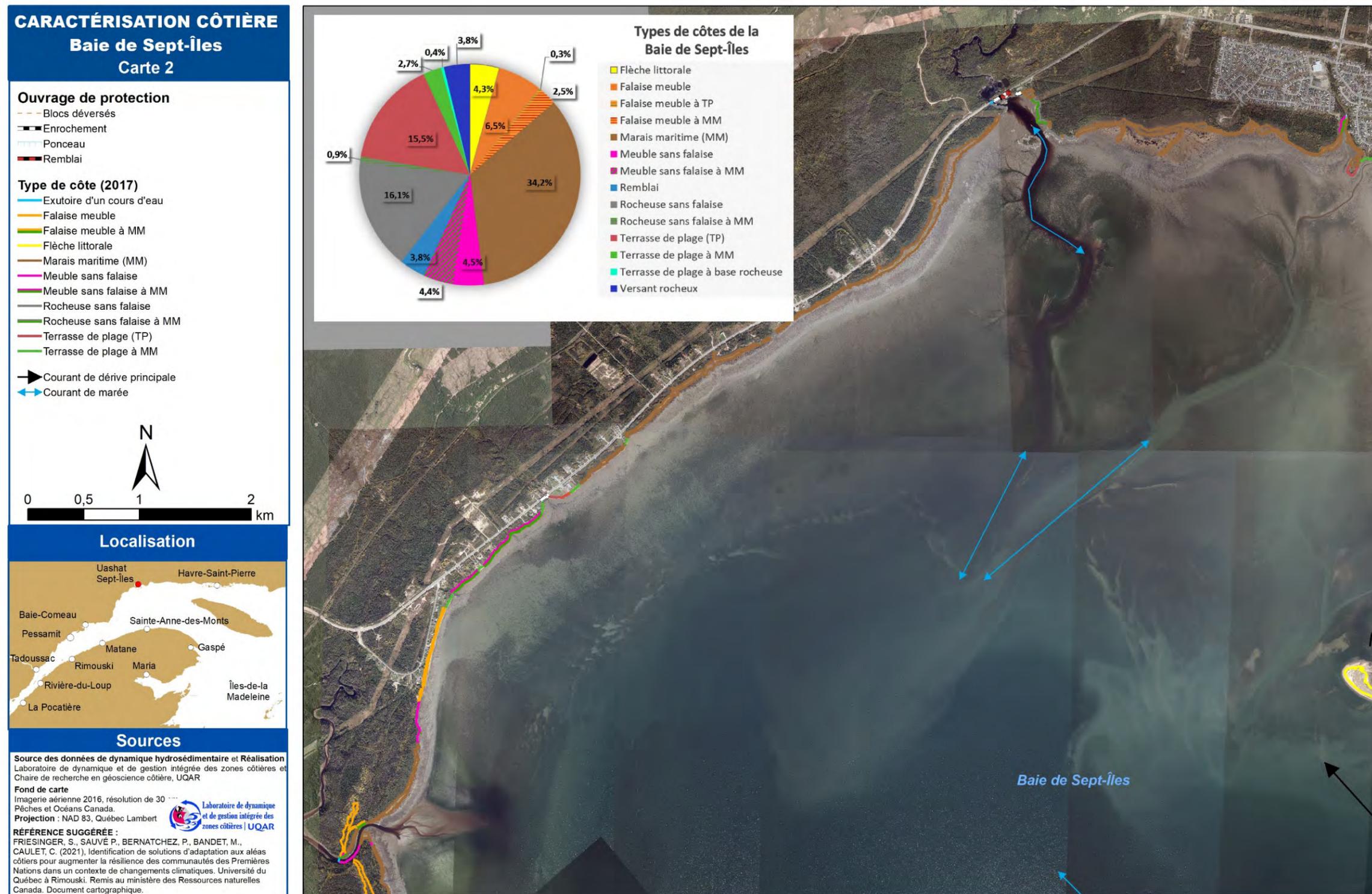


Figure 36. Caractérisation côtière 2017 à l'intérieur de la baie de Sept-Îles (carte 2).

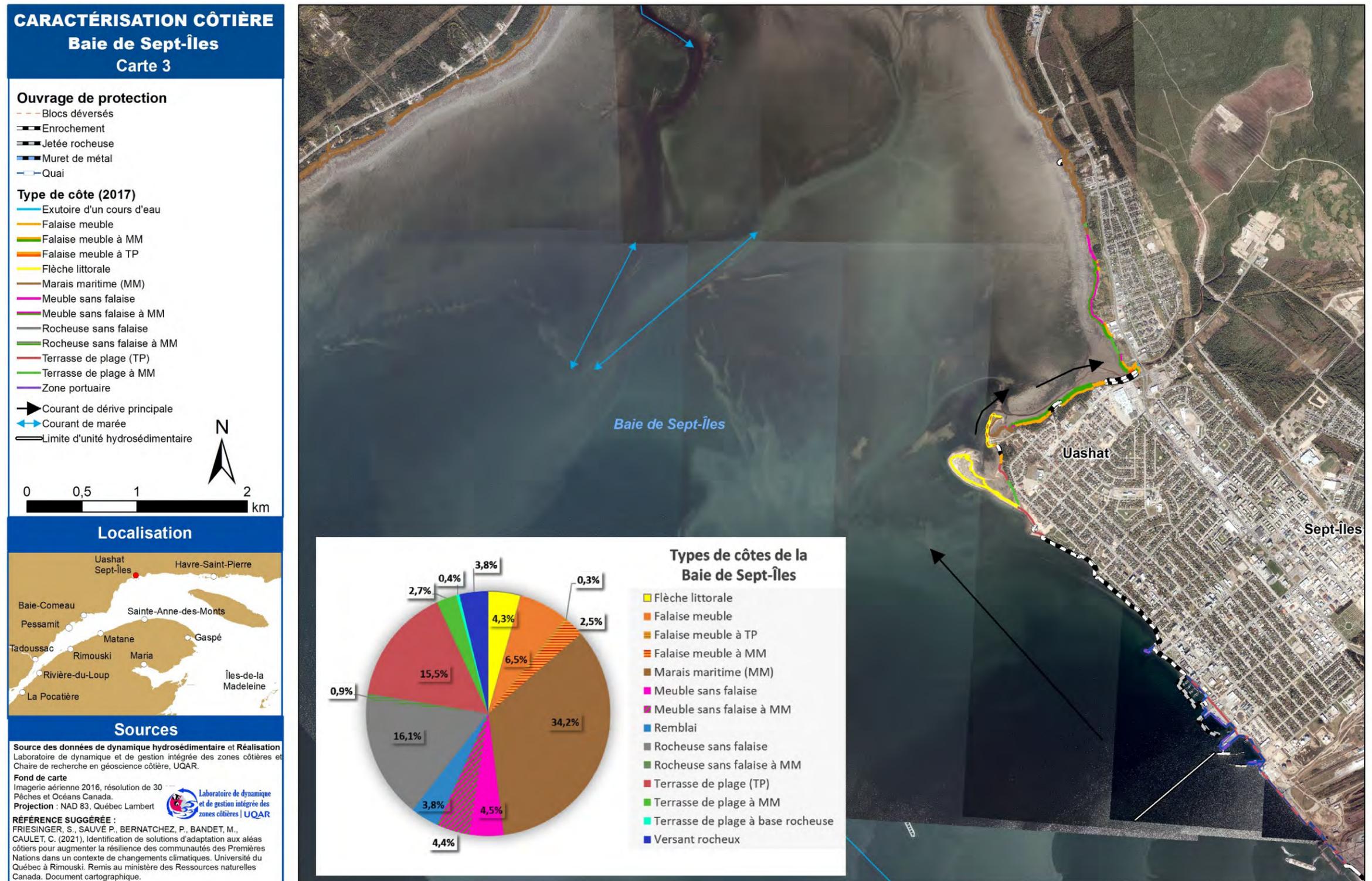


Figure 37. Caractérisation côtière 2017 à l'intérieur de la baie de Sept-Îles (carte 3).

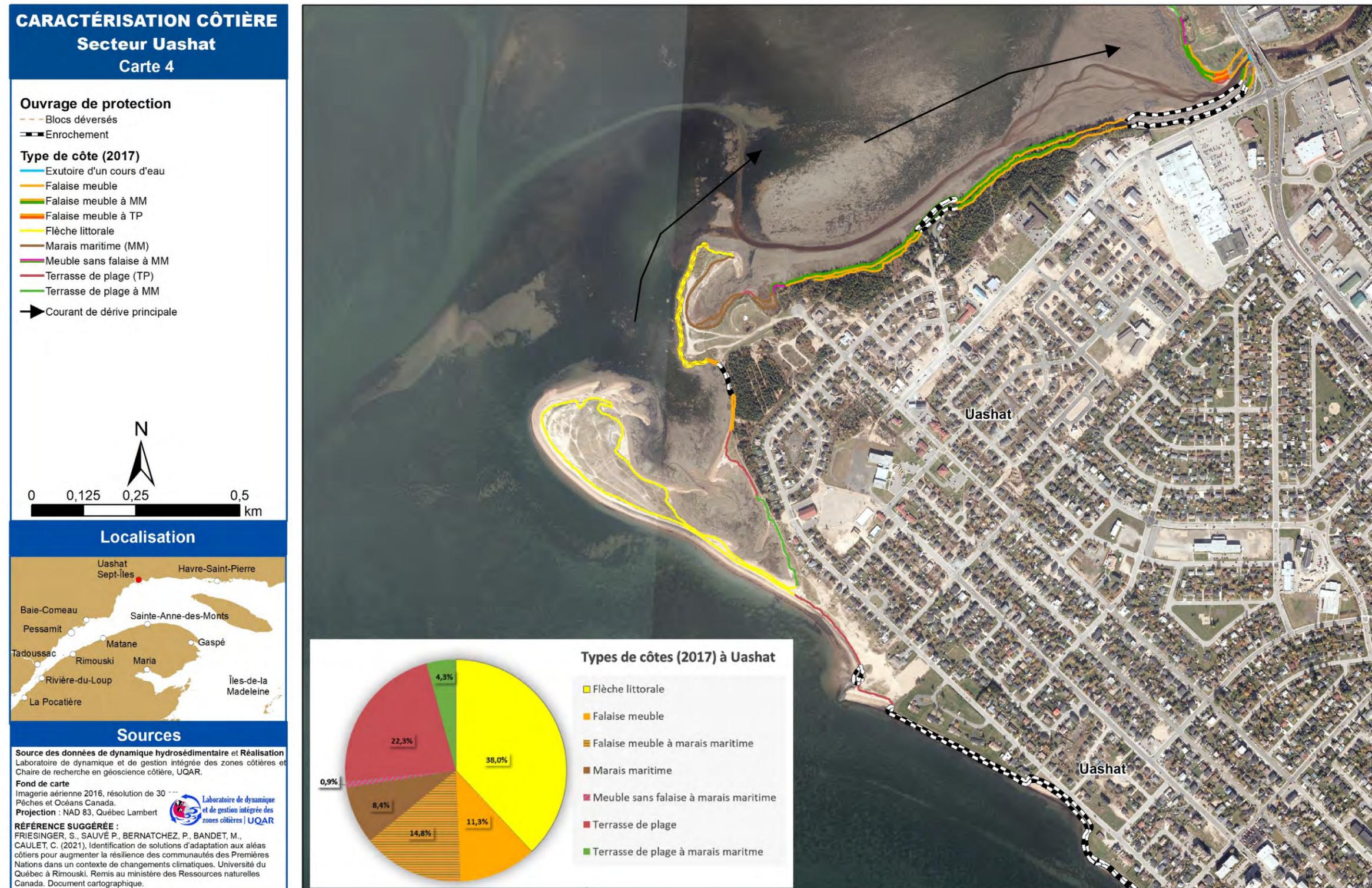


Figure 38. Caractérisation côtière 2017 à Uashat (carte 4).

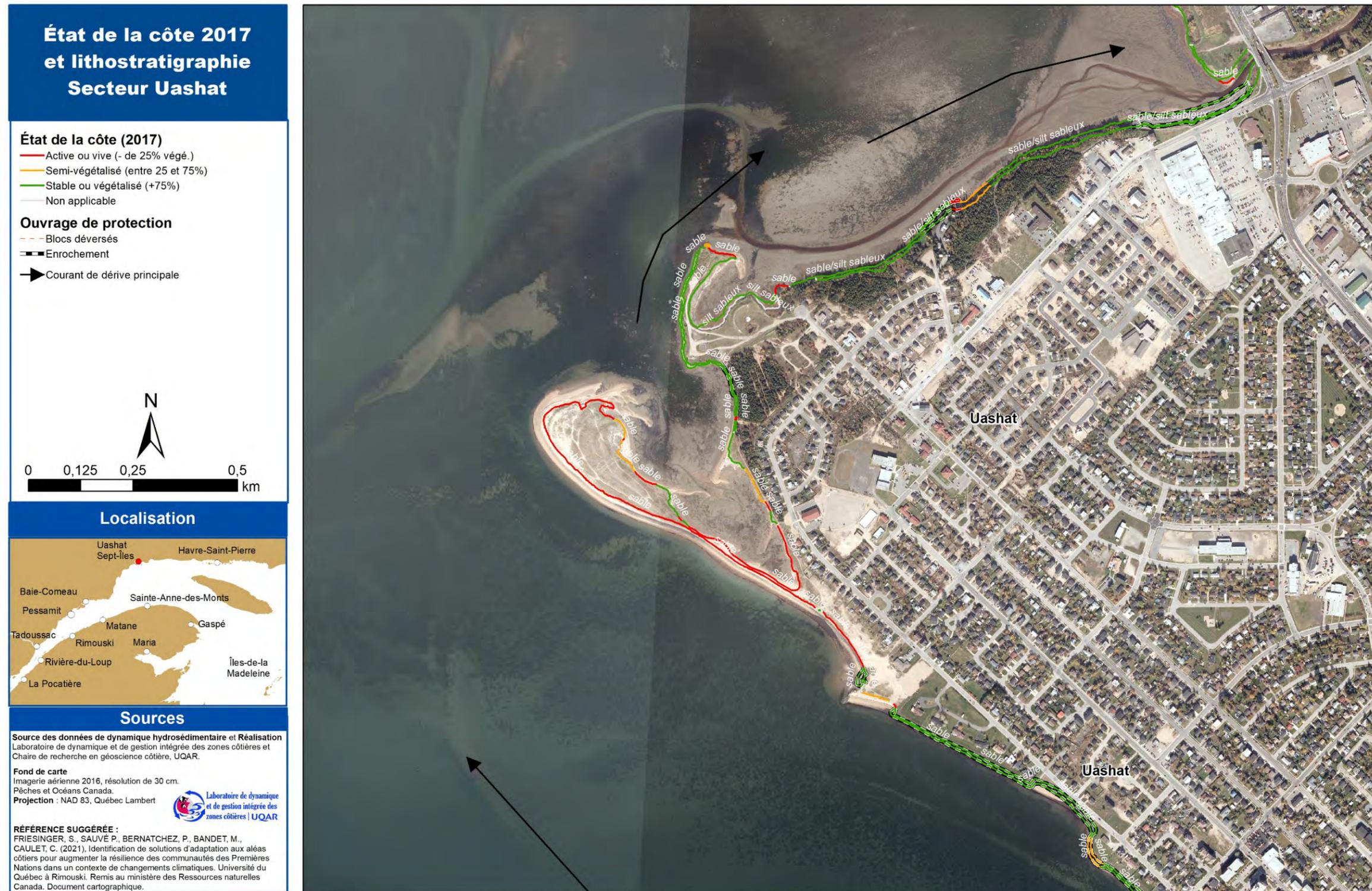


Figure 39. État de la côte 2017 du littoral à Uashat

4.2.2 Caractérisation des écosystèmes côtiers

Dans la baie de Sept-Îles, l'écosystème côtier le plus présent est la batture meuble à herbier de zostère (près de 55 % de la surface totale étudiée) (tableau 13). Cette baie est propice à l'implantation de la zostère en raison des sédiments fins accumulés surtout sableux et sablo-vaseux, et de la faible profondeur de la baie. La baie offrant un grand espace semble permettre une reproduction végétative asexuée plus facile pour la plante que celle sexuée qui assure la pérennité de l'espèce, mais qui lui est plus énergivore (Inrest, 2018). Comme le mentionne l'étude de Inrest (2018), la zostère de la baie de Sept-Îles est une vivace qui utilise la stratégie de reproduction K pour maintenir sa densité de population plutôt que de mettre ses ressources énergétiques sur la floraison. Selon les auteurs, ceci expliquerait en partie que l'estran, et possiblement la batture, de la baie expose des conditions intéressantes pour la zostère. Cet environnement côtier est riche en biodiversité et demeure une pouponnière pour de nombreuses espèces. Des homards, des crabes, des amphipodes et des littorines sont entre autres des espèces observées dans l'étude de Inrest en 2017 qui profitent de l'herbier de zostère.

L'infralittoral meuble situé dans la partie toujours immergée forme près de 19 % des écosystèmes à l'étude. Il est principalement constitué de sable et en moindre proportion de sédiments sablo-vaseux.

La baie de Sept-Îles favorise l'existence de marais maritimes et d'herbiers à zostère en raison des conditions particulières telles que la présence d'une barrière naturelle par les îles, les marées de forte amplitude, la salinité et l'apport sédimentaire. Il n'est alors pas étonnant d'observer une grande superficie de la baie caractérisée par la zostère (environ 57 % de la surface étudiée) et aussi par les marais maritimes (schorre supérieur et schorre inférieur). Les marais maritimes constituent plus de 6 % de la surface totale. Ces milieux longent le littoral de la baie et accueillent principalement des carex et des scirpes dans leur partie supérieure (schorre supérieur) et la spartine alterniflore dans la partie inférieure.

Les battures meubles sont aussi composées de sable et de substrat sablo-vaseux. La végétation est présente seulement entre 1 et 25 % de la surface de cet écosystème. Si peu sont elles, la zostère et les algues brunes en lanière en sont par contre les principales visibles. Aussi, l'infralittoral meuble à macroalgues représente un peu plus de 4 % du territoire à l'étude. Les écosystèmes comportant des macroalgues forment au total environ 7 % de la surface.

Les écosystèmes directement adjacents au littoral de Uashat sont illustrés à la figure 43. Les milieux marins à herbier de zostère dominant la surface. Il y existe par contre aussi des plages, des bas estrans meubles de sable et des battures sableuses. Les schorres inférieurs et la slikke longent une importante partie de la côte de Uashat et seulement très peu de schorres supérieurs y sont présents, ces derniers sont situés derrière la pointe du Poste et au pied des falaises près du site du Vieux-Poste. Les schorres inférieurs et supérieurs (1,6 km) forment 28 % de la ligne de côte qui totalise 5,9 km au total (section 4.2.1).

Comme l'étude de Inrest (2018) le mentionne, la baie de Sept-Îles est un milieu extrêmement riche en biodiversité que ça soit au niveau des végétaux, de la faune benthique et aussi des mammifères marins. C'est pourquoi c'est un endroit grandement utilisé par la communauté de Uashat.

Tableau 13. Étendue des écosystèmes côtiers

Écosystème côtier	Surface	
	km ²	%
Batture meuble à zostère	28,82	54,58
Infralittoral meuble	9,88	18,71
Marais (inf) à spartine alterniflore	2,34	4,42
Batture meuble	2,28	4,32
Infralittoral meuble à macroalgues	2,26	4,28
Chenal estuarien	1,26	2,39
Infralittoral meuble à zostère	1,11	2,10
Bas estran meuble à macroalgues	1,07	2,03
Vasière	1,04	1,97
Marais maritime (sup)	0,95	1,81
Slikke	0,76	1,45
Batture meuble à macroalgues	0,35	0,67
Delta	0,31	0,58
Plage	0,18	0,35
Bas estran meuble	0,09	0,17
Haut estran rocheux	0,04	0,08
Supralittoral	0,01	0,02
Delta de marée	0,01	0,02
Marais (inf) à plante vasculaire	0,01	0,02
Chenal estuarien à zostère	0,01	0,01
Bas estran rocheux	0,004	0,01
Total surfacique à l'étude	52,80	100,00

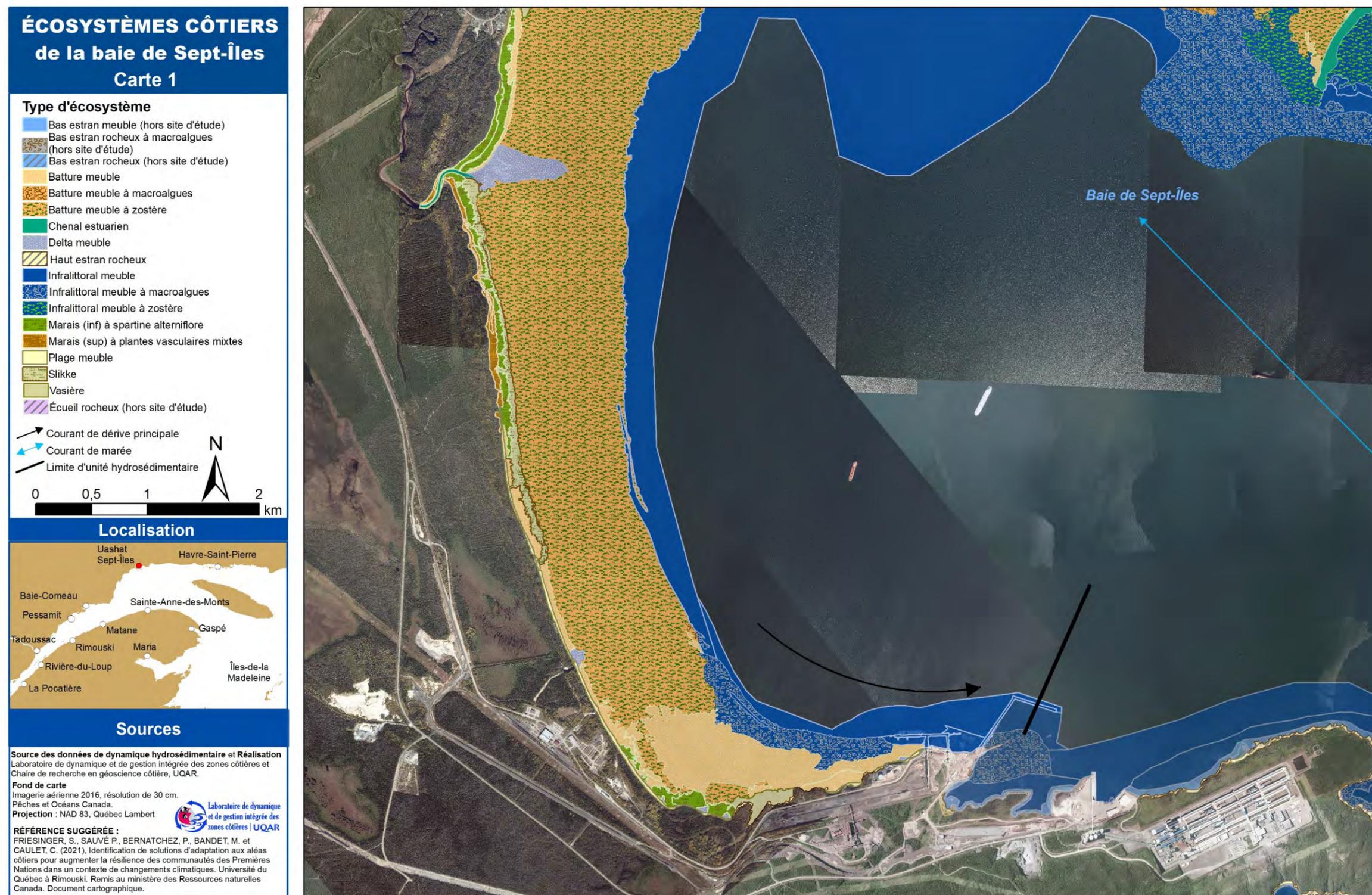


Figure 40. Écosystèmes côtiers analysés sur les photographies aériennes 2016 dans la baie de Sept-Îles (Carte 1).

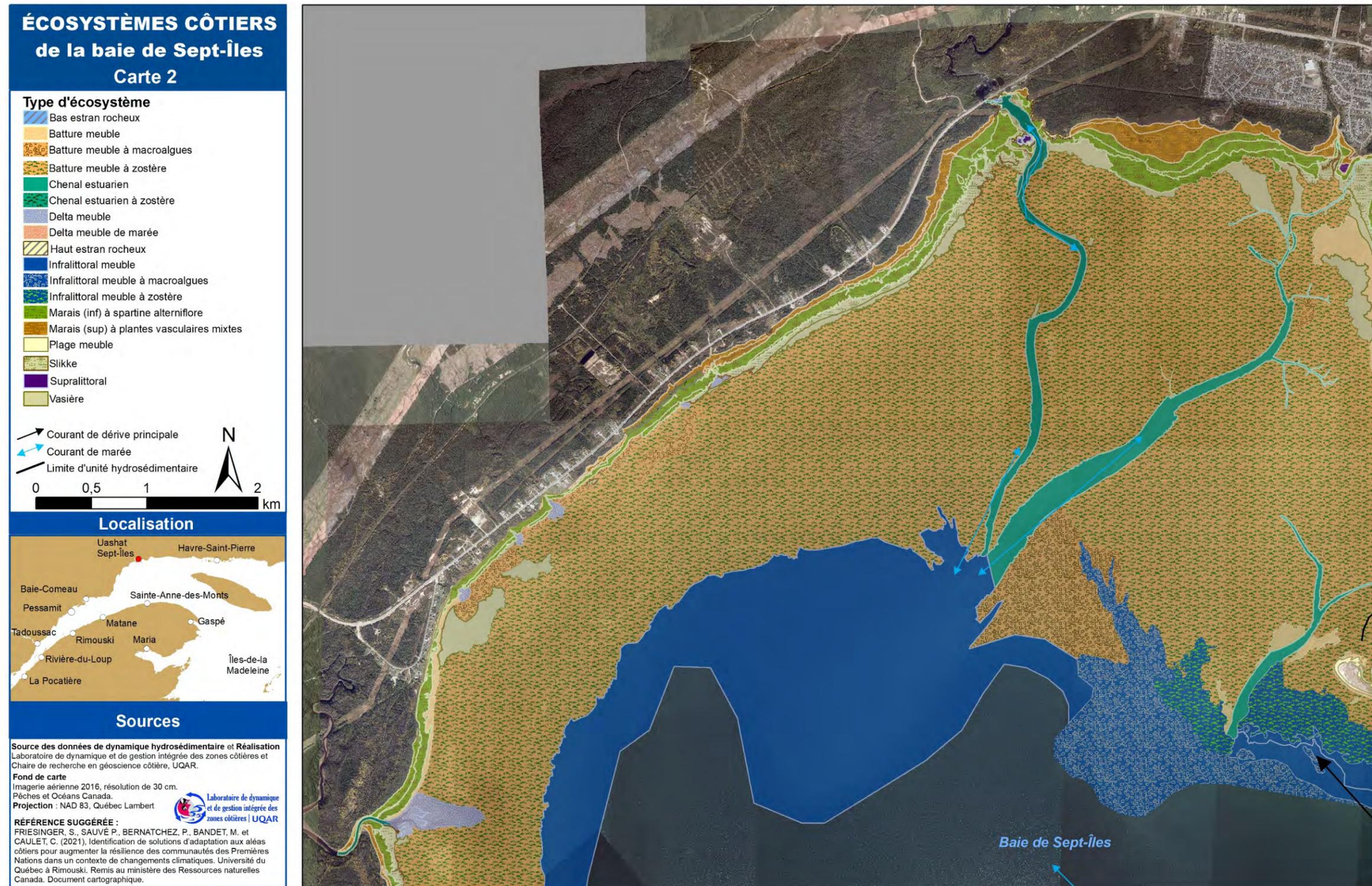


Figure 41. Écosystèmes côtiers analysés sur les photographies aériennes 2016 dans la baie de Sept-Îles (Carte 2).

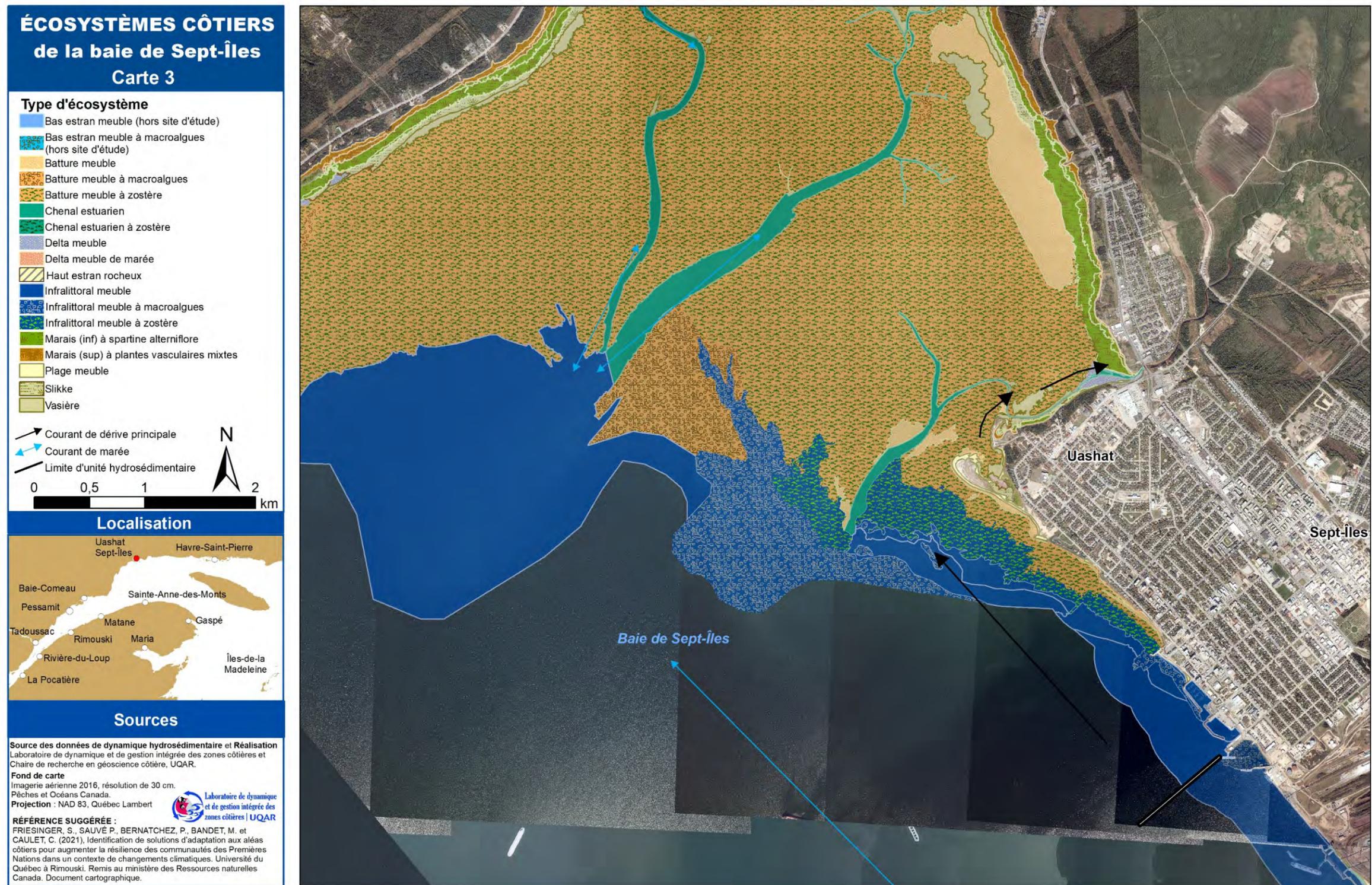


Figure 42. Écosystèmes côtiers analysés sur les photographies aériennes 2016 dans la baie de Sept-Îles (Carte 3).

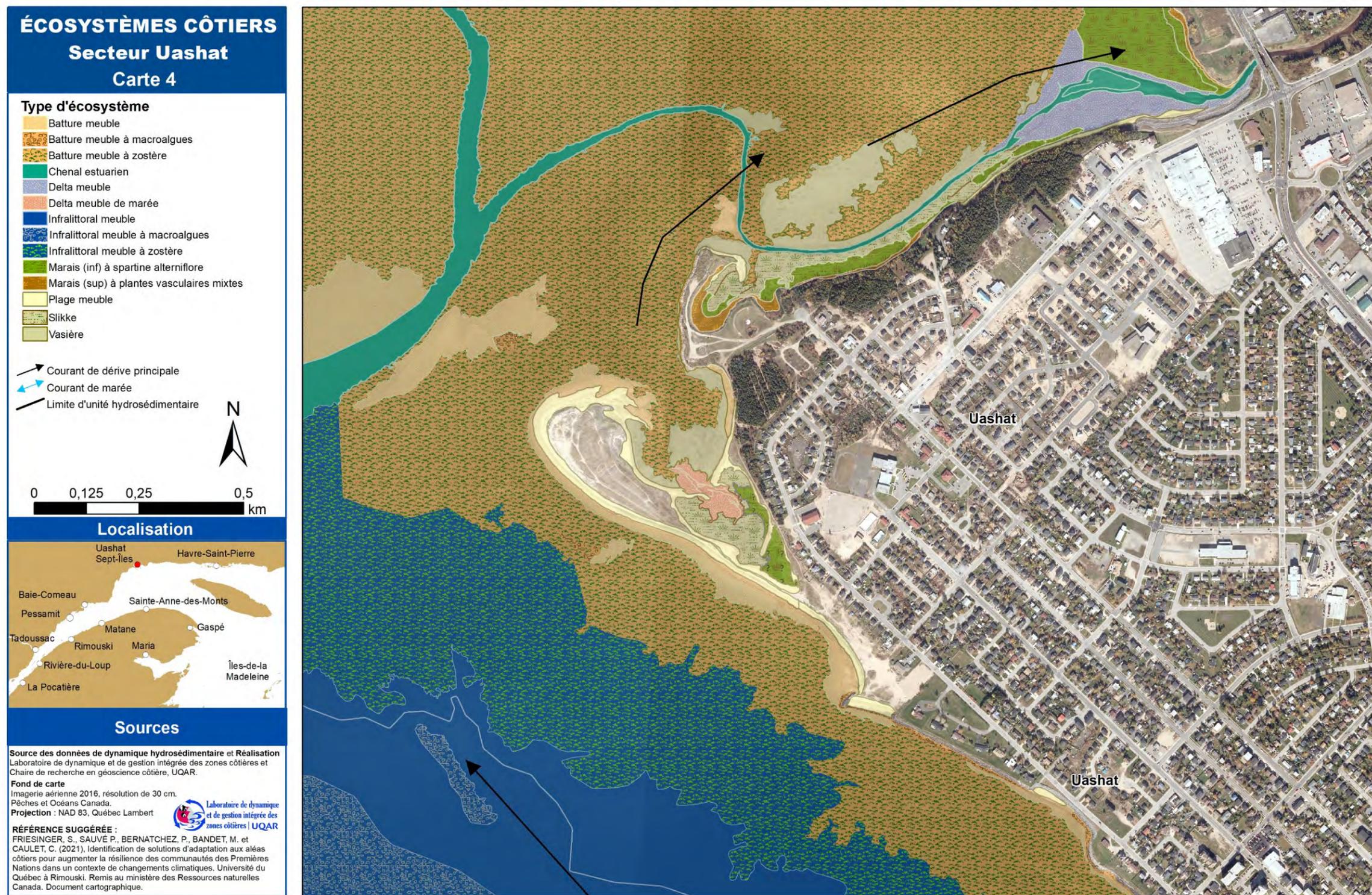


Figure 43. Écosystèmes côtiers analysés sur les photographies aériennes 2016 à Uashat (Carte 4).

4.2.3 Usages et sites importants de Uashat

4.2.3.1 Services écologiques des battures meubles, du delta de marée, du marais inférieur à plantes vasculaires, des herbiers de zostère et de la vasière de Uashat

La batture meuble dépourvue de végétation sert de site d'intérêt écologique pour le capelan soit pour la reproduction et aussi pour l'observation. Certains profitent de la beauté de cette fraie spectaculaire avec les couleurs argentées qui brillent à la tombée de la nuit. Une mise à l'eau et la marche sont des usages qui ont été mentionnés comme étant affectés par l'érosion côtière selon les utilisateurs (tableau 14).

La sortie des égouts sanitaires de la ville de Sept-Îles se jette en bordure d'une batture meuble à macroalgues. La batture meuble à zostère est utilisée par les amateurs de planche à voile et autres sports nautiques. Quelques activités de recherche se produisent dans ce milieu riche en biodiversité. D'ailleurs, c'est la raison pour laquelle cette batture est considérée comme un site d'intérêt écologique. En effet, l'herbier de zostère est selon les chercheurs, une pouponnière pour plusieurs espèces de poissons et de crustacés. La batture à zostère constitue aussi une protection naturelle de la côte. Un site indiqué en restauration au niveau de la station de pompage de Sept-Îles n'a pas été restauré finalement, mais la raison reste inconnue. Selon l'enquête menée dans le cadre de l'étude de Bernatchez, et al. (2012b), la chasse au canard serait affectée par la hausse du niveau marin, l'érosion côtière et la pollution. Pour ce qui concerne l'accès à l'eau et le canot, l'érosion côtière et l'enrochement sont les facteurs qui semblent affecter ces usages.

Comme l'indique le tableau 14, l'écosystème côtier de delta de marée sert à la baignade pour quelques personnes qui aiment braver les eaux fraîches. Non loin de là, la promenade de plaisance dans la vasière autour de la pointe du Poste (flèche littorale avec l'ancienne marina) est une activité que les personnes aiment faire. Cependant, la marche sportive est selon certains affectée par l'érosion et la hausse du niveau marin ainsi que par la pollution (Bernatchez, et al, 2012b). Dans le schorre inférieur à plantes vasculaires mixtes, une sortie des eaux pluviales s'y jette ce qui semble être selon les répondants une des raisons de la pollution de la vasière et du marais tout près.

Tableau 14. Services écologiques générés par les battures meubles, du delta de marée, du marais (inf) à plantes vasculaires et de la vasière à Uashat (**Écosystème**, état de l'usage, service écologique, usage détaillé)

Catégorie d'usages ou site	
1. Batture meuble	
<u>Usages actuels</u>	
Site d'intérêt écologique	
- Frayère à capelan	- Observation de capelan
<u>Usages affectés</u>	
Sportive	
- Marche	
Accès à l'eau	
- Mise à l'eau	
2. Batture meuble à macroalgues/Plage	
<u>Usages actuels</u>	

Catégorie d'usages ou site
Autre infrastructure ou influence anthropique - <i>Sortie des égouts sanitaires</i>
3. Batture meuble à zostère
<u>Usages actuels</u>
Sportive - <i>Planche à voile et sports dérivés</i>
Activités de recherche - <i>Analyse espèces poissons (présence de zostère), filet non fixe</i>
Site d'intérêt écologique - <i>Pouponnière, aire de reproduction</i> - <i>Frayère à capelan</i>
- <i>Observation de capelan</i> - <i>Protection côtière naturelle</i>
<u>Usages affectés</u>
Site en restauration non restauré - <i>Sortie des égouts sanitaires</i>
Chasse et piégeage d'animaux - <i>Chasse au canard</i>
Sportive - <i>Baignade</i> - <i>Canot</i>
Utilisation du territoire - <i>Accès à l'eau</i>
4. Delta de marée
<u>Usages actuels</u>
Sportive - <i>Baignade</i>
5. Marais (inf) à plantes vasculaires
<u>Usages actuels</u>
Autre infrastructure ou autre influence anthropique - <i>Rejet des eaux pluviales</i>
6. Vasière
<u>Usages actuels</u>
Lieu de loisir - <i>Promenade de plaisance (pointe du Poste)</i>
<u>Usages affectés</u>
Sportive - <i>Marche</i>

4.2.3.2 Services écologiques de la plage à Uashat

Sur la plage, plusieurs familles et personnes en profitent pour se détendre et pour jouer dans le sable. La marche de même que l'accès à l'eau ont été des usages considérés comme étant affectés par l'érosion côtière et l'enrochement. La diminution de la largeur de la plage affecte également la marche (Bernatchez, et al, 2012b). La cuisson de la banique directement dans le sable chauffé préalablement avec un feu de camp est encore aujourd'hui une pratique et une activité socio-culturelle importante pour la communauté.

Tableau 15. Services écologiques générés par l'écosystème côtier de la plage à Uashat (**Écosystème, état de l'usage, service écologique, usage détaillé**)

Catégorie d'usages ou site
Plage
<u>Usages actuels</u>
Activité socio-culturelle
- <i>Banique</i>
Activités reliées à la plage
- <i>Châteaux de sable, détente</i>
<u>Usages affectés</u>
Sportive
- <i>Marche</i>
Accès à l'eau
- <i>Mise à l'eau (même que dans la batture meuble)</i>

4.2.3.3 Services écologiques des différents écosystèmes côtiers terrestres

La flèche littorale de la pointe du Poste est un lieu de loisir où les gens profitent de l'endroit pour installer une tente et faire du camping. C'est un lieu qui était propice à socialiser autour d'un feu de camp, une activité qui ne se fait plus selon les répondants. Il y a eu jadis un projet de restauration de la flèche qui n'a pas abouti pour des raisons méconnues. La falaise meuble du côté de la rivière du Poste accueille à son sommet un centre d'interprétation et le musée du Vieux-Poste. Le festival des hivernants se produit au sommet de cette falaise et près du site historique du Vieux-Poste. La maison de transmission de la culture innue est également située près de la falaise meuble longeant la rivière du Poste et le boulevard des Montagnais. Ce milieu est un endroit patrimonial qui a toujours été utilisé par la communauté.

Derrière la flèche littorale (pointe Naneu), la basse falaise meuble et la terrasse de plage accueillent des plantes comme le thé du labrador et la savoyane qui sont récoltés pour le plaisir par les gens de la communauté et pour leurs effets médicinaux. La salle communautaire Naneu repose sur cette terrasse de plage derrière la pointe. À cet endroit, la sortie des eaux pluviales passe sur la terrasse de plage et un peu plus vers l'est, ce sont les égouts sanitaires qui sortent sur la plage et la batture. L'usine des égouts sanitaires est implantée sur la terrasse de plage. À l'extrémité est de l'ancienne partie de Uashat, l'ouvrage de surverse de la ville de Sept-Îles s'y retrouve sur la terrasse de plage enrochée. Cette ancienne partie de la réserve repose sur une terrasse de plage également. On y retrouve le site patrimonial reconnu de la Compagnie de la Baie d'Hudson II. Une ancienne chapelle et un ancien cimetière sont aussi situés sur cette terrasse de plage. La figure 44 est une photographie de l'endroit autrefois entièrement sableux comme c'était le cas pour toute la ville de Sept-Îles (années 1920-1946).

Identification de solutions d'adaptation aux aléas côtiers pour augmenter la résilience des communautés des Premières Nations dans un contexte de changements climatiques:
Rapport final 2021

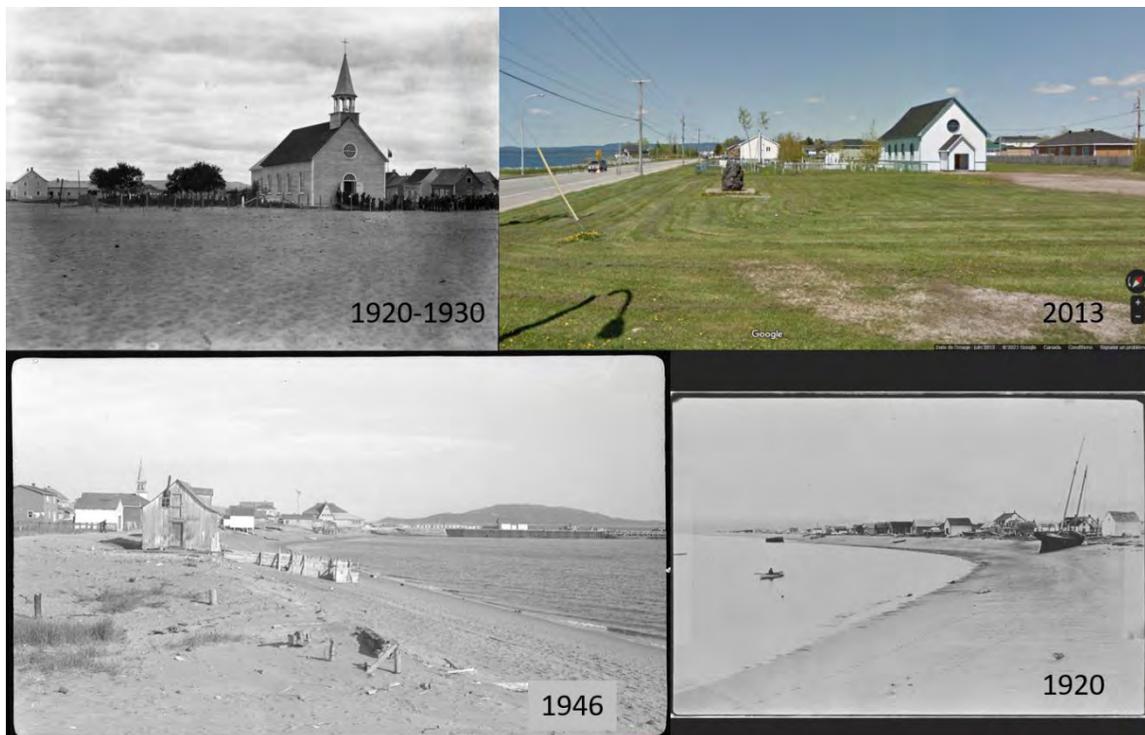


Figure 44. Photographie de l'ancienne chapelle en 1920-1930 (source : Fonds Joseph-Emile Chabot - BAnQ Sept-Îles) et une photographie prise à l'époque actuelle (2013) (Google Streetview 2013). Photographies de la plage à Sept-Îles en 1920 (source : Collection Société historique du Golfe - BAnQ Sept-Îles) et du quai en 1946 (source : Benoît Brouillette .- 1946, Fonds Ministère de la Culture et des Communications - BAnQ Québec). Cette comparaison est surtout pour montrer l'abondance du sable devant la communauté de Uashat et de Sept-Îles.

Tableau 16. Services écologiques générés par les écosystèmes terrestre relié au type de côte de Uashat
(Écosystème, état de l'usage, service écologique, usage détaillé)

Catégorie d'usages ou site	
1. Flèche littorale	
Flèche littorale/Falaise meuble/Marais maritime	
<u>Usages actuels</u>	
Site d'intérêt écologique	
- Site en restauration NON RESTAURÉ	
Lieu de loisir	
- Site de camping	
2. Falaise meuble	
Infrastructure récréotouristique	
- Centre d'interprétation	- Maison de transmission de la culture innue : Shaputuan
Site patrimonial reconnu	
- Site archéologique	- Vieux-Poste
3. Falaise meuble/Marais maritime	
Musée ou site historique	
- Vieux-Poste	
Lieu de loisir	
4. Festival des hivernants	
<u>Usages actuels</u>	
Site à haute valeur socio-culturelle	
- Valeur historique culturelle	
5. Falaise meuble/Terrasse de plage	
<u>Usages actuels</u>	
Cueillette récréative de ressources végétales	
- Cueillette de savoyane	- Cueillette de thé du Labrador
6. Terrasse de plage	
Autre infrastructure ou influence anthropique	
- Usine de la sortie des égouts sanitaires	- Ouvrage de surverse/poste de pompage
Site patrimonial reconnu	
- Poste Compagnie de la Baie d'Hudson II	
7. Terrasse de plage/Marais maritime	
<u>Usages actuels</u>	
Autre infrastructure	
- Salle communautaire Naneu	

Identification de solutions d'adaptation aux aléas côtiers pour augmenter la résilience des communautés des Premières Nations dans un contexte de changements climatiques:

Rapport final 2021

4.2.3.4 Usages cessés et sites abandonnés

Les activités cessées et les sites abandonnés sont décrits dans ce paragraphe. Sur la carte, on y voit des activités qui sont cessées identifiées par certains répondants alors que d'autres les font encore. Cependant, dans ce paragraphe ce sont celles que nous estimons ne plus être pratiquées du tout ou peut-être très peu.

La cueillette récréative de myes communes dans la batture meuble devant la flèche littorale Naneu semble être une activité qui ne se pratique plus. Les raisons pourquoi l'activité est cessée sont l'augmentation de la pollution et du trafic des bateaux (Bernatchez, et al., 2012b). Aussi, autrefois les gens pêchaient des morues, mais en raison de la surpêche, la pêche à la morue a cessé.

Anciennement, certains répondants ont mentionné qu'un pont reliait la flèche littorale Naneu et la falaise meuble derrière (cordon de sable). La figure 45 montre une partie de ce pont naturel (entre 70 et 80 m de longueur) qui est présent sur la photographie aérienne de 1976 alors qu'en 1987, seule une pointe sableuse émergée comme les autres années y est visible. Il est possible que le pont ait toujours été partiel en l'utilisant qu'à la marée basse. Aussi, peut-être que cette infrastructure servait de quai et devait être utilisée qu'à la marée haute.



Figure 45. Indice de la présence d'un ancien pont ou quai sur la flèche littorale Naneu en 1976 et présence d'un pont naturel quasi complet de sable en 1987 (source : Ministère des ressources naturelles, de la Faune et des Parcs, gouvernement du Québec).

Dans cette baie abritée par la flèche Naneu, les gens pratiquaient jadis la chasse au goéland, mais maintenant ce type de chasse ne se fait plus. Du côté de la pointe du Poste, une ancienne marina déposée sur la slikke y était présente. Un bar aujourd'hui fermé et complètement disparu était construit pour accueillir les pêcheurs et plaisanciers sur la pointe (figure 46). De plus, les chasseurs profitaient autrefois de la pointe du Poste pour nettoyer leur gibier qu'ils avaient tué ou trappé.



Figure 46. Disparition de la marina et du bar le Vieux Club sur la pointe du Poste, comparaison entre 1976 et 2017 (source : source : Ministère des ressources naturelles, de la Faune et des Parcs, gouvernement du Québec et imagerie satellite 2017 WVIEWS, ministère de la Sécurité publique).

4.2.4 Usages et sites importants de la baie de Sept-Îles (excluant Uashat)

Toute la baie de Sept-Îles est considérée comme étant un site d'intérêt écologique important pour le golfe du Saint-Laurent et donc aussi un point chaud de biodiversité. Dans ses eaux peu profondes, plusieurs espèces y vivent, ce qui fait de la baie entre autres un secteur coquillier important et une pouponnière pour plusieurs espèces benthiques. Comme mentionné précédemment dans la section 4.2.2, les herbiers de zostère sont en abondance dans la baie. Notez que le territoire côtier de Uashat a été exclu dans cette section puisqu'il a été décrit plus haut (voir section 4.2.3).

4.2.4.1 Services écologiques des hauts estrans rocheux et les plages

Quelques hauts estrans rocheux sont présents dans la baie de Sept-Îles. Ce sont des écosystèmes qui servent principalement comme des lieux de loisir et offrent la possibilité l'installation de belvédères avec vue sur la baie. À un endroit, des effluents industriels sont canalisés sur le haut estran rocheux pour se jeter finalement dans une vasière. Concernant la plage, elle est un lieu de loisir ainsi qu'un lieu où des infrastructures anthropiques comme des émissaires d'effluents industriels peuvent être présents.

Tableau 17. Services écologiques générés par les hauts estrans rocheux et les plages dans la baie de Sept-Îles (Écosystème, état de l'usage, service écologique, usage détaillé)

Catégorie d'usages ou site	
7. Haut estran rocheux	
<u>Usages actuels</u>	
Lieu de loisir	
- Belvédère	- Poste d'observation
8. Haut estran rocheux/Vasière	
<u>Usages actuels</u>	
Autre infrastructure ou influence anthropique	
- Effluents industriels	
9. Plage	

Catégorie d'usages ou site
<u>Usages actuels</u>
Lieu de loisir
- <i>Petite plage jouxtant la promenade à Sept-Îles et du Vieux quai</i>
Autre infrastructure ou influence anthropique
- <i>Effluents industriels</i>

4.2.4.2 Services écologiques des battures meubles et des bas estrans meubles

Les battures et les bas estrans de la baie de Sept-Îles représentent une grande zone de conservation et une aire de concentration d'oiseaux aquatiques. Ces milieux ont une valeur d'intérêt scientifique, éducative et socio-culturelle. En effet, dans les battures meubles à zostère, l'AMIK³ entreprend des recherches et échantillonne des espèces des poissons dans des filets fixes et verveux afin d'élargir la connaissance du milieu et de regarder le potentiel commercial de certaines espèces présentes. Il est également possible d'observer la fraie du capelan. La batture sableuse devient aussi un lieu de loisir comme au parc des Jardins de l'Anse Est.

Tableau 18. Services écologiques générés par les battures meubles et les bas estrans meubles dans la baie de Sept-Îles (**Écosystème**, état de l'usage, service écologique, *usage détaillé*)

Catégorie d'usages ou site
1. Bas estran meuble à zostère
<u>Usages actuels</u>
Site d'intérêt écologique
- <i>Aire de concentration d'oiseaux aquatiques</i> - <i>Zone de conservation</i>
2. Batture meuble
<u>Usages actuels</u>
Site d'intérêt écologique
- <i>Aire de concentration d'oiseaux aquatiques</i> - <i>Zone de conservation</i>
- <i>Observation du capelan qui fraie</i>
Lieu de loisir
- <i>Plage des Jardins de l'Anse Est</i>
3. Batture meuble à zostère
<u>Usages actuels</u>
Site à haute valeur socio-culturelle
- <i>Hébergement d'activités culturelles</i>
Activités scientifiques et/ou éducatives
- <i>Activité de recherche</i>
Site d'intérêt écologique
- <i>Aire de concentration d'oiseaux aquatiques</i> - <i>Zone de conservation</i>
- <i>Point chaud de biodiversité</i>

4.2.4.3 Services écologiques des schorres supérieurs, inférieurs et slikkes

Dans les écosystèmes de marais inférieur et de slikke, une station de suivi des macroalgues y est installée ce qui indique l'abondance et la diversité potentielles de ces milieux. Le schorre inférieur et la slikke sont

³ Agence Mamu Innu Kaikusseht

Identification de solutions d'adaptation aux aléas côtiers pour augmenter la résilience des communautés des Premières Nations dans un contexte de changements climatiques:

Rapport final 2021

aussi invitants pour le capelan et permettent l'observation du capelan qui fraie. Ce sont également des secteurs coquilliers importants de la baie. L'observation de certaines espèces fauniques menacées ou susceptibles de l'être comme le râle jaune et le bruant de Nelson y est possible. Ces environnements sont propices à l'observation de la nature et c'est pourquoi un belvédère a été construit offrant une vue sur ces marais. Le long de la baie de Sept-Îles, il est possible de profiter de ces écosystèmes luxuriants de par un sentier pédestre, des belvédères, un phare et des aires de pique-nique. En voiture, quelques haltes routières permettent aussi d'avoir une vue sur la baie et ses marais. De hauts estrans rocheux à quelques endroits offrent des sentiers pédestres naturels facilement accessibles. En général, ces écosystèmes sont utilisés pour les volets éducatifs, scientifiques et de plaisance. Ce sont aussi des bons milieux naturels filtrants ce qui permet des ouvrages de surverse pour les eaux usées.

Tableau 19. Services écologiques générés par les schorres supérieurs, inférieurs et les slikkes de la baie de Sept-Îles (Écosystème, état de l'usage, service écologique, usage détaillé)

Catégorie d'usages ou site	
1. Slikke	
<u>Usages actuels</u>	
Lieu de loisir	
- Sentier pédestre	
2. Marais (schorre inférieur)	
<u>Usages actuels</u>	
Lieu de loisir	
- Parc de la Rivière-des-Rapides	- Belvédère
- Piste polyvalente (vélo, patin)	
Site d'intérêt écologique	
- Observation du capelan qui fraie	- Présence d'espèces fauniques menacées (râle jaune)
- Présence d'espèces fauniques susceptibles d'être désignées menacées (bruant de Nelson)	- Secteurs coquilliers
- Zone de conservation	
Activité scientifique et/ou éducative	
- Station de suivi des macroalgues marines	
3. Marais (schorre inférieur et supérieur, slikke)	
<u>Usages actuels</u>	
Infrastructure récréotouristique	
- Bureau d'information touristique de Sept-Îles	- Halte routière
- Base de plein air	
Infrastructure maritime	
- Phare	
Autre infrastructure ou influence anthropique	
- Ouvrage de surverse	
Site d'intérêt écologique	
- Point chaud de biodiversité	
Lieu de loisir	
- Belvédère	- Ouest de Sept-Îles (Canton-Arnaud)
- Parc Ferland	- Parc des Jardins de l'Anse
- Parc Aylmer-Whittom	- Sentier pédestre
- Sentiers de la Nature	- Aire de pique-nique
- Site de camping	

Identification de solutions d'adaptation aux aléas côtiers pour augmenter la résilience des communautés des Premières Nations dans un contexte de changements climatiques:

Rapport final 2021

4.2.4.4 Services écologiques des zones infralittorales meubles

Ces milieux toujours immergés sont parfaits pour les infrastructures maritimes. En effet, le quai de Sept-Îles, le port commercial de la ville et de la Société ferroviaire et portuaire de Pointe-Noire (SFP Pointe-Noire) sont situés dans cet écosystème. La marina et son club nautique bénéficient aussi des profondeurs de l'infralittoral. La traverse vers l'île Grande-Basque profite de ce milieu. La mise à l'eau permet de facilement accéder à la baie par voie maritime. C'est ainsi que la chasse à la sauvagine, au canard et la pêche aux maquereau et autres espèces sont pratiquées dans la baie de Sept-Îles. Les croisières et excursions en mer sont des activités touristiques convoitées pour l'observation des mammifères marins. L'infralittoral meuble est aussi un lieu où la baignade semble agréable. En raison de la disparition de la plage, l'infralittoral touche maintenant directement l'ouvrage de protection côtière du centre-ville de Sept-Îles où la promenade du Vieux Quai y est installée. Celle-ci est touchée et parfois endommagée par les tempêtes et le franchissement des vagues.

Tableau 20. Services écologiques générés par les zones infralittorales meubles de la baie de Sept-Îles (Écosystème, état de l'usage, service écologique, usage détaillé)

Catégorie d'usages ou site	
Infralittoral meuble	
<u>Usages actuels</u>	
Chasse et piégeage d'animaux	
- Chasse à la sauvagine	- Chasse au canard
Loisirs	
- Croisière ou excursion	
Pêche récréative	
- Pêche récréative (indéterminé)	- Pêche récréative au maquereau
Sportive	
- Baignade	
Infrastructure maritime	
- Marina	- Mise à l'eau
- Port commercial	- Quai
- Traverse Sept-Îles/Île Grande-Basque (Les Croisières du Capitaine	
Site d'intérêt écologique	
- Observation du capelan qui fraie	- Site en restauration

4.2.4.5 Services écologiques des différents écosystèmes côtiers terrestres de la baie de Sept-Îles

Dans la baie de Sept-Îles, excluant le territoire de Uashat puisqu'il a été décrit auparavant, on y retrouve grosso modo six types de côtes, soit la côte rocheuse sans falaise, les marais maritimes, les côtes meubles sans falaise, les falaises meubles, des côtes artificielles à remblai et des terrasses de plage. La plupart des types de côte offre des bénéfices aux utilisateurs et permettent une biodiversité de la faune et la flore.

Les côtes rocheuses sans falaise sont des milieux accessibles à pied par des sentiers balisés traversant des milieux forestiers et herbacés pour aboutir à la côte. Elles permettent des activités récréatives, sportives et éducatives pour la communauté. Des haltes routières sont également présentes près de côtes rocheuses à marais maritime. La côte rocheuse sans falaise et la profondeur importante de l'infralittoral de la pointe Noire a attiré des entreprises de l'industrie des ressources naturelles comme la SFP Pointe-Noire. Cette

Identification de solutions d'adaptation aux aléas côtiers pour augmenter la résilience des communautés des Premières Nations dans un contexte de changements climatiques:

Rapport final 2021

entité effectue le transport ferroviaire et portuaire, et offre des services de manutention de minerai à d'autres entreprises. Des visites guidées sont organisées par la société à des fins éducatives. Le trafic maritime en lien avec cette société semble augmenter selon quelques répondants ce qui apporte des désagréments pour certaines personnes voulant profiter de la baie. Selon certains, la pollution et le risque de déversement pétrolier pourraient également augmenter.

Du côté des marais maritimes, de nombreuses infrastructures récréotouristiques en profitent puisque ce sont des côtes avec beaucoup de diversités fauniques et floristiques. Des sites de camping et des pistes cyclables ont été aménagés près des marais maritimes. Les côtes meubles sans falaise avec des marécages arbustifs sont également des points chauds de biodiversité. Quelques terrains contaminés sont situés sur des côtes meubles sans falaise, près des marais maritimes et de falaises meubles.

Sur les terrasses de plage de la ville de Sept-Îles, plusieurs endroits touristiques profitent du lieu. Des parcs où ont lieu des festivités ou des événements culturels, des haltes routières, un site patrimonial de la Compagnie de la Baie d'Hudson et l'infrastructure d'accueil et de renseignements touristiques sont installés sur la terrasse de plage maintenant artificialisée. Comme il a été mentionné plus haut, ce milieu et les activités pratiquées sont affectés par les tempêtes et les vagues qui franchissent l'ouvrage de protection côtière en place.

Tableau 21. Services écologiques générés par les écosystèmes terrestre relié au type de côte de la baie de Sept-Îles (Écosystème, état de l'usage, service écologique, usage détaillé)

Catégorie d'usages ou site	
10. Côte rocheuse sans falaise/ Côte rocheuse sans falaise à marais maritime	
<u>Usages actuels</u>	
Utilisation du territoire	
- Fins d'activités récréatives, sportives ou éducatives pour un usage communautaire sans but lucratif	

Autre infrastructure ou influence anthropique	
- Effluents industriels	

Infrastructure récréotouristique	
- Halte routière	

Lieu de loisir	
- Piste polyvalente (parcours récréatif)	

11. Côte rocheuse sans falaise/Remblai	
<u>Usages actuels</u>	
Activité scientifique et/ou éducative	
- Visite en entreprise	

12. Marais maritime (MM)	
<u>Usages actuels</u>	
Infrastructure récréotouristique	
- Hébergement/camping	- Halte routière (comme la côte rocheuse à MM)

Lieu de loisir	
- Piste cyclable	

Utilisation du territoire	
- Droits de location à des fins commerciales	- Droits de location à des fins de résidences principales

Identification de solutions d'adaptation aux aléas côtiers pour augmenter la résilience des communautés des Premières Nations dans un contexte de changements climatiques:

Rapport final 2021

Catégorie d'usages ou site

Site d'intérêt écologique

- *Point chaud de biodiversité*

Autre infrastructure ou influence anthropique

- *Réservoir de surface*
-

13. Meuble sans falaise à marais maritime

Usages actuels

Site d'intérêt écologique

- *Point chaud de biodiversité*

Autre infrastructure ou influence anthropique

- *Terrain contaminé/commerce*
-

14. Terrasse de plage

Usages actuels

Infrastructure récréotouristique

- *Tourisme Côte-Nord | Duplessis*
- *Halte routière*

Lieu de loisir

- *Festival ou évènement*
- *Parc, espace vert*

Site à haute valeur socio-culturelle

- *Rassemblements et festivités*

Site patrimonial reconnu

- *Site archéologique/Compagnie de la Baie d'Hudson*
-



Figure 47. Légende des usages et sites importants



Figure 48. Services écologiques des écosystèmes côtiers, usages et sites actuels, affectés et cessés dans la baie de Sept-Îles (carte 1).



Figure 49. Services écologiques des écosystèmes côtiers, usages et sites actuels, affectés et cessés dans la baie de Sept-Îles (carte 2).

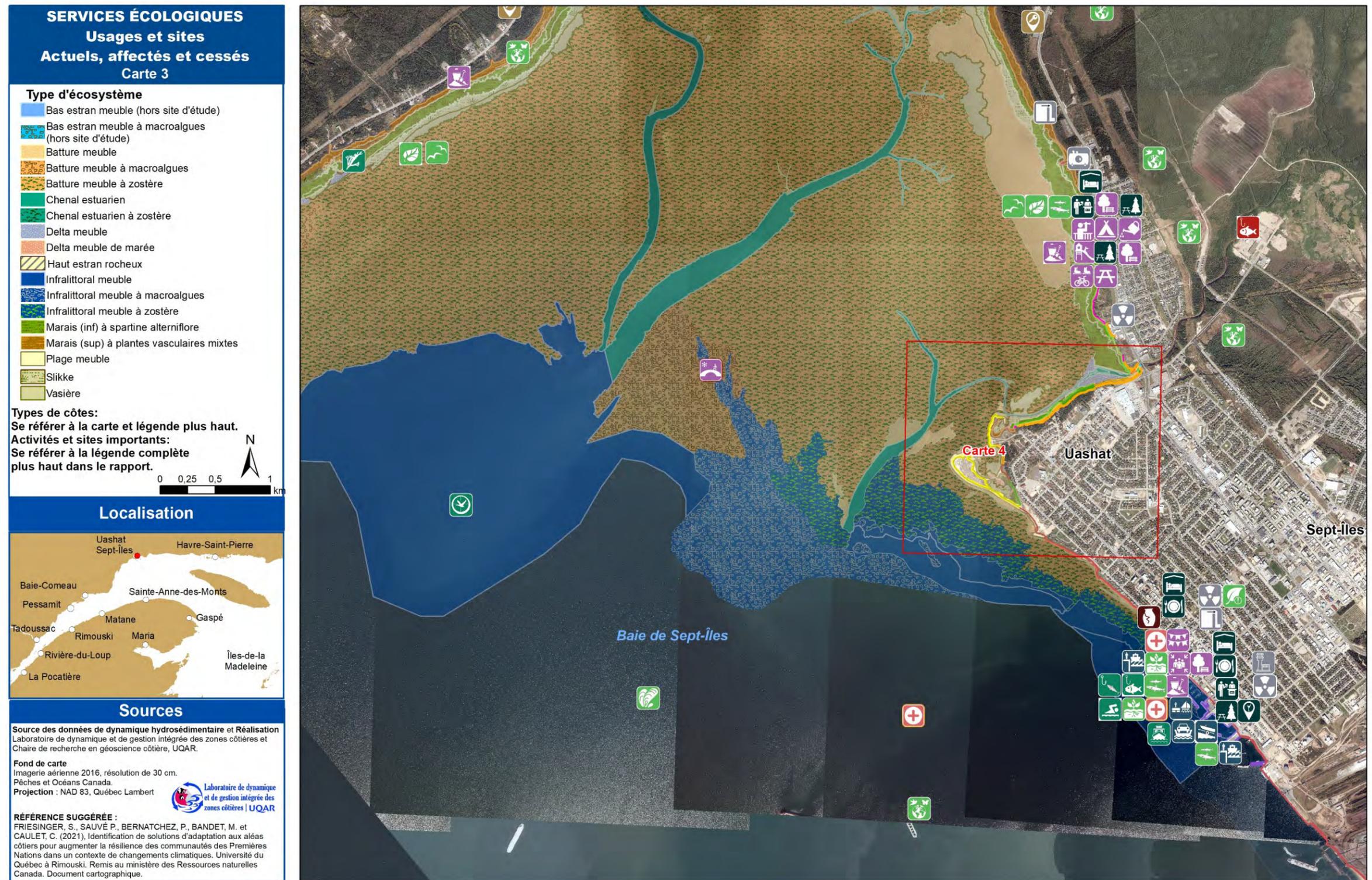


Figure 50. Services écologiques des écosystèmes côtiers, usages et sites actuels, affectés et cessés dans la baie de Sept-Îles (carte 3).

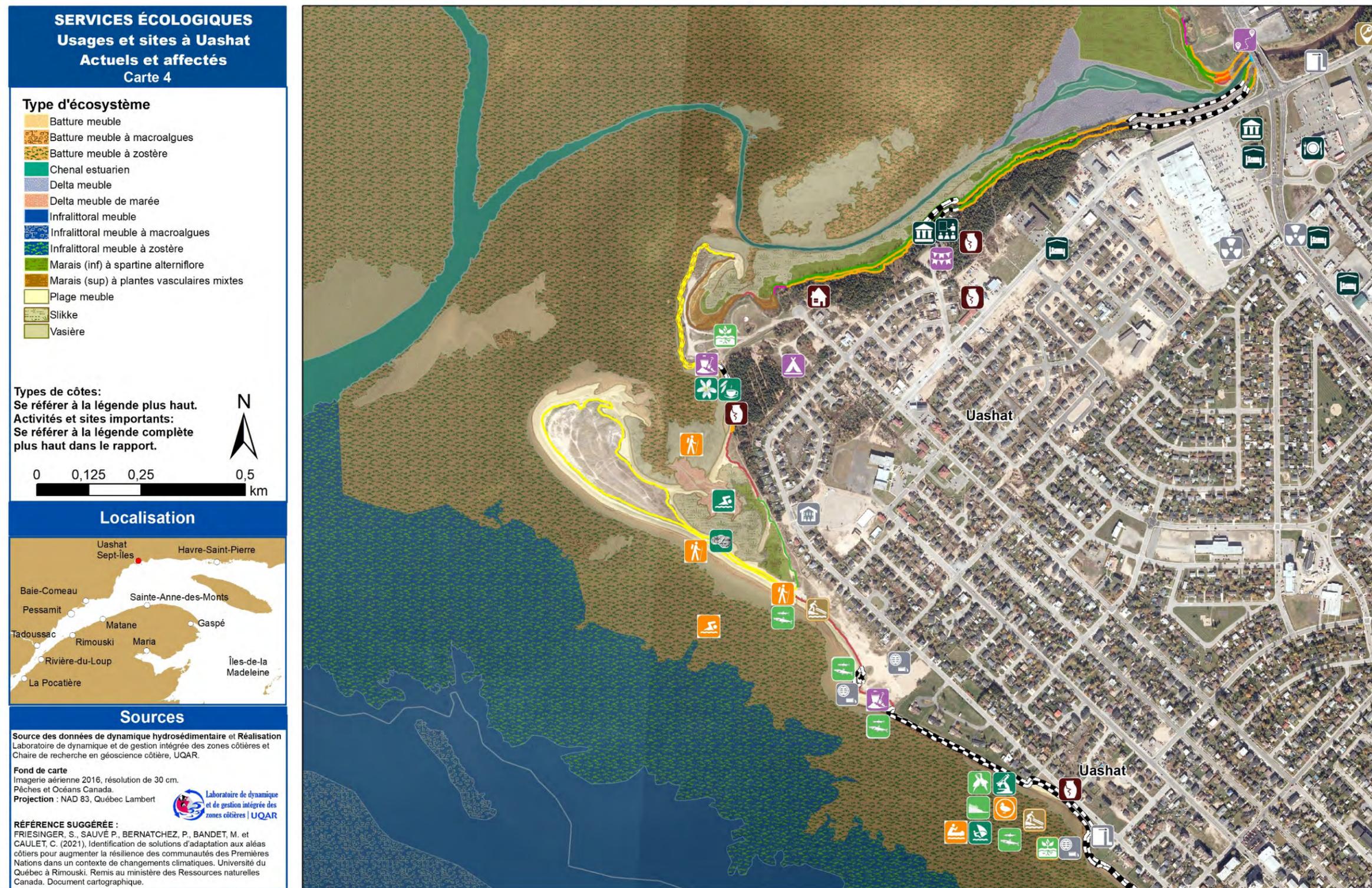


Figure 51. Services écologiques des écosystèmes côtiers, usages et sites actuels et affectés à Uashat (carte 4).

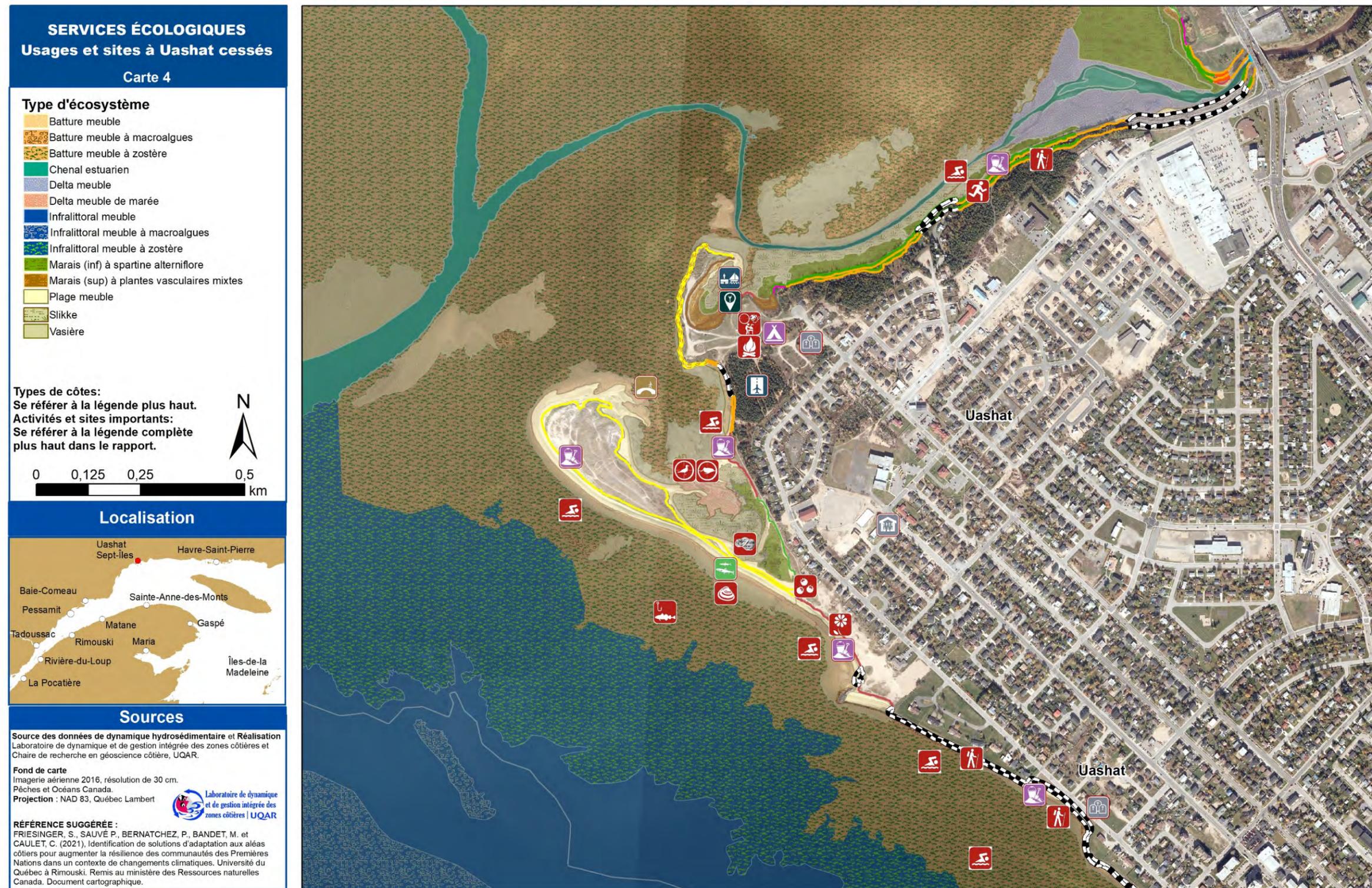


Figure 52. Services écologiques des écosystèmes côtiers, usages et sites cessés à Uashat.

4.2.5 Climat des vagues

4.2.5.1 Méthodologie

Les caractéristiques des vagues ont été générées par le modèle WaveWatch III (WW3) (Tolman et al 2014) au sein du LDGIZC dans le cadre du projet MoDESCo (Bernatchez et al, 2017; Bandet et al, 2020). Les données du modèle de vagues sont prises en compte ici, car il n'y a pas de données hydrodynamiques *in situ* disponibles.

Les sorties du modèle de vagues WW3 fournissent les caractéristiques des vagues qui sont définies comme étant la hauteur significative de vagues H_s , la période moyenne des vagues T_m , et la direction de provenance θ par rapport au nord géographique. WW3 fournit également les séries temporelles des niveaux d'eau, cependant ces derniers ne prennent pas en compte l'effet des variations de la pression atmosphérique sur les niveaux d'eau (effet du baromètre inverse). En effet, une diminution de la pression atmosphérique de 0.1 kPa engendre une surcote barométrique de 1 cm. Pour prendre en compte ces variations de la pression atmosphérique, les niveaux d'eau considérés pour cette étude sont donc ceux du marégraphe de Sept-Îles (station #02780, <https://www.tides.gc.ca/fra/station?sid=2780>), qui eux prennent en compte la surcote barométrique de manière intrinsèque.

WW3 permet de générer des séries temporelles de conditions de vagues à l'échelle de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent sur une grille de 1 km de résolution. La figure 53 présente la localisation des points de grille sélectionnés pour présenter la climatologie des vagues au large (point B) ainsi que dans la baie de Sept-Îles, vis-à-vis du secteur de Uashat (point A). Ce sont les données de vagues du point de grille situé dans la baie qui sont prises comme données de vagues en entrée du modèle XBeach pour l'analyse de submersion décrite dans la section 5.2.2 de ce rapport.

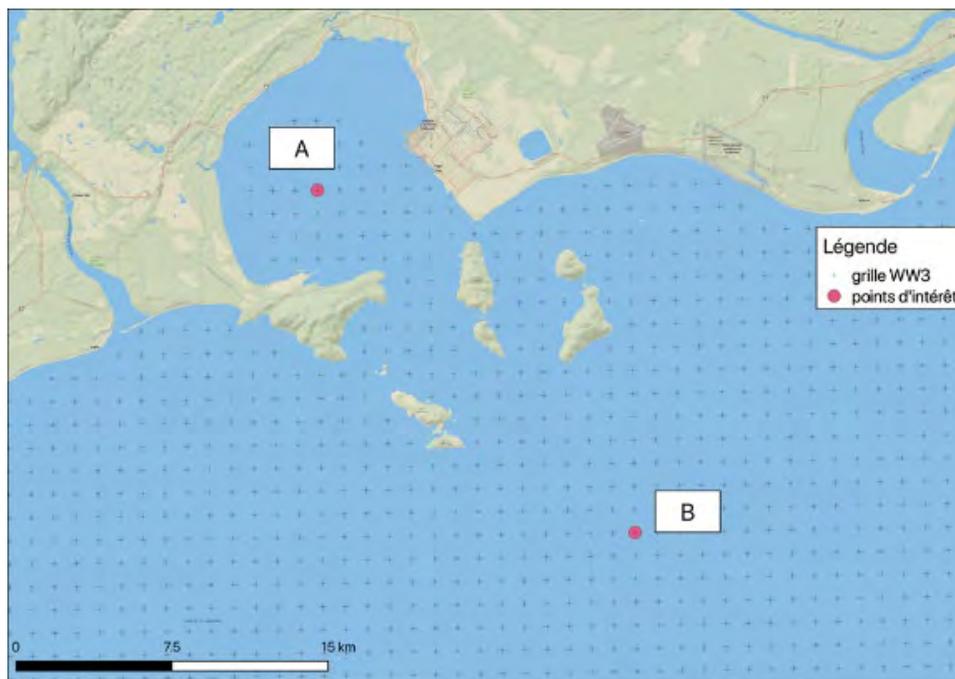


Figure 53. Localisation des points de grille utilisés pour caractériser le régime de vagues au large (B, 110 m de profondeur) et dans la baie (A, 22,7 m de profondeur), à proximité du secteur de Uashat.

Identification de solutions d'adaptation aux aléas côtiers pour augmenter la résilience des communautés des Premières Nations dans un contexte de changements climatiques:

Rapport final 2021

Dans les rapports Modesco II (Bernatchez et al, 2017) et MoDESCo III (Bandet et al, 2020), une validation des sorties du modèle de vagues est effectuée en comparant les caractéristiques de vagues à celles observées in situ par des courantomètres ou bouées hydrographiques. Il est montré qu'à certains endroits, notamment en eau peu profonde, un biais existe dans les sorties du modèle. Pour pallier ce biais, les données du modèle de vagues ont été comparées à des données in situ d'un courantomètre situé au large de la baie de Sept-Îles en 2010. Les données du modèle, à savoir la hauteur significative de vagues H_s , ainsi que la période moyenne T_m , ont été corrigées en appliquant des facteurs de correction pour l'ensemble de la période 1980-2017, comme suit:

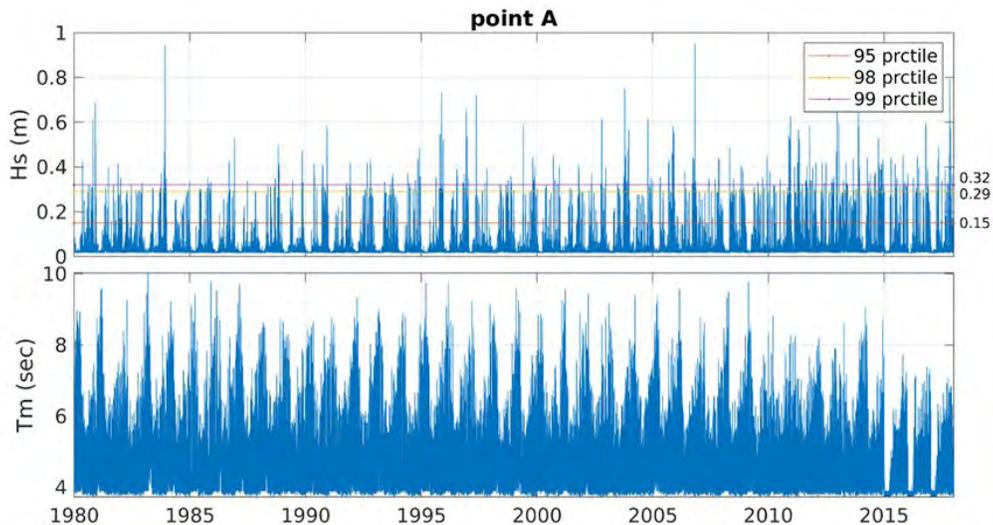
$$H_s = 0.5397 \cdot H_s + 0.0155$$

$$T_m = 0.4329 \cdot T_m + 3.01$$

Les directions des vagues montrent un biais négligeable et n'ont pas été corrigées.

4.2.5.2 Direction, fréquence et amplitude des vagues

Les figure 54 à figure 56 présentent la climatologie des vagues au large et dans la baie de Sept-Îles, aux 2 points de grille du modèle WW3 identifiés ci-dessus.



Identification de solutions d'adaptation aux aléas côtiers pour augmenter la résilience des communautés des Premières Nations dans un contexte de changements climatiques:
Rapport final 2021

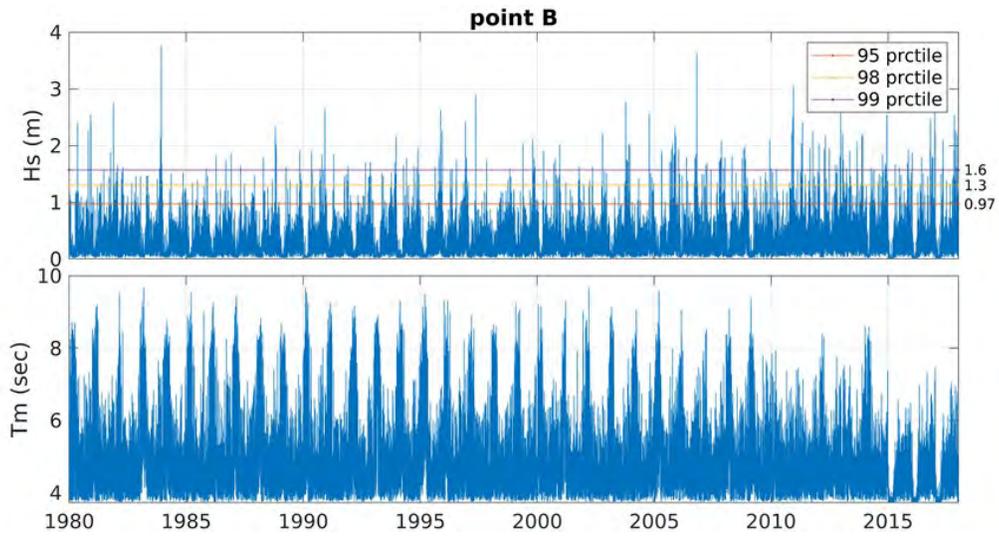
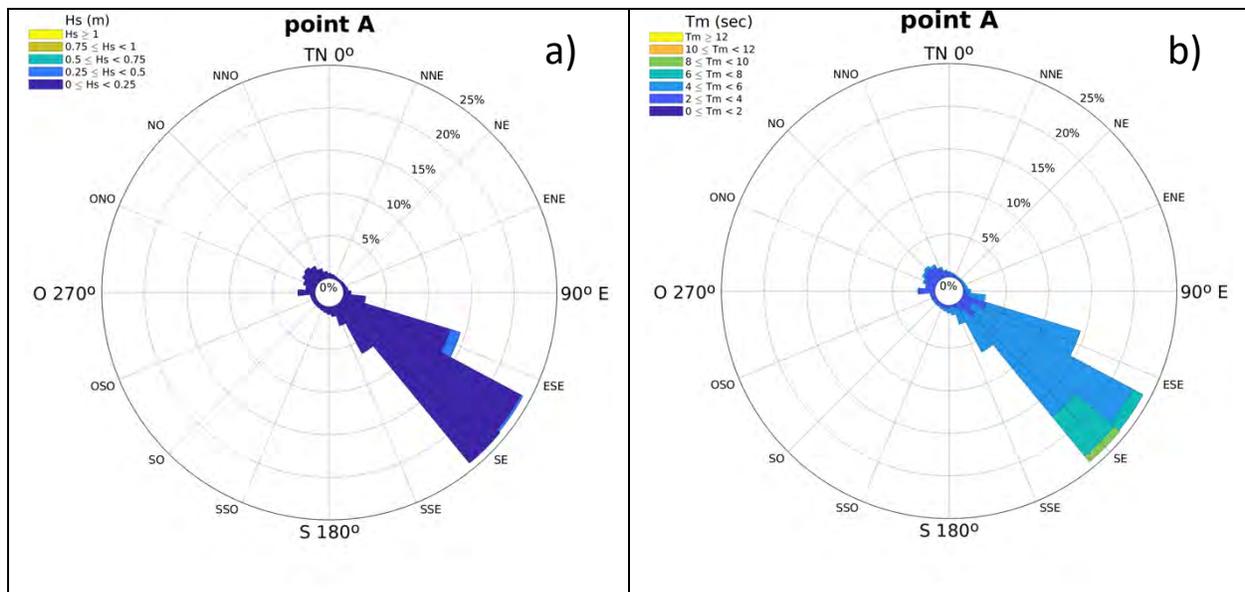


Figure 55. Séries temporelles des a) hauteurs significatives de vagues Hs et b) périodes moyennes Tm issues du modèle de vagues WW3 pour la période 1980-2017 au large.



Identification de solutions d'adaptation aux aléas côtiers pour augmenter la résilience des communautés des Premières Nations dans un contexte de changements climatiques:

Rapport final 2021

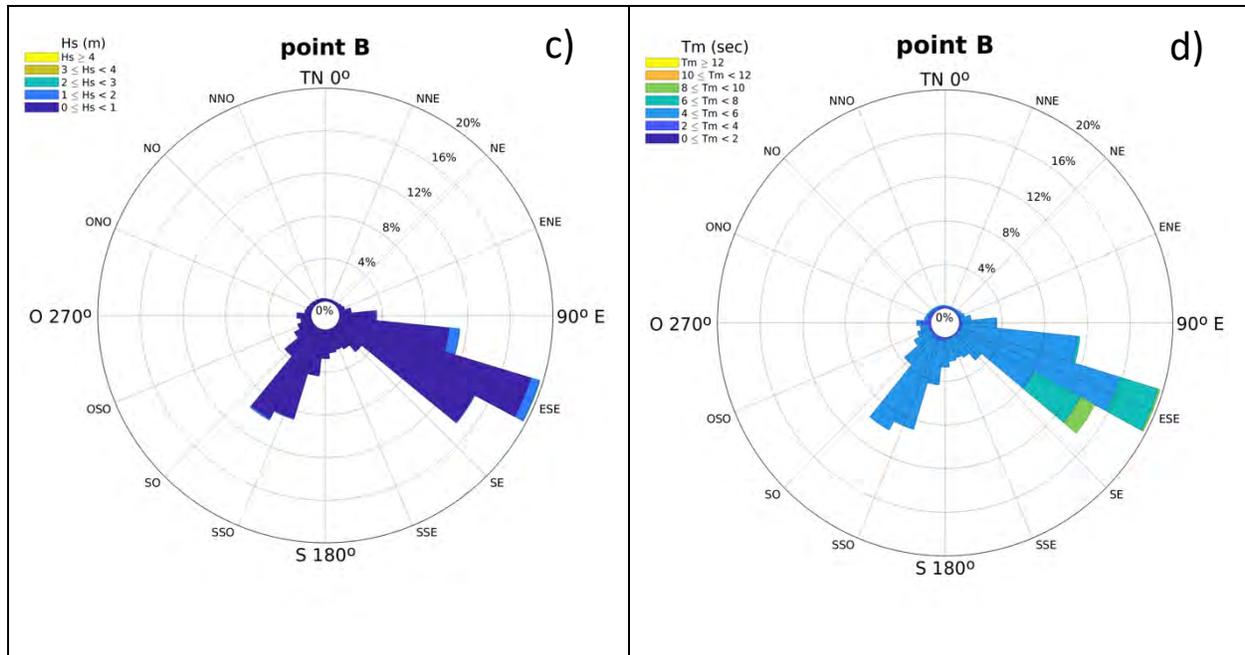


Figure 56. Caractéristiques des vagues au point A dans la baie et au point B au large; a) et c) Hs (hauteur significative) en fonction de la direction moyenne d'arrivée des vagues incidentes; et b) et d) Tm (période moyenne) en fonction de la direction moyenne d'arrivée des vagues incidentes (réf. nord géographique).

4.2.5.2.1 Régime de vagues au large

Le site est exposé à des vagues générées par des *fetchs*⁴ longs, venant de l'estuaire maritime du Saint-Laurent (provenant de la direction SO) et du golfe du Saint-Laurent (direction ESE).

Sur la figure 56, la climatologie des vagues est représentée sur un graphique similaire à une rose des vents. La section 3.2.4 indique comment lire un tel graphique.

La rose des vagues ci-dessus montre que, au large (panel c) les vagues arrivent de façon prédominante de l'est-sud-est (ESE) et du sud-sud-ouest (SSO). De la direction ESE, un peu plus de 18 % des vagues ont une hauteur significative inférieure à 1 m et un peu moins de 2 % ont une hauteur significative entre 1 et 2 m. En ce qui concerne la période (panel d), de cette direction ESE, 16 % des vagues ont une période moyenne entre 4 et 6 secondes et 4 % ont une période moyenne entre 6 et 8 secondes.

Si on élargit cette interprétation aux secteurs adjacents (autour de 100 et 120 degrés), on peut estimer que du secteur E-SE, un total de 50 % des vagues (en cumulatif) ont une hauteur de moins de 1 m et 40 % une période moyenne entre 4 et 6 secondes, et 4 % des vagues de ce secteur ont une hauteur significative supérieure à 1 m, 10 % ont une période moyenne entre 6 et 8 secondes et 2 % une période moyenne entre 8 et 10 secondes. Ces vagues proviennent de l'estuaire maritime et du golfe du Saint-Laurent.

⁴ Le fetch est la distance au-dessus d'une étendue d'eau sur laquelle le vent peut agir et former des vagues (Office québécois de la langue française).

Identification de solutions d'adaptation aux aléas côtiers pour augmenter la résilience des communautés des Premières Nations dans un contexte de changements climatiques:

Rapport final 2021

Des vagues proviennent également, même si en proportion un peu moindres, du secteur SSO. Environ 20 % des vagues proviennent de cette direction avec des hauteurs significatives inférieures à 1 m et une période moyenne entre 4 et 6 secondes.

Ces hauteurs significatives de vagues et périodes moyennes sont corroborées sur la figure 55. Les 95e, 98e et 99e percentiles ont été calculés pour l'ensemble des hauteurs significatives de vagues entre 1980 et 2017. La valeur du 50e percentile, correspondant à la moyenne de Hs (non montrée) est de 0,29 m. 5 % des vagues ont une hauteur significative supérieure à 0,97 m (valeur du 95e percentile), 2 % des vagues ont une Hs supérieure à 1,30 m et 1 % ont une Hs supérieure à 1,60 m. 5 % des vagues ont une période moyenne de 7,6 secondes et seul 1 % des vagues ont une période moyenne supérieure à 8,4 secondes.

4.2.5.2.2 Régime de vagues dans la baie de Sept-Îles

Pour ce qui est du régime de vagues dans la baie, on retrouve la direction d'arrivée des vagues incidentes du secteur prédominant SE-ESE (figure 56, a et b), qui a légèrement été modifiée par rapport au secteur de provenance des vagues au large dû à l'influence des îles et de la bathymétrie sur la direction de propagation des vagues (effet de diffraction). On ne retrouve pas, par contre, les vagues qui sont observées provenant du secteur SSO au large. Ces vagues sont filtrées par la Pointe Noire au sud-ouest de la baie (figure 53) qui sert de barrière naturelle et empêche la propagation des vagues de cette direction.

Plus de 75 % des vagues provenant des secteurs entre ESE et SSE ont une hauteur significative inférieure à 0,25 m et environ 3 % entre 0,25 et 0,75 m (figure 56, a). Plus de 55 % des vagues ont une période moyenne comprise entre 4 et 6 secondes, 6 % entre 6 et 8 secondes et 1 à 2 % entre 8 et 10 secondes (figure 56, b). 5 % des vagues ont une hauteur significative supérieure à 0,15 m (valeur du 95e percentile), 2 % des vagues ont une hauteur significative supérieure à 0,29 m et 1 % ont une hauteur significative supérieure à 0,32 m (figure 54). Les périodes moyennes des vagues restent du même ordre de grandeur, les valeurs du 95e et du 99e percentiles étant de 7,3 et 8,3 secondes, respectivement.

Les figure 57 à figure 60 présentent les caractéristiques de vagues à l'intérieur et au large de la baie de Sept-Îles lors des jours précédents et suivants les tempêtes du 6 décembre 2010 et du 30 décembre 2016, qui ont eu des effets dévastateurs sur le littoral (Quintin, et al, 2013).

Au large (figure 58), ainsi que dans la baie (figure 57), les prédictions de hauteurs de vagues ont atteint des niveaux records dépassant les valeurs des 99e percentiles explicités plus haut. Dans la baie, un Hs maximum de 0,52 m a été prédit par le modèle de vagues, tandis qu'au large, les hauteurs significatives prédites étaient de 2,5 m et 6,3 secondes le 5 décembre 2010 à 18h00 UTC.

Notez que les prédictions de hauteurs de vagues significatives maximales, tant au large que dans la baie, ne coïncident pas avec le moment où les niveaux d'eau étaient à leur maximum au marégraphe (6 décembre 2010, 18h30 UTC). À ce moment précis, les valeurs de Hs et Tm étaient de 1,68 m et 5,4 sec respectivement au large et 0,32 m et 4,1 sec dans la baie.

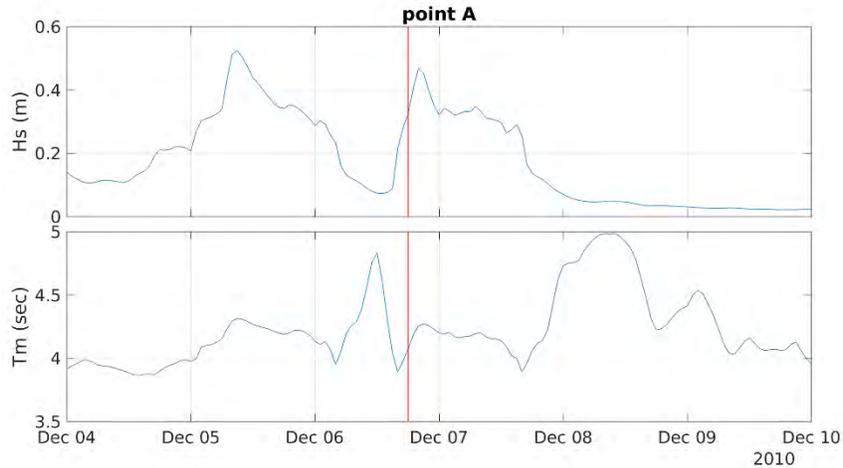


Figure 57. Séries temporelles des a) hauteurs significatives de vagues H_s et b) périodes moyennes T_m issues du modèle de vagues WW3 pour la tempête du 6 décembre 2010, au point A situé dans la baie de Sept-Îles. La ligne verticale rouge spécifie le moment où les niveaux d'eau ont atteint un maximum à 18h30 UTC au marégraphe de Sept-Îles.

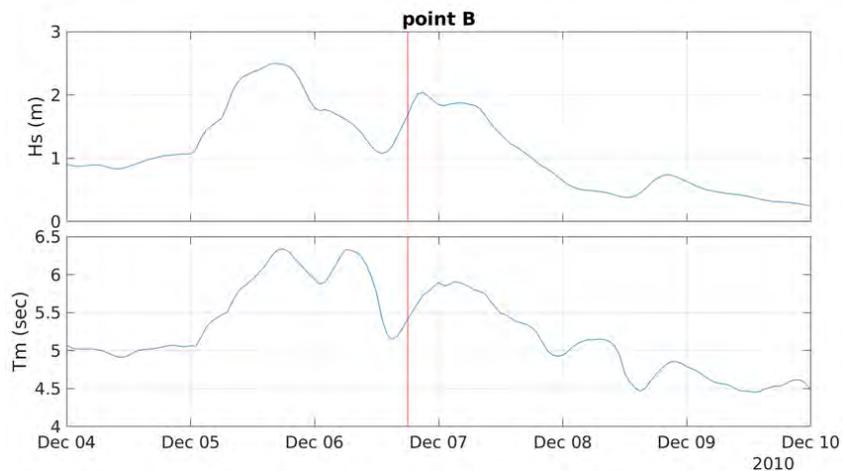


Figure 58. Séries temporelles des a) hauteurs significatives de vagues H_s et b) périodes moyennes T_m issues du modèle de vagues WW3 pour la tempête du 6 décembre 2010, au point B situé au large de la baie de Sept-Îles. La ligne verticale rouge spécifie le moment où les niveaux d'eau ont atteint un maximum à 18h30 UTC au marégraphe de Sept-Îles.

Lors de la tempête du 30 décembre 2016, les prédictions de hauteurs de vagues au large (figure 60), ainsi que dans la baie (figure 59), ont également atteint des niveaux records dépassant les valeurs des 99e percentiles. Notez que les prédictions de hauteurs de vagues significatives maximales, au large et dans la baie, coïncident approximativement avec le moment où les niveaux d'eau étaient à leur maximum au marégraphe (30 décembre 2016, 18h30 UTC). À ce moment précis, les valeurs de H_s et T_m étaient de 2,58 m et 6,5 secondes respectivement au large et 0,16 m et 4,1 secondes respectivement dans la baie.

Identification de solutions d'adaptation aux aléas côtiers pour augmenter la résilience des communautés des Premières Nations dans un contexte de changements climatiques:
Rapport final 2021

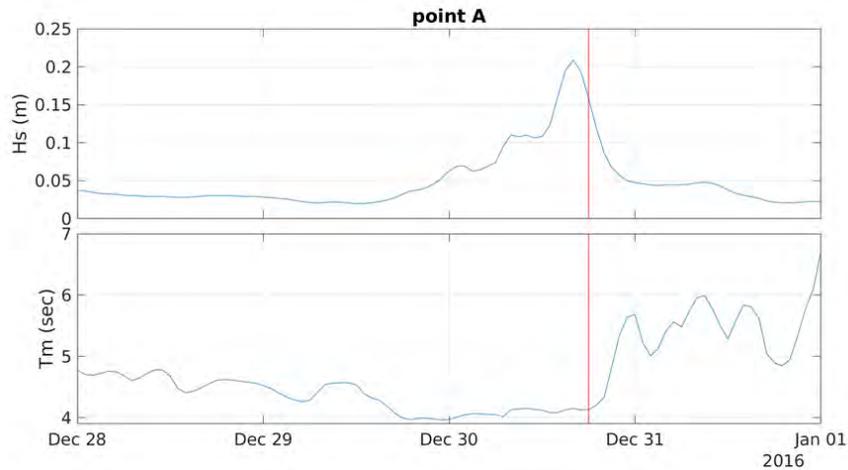


Figure 59. Séries temporelles des a) hauteurs significatives de vagues H_s et b) périodes moyennes T_m issues du modèle de vagues WW3 pour la tempête du 30 décembre 2016, au point A situé dans la baie de Sept-Îles. La ligne verticale rouge spécifie le moment où les niveaux d'eau ont atteint un maximum à 18h30 UTC au marégraphe de Sept-Îles.

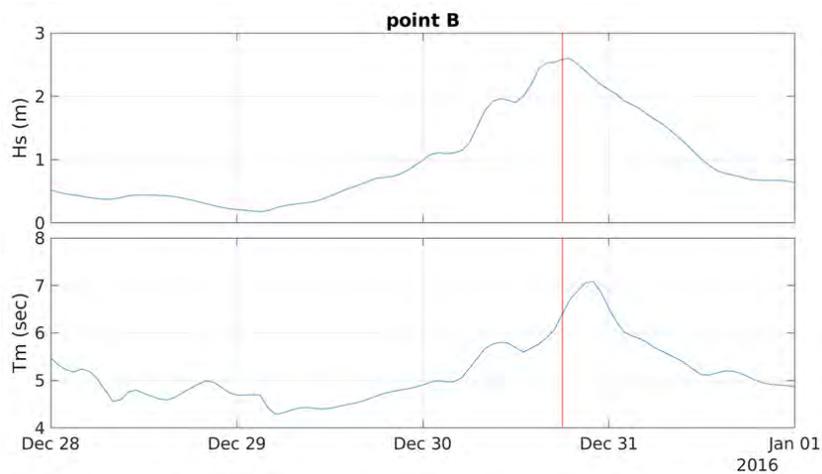


Figure 60. Séries temporelles des a) hauteurs significatives de vagues H_s et b) périodes moyennes T_m issues du modèle de vagues WW3 pour la tempête du 30 décembre 2016, au point B situé au large de la baie de Sept-Îles. La ligne verticale rouge spécifie le moment où les niveaux d'eau ont atteint un maximum à 18h30 UTC au marégraphe de Sept-Îles.

5 Analyse des risques côtiers

Étant donné les besoins exprimés par les communautés lors des ateliers concernant la cartographie des risques d'érosion côtière et de submersion côtière, nous avons réalisé une analyse pour chacun des aléas en question pour les deux communautés.

5.1 Analyse des risques côtiers à Pessamit

Cette section décrit l'analyse du risque d'érosion et de submersion côtières à Pessamit.

5.1.1 Analyse du risque d'érosion à Pessamit en fonction de l'exposition à l'érosion

L'analyse du risque d'érosion est basée sur le calcul de l'exposition à l'érosion. Ce calcul est effectué à l'aide de taux d'évolution historique. Le tableau 22 indique quelles années ont été utilisées pour effectuer le calcul de ce taux. L'intervalle la plus récente a donc été utilisée pour faire l'analyse, soit celle de 1996-2019 à Pessamit. Lorsque les imageries 2019 n'étaient pas disponibles à Pessamit, l'intervalle 1996-2016 a été analysée.

Les indicateurs tracés sur les imageries sont :

- 1) la limite supérieure des microfalaises ou des falaises actives;
- 2) la limite de la végétation dense dans les secteurs stables ou en accumulation;
- 3) la limite supérieure des ouvrages de protection, des quais et des remblais.

Tableau 22. Années des imageries utilisées à Pessamit

Année de prise de vue des imageries aériennes	Échelle
1996	1 :15 000
2016	Résolution 30 cm
2019	Résolution 40 cm

Le calcul d'exposition a été effectué selon les taux d'évolution historique qui ont été déterminés en positionnant des transects aux 50 m le long de la côte à Pessamit. À l'aide du logiciel *MobiTC*, une régression linéaire (OLS) pour des secteurs en mouvement (accumulation et érosion) ou un calcul de la distance entre deux lignes pour des secteurs seulement en érosion (EPR) ont été définis. Ensuite, une moyenne mobile représentant un taux d'évolution obtenue sur 150 m a été finalement retenue.

La cartographie de l'exposition à l'érosion côtière est basée sur l'équation suivante :

$$\text{Nombre d'années restantes} = \frac{\text{Distance de la côte} - \text{Recul événementiel}}{\text{taux de recul}}$$
$$\text{Année d'exposition} = \text{Nombre d'années restantes} + 2019$$

Une cartographie des infrastructures a été réalisée. Ainsi la distance entre chaque bâtiment et la ligne de rivage a été calculée pour ensuite appliquer l'équation de l'année d'exposition.

Identification de solutions d'adaptation aux aléas côtiers pour augmenter la résilience des communautés des Premières Nations dans un contexte de changements climatiques:

Rapport final 2021

Le tableau 23 montre le nombre de bâtiments et autres types d'infrastructures qui ont été inclus dans l'analyse de l'exposition à l'érosion. La classe d'exposition « actuellement exposé » se réfère à l'année de la photographie aérienne la plus récente datant de 2019. Les infrastructures vis-à-vis de l'enrochement situées derrière une falaise meuble végétalisée stable ou encore situées sur une côte rocheuse sans falaise sont classées comme « non exposé d'ici 2099 ». Ainsi nous considérons que l'enrochement sera entretenu pour assurer la stabilité de la falaise. Les bâtiments qui sont très loin de la ligne de côte et que leur année d'exposition est plus de 2099 sont classés également comme « non exposé d'ici 2099 ».

Nous présentons dans un premier temps les infrastructures actuellement exposées. Ce calcul tient compte d'un recul événementiel qui pourrait faire reculer la côte jusqu'à l'infrastructure. Un chalet situé au sud de la rivière Papinachois est actuellement exposé à l'érosion. Ce chalet est près d'une falaise meuble de sable sur argile (figure 61A). Le tuyau des eaux pluviales situé au bout de la rue Laletaut est une infrastructure actuellement exposée à l'érosion et a dû être réparé à la suite des tempêtes comme celle survenue en octobre 2018 (figure 61B). Le tuyau du surplus des étangs aérés de la rue Kessey est affecté par l'érosion de la falaise meuble sableuse. Le ruissellement concentré est le principal facteur provoquant l'érosion de la falaise (figure 61C). La mise à l'eau située dans l'estuaire de la rivière Betsiamites est sujette à l'érosion provoquée par la rivière et à l'érosion côtière (figure 61D).



Figure 61. Infrastructures actuellement exposées à l'érosion côtière

A) Chalet au sud de la rivière Papinachois (2017), B) Tuyau pluvial au nord de la communauté (2019), C) Tuyau du surplus des étangs aérés de la communauté (2019), D) Mise à l'eau dans l'estuaire de la rivière Betsiamites (2017).

(source : LDGIZC)

Ensuite, neuf infrastructures seront potentiellement exposées à l'érosion entre 2020-2029. Un chalet situé sur une terrasse de plage au sud de la rivière Papinachois est dans la classe d'exposition 2020-2029 (figure

Identification de solutions d'adaptation aux aléas côtiers pour augmenter la résilience des communautés des Premières Nations dans un contexte de changements climatiques:

Rapport final 2021

62A). Aussi, huit bâtiments seront exposés entre 2020-2029 à l'érosion côtière. De ces bâtiments dans la classe d'exposition 2020-2029, trois d'entre eux sont des résidences principales, trois autres sont des maisons mobiles appartenant au conseil de bande, une des maisons appartient aussi au conseil de bande ainsi que l'atelier du conseil de bande (figure 62B et C).



Figure 62. Infrastructures exposées entre 2020-2029.

A) Chalet au sud de la rivière Papinachois sur une terrasse de plage. B) 8 bâtiments sur la flèche littorale de Pessamit exposés entre 2020-2029 (2019). C) Les 8 mêmes bâtiments sur la flèche littorale exposés entre 2020-2029 (2017). (source : LDGIZC)

Pour continuer, la classe d'exposition 2030-2039 comprend 7 résidences principales situées sur la flèche littorale. Deux d'entre elles sont sur la rue Laletaut et sont situées de l'autre côté de la rue par rapport à la ligne de côte (figure 63). Les cinq autres résidences sont situées sur la rue Metssheteu.

Le bureau politique et le restaurant Penshu font partie de la classe d'exposition 2040-2049 ainsi que sept autres résidences principales. Si la tendance ce maintien, l'église, la station de pompage et un commerce seront exposés entre 2050 et 2059 (figure 63). Dix résidences font également parties de cette classe. La radio communautaire sur la rue Laletaut et la garderie située derrière font parties de la classe d'exposition 2060-2069 ainsi que cinq autres résidences principales. La dernière classe d'exposition (2070-2099) comprend trois résidences et le presbytère.

Identification de solutions d'adaptation aux aléas côtiers pour augmenter la résilience des communautés des Premières Nations dans un contexte de changements climatiques:

Rapport final 2021

Quarante et un bâtiments principaux et secondaires ainsi que la croix et le coin du terrain des étangs aérés sont dans la classe nommée « non exposée d'ici 2099 » en raison de la stabilité du terrain (rocheux) ou encore de l'absence de signe d'érosion (talus végétalisé). Douze infrastructures sont aussi considérées comme non exposées d'ici 2099 vu leur distance à la côte et l'année à laquelle elles seraient affectées (>2099).

En ce qui concerne les routes exposées à l'érosion, sur les 900 m de longueur de côte à l'étude, 408 m de segments routiers seront affectés entre 2030 et 2039. Ensuite, 139 m le seront dans la tranche d'années suivantes (2040-2049) alors que seulement 20 m de segments routiers seront exposés dès 2050. Entre 2060-2069 et 2070-2099, 100 m de segments routiers seront exposés à l'érosion. La longueur de route qui ne sera pas exposée d'ici 2099 représente 239 m.

Tableau 23. Classe d'exposition à l'érosion pour les infrastructures ponctuelles à l'étude

Classe d'exposition	Infrastructure	Nombre d'infrastructures
Actuellement exposée (2019)	Chalet	1
	Mise à l'eau	1
	Tuyau de rejet-Étangs aérés	1
	Tuyau pluvial	1
	Total	4
2020-2029	Bâtiment principal	3
	Chalet	1
	Entrepôt	1
	Maison mobile	3
	Maison publique	1
Total	9	
2030-2039	Bâtiment principal	7
	Total	7
2040-2049	Bâtiment principal	7
	Bureau politique	1
	Restaurant Penshu	1
	Total	9
2050-2059	Bâtiment principal	10
	Église	1
	Magasin et essence	1
	Station de pompage	1
	Total	13
2060-2069	Bâtiment principal	5
	Garderie	1
	Radio communautaire	1
	Total	7
2070-2099	Bâtiment principal	3
	Presbytère	1
	Total	4
Non exposée d'ici 2099	Bâtiment principal	43

Identification de solutions d'adaptation aux aléas côtiers pour augmenter la résilience des communautés des Premières Nations dans un contexte de changements climatiques:
Rapport final 2021

Bâtiment secondaire	2
Chalet	2
Coin du terrain des étangs aérés	1
Croix	1
Villégiature Papinachois	4
Total	53
<hr/>	
Total d'infrastructures à l'étude	106
<hr/>	

Tableau 24. Classe d'exposition à l'érosion pour les routes à l'étude

Classe d'exposition	Longueur de route (m)
2030-2039	408
2040-2049	139
2050-2059	20
2060-2069	50
2070-2099	50
Non exposée d'ici 2099	235
Total	902

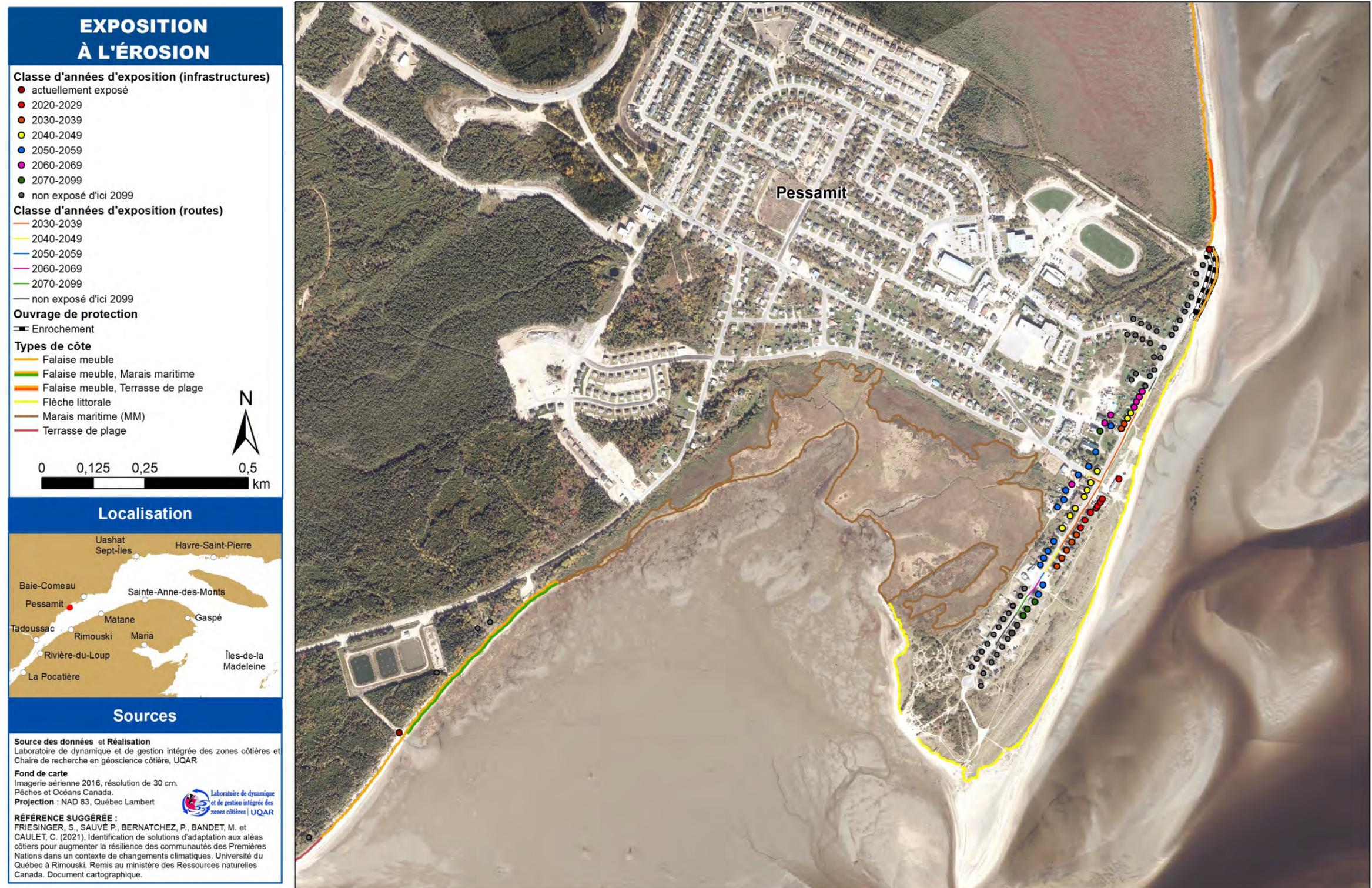


Figure 63. Infrastructures de la communauté de Pessamit exposées à l'érosion côtière et leur classe d'exposition.

5.1.2 Analyse du risque de submersion à Pessamit

Depuis quelques années déjà, la communauté de Pessamit signale et vit le risque de submersion sur la flèche littorale. Depuis 2010, deux gros évènements de tempête sont survenus sur la côte, soit le 6 décembre 2010 et le 30 octobre 2018. Durant ces évènements, l'atelier du conseil de bande ainsi que des sous-sols de plusieurs maisons ont été submergés et inondés. La station de pompage des eaux pluviales située sur la flèche littorale a dû être en fonction continuellement lors de la tempête la plus récente. Ces évènements ont augmenté l'inquiétude des résidents et du conseil de bande.

Des relevés sur le terrain ont donc été réalisés en juin 2019 dans le cadre d'un stage d'une semaine d'étudiants à la maîtrise et au doctorat pour évaluer le risque de submersion côtière à Pessamit.

5.1.2.1 Calcul du niveau d'eau total (NET) à partir d'équations empiriques et du modèle XBeach

Deux méthodes ont été utilisées pour calculer le niveau d'eau total (NET) à la côte pour les tempêtes du 6 décembre 2010 et du 30 octobre 2018, soit à partir d'équations empiriques et à partir de modélisation numérique avec XBeach. Ces méthodes ont pu être validées à partir de deux principales sources de données. Pour le 6 décembre 2010, le niveau maximal atteint par le jet de rive avait été photographié et tracé par un géomaticien de Pessamit à la suite de la tempête (Bacon, 2010). Ce niveau a été retracé dans un système d'information géographique en fonction de ces indications. Pour le 30 octobre 2018, une photo orthorectifiée prise par un drone dans les journées suivant l'événement était disponible. Le niveau du jet de rive a été tracé en fonction de la laisse de mer sur cette photo.

Plusieurs équations empiriques sont présentes dans la littérature scientifique pour estimer le niveau du jet de rive ($R_{2\%}$) parmi lesquelles sept ont été évaluées afin de sélectionner l'équation la plus adaptée aux conditions du secteur d'étude (tableau 25). Ces équations sont généralement basées sur trois paramètres : hauteur de vague au large (H_0) ; longueur d'onde au large (L_0) ; et la pente du haut estran ou de l'estran (β). À la lumière d'une analyse de sensibilité, l'équation de Vousdoukas *et al.* (2012) a été sélectionnée et utilisée pour calculer le niveau du jet de rive pour différentes périodes de retour qui a ensuite été additionné au niveau d'eau (NE) pour obtenir le niveau d'eau total (NET) pour chacune des périodes de référence (actuel, 2055, 2100) :

$$NET = R_{2\%} + NE$$

Tableau 25. Équations empiriques tirées de la littérature scientifique pour estimer le niveau du jet de rive et évaluées selon les conditions du secteur d'étude

Auteur	Équation
Holman (1986)	$R_{2\%} = 0.83\beta(H_0L_0)^{0,5} + 0.2H_0$
Ruggiero et al. (2001)	$R_{2\%} = 0.27(H_0L_0\beta)^{0,5}$
Stockdon et al. (2006)	$R_{2\%} = 1.1 \left(0.35\beta(H_0L_0)^{0,5} + \frac{([H_0L_0(0.563\beta^2 + 0.004)]^{0,5})}{2} \right)$
Vousdoukas et al. (2012)	$R_{2\%} = 0.53\beta(H_0L_0)^{0,5} + 0.58 \frac{\tan \beta}{\sqrt{H_0/L_0}} (H_0^3/L_0)^{0,5} + 0.45$
Paprotny et al. (2014)	$R_{2\%} = 1.29H_0 \left(\frac{\beta}{(H_0/L_0)^{0,5}} \right)^{0,72}$
Atkinson et al. (2017)	$R_{2\%} = 0.99\beta(H_0L_0)^{0,5}$ (M1 model with 0 intercept)
EGSL (2019)	$R_{2\%} = 1.13 \left[0.0055 \frac{(H_0L_0)^{0,5}}{\beta} + \frac{0.32(H_0L_0\beta)^{0,5}}{2} \right]$
EurOtop (EurOtop 2018)*	$R_{2\%} = 1.65H_0 \cdot 0,45 \left(\frac{\beta}{(H_0/L_0)^{0,5}} \right)$

*L'équation EurOtop est utilisée seulement pour le franchissement en bordure de l'enrochement.

L'application de l'équation de Vousdoukas et al. (2012) pour les événements de tempête du 6 décembre 2010 et du 30 octobre 2018, montre respectivement une sous-estimation de 14 cm et de 18 cm entre les NET mesurés et calculés (tableau 26)

Tableau 26. Conditions de vagues et niveau d'eau total obtenus avec l'équation de Vousdoukas et al. (2012) pour les événements de tempête du 6 décembre 2010 et du 30 octobre 2018

Tempêtes référentielles	NE (m)	H ₀ (m)	T ₀ (s)	λ ₀ (m)	NET _{mesuré} (m)	NET _{calculé} (m)
6 décembre 2010	2,99	2,14	5,19	42,02	3,96	3,82
30 octobre 2018	2,59	2,95	4,62	33,23	3,63	3,45

XBeach est un modèle couplant l'hydrodynamique et la morphodynamique pour simuler les processus côtiers et la variabilité entre différents types d'environnement côtier. Le mode hydrostatique a été employé pour la simulation réalisée dans la présente étude. XBeach a été forcé avec les conditions hydrodynamiques correspondant à une période de retour de 100 ans tirées des données modélisées à partir de WaveWatch III (WW3) en fonction du niveau d'eau actuel (Bernatchez et al., 2017). Il a surtout été utilisé pour comparer les sorties du modèle avec les données mesurées lors de la tempête de décembre 2010.

5.1.2.2 Calcul des périodes de retour

Des périodes de retour ont été calculées au moyen d'une analyse multivariée à partir des données de vagues au large (H_0) et de niveaux d'eau (NE) modélisées à partir de WW3 pour la période de 1980-2010 (Bernatchez et al., 2017). Une analyse de probabilité conjointe a été effectuée en fonction des maximums annuels atteints par H_0 et NE corrigés pour tenir compte des surcotes barométriques. Cette approche permet une meilleure représentation des risques (Sadegh et al., 2018). Les copules ont été utilisées pour faire cette analyse (De Michele, 2003). La probabilité conjointe associée à la distribution de Joe était la plus représentative de la série de données (Joe, 2014; Rayens et Nelsen, 2000). Ainsi, des périodes de retour de vagues et de niveaux d'eau ont été obtenues pour 2, 5, 10, 25 et 100 ans (Didier et al., 2019).

5.1.2.3 Projection de hausse du niveau marin relatif

Pour déterminer les conditions futures de submersion, le niveau marin relatif a été évalué pour Pessamit pour l'horizon 2055 et 2100 (tableau 27). La composante eustatique a été estimée à partir des prévisions publiées par le GIEC (Church et al., 2013). À des fins de gestion de risques, nous avons utilisé le scénario RCP8.5 du GIEC qui prévoit une hausse eustatique de 300 mm (2055) et de 740 mm (2100) par rapport à la période de référence de 1986-2005. Pour tenir compte des variations isostatiques de la croûte terrestre, nous avons utilisé les données modélisées pour le secteur de Pessamit de Peltier et al. (2015).

Tableau 27. Projection de hausse du niveau marin relatif à Pessamit

	2055 (sur 60 ans, par rapport à 1995)	2100 (sur 105 ans, par rapport à 1995)
Rehaussement de la croûte terrestre dans la région de Pessamit au taux de 0,286 mm/an proposé par Peltier et al. (2015)	17,16 mm	30,03 mm
Projection de hausse du niveau marin relatif par rapport à la période 1986-2006 (centré sur 1995)	283 mm	710 mm

5.1.2.4 Risque de submersion selon les modèles

La simulation Xbeach de la tempête du 6 décembre 2010 estime qu'un tel événement surviendrait à chaque 100 ans avec un niveau d'eau actuel et représente bien ce qui s'est produit en réalité (figure 66). Comme observé le 6 décembre 2010, un total de cinq infrastructures ont été submergées avec la sortie du modèle Xbeach. Sur le côté est de la flèche littorale, l'unique infrastructure à avoir été submergée est l'atelier du conseil de bande. Sur le côté ouest de la flèche littorale, à l'extrémité nord-est du marais, quatre infrastructures de type garage ou cabanon ont été submergées. Cependant, cette simulation Xbeach sous-estime l'impact de l'évènement surtout au niveau de l'atelier où l'on peut voir que l'eau s'est rendue derrière le bâtiment. Des photos pendant l'évènement ont été prises par le géomaticien du conseil de bande (M. Bacon) et l'eau se rendait jusqu'à la base du talus derrière l'atelier (figure 64). C'est pourquoi la modélisation empirique avec l'équation de Voudoukas et al. (2012) a été finalement retenue pour la cartographie du risque de submersion à Pessamit.

Identification de solutions d'adaptation aux aléas côtiers pour augmenter la résilience des communautés des Premières Nations dans un contexte de changements climatiques:

Rapport final 2021

Le niveau d'eau total calculé avec l'équation de Voudoukas et al. (2012) a été effectué pour chaque période de retour en fonction du niveau d'eau actuel et des niveaux d'eau projetés pour l'horizon 2055 et 2100 (tableau 28). On constate que la différence entre les NET des périodes de retour de 10 et de 100 ans est plutôt faible, se situant dans la marge d'erreur des modèles numériques de terrain utilisés pour la cartographie de la submersion. Ainsi seule la période de retour de 25 ans a été retenue pour la cartographie de la submersion côtière ainsi que l'horizon 2100.

Tableau 28. Niveau d'eau total calculé avec l'équation de Voudoukas et al. (2012) pour chaque période de retour en fonction du niveau d'eau actuel et des niveaux d'eau projetés pour 2055 et 2100

Périodes de retour (années)	NE (m)	H ₀ (m)	T ₀ (s)	L ₀ (m)	NET _{actuel} (m)	NET ₂₀₅₅ (m)	NET ₂₁₀₀ (m)
2	2,88	2,35	4,9	37,46	3,71	3,99	4,43
5	2,96	2,75	5,3	43,82	3,85	4,13	4,57
10	2,98	2,90	5,4	45,49	3,90	4,18	4,62
25	3,00	3,01	5,5	47,19	3,93	4,21	4,65
100	3,00	3,09	5,6	48,92	3,95	4,23	4,67

La figure 67 montre le nombre de bâtiments potentiellement atteints durant une tempête ayant les mêmes conditions que celle de 2010 et en y ajoutant une hausse du niveau marin projetée en 2100. Le tableau 29 dénombre les bâtiments pour chacune des classes. Au total, 50 bâtiments seraient exposés à la submersion côtière en 2100 et 6 seraient situés près de la nappe d'eau les mettant également à risque. Déjà en 2055, l'estimation serait de 40 bâtiments à risque de submersion.

On remarque que, lors de la tempête 2010, la rue Metsheteu fut inondée par le refoulement des égouts pluviaux (figure 65). Ceci est un impact important à prendre en compte puisque cette situation peut mettre en danger les résidents de la flèche littorale ayant alors la difficulté à évacuer leur maison ou à obtenir des secours. Ce refoulement a possiblement été causé entre autres par la pression exercée de la mer, ce qui a été également le cas pendant la tempête du 30 octobre 2018 où plusieurs sous-sols ont été inondés.



Figure 64. Photos prises lors de la tempête du 6 décembre 2010 (source : Conseil des Innus de Pessamit, 2010).

Identification de solutions d'adaptation aux aléas côtiers pour augmenter la résilience des communautés des Premières Nations dans un contexte de changements climatiques:
Rapport final 2021



Figure 65. Photos prises lors de la tempête du 6 décembre 2010 (source : Conseil des Innus de Pessamit, 2010).

Tableau 29. Classe d'exposition à la submersion et le nombre de bâtiments submergé selon les classes, simulation empirique du risque de submersion.

Classe d'exposition à la submersion	Nombre de bâtiments
Bâtiment submergé réellement en 2010	5
Bâtiment submergé (niveau d'eau actuel condition de tempête 2010)	30
Bâtiment submergé (niveau d'eau 2100 condition de tempête 2010)	15
Bâtiment près de la nappe d'eau 2100 condition de tempête 2010)	6



Figure 66. Modélisation Xbeach de l'évènement de tempête du 6 décembre 2010 avec une période de retour de 100 ans pour un niveau d'eau actuel. Le trait rouge est le niveau d'eau observé réel pendant la tempête.



Figure 67. Risque et exposition à la submersion sur la flèche littorale de Pessamit à l'horizon 2100 (modélisation empirique).

Identification de solutions d'adaptation aux aléas côtiers pour augmenter la résilience des communautés des Premières Nations dans un contexte de changements climatiques:

Rapport final 2021

5.1.2.5 Analyse des piézomètres

Pour évaluer le lien entre le niveau marin et la nappe phréatique et de vérifier l'hypothèse que les tempêtes peuvent générer une inondation par rehaussement de la nappe phréatique, trois (3) piézomètres de type *HOBO U20-001-04 Water level data logger* de la compagnie *ONSET* ont été installés à Pessamit en juin 2019. Deux (2) pour mesurer les variations de niveau d'eau de la nappe phréatique à deux endroits différents (numéro 2 sur la flèche et numéro 1 dans la communauté, plus reculé du bord du fleuve), et un autre pour mesurer la pression atmosphérique. Ce dernier permet de soustraire l'effet des variations de la pression atmosphérique sur les niveaux d'eau de la nappe phréatique (effet du baromètre inverse). La localisation et les détails des données sont récapitulés dans le tableau suivant ainsi que sur la figure 68 (tableau 30).

Tableau 30. Détails des piézomètres implantés à Pessamit en 2019-2020

1	S/N 2397424	5423267,48948	221279,01516	4,640 m	1/30 min	22-06-2019	11-08-2020
2	S/N 2316090	5422396,27070	221162,18583	-0,120 m	1 /30 min	21-06-2019	11-08-2020
3	S/N 9858469	5422395,80610	221176,52457	4,856 m	1 /30 min	21-06-2020	11-08-2020
	(atmo)						

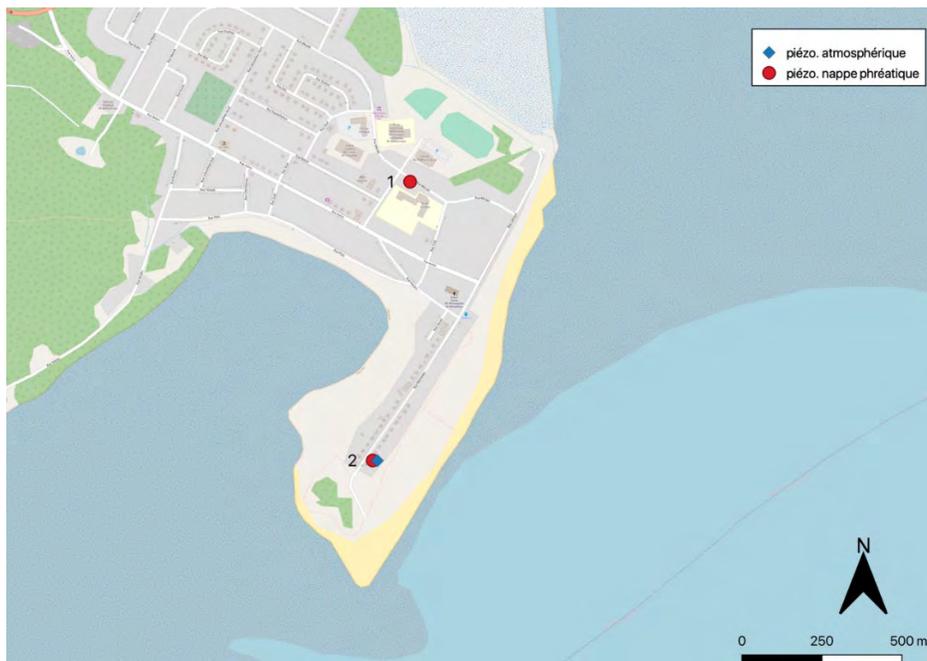


Figure 68: Localisation des piézomètres dans la communauté de Pessamit

Les données sont sauvegardées sur une carte interne aux instruments, en format *.hobo*, puis téléchargées à l'aide du logiciel *HOBOWare* et converties au format *.csv*. Le post-traitement se fait grâce au logiciel d'analyse *MATLAB™* dans lequel les données sont importées.

Identification de solutions d'adaptation aux aléas côtiers pour augmenter la résilience des communautés des Premières Nations dans un contexte de changements climatiques:

Rapport final 2021

Dans une première étape, la pression atmosphérique, enregistrée à une certaine altitude par le piézomètre numéro 3, est rapportée au niveau 0 m d'altitude pour pouvoir ensuite être utilisée. Dans un second temps, les données de pression des piézomètres, P_z , sont interpolées sur un vecteur temps commun avec le piézomètre atmosphérique, P_{atm} . La troisième étape consiste à convertir les données de pression en niveaux d'eau, Δh , selon la formule :

$$\Delta h = \frac{P_z - P_{atm}}{\rho g}$$

où ρ est la masse volumique (pour l'eau douce $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$) et g l'accélération de la pesanteur (à la surface de la Terre, $g = 9,81 \text{ m/s}^2$). Les niveaux d'eau sont présentés dans la figure 72.

Les figure 69 et figure 70 présentent les pressions et températures enregistrées à chaque piézomètre. Notez les variations de la pression atmosphérique (figure 69, en noir) qui oscillent entre 92 et 104 kPa, avec une moyenne autour de 101,11 kPa. Pour le piézomètre no. 1, les variations de pression varient entre 112 et 125 kPa et pour le piézomètre no. 2, entre 104 et 118 kPa. On peut deviner certaines corrélations entre le signal de pression atmosphérique et les piézomètres de la nappe phréatique, notamment lors de la tempête du 15 décembre 2019 où une baisse de pression a été enregistrée aux trois instruments (figure 69).

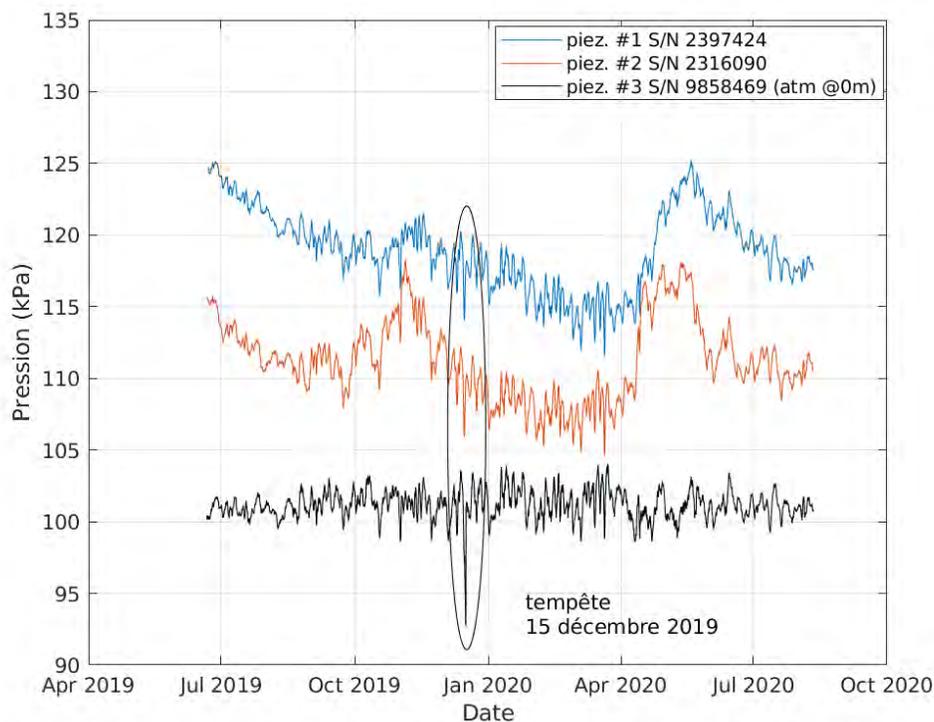


Figure 69: Séries temporelles de pression enregistrées par les piézomètres

Pour ce qui est de la température, les cycles diurnes (oscillations à haute fréquence) ainsi que saisonniers (signal basse fréquence) s'observent facilement sur les enregistrements du piézomètre no. 3 : une température autour de 20 degrés en moyenne en été (juillet 2019), qui diminue progressivement vers une

moyenne de -10 degrés en hiver (janvier 2020), puis qui remonte doucement vers l'été suivant. La nappe phréatique ne montre pas ces oscillations diurnes, probablement à cause de l'inertie thermique engendrée par la géologie environnante de la nappe phréatique. Le cycle saisonnier peut s'observer, avec un décalage temporel dans les pics : pic en octobre pour le piézomètre no. 2 et en novembre pour le piézomètre no. 1 pour ce qui concerne le pic de l'été (enregistré en août pour l'atmosphère), puis en avril et juin respectivement pour ce qui est du pic des températures basses hivernales (enregistré en janvier /février pour l'atmosphère).

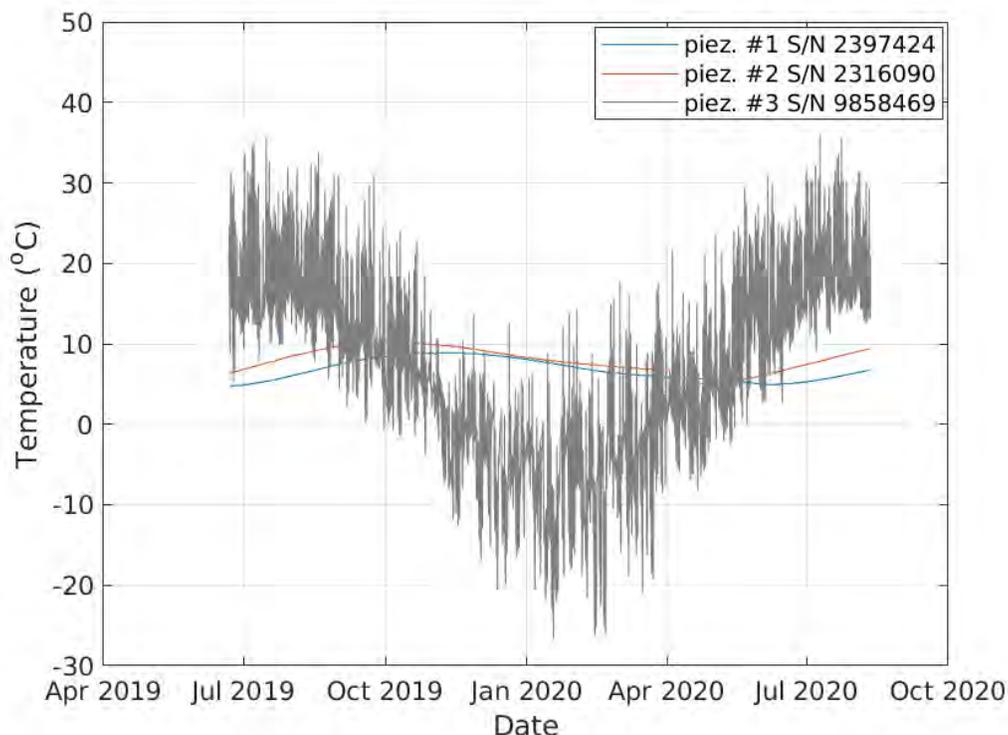


Figure 70: Séries temporelles de température enregistrées aux piézomètres

5.1.2.6 Analyse harmonique avec T_TIDE

La boîte à outils T_TIDE (Pawlowicz et al, 2002) sous MATLAB™ a été utilisée pour effectuer une analyse harmonique sur les séries temporelles de niveaux d'eau de chaque piézomètre. Cette analyse harmonique permet d'identifier les composantes principales périodiques qui constituent le signal. Dans un premier temps, on procède à une analyse spectrale des niveaux d'eau, qui permet d'obtenir leur contenu en fréquences (spectre).

L'analyse a été effectuée sur les séries temporelles de niveaux d'eau au complet (environ une (1) année de données) ainsi qu'en les découpant en morceaux de 15 à 30 jours. Dans ce dernier cas, le spectre est alors calculé sur chaque morceau de la série temporelle puis moyenné.

La figure 71 présente les spectres des niveaux d'eau pour chacun des scénarios décrits ci-dessus. Dans le panneau b) les courbes en gris représentent les spectres sur les morceaux de 30 jours, les courbes en bleue

Identification de solutions d'adaptation aux aléas côtiers pour augmenter la résilience des communautés des Premières Nations dans un contexte de changements climatiques:

Rapport final 2021

et rouge, les valeurs moyennées pour chaque fréquence. Dans les deux scénarios, les signaux de périodes 24h, 12h et 8h ont été identifiés comme étant les principaux composants des variations des niveaux d'eau. Ces valeurs correspondent à des périodes de marées connues, telles les composantes diurnes (O1, P1, K1, Q1) et les périodes semi-diurnes (S2, M2, K2, N2). La période de 8h correspond à la composante SK3, qui est une "marée composée", construite à partir de plusieurs composantes.

Il est à noter que l'analyse harmonique effectuée sur les niveaux d'eau d'une année montre également une influence de cycles de périodes plus longues que 24h, notamment les composantes semestrielles (*solar semiannual* ou SSA) et annuelles (*solar annual* ou SA), mais la série temporelle est trop courte pour effectuer des statistiques. Il faudrait une série temporelle de quelques années pour effectuer une analyse sur les longues périodes des marées.

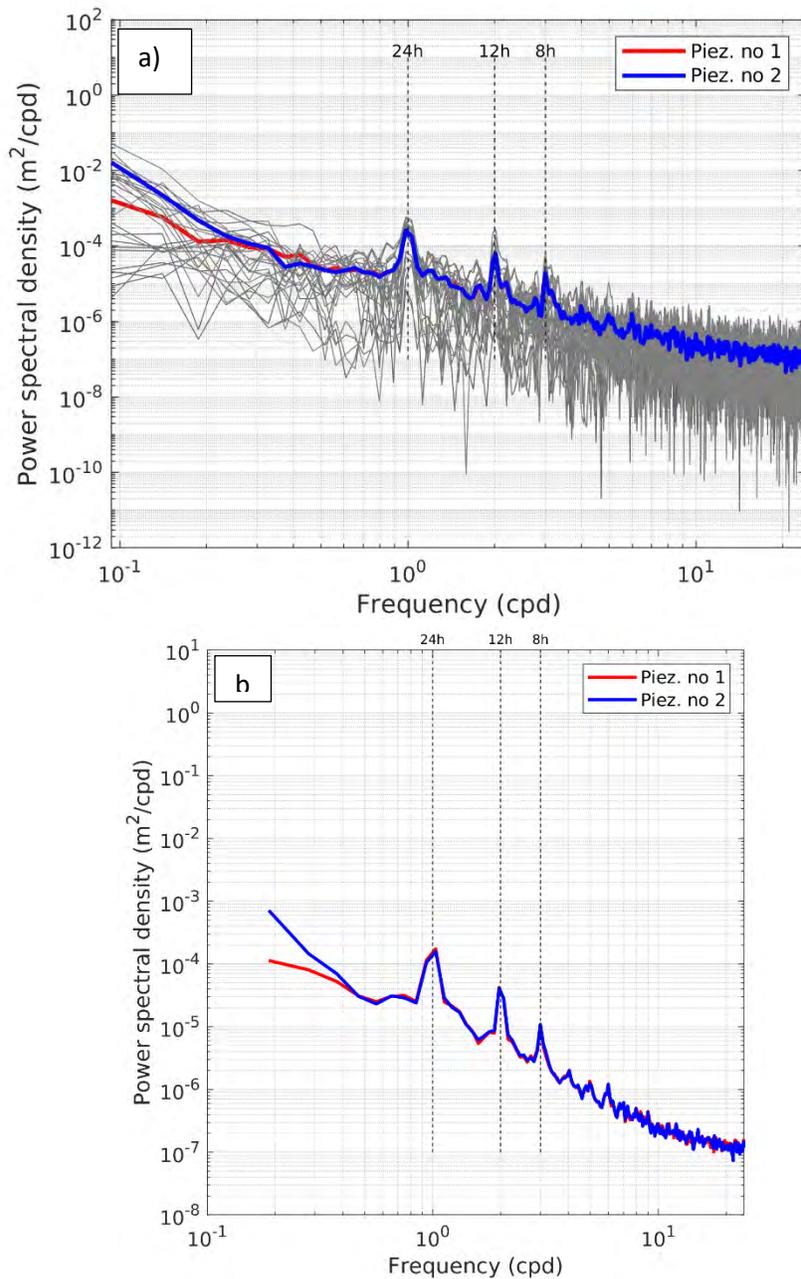


Figure 71: spectres des niveaux d'eau effectués sur : a) toute la longueur de la série temporelle (environ 1 an) b) sur des morceaux de 30 jours

La fréquence d'échantillonnage est d'une (1) mesure aux 30 minutes, ce qui ne permet pas de différencier de façon précise quelle composante de marée diurne est la plus dominante. En effet, les principales composantes des marées diurnes sont M2, S2, N2, et K2, qui ont comme périodes respectives 12.4206 h, 12.0000 h, 12.6583 h, et 11.9672 h. De la même manière, les composantes principales semi-diurnes K1 et P1 ont des périodes respectives de 23.9345 h et 24.0659 h. Si la fréquence d'échantillonnage est élevée à 10 voire 5 minutes, il serait alors possible d'effectuer une analyse plus précise sur l'influence de chaque composante diurne et semi-diurne.

La figure 72 montre la reconstitution des variations des niveaux d'eau à partir des composantes identifiées dans T_TIDE ayant le plus de contribution (rapport signal/bruit de 2). Les variations au premier ordre sont relativement bien respectées pour chaque piézomètre.

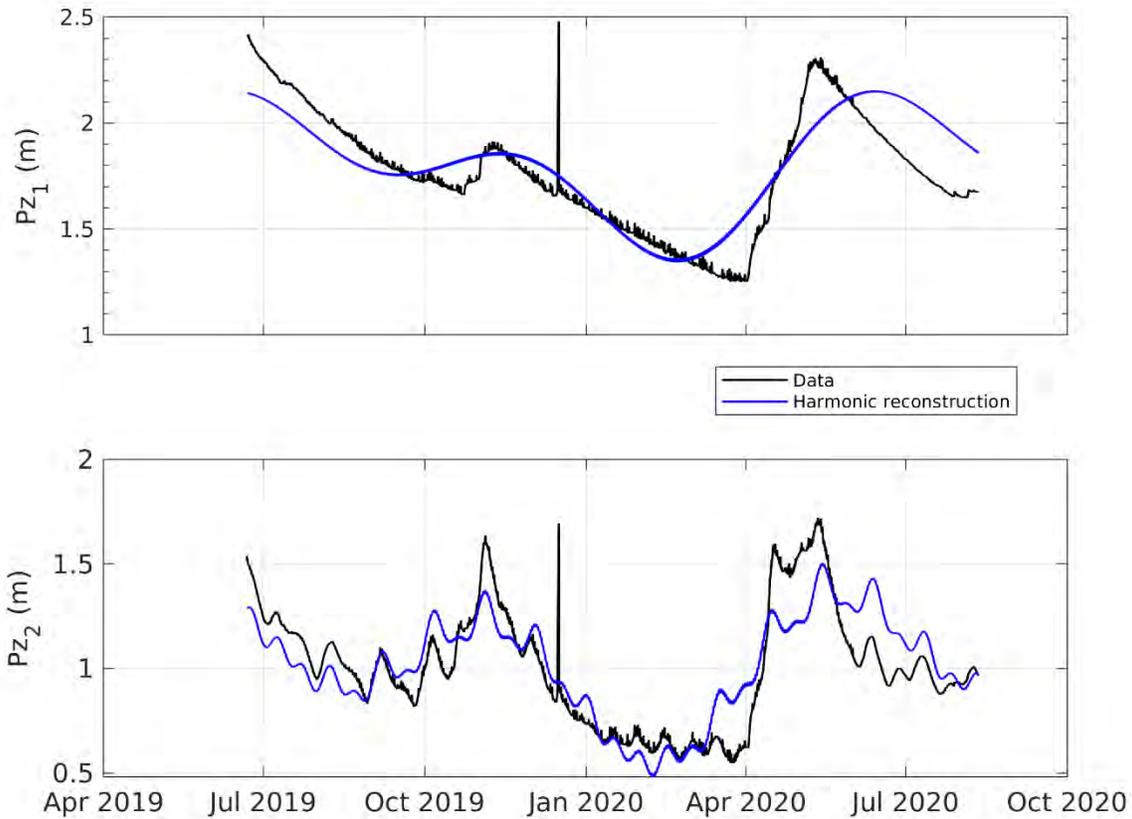


Figure 72: Séries temporelles de niveaux d'eau déduites des mesures aux piézomètres. Superposée en bleu est la reconstruction harmonique réalisée à partir des composantes périodiques dominantes identifiées dans T_TIDE.

Cette analyse nous montre que la pression exercée par les marées est ressentie sur les piézomètres qui indiquent les variations du niveau de la nappe phréatique. Donc, si lors des tempêtes le niveau d'eau est plus élevé en raison d'une basse pression et de la marée haute comme on l'a connu durant la tempête du 6 décembre 2010 (Quintin, et al, 2013), le risque d'inondation sur la flèche littorale par la nappe phréatique est élevé. Les données des piézomètres montrent donc que le phénomène d'inondation par la nappe phréatique en période de tempête est un risque réel pour le secteur de la flèche littorale. De plus, dans le contexte de la hausse du niveau de la mer, ce risque sera aussi plus grand dans le futur.

5.2 Analyse des risques côtiers à Uashat

Dans cette section, l'exposition et le risque de l'érosion côtière ainsi que la submersion côtière à Uashat sont analysés. Les données historiques de l'évolution côtière et des niveaux d'eau observés lors de tempêtes survenues à Uashat ont été utilisés pour estimer l'exposition des bâtiments et des routes aux aléas côtiers. Les risques côtiers sont donc fonction de l'exposition des infrastructures aux deux aléas côtiers et de l'estimation des impacts de l'érosion et de la submersion futures jusqu'en 2100.

5.2.1 Analyse du risque d'érosion côtière en fonction de l'exposition à l'érosion

L'exposition à l'érosion a été calculée en fonction d'un taux de déplacement historique entre 1996 (photographie aérienne 1 :15 000) et 2017 (imagerie satellite WVIEWS résolution 30 cm) au niveau de la terrasse de plage en face de la communauté. Pour ce qui est des falaises meubles, l'intervalle utilisée a été 1996-2014 (LIDAR 2014 résolution 1m). Pour calculer la classe d'exposition, on prend la distance du bâtiment ou de la route à la côte (ligne de côte 2017), on y soustrait le recul événementiel observé selon le type de côte et l'on divise par le taux de déplacement défini par une moyenne mobile le long de la côte du taux de recul annuel trouvé par la différence entre la ligne de côte 1996 et 2017 ou 2014.

$$\text{Nombre d'années restantes} = \frac{\text{Distance de la côte} - \text{Recul événementiel}}{\text{taux de recul (moyenne mobile)}}$$

$$\text{Année d'exposition} = \text{Nombre d'années restantes} + 2017$$

Le long des falaises meubles de Uashat, le résultat de l'équation est :

$$0 \text{ an} = \frac{\text{Entre } 0 \text{ et } 12 \text{ m} - 15 \text{ m}}{m/\text{an}}$$

Ce qui indique que les bâtiments au sommet de la falaise meuble sont actuellement exposés à l'érosion puisqu'ils sont à l'intérieur de la valeur du recul événementiel potentiel pour ce type de côte.

En ce qui concerne la terrasse de plage devant la communauté, le résultat de l'équation se traduit comme suit pour chacun des bâtiments présents :

$$\text{Nombre d'années restantes} = \frac{53 \text{ à } 147 \text{ m} - 24,6 \text{ m}}{\text{entre } 1,3 \text{ à } 2,7 \text{ m/an}}$$

Ensuite, le nombre d'années restantes doit être additionné à l'année de l'image aérienne qui à Uashat est 2017. Le tableau 28 et le tableau 29 et la figure 76 montrent les infrastructures exposées à l'érosion côtière selon les horizons de temps auxquels on estime qu'elles seront affectées par l'érosion. Un total de 133 bâtiments a été analysé sur une frange de 150 m de la zone côtière. Parmi les bâtiments à l'étude, 99 ne seront pas exposés à l'érosion d'ici 2099. Du côté de la falaise meuble, cinq bâtiments sont actuellement exposés dont 4 infrastructures patrimoniales et un immeuble à logements (figure 73). Cet immeuble est considéré comme étant actuellement exposé à l'érosion, mais la falaise meuble a été enrochée ce qui diminue le risque d'érosion. Il est cependant important d'assurer l'entretien de l'enrochement pour maintenir le niveau de risque bas.

Du côté de la terrasse de plage située en face de la communauté, 28 résidences sont ou seront exposées à l'érosion d'ici 2099. Le tableau 29 mentionne le nombre de résidences situées sur la terrasse de plage et leur classe d'exposition à l'érosion. Une résidence est actuellement exposée derrière la flèche littorale où une terrasse de plage à marais maritime caractérise la côte. Cette résidence est exposée puisqu'elle se situe à moins de 24,6 m, valeur qui représente le recul événementiel en bordure de ce type de côte. Cependant, cet endroit ne subit pas encore beaucoup d'érosion puisqu'il est protégé par la flèche littorale. Nous verrons dans la section plus bas sur les risques de submersion côtière qu'avec les changements climatiques et la hausse du niveau marin prévue, cette flèche littorale peut être submergée dans les événements de tempêtes. D'ailleurs, un début de brèche s'est formé lors de la tempête du 30 décembre 2016. Maintenant, la partie proximale attachée à la côte subit des changements dans son élévation. Les profils de plage qui ont été générés avec les lidars 2020 (LDGIZC) et de 2013 (ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, MFFP du Québec) de la figure 78, la figure 79, la figure 80, la figure 81 et la figure 82 montrent comment entre 2013 et 2020 l'altitude géodésique de la flèche et de la terrasse de plage s'est modifiée (figure 77). On voit que les sédiments de la plage se sont déplacés vers les terres entre 2013 et 2020. Pour les profils 17 à 21 (figure 78), la zone située entre les distances 10 et 30 ou 40 m selon les profils montre un abaissement de la plage et un rehaussement vers les distances 30 ou 40 m à 60 m. Il semble donc y avoir eu un déplacement latéral de la crête de la plage et parfois même un abaissement de son sommet d'environ 50 cm (profil 19 et 20). En ce qui concerne les changements observés aux profils 22 à 26, la zone d'abaissement se trouve plus près du début du profil (vers la mer), soit entre les distances 0 à 20 ou 30 m et la plage s'est accrue à partir de la distance 20 ou 30 m pour finalement se stabiliser vers les 60 m de distance sur le profil. Les profils de plage 27 à 31 se sont déplacés d'environ 20 m par translation vers les terres. Comme on peut voir sur la figure 75, la modélisation Xbeach des tempêtes du 6 décembre 2010 et celle du 30 décembre 2016 nous permettent de renchérir sur la formation d'une brèche à 17h00 au niveau des profils 24 et 25. Une autre zone de forte érosion est visible vis-à-vis des profils 20 et 21 à 18h00 pour les deux simulations de tempête. Des zones d'accrétion (dessinées en rouge) vers le côté intérieur de la flèche littorale sont présentes. Ces zones peuvent être comparées aux profils de plage qui se sont modifiés et déplacés vers les terres entre 2013 et 2020.

En bordure de la terrasse de plage, les profils montrent qu'il y a eu moins de déplacement des sédiments, mais un abaissement de la partie inférieure de la plage (environ 0,80 m à 1 m) et moins d'accumulation sur le haut de plage ou la terrasse de plage (autour de 0,50 m) (figure 81 et figure 82).

Tableau 31. Bâtiments exposés et non exposés d'ici 2099 situés le long de la falaise meuble.

Classe d'exposition	Type de bâtiments	Nombre de bâtiments
Actuellement exposé	Infrastructure patrimoniale	4
	Immeuble à logements	1
	Total	5
Non exposé d'ici 2099	Commerce	6
	Industrie	1
	Infrastructure patrimoniale	6

Identification de solutions d'adaptation aux aléas côtiers pour augmenter la résilience des communautés des Premières Nations dans un contexte de changements climatiques:
Rapport final 2021

Patrimonial	1
Résidence	28
Service public	4
Total	45

Tableau 32. Résidences exposées et non exposées d'ici 2099 situées le long de la terrasse de plage.

Classe d'exposition	Nombre de bâtiments
Actuellement exposé	1
2020-2029	1
2030-2039	6
2040-2049	4
2050-2059	6
2060-2069	4
2070-2099	6
Non exposé d'ici 2099	54
Total de bâtiments	82



Figure 73. Bâtiments exposés à l'érosion le long de la falaise meuble (photos obliques hélicoptères 2017). La photo du haut : site patrimonial du Vieux-Poste et la photo du bas : Immeuble à logement Aussi protégé par un enrochement dans la falaise meuble.



Figure 74. Résidences exposées au niveau de la terrasse de plage à Uashat (photo oblique héliportée 2017).

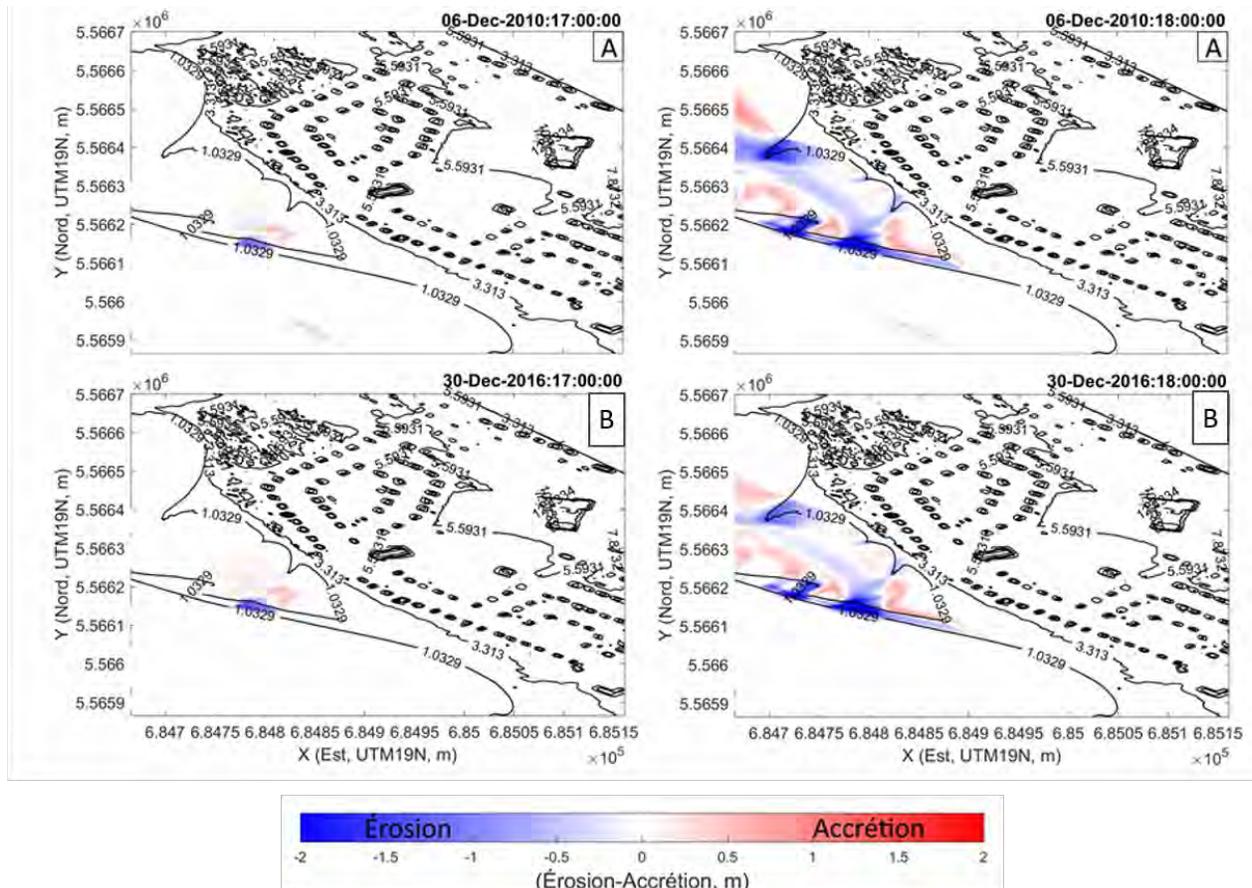


Figure 75. Modélisation de l'érosion et de l'accrétion à 17h00 et à 18h00 pour la tempête du 6 décembre 2010 (A) et pour la tempête du 30 décembre 2016 (B). Les iso-contours (lignes noires) sont aussi indiqués (en mètre, CGVD28).

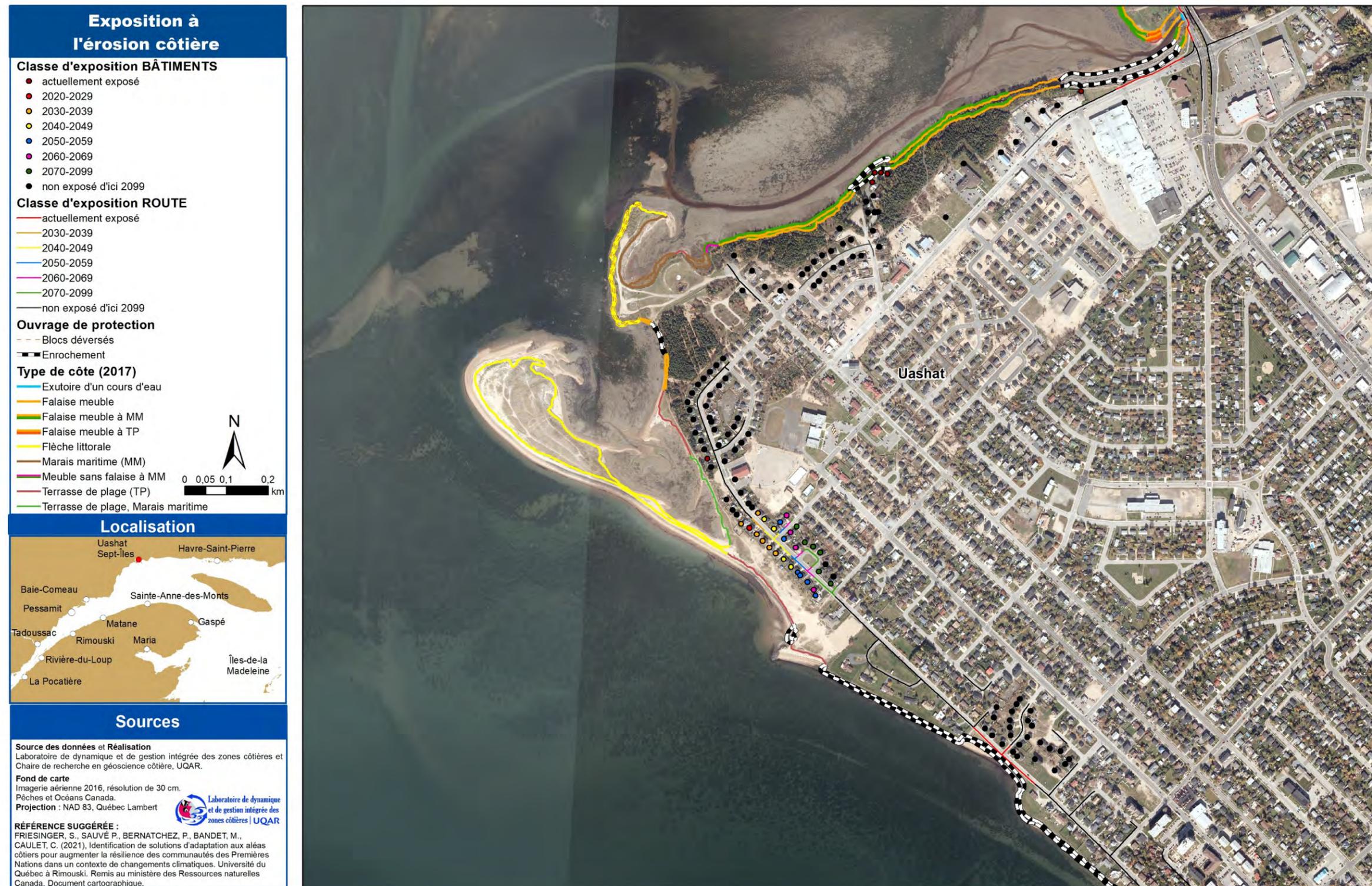


Figure 76. Bâtiments et segments de route exposés à l'érosion selon des classes d'exposition (Uashat).

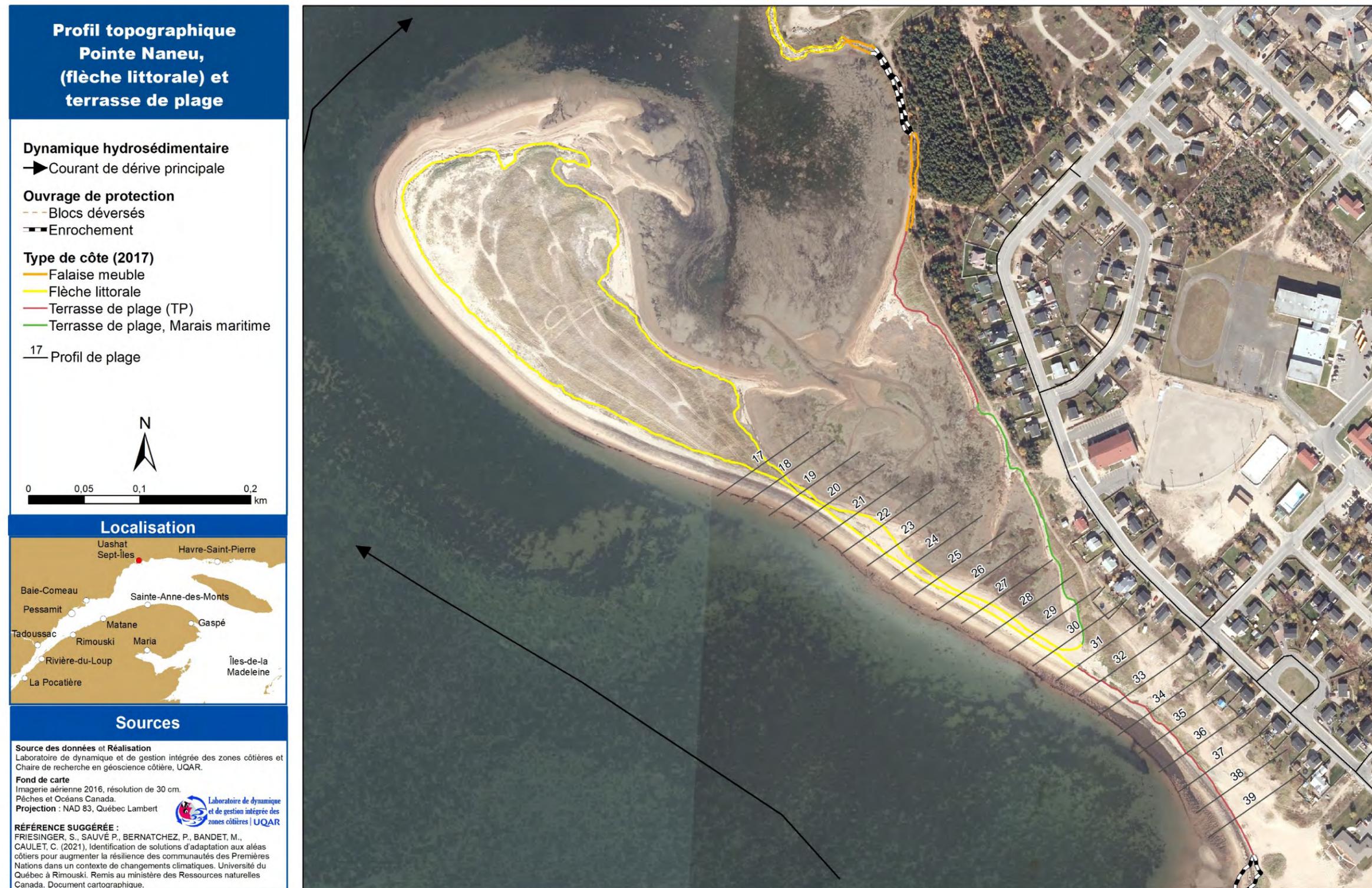


Figure 77. Localisation des profils de plage sur la flèche littorale et la terrasse de plage.

Profil 17 à 21

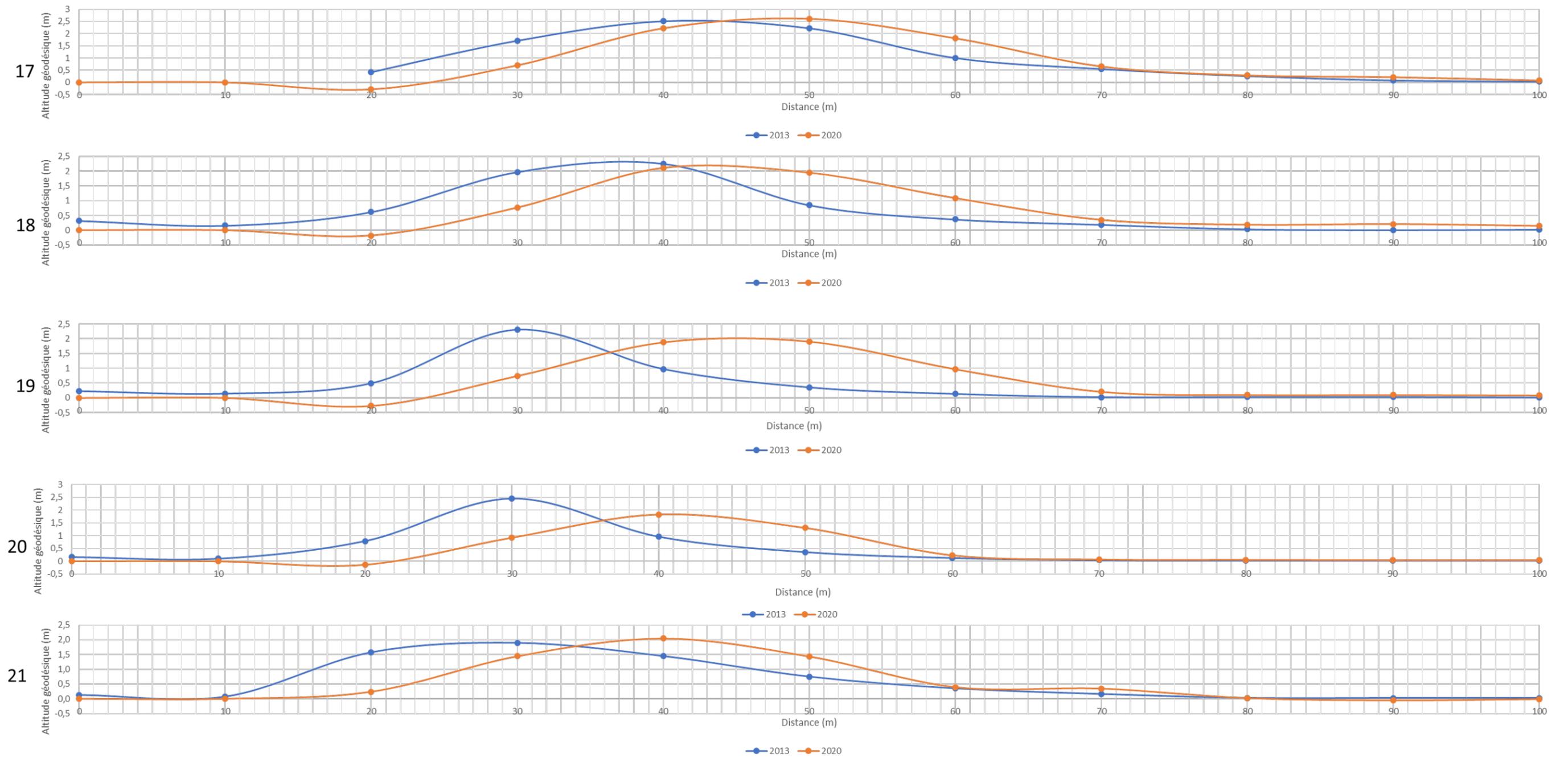


Figure 78. Profil de plage 17 à 21 sur la flèche littorale (pointe Naneu) (années 2013 LIDAR du MFFP et 2020 LIDAR du LDGIZC).

Profil 22 à 26

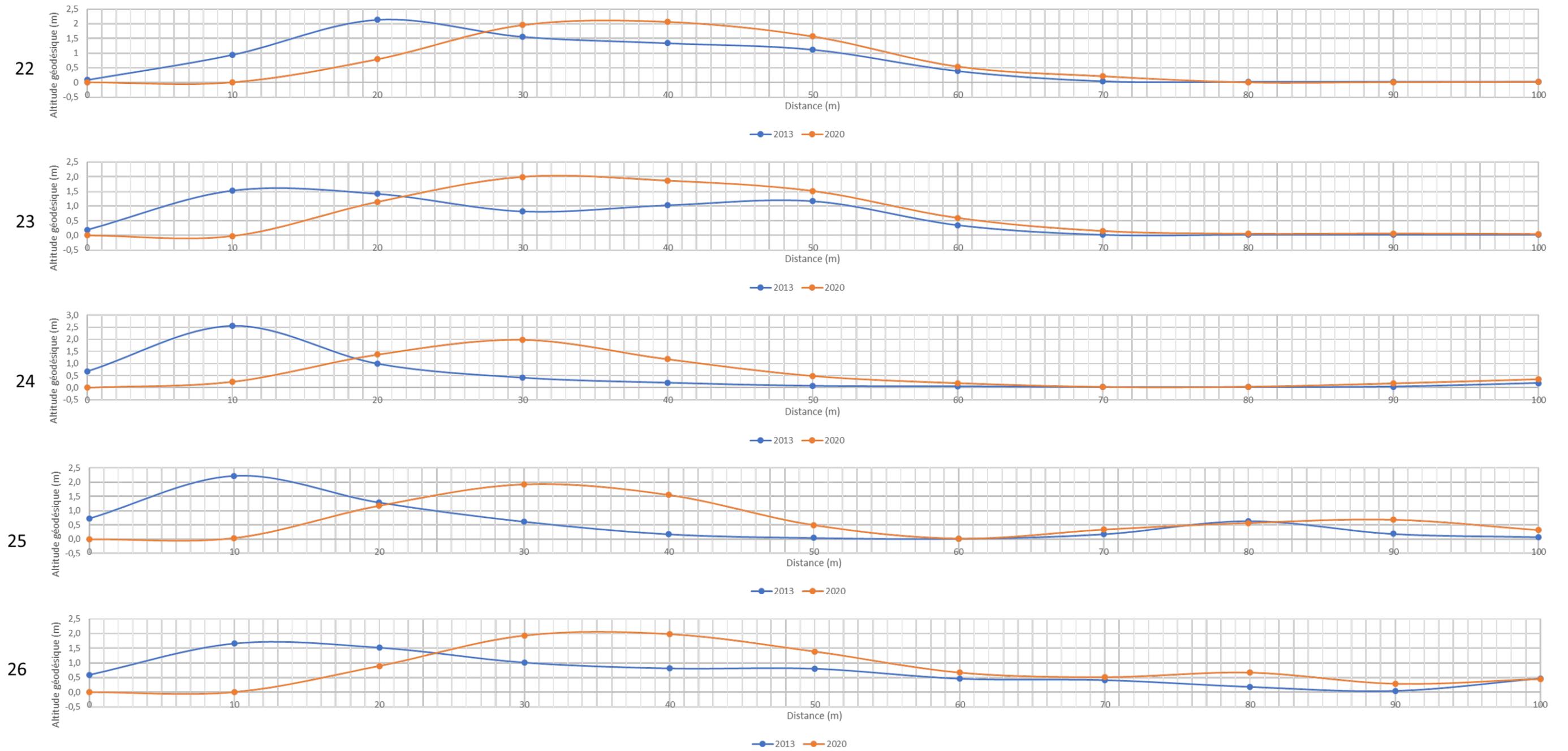


Figure 79. Profil de plage 22 à 26 sur la flèche littorale (pointe Naneu) (années 2013 LIDAR du MFFP et 2020 LIDAR du LDGIZC).

Profil 27 à 31

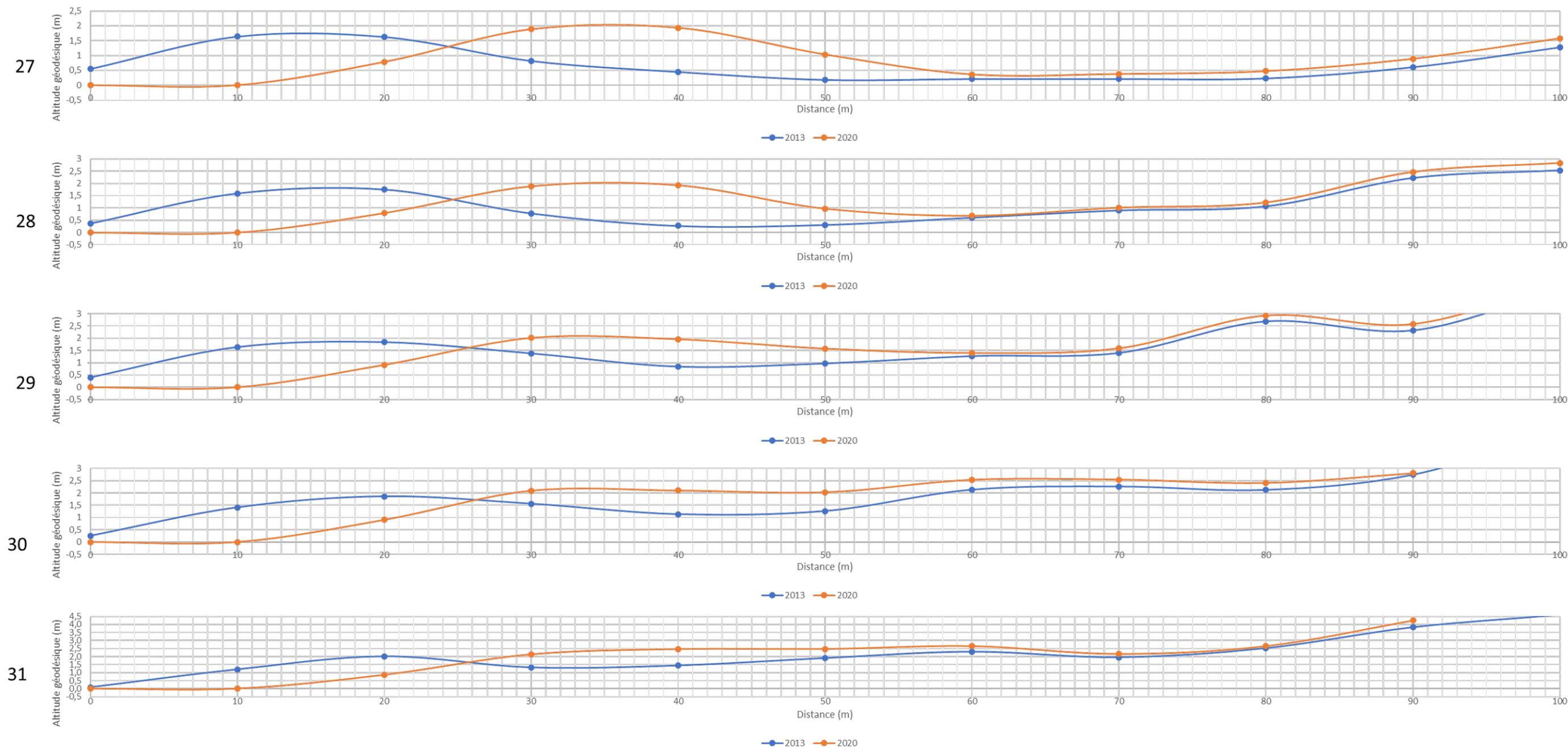


Figure 80. Profil de plage 27 à 31 sur la flèche littorale (pointe Naneu) (années 2013 LIDAR du MFFP et 2020 LIDAR du LDGIZC).

Profil 32 à 36

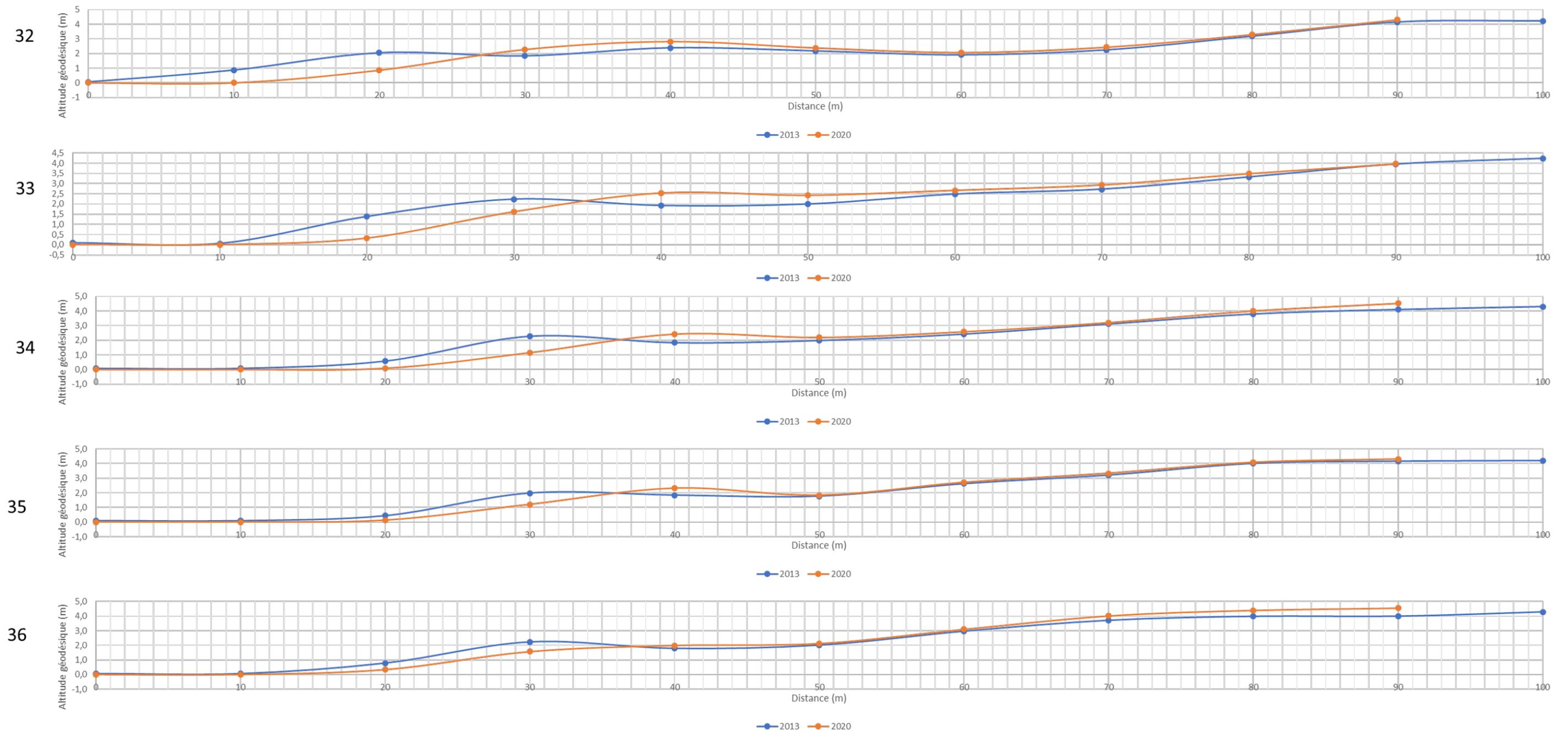


Figure 81. Profil de plage 32 à 36 devant la communauté de Uashat (années 2013 LIDAR du MFFP et 2020 LIDAR du LDGIZC) (section de la terrasse de plage).

Profil 37 à 39

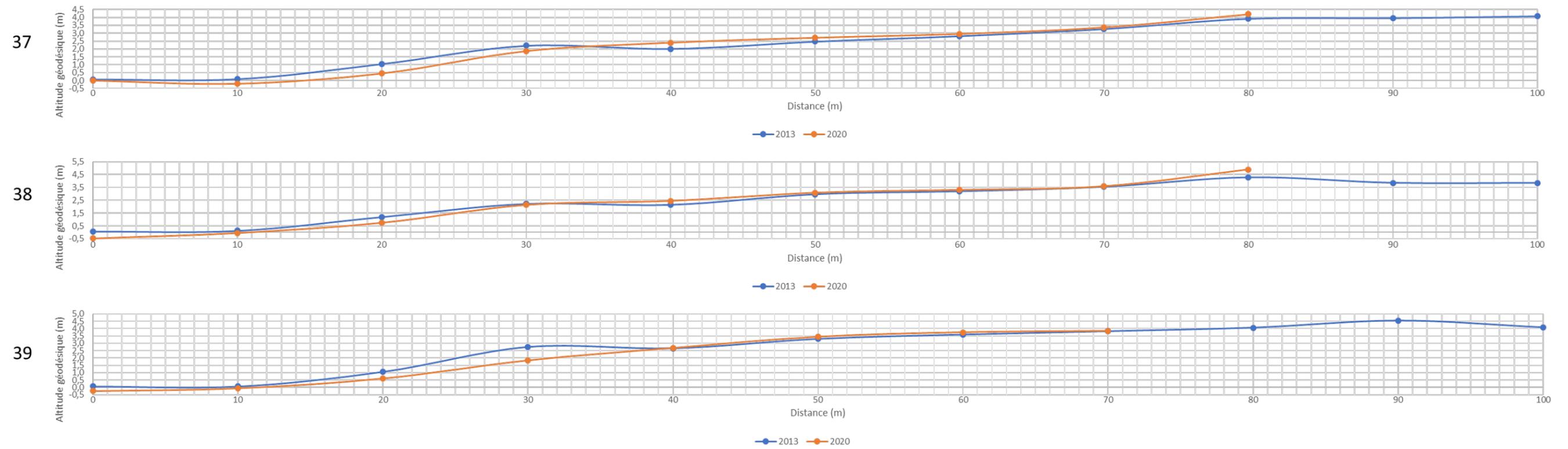


Figure 82. Profils de plage 37 à 39 devant la communauté de Uashat (années 2013 LIDAR du MFFP et 2020 LIDAR du LDGIZC) (section de la terrasse de plage).

Identification de solutions d'adaptation aux aléas côtiers pour augmenter la résilience des communautés des Premières Nations dans un contexte de changements climatiques:

Rapport final 2021

5.2.2 Analyse du risque de submersion côtière à Uashat

La submersion côtière a été étudiée selon deux approches distinctes. La première approche se base sur le calcul des niveaux d'eau par des relations empiriques, testées et validées pour le secteur d'étude (Didier et al., 2020). La seconde se base sur des simulations numériques à l'aide du modèle morpho-dynamique XBeach. Ces deux approches utilisent les mêmes données en entrée ce qui permet de les comparer et de discuter des résultats obtenus selon ces deux méthodes.

Deux évènements différents ayant eu un impact significatif sur le littoral de Uashat sont étudiés. Ces évènements sont les tempêtes du 6 décembre 2010 et du 30 décembre 2016. Par ailleurs, afin de tenir compte de l'évolution du niveau marin du fait du changement climatique, deux tempêtes hypothétiques, correspondantes aux tempêtes de 2010 et de 2016, ont été étudiées en prenant en compte la hausse du niveau marin relatif pour l'horizon 2100.

5.2.2.1 Données entrantes

Dans cette section, nous décrivons les différentes données utilisées pour alimenter nos deux types de modèles.

5.2.2.1.1 Hydrodynamiques

Les données hydrodynamiques (paramètres de vague) sont celles issues du modèle WaveWatch III® et décrites à la section 4.2.5 plus haut dans le document.

5.2.2.1.2 Vagues

Au point A du modèle WaveWatch III® (figure 53), soit le point de sortie utilisé pour alimenter nos modèles à Uashat, au pic des évènements de tempêtes, une hauteur maximale de 0,46 m et une autre de 0,20 m ont été observés respectivement le 6 décembre 2010 et le 30 décembre 2016 (figure 83 et figure 84). Les évènements sont donc des tempêtes hivernales de moyenne, voire faible, intensité quant au forçage des vagues à Uashat. En effet, située à l'intérieur de la baie de Sept-Îles, la communauté de Uashat est faiblement exposée au forçage des vagues (section 4.2.5).

5.2.2.1.3 Niveau d'eau

Le niveau d'eau utilisé pour forcer nos modèles est celui du marégraphe de Sept-Îles opéré par le Service hydrographique du Canada (SHC). Nous avons utilisé ces données in situ plutôt que celle de WaveWatch III®, car elles prennent notamment en compte les variations du niveau d'eau dues à la surcote atmosphérique et dues au vent (onde de tempête). Ces fluctuations ne sont pas disponibles dans les données du modèle.

La tempête du 6 décembre 2010 est le résultat d'une pression barométrique très basse jumelée à de forts vents de l'est et à la marée haute (Quintin et al., 2013). À la station de Sept-Îles A (ID climatologique 7047910), la pression chute à 97,84 kPa (15h00). Le niveau d'eau enregistré au marégraphe (ID 2780) est de 4,09 / 2,65 m (ZC / CGVD28) à 18h30, une surcote d'environ 0,60 m est enregistrée (figure 83). À titre de comparatif, le niveau moyen des pleines mers supérieures de grandes marées est de 3,40 / 1,95 m (ZC / CGVD28).

Identification de solutions d'adaptation aux aléas côtiers pour augmenter la résilience des communautés des Premières Nations dans un contexte de changements climatiques:

Rapport final 2021

À l'intérieur de la baie lors de la tempête du 30 décembre 2016, le forçage des vagues a été faible (~ 20 cm, point A (figure 53)). Les niveaux d'eau ont été plus importants qu'en 2010 avec un niveau d'eau maximum de 4,24 / 2,79 m (ZC / CGVD28). La surcote totale a été d'environ 1,0 m (figure 84).

Les dégâts importants à la côte lors de ces deux événements font donc suite à un forçage de moyenne, voire faible, intensité des vagues, mais conjoint avec un niveau d'eau important dû notamment à une dépression atmosphérique importante ce qui s'est traduit en décembre 2010 par une surcote totale autour de 0,6 m et en 2016 de 1,0 m.

Les conditions hydrodynamiques associées aux tempêtes du 6 décembre 2010 et du 30 décembre 2016 (figure 83 et figure 84) sont utilisées pour faire les simulations XBeach en mode morpho-dynamique (simulation de l'érosion et de submersion).

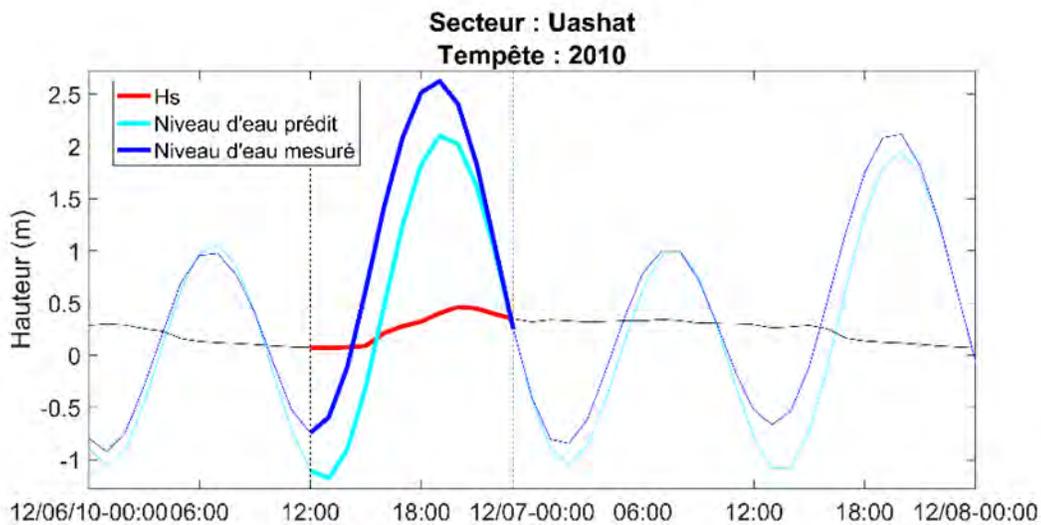


Figure 83. Conditions hydrodynamiques mesurées le 6 décembre au centre de la baie de Sept-Îles (point C1). Le niveau d'eau prédit est celui de WaveWatch III, celui mesuré provient des observations du marégraphe de Sept-Îles. La marée associée à la période de tempête est indiquée en gras. Les lignes verticales en pointillés noirs montrent les conditions utilisées dans les modèles numériques et empiriques.

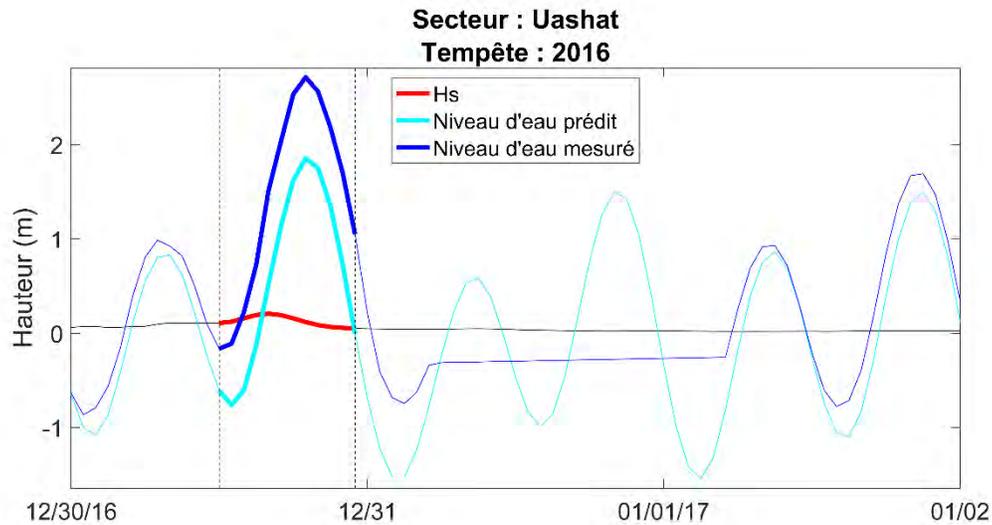


Figure 84. Conditions hydrodynamiques mesurées le 30 décembre au centre de la baie de Sept-Îles (point C1). Le niveau d'eau prédit est celui de WaveWatch III, celui mesuré provient des observations du marégraphe de Sept-Îles. La marée associée à la période de tempête est indiquée en gras. Les lignes verticales en pointillés noirs montrent les conditions utilisées dans les modèles numériques et empiriques.

5.2.2.1.4 Niveau marin relatif en 2100

Pour les tempêtes hypothétiques à l'horizon 2100, nous avons calculé le niveau marin relatif par rapport au scénario RCP 8.5 du GIEC (modifié de Church et al., 2013). Suivant ce scénario, les décisions politiques actuelles et prises au cours des prochaines décennies ne permettront pas d'imposer de régulations sur le rejet des différents gaz à effet de serre dans l'atmosphère. Ce scénario envisage aussi le développement de différentes boucles de rétroactions naturelles venant accélérer et renforcer les changements climatiques (ex. évolution de l'albédo). C'est le scénario le plus pessimiste (à fortes émissions).

Pour la hausse du niveau marin, nous avons utilisé les données issues des travaux de Oppenheimer et al., 2019. L'ajustement isostatique a aussi été pris en compte, les données sont celles issues des travaux de Koozhare et al., 2008.

Pour le secteur de Sept-Îles, la hausse du niveau marin relatif selon le scénario RCP8.5 sera de +0,12 m, +0,62 m, +1,45 m (minimum, médiane, maximum). Nous avons utilisé la valeur maximale, soit +1,45 m.

5.2.2.1.5 Données morphologiques

Les deux approches s'appuient sur des observations topo-bathymétriques : le modèle XBeach pour la génération des grilles de calcul et le modèle empirique pour l'extraction des transects où sont calculés les niveaux d'eau.

5.2.2.1.6 Surface topo-bathymétrique

Nous avons utilisé une surface topo-bathymétrique générée sous le logiciel ArcMap® (de la suite de logiciels ArcGIS 10.6.1) grâce à la fusion de différentes données (figure 85). Cette surface rassemble les relevés LiDAR aéroportés réalisés par le ministère de l'Énergie et des Ressources Naturelles, le ministère

Identification de solutions d'adaptation aux aléas côtiers pour augmenter la résilience des communautés des Premières Nations dans un contexte de changements climatiques:

Rapport final 2021

des Transport du Québec et le ministère de la Sécurité Publique datant de 2014 et 2017 (résolution de pixel décimétrique, environ une dizaine de points par mètre carré), un levé au LiDAR bathymétrique effectué par le SHC en 2020 (résolution de 5 m), une bathymétrie au sondeur multifaisceaux réalisée en 2010, ainsi qu'une couche multi-source de plus faible résolution (25-300 m) pour combler l'absence éventuelle de données.



Figure 85. Surface topo-bathymétrique créée pour le secteur de Uashat.

5.2.2.2 Mise en place du modèle numérique

Une grille de calcul est d'abord réalisée à partir de la surface topo-bathymétrique (figure 86) en adaptant la résolution afin d'optimiser le temps de calcul et de conserver une bonne résolution à la côte. Cette grille est générée sous DelftDashBoard, un module codé sous Matlab® fourni par TU Delft (van Ormondt et al., 2020).

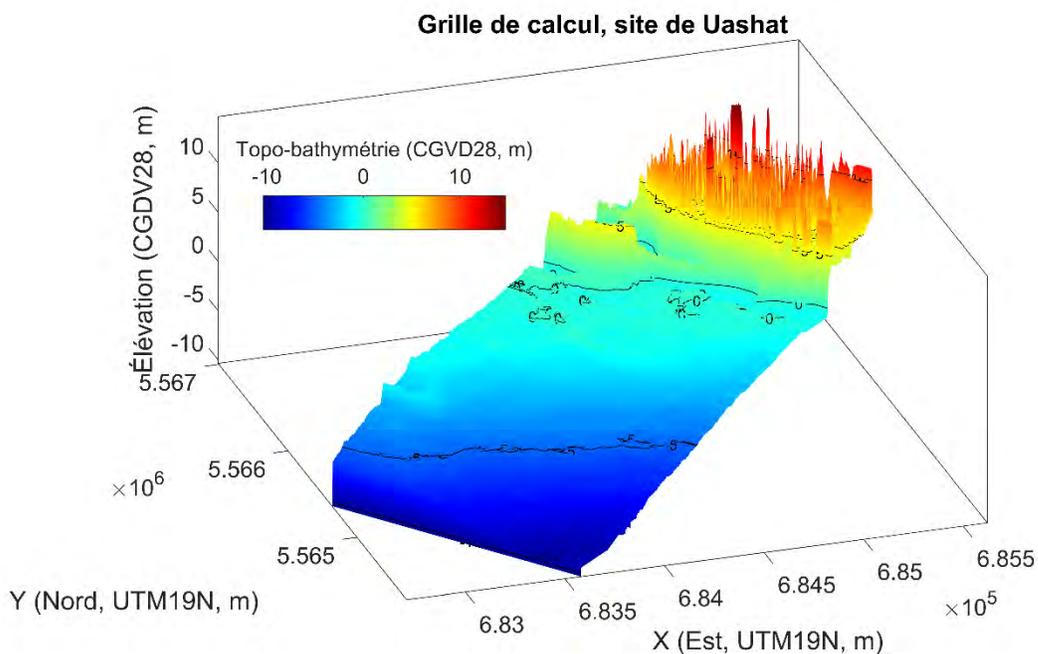


Figure 86. Grille de calcul pour le modèle XBeach 2D pour le secteur de Uashat.

La grille de calcul à une résolution de 5 m^2 (1 m dans la direction x et 5 m dans la direction y) à la côte et de 20 m^2 au large (1 x 20 m). Celle-ci contient un peu moins de 500 000 points au total et couvre une zone de $3,6 \text{ km}^2$.

Les conditions de tempêtes présentées à la section 5.2.2.1 (figure 83 et figure 84) sont utilisées pour alimenter le modèle. Les variables modélisées sont les hauteurs de vagues (H_s), le niveau d'eau (Z_s), les quantités de sédiments érodées ou accrétées (Q_{ero} et Q_{acc}), ainsi que les courants perpendiculaires et parallèles à la côte (\vec{u} , \vec{v} respectivement).

Le temps de simulations est de 11 heures (39600 s) avec une sortie toutes les 30 minutes, soit 22 points. L'ensemble des sorties sont enregistrées dans un fichier au format NetCDF (.nc). Le niveau maximal (NET) atteint à la côte (x, y, z) est ensuite extrait comme étant le dernier point mouillé sur chaque transect de la grille, puis enregistré au format ASCII (.txt) et converti dans le logiciel ArcMap au format ShapeFile (.shp). Enfin, la position du NET est superposée à la surface topo-bathymétrique.

5.2.2.3 Méthodologie pour la modélisation empirique

En parallèle à la modélisation numérique, une autre méthode est utilisée pour estimer le NET à la côte pour les différents événements de tempête. Cette méthode se base sur un calcul empirique des niveaux d'eau totaux atteints le long de profils perpendiculaires à la côte. Les niveaux d'eau sont calculés grâce à différentes relations empiriques reliant les niveaux d'eau (Runup, Setup) et les paramètres environnementaux. Ces paramètres sont la pente locale (associée au jet de rive), la hauteur des vagues au large ainsi que la longueur d'onde des vagues au large, déduite de la période pic des vagues.

5.2.2.3.1 Description de la méthode

La première étape consiste à extraire à partir des surfaces topo-bathymétriques des transects espacés régulièrement (2,5 m) et perpendiculaires à la côte. Pour cela, nous avons utilisé le module MobiTC (CEREMA, Trmal et al., 2012) codé sous Matlab® (figure 87).

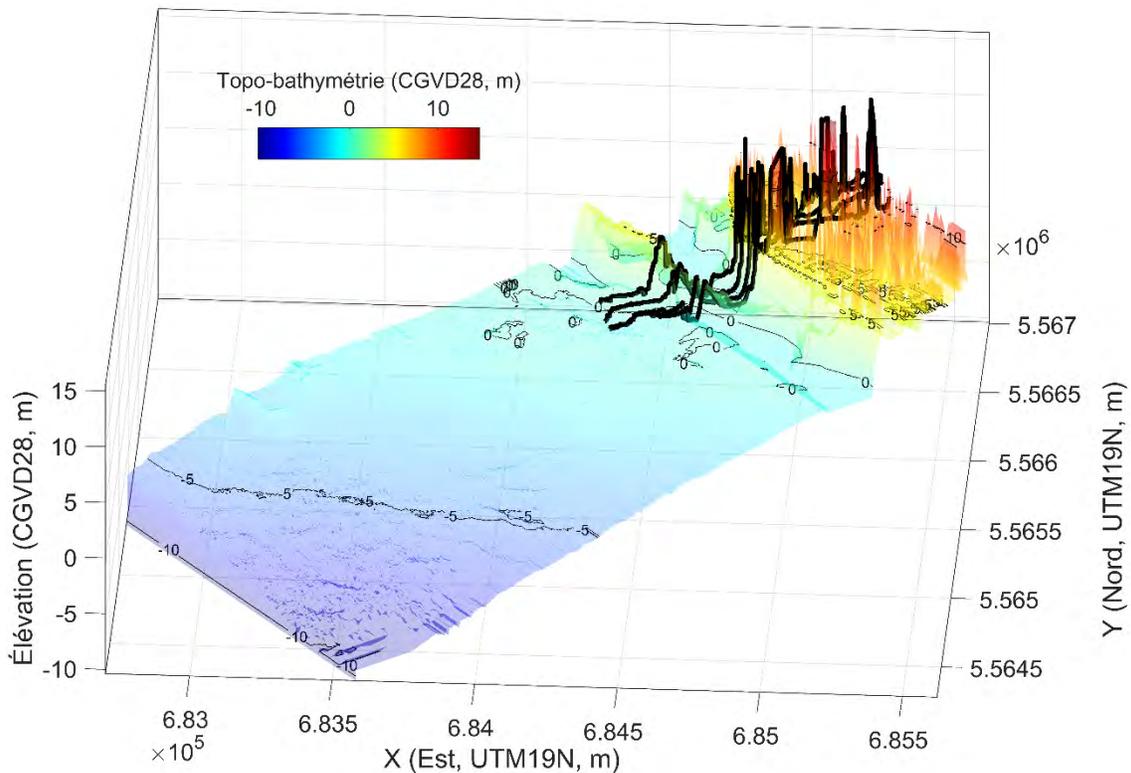


Figure 87. Exemple de quelques profils topographiques extraits avec MOBITC à partir des surfaces topo-bathymétriques pour le secteur de Uashat. Les profils sont représentés par une ligne noire en gras, la surface topo-bathymétrique en échelle de couleurs et les contours d'élevation (isobathes) en lignes fines noires.

La seconde étape consiste à identifier approximativement la zone de jet de rive, où sera calculé le niveau de runup. Pour cela, on cherche à identifier sur le profil le premier point en partant de la mer correspondant à l'élévation du niveau d'eau moyen (niveau d'eau calme + surcote (atmosphérique et due aux vagues)). Une section arbitraire (~ 20 m de long) est ensuite définie de part et d'autre de ce point

Identification de solutions d'adaptation aux aléas côtiers pour augmenter la résilience des communautés des Premières Nations dans un contexte de changements climatiques:

Rapport final 2021

(figure 88). On considère que cette section est celle qui correspond à la zone de jet de rive. La pente locale sur cette section est ensuite calculée ($\tan \beta = dz/dD$).

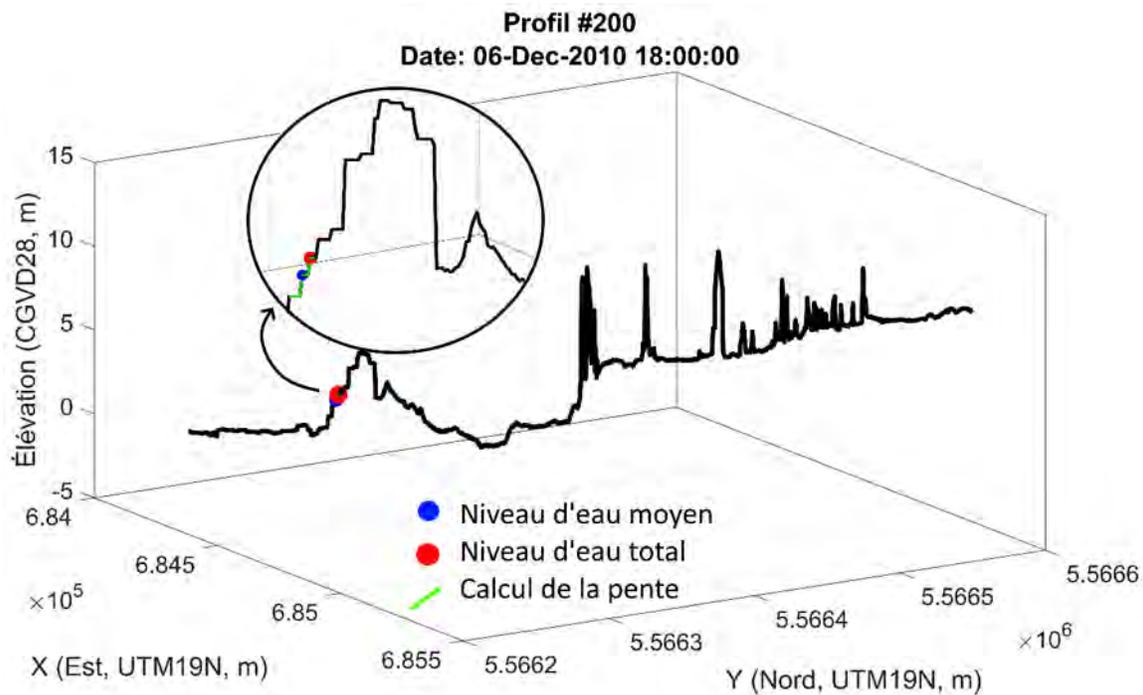


Figure 88. Illustration de la méthode utilisée pour calculer empiriquement le NET le long des transects pour le secteur de Uashat. Le transect d'étude est en noir. La position du niveau d'eau moyen correspondante sur le profil est en bleu. Un tronçon du profil de quelques dizaines de mètres (en vert) est déterminé autour de l'élévation du niveau moyen afin de calculer la pente locale, nécessaire aux équations empiriques. Enfin, la position sur le profil du NET (point rouge) obtenu avec les équations empiriques est extraite.

Ces étapes sont reproduites pour l'ensemble des transects (1006 profils), ce qui nous permet de reproduire les nappes de submersions.

Différentes équations peuvent être utilisées pour calculer le NET (Vousdoukas et al, 2012 ; Stockdon et al., 2006, Didier et al., 2020, parmi d'autres). Dans notre étude pour Uashat, nous avons utilisé les équations de Didier et al., 2020 calibrées sur des sites de l'EGSL (tableau 30).

Tableau 33. Set d'équation pour les niveaux de jet de rive excédentaire ($R_{2\%}$) et pour la surélévation du niveau d'eau à la côte (η) pour l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent, d'après les travaux de Didier et al., 2020. Les équations sont différentes en fonction de la valeur de pente locale (β). H_0 correspond à la hauteur de vague au large et λ_0 à la longueur d'onde.

Niveau d'eau	Pente locale (β)	
	> 0,06	< 0,06
$R_{2\%}$ (jet de rive supérieur)	$1.06 * \left(\frac{0.0055 * \sqrt{H_0 \cdot \lambda_0}}{\beta} + 0.32 * \sqrt{\beta H_0 \lambda_0} / 2 \right)$	$0.119 * \sqrt{H_0 \cdot \lambda_0}$
η (surélévation)	$0.0055 * \sqrt{H_0 \cdot \lambda_0} / \beta$	$0.058 * \sqrt{H_0 \cdot \lambda_0}$

5.2.2.4 *Résultats des modèles empiriques*

Les nappes de submersions (points d'atteinte des niveaux d'eau totaux NET) obtenues avec les modèles empiriques sont décrites dans cette section.

5.2.2.4.1 Évènement du 6 décembre 2010

D'après le modèle empirique utilisé, le pic de la tempête fut entre 18h00 et 19h00 (figure 89). À Uashat, on voit qu'aucun bâtiment n'a été submergé selon le modèle empirique ce qui fut également le cas en réalité. L'eau s'est rendue aux limites des terrains et sur le dessus de l'enrochement situé dans l'ancienne réserve de Uashat (figure 90 et figure 91).

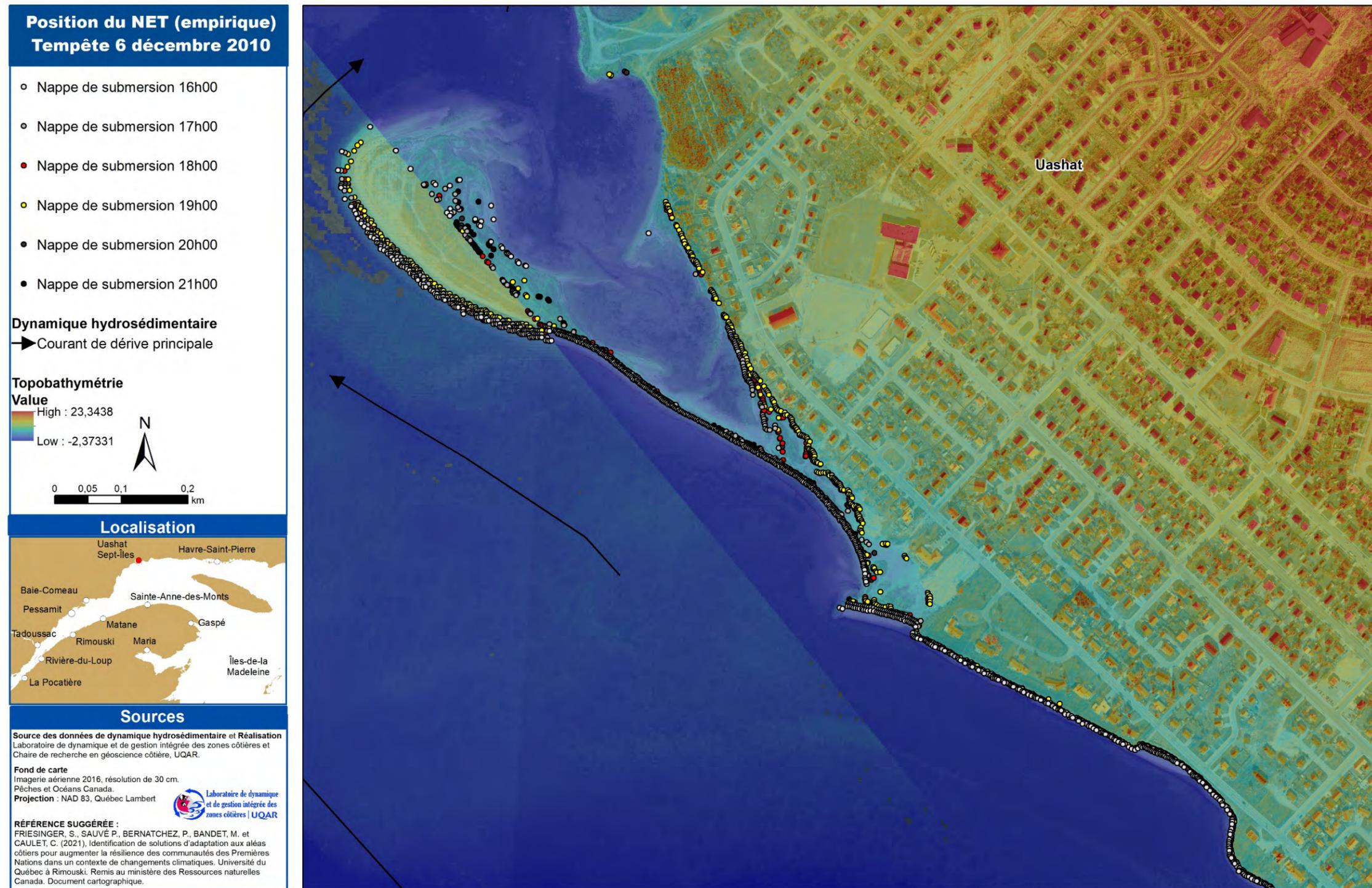


Figure 89. Position du NET calculé empiriquement lors de la tempête du 6 décembre 2010.

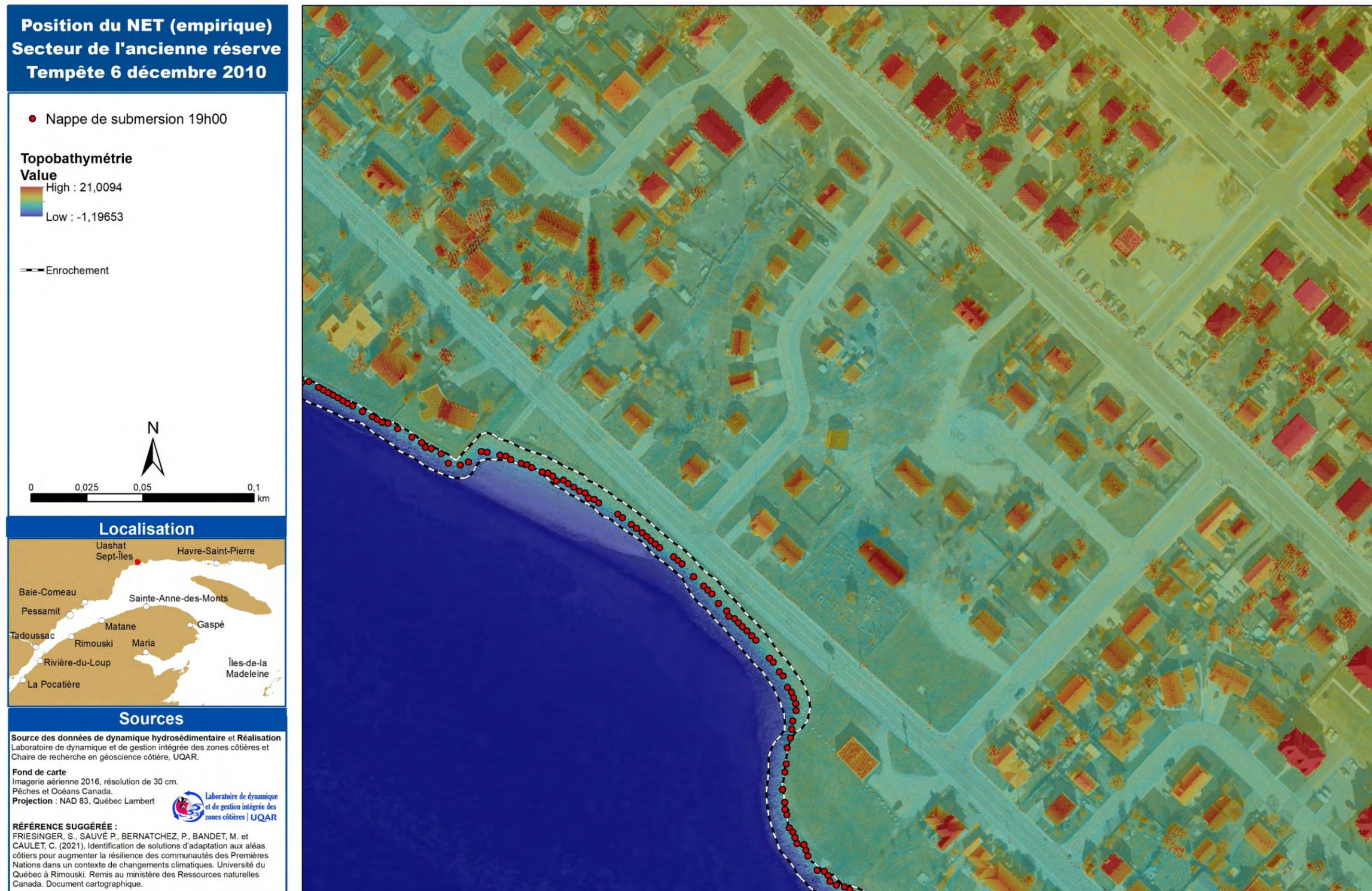


Figure 90. La nappe de submersion à 19h00 selon le modèle empirique lors de la tempête du 6 décembre 2010

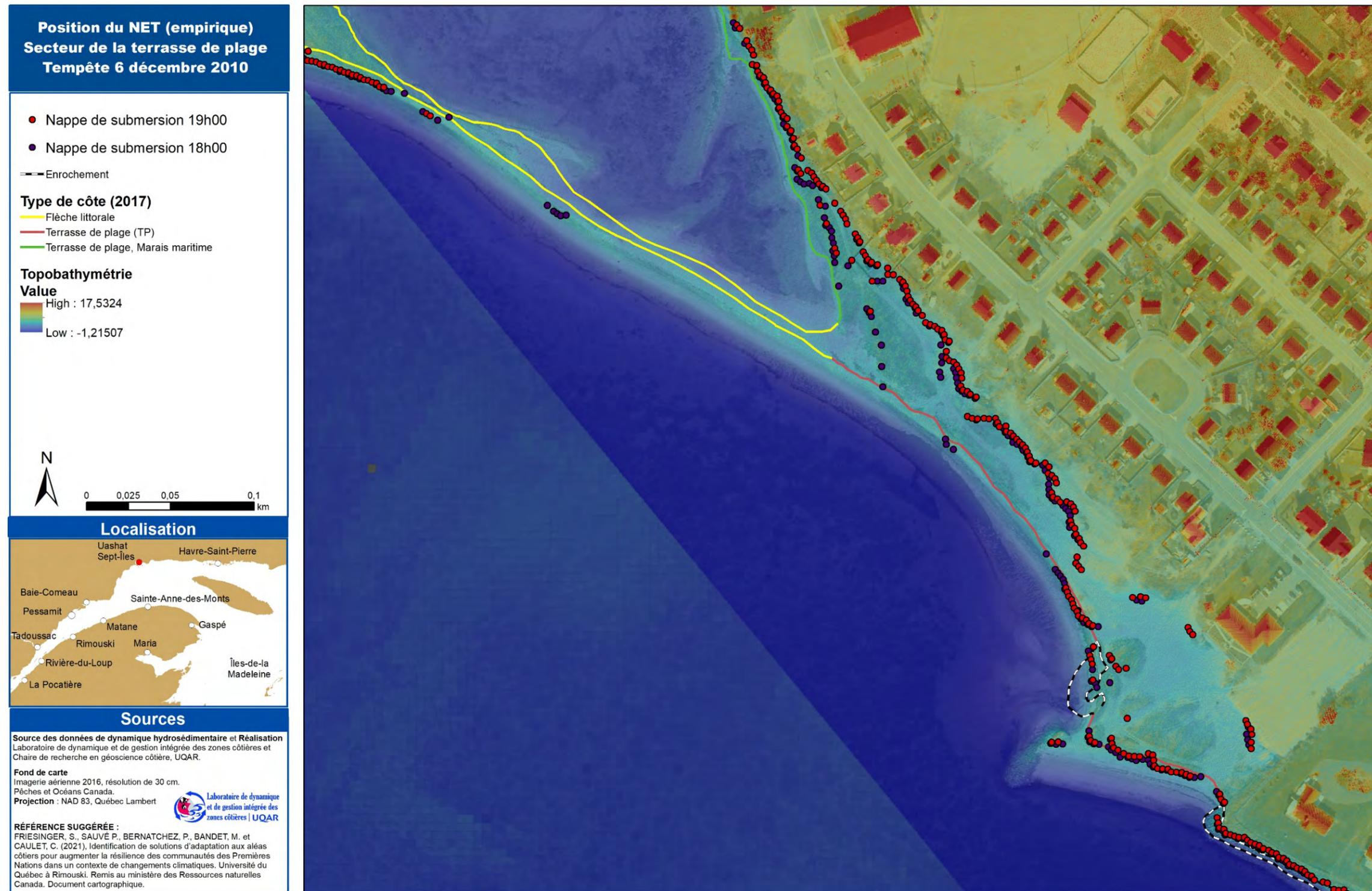


Figure 91. La nappe de submersion à 18h00 et 19h00 selon le modèle empirique lors de la tempête du 6 décembre 2010

Identification de solutions d'adaptation aux aléas côtiers pour augmenter la résilience des communautés des Premières Nations dans un contexte de changements climatiques:

Rapport final 2021

En revanche, si l'on tient compte d'une hausse importante du niveau marin (+1,45 m), une tempête similaire en 2100 aurait des conséquences plus importantes (figure 92 et figure 93). De très nombreux bâtiments seraient touchés, en particulier dans l'ancienne réserve de Uashat. En effet, 16 bâtiments seraient touchés (submergés 2100) ainsi que l'ancienne chapelle et le cimetière (figure 92). Trois bâtiments auraient de l'eau très près de leur fondation (exposés à la submersion 2100). L'extrémité nord, soit le secteur de la terrasse de plage à Uashat, 7 bâtiments seraient submergés selon le modèle empirique et 10 bâtiments aurait de l'eau qui se rendrait à leur base et sur leur terrain (figure 93).

L'avenue Arnaud, la rue du Vieux Poste, la rue Grégoire et la rue de la Réserve seraient partiellement submergées lors d'un tel évènement.

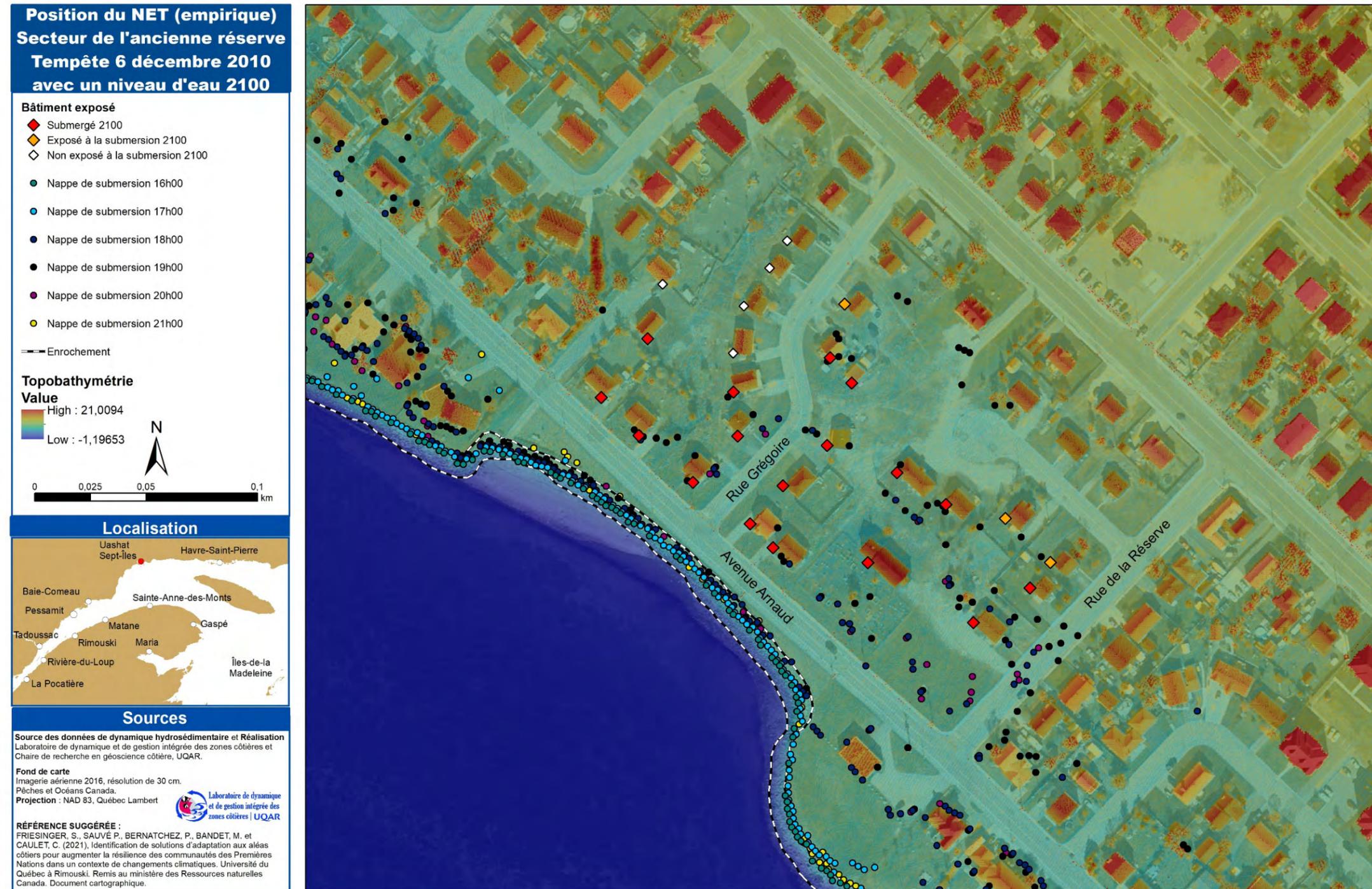


Figure 92. Exposition et position du NET calculé empiriquement lors de la tempête du 6 décembre 2010 pour l'ancienne réserve de Uashat, à l'horizon 2100

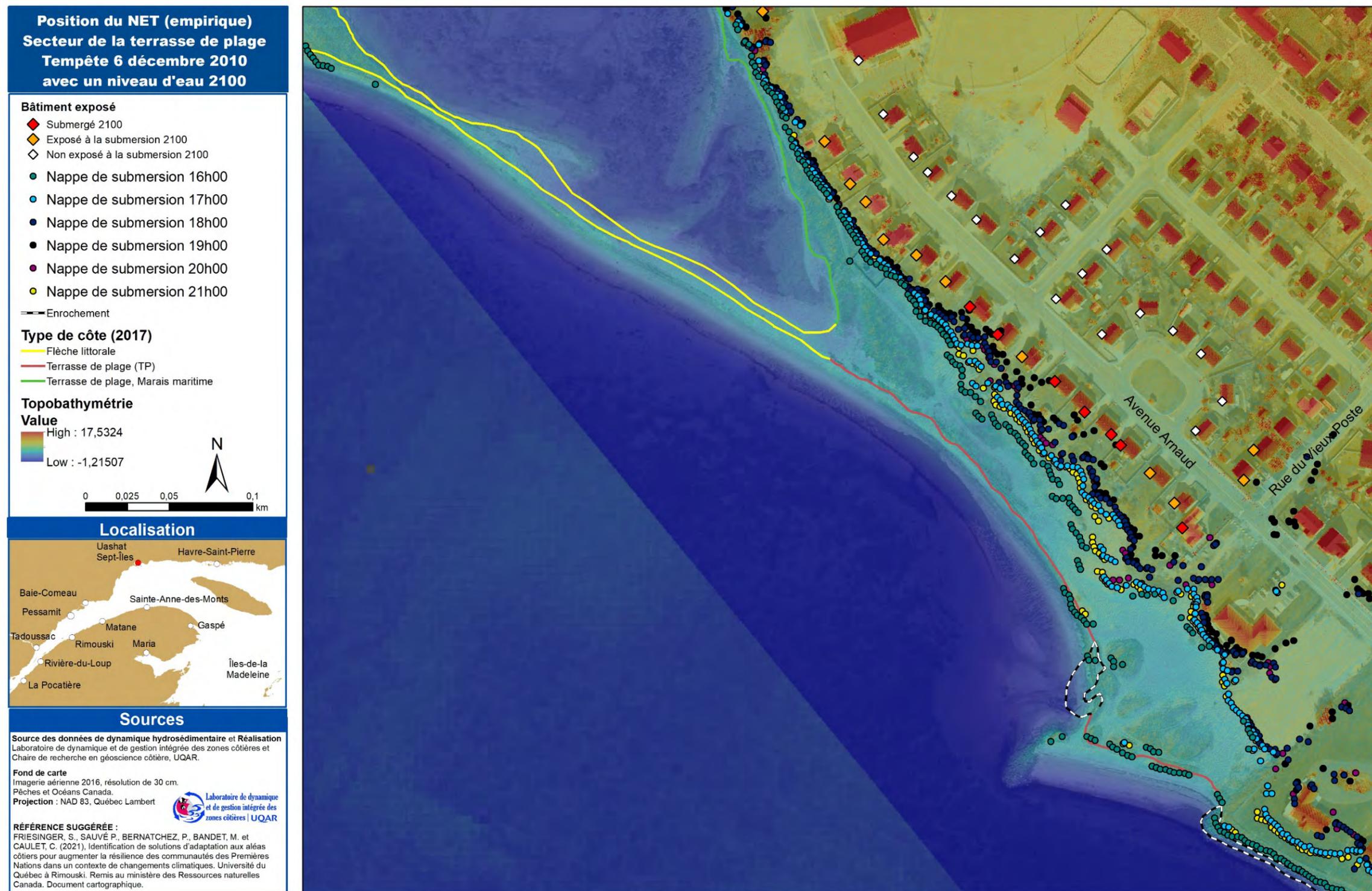


Figure 93. Exposition et position du NET calculé empiriquement lors de la tempête du 6 décembre 2010 pour la terrasse de plage à Uashat, à l'horizon 2100

Identification de solutions d'adaptation aux aléas côtiers pour augmenter la résilience des communautés des Premières Nations dans un contexte de changements climatiques:

Rapport final 2021

5.2.2.4.2 Évènement du 30 décembre 2016

Lors de la tempête du 30 décembre 2016, les niveaux d'eau totaux à la côte restent ici en dessous des valeurs critiques : aucune infrastructure ne semble touchée. Néanmoins, le niveau atteint reste très élevé et différents jardins des propriétés situées sur le littoral subissent de légères inondations (figure 94).

Les mêmes conditions de tempête avec le niveau marin de 2100 causeraient des dommages bien plus importants (figure 95 et figure 96).

Vers le nord, vis-à-vis de la terrasse de plage, 15 bâtiments principaux sont susceptibles de subir des dommages (exposé à la submersion 2100) surtout au niveau de leur terrain (figure 95). Deux bâtiments seraient potentiellement submergés si une tempête comme celle du 30 décembre 2016 survenait en 2100. L'ensemble du littoral dans la partie de l'ancienne réserve serait vulnérable à une submersion marine. On compte 9 bâtiments qui seraient submergés et 6 autres bâtiments qui seraient près d'être submergés. L'ancienne chapelle fait partie des bâtiments potentiellement submergés. Le cimetière fait également partie de la zone où la nappe de submersion s'y situe, et ce, autour de 19h00 (figure 96). La vulnérabilité de ces infrastructures est un peu plus forte pour les conditions observées lors de la tempête de 2010.

Il est important de noter aussi une inondation de la rue du Vieux Poste, de l'avenue Arnaud, de la rue Grégoire et de la rue de la Réserve. Le secteur de la rue du Vieux Poste et de l'avenue Arnaud pourrait se révéler dangereux pour la population et pour les services de secours, notamment du fait de courants importants (figure 99).

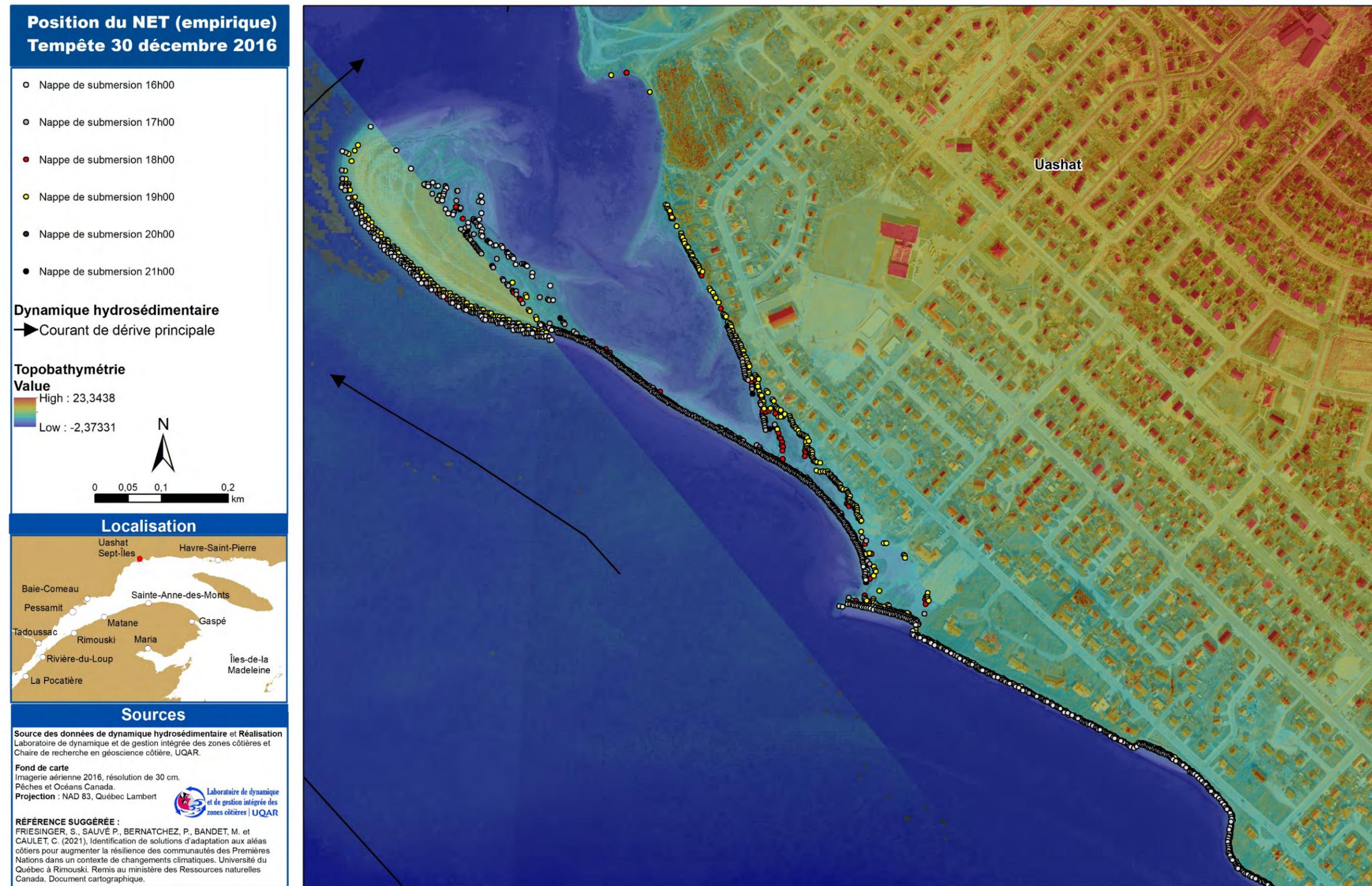


Figure 94. Position du NET calculé empiriquement lors de la tempête du 30 décembre 2016

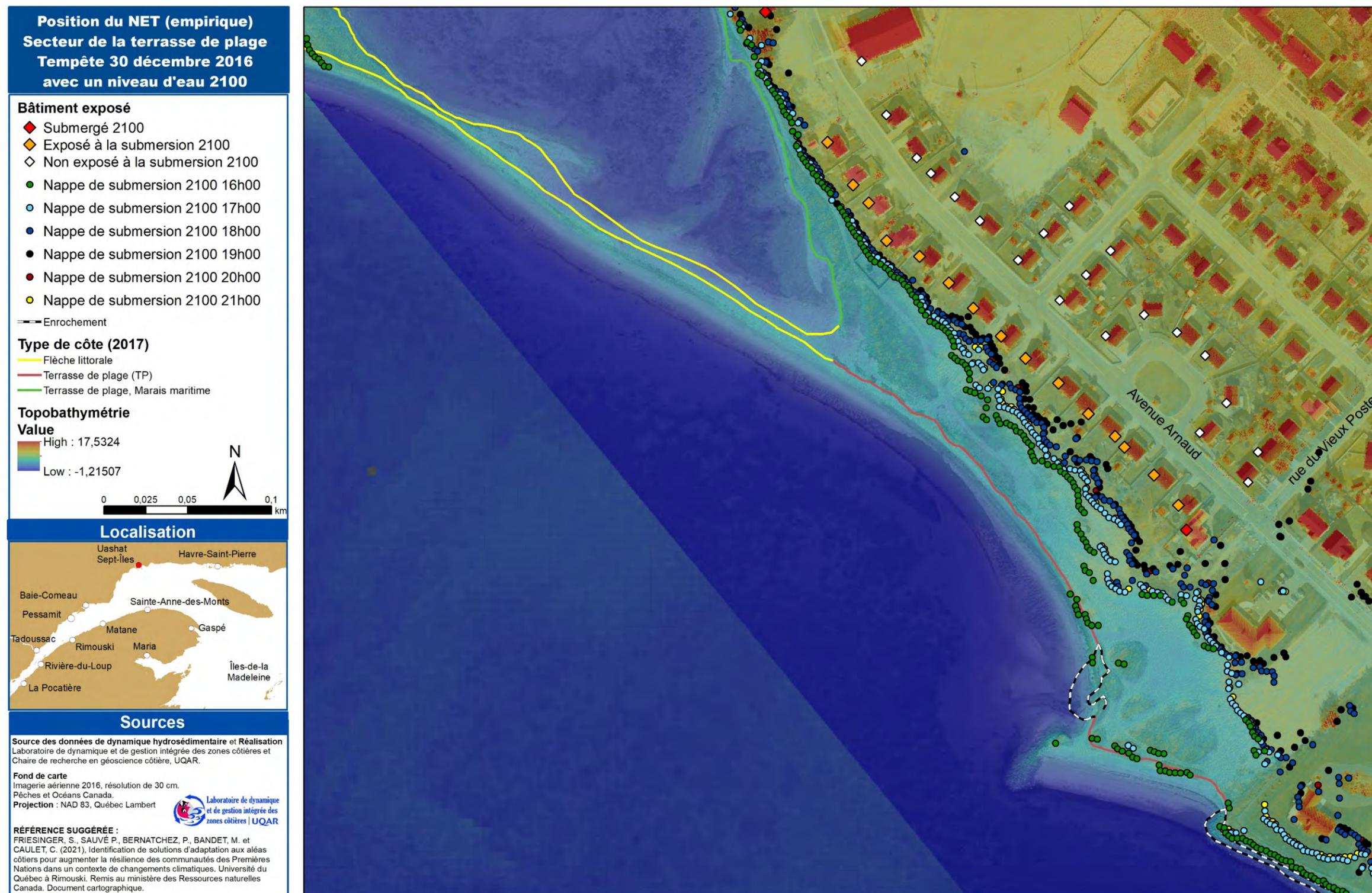


Figure 95. Exposition et position du NET calculé empiriquement lors de la tempête du 30 décembre 2016 pour la terrasse de plage à Uashat, à l'horizon 2100



Figure 96. Exposition et position du NET calculé empiriquement lors de la tempête du 30 décembre 2016 pour l'ancienne réserve de Uashat, à l'horizon 2100

Identification de solutions d'adaptation aux aléas côtiers pour augmenter la résilience des communautés des Premières Nations dans un contexte de changements climatiques:

Rapport final 2021

5.2.2.5 Résultats des modèles numériques (Xbeach)

Nous présentons dans cette section les résultats du niveau d'eau total à la côte (NET) obtenus avec les simulations du modèle XBeach.

5.2.2.5.1 Modélisation numérique du NET pour les évènements du 6 décembre 2010 et du 30 décembre 2016

D'après les résultats du modèle, le NET atteint sur le littoral de Uashat reste en dessous des valeurs critiques d'élévation et aucune submersion n'est à déplorer lors de ces évènements (figure 97). On observe que le niveau d'eau maximal atteint lors de la tempête du 30 décembre 2016 fut vers 19h00 et est légèrement plus élevé que celui durant la tempête de 2010.

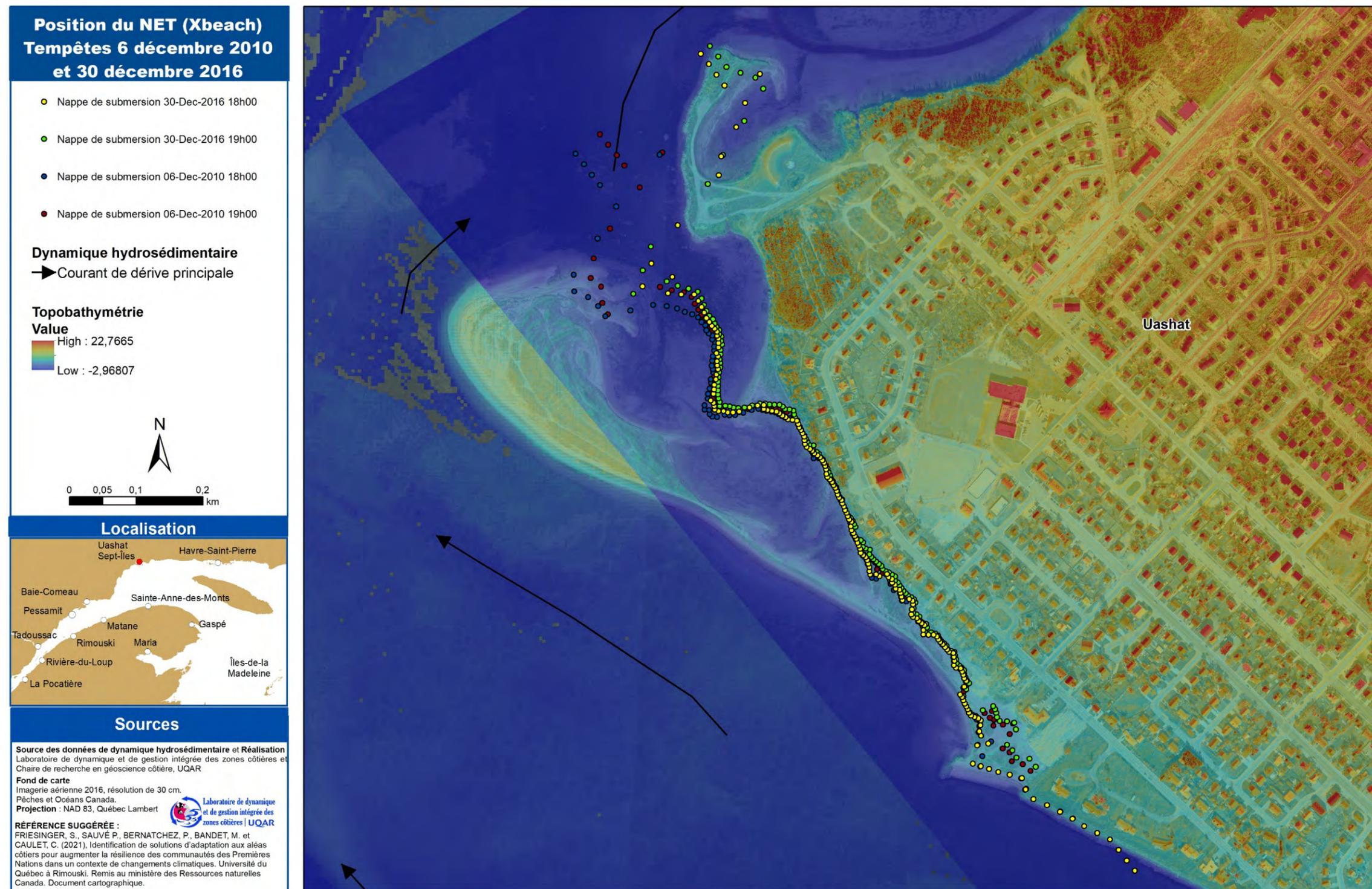


Figure 97. Position du NET calculé numériquement à 18h00 et 19h00 (maximum des NET) lors des tempêtes du 6 décembre 2010 et du 30 décembre 2016.

Identification de solutions d'adaptation aux aléas côtiers pour augmenter la résilience des communautés des Premières Nations dans un contexte de changements climatiques:

Rapport final 2021

5.2.2.5.2 Modélisation numérique du NET pour les évènements du 6 décembre 2010 et du 30 décembre 2016 avec la prise en compte de la hausse du niveau marin pour 2100.

En revanche, pour une même tempête reproduite à l'horizon 2100, c'est-à-dire avec la prise en compte de l'élévation du niveau marin (+1,45 m), plusieurs infrastructures sont à risque d'une submersion marine (figure 98). D'ailleurs, 17 bâtiments seraient exposés à la submersion côtière en 2100 selon les conditions de tempête du 30 décembre 2016 et 2 propriétés seraient submergées. On remarque que la rue du Vieux Poste et l'avenue Arnaud seraient également submergées. Ces submersions seraient accompagnées de courants pouvant s'avérer dangereux (figure 99).

Il est à noter que le modèle Xbeach est utilisé en mode « surfbeat » (phase moyennée), le niveau d'eau ne contient donc pas la composante du jet de rive liée aux vagues courtes, seulement celle liée aux vagues infragravitaires ($f < 0.05$ Hz) ainsi que la surélévation due aux vagues (wave-setup). Cela peut expliquer une partie de la sous-estimation des niveaux par le modèle. D'autres facteurs comme la sophistication des grilles de calcul, avec notamment la prise en compte de la végétation ou bien des structures artificielles comme les enrochements peuvent aussi expliquer cette sous-évaluation.



Figure 98. Exposition et position du NET calculé numériquement à 19h00 et 20h00 (maximum du NET) lors des tempêtes du 6 décembre 2010 et du 30 décembre 2016, projetées à l'horizon 2100 (simulation Xbeach).

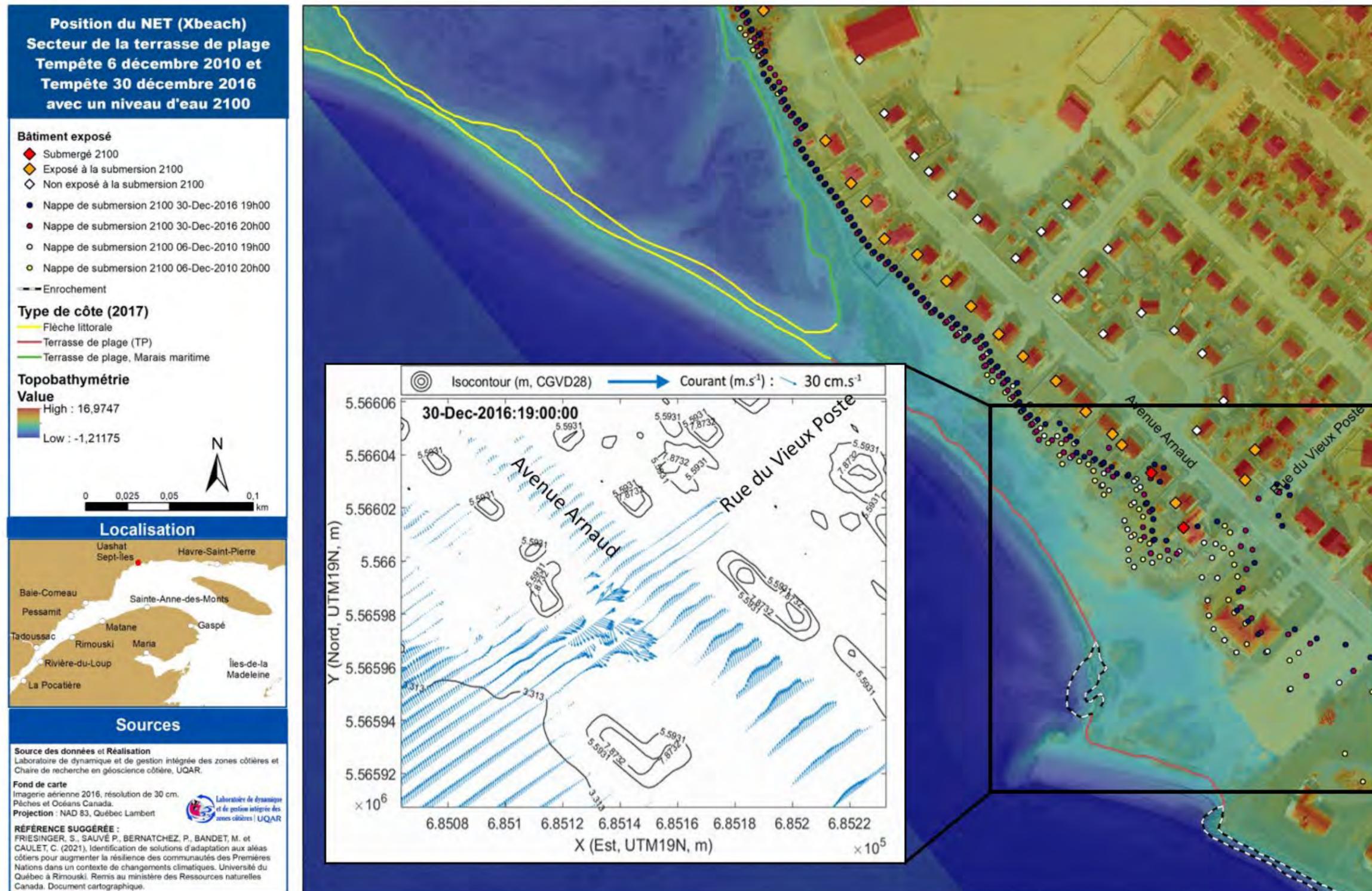


Figure 99. Modélisation des courants lors de l'évènement du 30 décembre 2016, projeté à l'horizon 2100.

6 Évaluation des ouvrages de protection côtière

L'évaluation des ouvrages de protection côtière (OPC) est basée sur deux approches, soit un algorithme d'identification et une analyse multicritère (figure 100). Ainsi, en combinant les résultats de l'algorithme d'identification avec l'analyse multicritère, l'évaluation des OPC proposée permettra de hiérarchiser les OPC adaptés à un milieu donné en regard de leur impact sur l'état initial du système socio-écologique côtier et de la pondération attribuée par les acteurs. L'objectif est de développer une méthode d'identification d'OPC qui permet d'appuyer et d'orienter le processus décisionnel. L'évaluation réalisée dans cette section ne constitue pas une recommandation, mais plutôt une analyse objective du niveau d'adaptation de différents OPC en regard des caractéristiques environnementales et des priorités des acteurs des communautés de Pessamit et de Uashat. Ainsi, les résultats présentés dans cette section devraient permettre de guider les décideurs locaux afin d'identifier un certain nombre d'OPC à retenir pour procéder à une pré-conception, puis à une conception d'ingénierie.



Figure 100. Schématisation de l'évaluation des ouvrages de protection côtière

Les résultats de l'algorithme d'identification et de l'analyse multicritère sont présentés aux sections 6.1 et 6.2.

6.1 Algorithme d'identification

L'objectif de l'algorithme d'identification d'ouvrage de protection côtière est de développer une méthode pour agréger l'information en fonction de différentes catégories d'effet des OPC, afin de produire une synthèse qualitative de l'information disponible dans la littérature scientifique, puis d'utiliser cette synthèse dans le processus décisionnel menant à la présélection d'OPC bien adapté aux conditions du milieu d'étude.

Le protocole de l'algorithme d'identification est présenté dans son entièreté dans le document joint *Protocole de l'algorithme d'identification d'ouvrage de protection côtière* (Sauvé et al. 2021a). Sommairement, l'algorithme permet de classer les effets des OPC sur le système socio-écologique côtier en trois étapes : (i) caractériser le système socio-écologique côtier (volet I); (ii) à évaluer un OPC en fonction des effets observés correspondants (volet II); (iii) à déterminer la position des OPC dans le classement (volet III) (figure 101).

Identification de solutions d'adaptation aux aléas côtiers pour augmenter la résilience des communautés des Premières Nations dans un contexte de changements climatiques:
Rapport final 2021

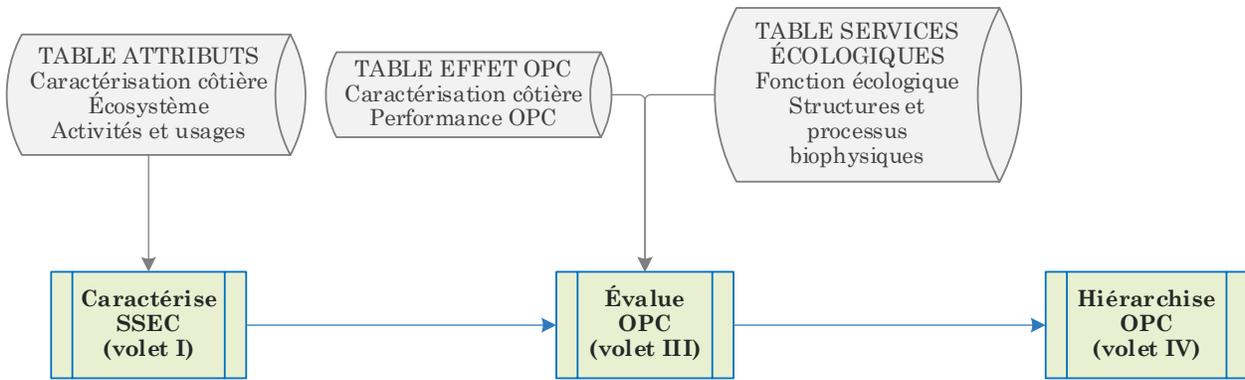


Figure 101. Schéma synthèse de l'algorithme d'identification

(i) La caractérisation du système socio-écologique côtier est effectuée au moyen d'indicateurs de suivis géomorphologiques (type de côte et type de sédiment), écologiques (habitats, assemblages, diversité et fonctions des écosystèmes), sociaux (services écologiques) et hydrodynamiques (dérive littorale, régime de vagues et marnage). Les données cartographiques (caractérisation côtière, écosystèmes côtiers, activités et usages côtiers et leurs services écologiques dérivés) du LDGIZC servent à définir l'état initial des indicateurs de suivi des cellules hydrosédimentaires à l'étude.

(ii) Une base de données répertoriant les effets des OPC sur l'ensemble des paramètres du système socio-écologique côtier a été développée sur la base d'une revue exhaustive de la littérature scientifique réalisée entre janvier 2018 et mars 2020. Elle regroupe les affirmations, par les auteurs des études de cas publiées dans des articles scientifiques à l'échelle mondiale, sur les effets des OPC, selon les trois indicateurs principaux : géomorphologique, écosystémique et social. Ces trois indicateurs seront subdivisés en deux niveaux supplémentaires afin de conserver un niveau de détails pertinent tout en permettant d'agrèger les affirmations (tableau 31). À la suite de cette phase d'agrégation, chaque affirmation sera évaluée sur une échelle de pondération (-5 à 5) en fonction de son intensité et de son caractère positif ou négatif en termes d'effets sur le système socio-écologique côtier (tableau 32). La base de données inclut également des renseignements sur les milieux dans lesquels les effets des OPC ont été observés (type de côte, type de sédiments, régime de vague, marnage), ce qui permet de les contextualiser.

Tableau 34. Catégorisation des effets observés (*catégorie, type, sous-type d'effet observé*)

Catégorisation des effets observés	Description	Échelle de cause à effet			Explication du niveau attribué
		Géo	Éco	Socio	
1. Géomorphologique		-	-	-	
1.1. Érosion / Accumulation		-	-	-	
1.1.1. Accumulation sédimentaire	Dépôt de sédiments dans certaines zones	1	2	2	Géo : Observation directe du phénomène d'érosion ou d'accumulation côtières.
1.1.2. Affouillement	Forme d'érosion au pied d'un OPC provoqué par des forces hydrodynamiques	1	2	2	Éco : Modification de la surface colonisable disponible.

Catégorisation des effets observés	Description	Échelle de cause à effet			Explication du niveau attribué
		Géo	Eco	Socio	
1.1.3. Bilan sédimentaire	Variation du volume sédimentaire disponible à l'échelle d'une cellule hydrosédimentaire	1	2	2	Modification structurelle de la zone colonisable.
1.1.4. Déplacement du trait de côte	Recul ou avancée du trait de côte	1	2	2	Socio : Modification de la superficie disponible pour les loisirs terrestres
1.1.5. Effet de bout	Augmentation des taux d'érosion à l'extrémité d'un OPC	1	2	2	
1.1.6. Érosion	Constat d'une érosion côtière généralisée (recul du trait de côte, diminution de la hauteur et de la largeur de la plage)	1	2	2	
1.1.7. Hauteur de plage	Variation du niveau de la plage	1	2	2	
1.1.8. Largeur de plage	Variation de la largeur de la plage	1	2	2	
1.1.9. Rétablissement géomorphologique	Interférence de l'OPC sur le cycle naturel érosion/accumulation de la plage	1	2	2	
1.1.10. Rétention sédimentaire	Interférence des conditions hydrodynamiques par l'OPC engendrant des zones d'accumulation et d'érosion successives	1	2	2	
<hr/>					
1.2. Profil topo-bathymétrique		-	-	-	
1.2.1. Profil de plage	Variation de l'inclinaison, de la pente du substrat ou du profil d'équilibre	3	2	0	Géo : déplacements sédimentaires submergés
1.2.2. Système de barres	Formation ou disparition de barres d'avant-plage	3	2	0	associés à une modification des conditions hydrodynamiques
1.2.3. Topographie	Variation de l'élévation de la côte en général	3	2	0	Eco : Paramètre majeur pour la structure des communautés
1.2.4. Variation bathymétrique généralisée	Modification de la bathymétrie en général	3	2	0	
1.2.5. Variation bathymétrique localisée	Formation locale d'une dépression (creux, affouillement sous-marin au pied d'une structure) ou d'une accumulation	3	2	0	
<hr/>					
1.3. Sédiments		-	-	-	
1.3.1. Compaction sédimentaire	Modification de la compaction des sédiments	0	0	2	Socio : Modification aux loisirs terrestres
1.3.2. Nature sédimentaire	Modification de la composition chimique des sédiments	0	0	0	
1.3.3. Redistribution granulométrique	Redistribution des sédiments sur le profil de plage selon leur taille granulométrique	0	2	0	Eco : Affecte la faune épi- et endo- benthique en général Favorise l'émigration des organismes
1.3.4. Taille granulométrique	Modification de la taille granulométrique des sédiments en général	0	2	2	Modification des capacités de fouissage. Socio : Modification aux conditions des loisirs terrestres

Catégorisation des effets observés	Description	Échelle de cause à effet		
		Géo	Eco	Socio
1.3.5. Mise en suspension	Mise en suspension des sédiments dans la colonne d'eau	0	2	0
Explication du niveau attribué Éco : Affecte les processus photosynthétiques Affecte les prédateurs qui chassent grâce au visuel Peut boucher les appareils de filtration des organismes filtreurs				
<hr/>				
1.4. Transport sédimentaire				
1.4.1. Dispersion sédimentaire	Modification favorisant la répartition des sédiments	2	2	0
1.4.2. Transport longitudinal	Modification du transport sédimentaire parallèle à la côte	2	2	0
1.4.3. Transport sédimentaire général	Modification du transport sédimentaire (sans mentionner de direction)	2	2	0
1.4.4. Transport transversal	Modification du transport perpendiculaire à la côte	2	2	0
<hr/>				
2. Hydrodynamique				
<hr/>				
2.1. Caractéristiques des vagues				
2.1.1. Angle des vagues	Modification de l'angle des vagues incidentes	2	0	0
2.1.2. Régime de vagues	Modifications aux caractéristiques du régime de vagues	2	0	0
<hr/>				
2.2. Courants				
2.2.1. Circulation	Modification de la circulation de l'eau en général (eddy current, courants circulaires, etc.)	3	2	0
2.2.2. Courants transversaux	Modification des courants transversaux vers le large ou la côte	3	2	0
2.2.3. Dérive littorale	Modification des courants parallèles au rivage	3	2	0
2.2.4. Courants de marée	Modification des courants causés par la variation du niveau de l'eau	0	2	0
2.2.5. Courants d'arrachement	Création ou modification de courants d'arrachement	3	2	2
<hr/>				
2.3. Eaux souterraines				
2.3.1. Épaisseur de la zone de plage non saturée	Modification de l'épaisseur de la zone non saturée	2	0	0
2.3.2. Infiltration/Percolation	Modification de l'infiltration et de la percolation de l'eau à la surface de la plage	2	0	0
2.3.3. Niveau de la nappe phréatique	Modification du niveau de la nappe phréatique	2	0	0
<hr/>				
2.4. Jet de rive				
<hr/>				

Catégorisation des effets observés	Description	Échelle de cause à effet			Explication du niveau attribué
		Géo	Eco	Socio	
2.4.1. Swash/Backwash	Modification de l'incidence de la dissipation de la vague sur la plage (monté, jet de rive (swash/uprush) ou de la descente (nappe de retrait, backwash/downrush))	2	0	0	Géo : Modification de la dissipation des vagues affectant ultimement le transport sédimentaire.
2.4.2. Franchissement	Passage d'eau par-dessus un OPC	2	0	0	
2.4.3. Run-up	Modification du niveau atteint par une vague (run-up ou set-up)	2	0	0	
<hr/>					
2.5. Processus de dissipation		-	-	-	
2.5.1. Déferlement	Modification du processus de déferlement des vagues	2	2	0	Géo : Augmentation de l'énergie et de la réflexion des vagues sont une cause d'érosion (Bird, 2008)
2.5.2. Diffraction	Modification du phénomène de diffraction	2	2	0	
2.5.3. Énergie des vagues	Modification en générale de la dissipation de l'énergie des vagues	2	2	0	Eco : Délèvement/arrachage et abrasion des organismes.
2.5.4. Hauteur de vagues	Modification de la hauteur des vagues	2	2	0	
2.5.5. Réflexion	Modification de la réflexion des vagues	2	2	0	
2.5.6. Transmission	Modification de la transmission des vagues, soit le passage d'une partie de l'énergie de l'eau par-dessus un OPC.	2	2	0	
2.5.7. Réfraction	Modification de la réfraction des vagues	3	2	0	Géo : Résultat de changements bathymétriques
<hr/>					
3. Écologique		-	-	-	
<hr/>					
3.1. Biocénose		-	-	-	
3.1.1. Biocénose qualitative	Modifications qualitatives de la biocénose d'un écosystème (présence/absence d'espèce, richesse, assemblages, diversité, indices d'oiseaux, espèces non indigènes, diversité génétique des organismes, perte d'espèce)	0	1	0	Observation d'une variation de la biocénose
3.1.2. Biocénose quantitative	Modifications quantitatives de la biocénose d'un écosystème (abondance, densité, concentration en chlorophylle a, pourcentage de couverture des herbiers)	0	1	0	
<hr/>					
3.2. Biotope		-	-	-	
3.2.1. Modification physico-chimique	Modification du biotope en termes de physico-chimie (humidité, température, pH, turbidité et qualité de l'eau)	0	3	0	
3.2.2. Modification structurelle	Modification du biotope en termes de structure (perte d'habitat, changement de type d'habitat, apparition de zone de sédiment nu, modification de la végétation ou de l'ombrage)	0	3	0	

Identification de solutions d'adaptation aux aléas côtiers pour augmenter la résilience des communautés des Premières Nations dans un contexte de changements climatiques:

Rapport final 2021

Catégorisation des effets observés	Description	Échelle de cause à effet			Explication du niveau attribué
		Géo	Eco	Socio	
3.2.3. Mouvement de la ressource	Modification du mouvement de la ressource	0	3	2	
3.2.4. Quantité et qualité de la ressource	Modification de la quantité et de la qualité de la ressource	0	3	0	
3.3. Processus biologiques					
3.3.1. Fonction de croissance	Modification de la fonction de croissance des organismes (croissance, biomasse et biométrie)	0	2	0	
3.3.2. Fonction de locomotion	Modification de la fonction de locomotion des organismes (mouvement et enterrement)	0	2	0	
3.3.3. Fonction de nutrition	Modification de la fonction de nutrition des organismes (nutrition et réserves)	0	2	0	
3.3.4. Fonction de reproduction	Modification de la fonction de reproduction des organismes (reproduction, indices de pontes et recrutement)	0	2	0	
3.3.5. Fonction de respiration	Modification de la fonction de respiration des organismes	0	2	0	
4. Social					
4.1. Pratique de loisirs					
4.1.1. Loisirs aquatiques côtiers	Loisirs pratiqués dans l'eau à proximité de la côte	0	0	1	Socio : Observation d'une modification directe à la pratique de loisirs
4.1.2. Loisirs terrestres	Loisirs pratiqués sur la côte	0	0	1	
4.2. Qualité socio-culturelle					
4.2.1. Esthétisme	Modification du paysage/beauté du paysage	0	0	1	Socio : Observation d'une modification directe à la qualité socio-culturelle
4.2.2. Qualité de vie	Modification de la qualité de vie des résidents	0	0	1	

Identification de solutions d'adaptation aux aléas côtiers pour augmenter la résilience des communautés des Premières Nations dans un contexte de changements climatiques:
Rapport final 2021

Tableau 35. Échelle de pondération de base pour l'évaluation de l'effet d'un OPC sur le milieu

Échelon	Description	Ratio quantitatif	Exemples
5	Effet marqué positif de l'OPC sur le milieu par l'utilisation de termes amplificateurs ou une mention d'effet à long terme	> + 70%	<i>Efficiently traps sediment, Abundance of sediment in front of geotube LCBs, Significant sand accumulation, long term flanking effects</i>
3	Effet observé positif de l'OPC sur le milieu	40 - 70%	<i>wave energy is approximately reduced by 50%, control sediment transport</i>
1	Effet minime positif de l'OPC sur le milieu par l'utilisation de termes limitateurs ou une mention associée à une tendance	10 - 40%	<i>tends to cause accumulation, indeed covered by a thick layer of sediment</i>
0	Aucun effet de l'OPC sur le milieu	-10 - 10%	<i>No evidence of accretion</i>
-1	Effet minime négatif de l'OPC sur le milieu par l'utilisation de termes limitateurs ou une mention associée à une tendance	-10 - -40%	<i>minimizing the downdrift erosion associated with the groin</i>
-3	Effet observé négatif de l'OPC sur le milieu	-40 - -70%	<i>Erosion of the beaches, Lowered elevation of the beach toe</i>
-5	Effet marqué négatif de l'OPC sur le milieu par l'utilisation de termes amplificateurs ou une mention d'effet à long terme	> -70%	<i>Strong wave reflection, Heavy erosion in the gaps between breakwater</i>
NA	Le changement cité n'est pas applicable, car non observé par l'auteur	-	<i>Potential for scour, severe scour can be experienced</i>

(iii) Ainsi, le traitement de l'information par l'algorithme visera à identifier et à colliger les effets observés dans des milieux aux caractéristiques environnementales similaires aux secteurs où un OPC est envisagé. L'évaluation des effets observés des OPC est effectuée de façon distincte pour les trois catégories d'impact: géomorphologique, écosystémique et social

6.1.1 Communauté de Pessamit

La cellule hydrosédimentaire *Tourbière Pessamit* a été analysée. Cette cellule hydrosédimentaire d'une longueur d'environ 5 km a été divisée en cinq regroupements de segments géomorphologiques homogènes pour l'analyse (tableau 33). Le marnage est mesotidal (2 à 4 m) et l'énergie des vagues est faible ($H_s < 1$ m). Seulement les regroupements 3 à 5 en bordure directe du village de Pessamit sont analysés.

Tableau 36. Caractéristiques côtières des regroupements de segments géomorphologiques homogènes de la cellule hydrosédimentaire *Tourbière Pessamit*

Regroup	Longueur (m)	Type de côte	Type de substrat	Hauteur approximative (m)	Artificialité (%)	Direction dérive principale (°)	Présence d'infrastructure	Moyenne mobile de déplacement (m)
3	432,68	Falaise meuble	Sable (0,063 - 2 mm)	10	46,3%	Sud	Oui	-
4	1196,67	Flèche littorale	Sable (0,063 - 2 mm)	1	0,0%	Sud	Oui	-1,690

Identification de solutions d'adaptation aux aléas côtiers pour augmenter la résilience des communautés des Premières Nations dans un contexte de changements climatiques:

Rapport final 2021

5	179,17	Flèche littorale	Sable (0,063 - 2 mm)	1	0,0%	Sud	Oui	1,583
---	--------	------------------	----------------------	---	------	-----	-----	-------



Figure 102. Localisation des regroupements par segments géomorphologiques homogènes à Pessamit

Globalement, pour l'ensemble des regroupements analysés, la hiérarchisation des OPC selon leurs effets géomorphologiques, écosystémiques et sociaux est similaire. Les OPC présentant des résultats généralement positifs sont la végétalisation et les ganivelles, suivies par trois types de recharge sédimentaire, puis par trois types de systèmes de drainage de plage, et finalement, par les épis perméables.

6.1.1.1 Regroupement 3 – Falaise meuble

Le regroupement 3 est caractérisé par une falaise meuble sableuse d'une hauteur approximative de 10 mètres et artificialisé par un enrochement sur 46,3 % de la longueur du regroupement.

6.1.1.1.1 Résultats – Effets géomorphologiques

Les résultats des effets géomorphologiques des OPC sont présentés au tableau 34. Les résultats géomorphologiques du regroupement 3 doivent être interprétés en considérant une incertitude élevée tel qu'indiqué par l'indice de correspondance (IC) faible. Alors que l'IC est faible, le nombre d'effets observés (N) est élevé. Ce constat est dû au faible nombre de sites d'étude sur les effets des OPC dans un contexte de falaise meuble (15), ce qui engendre un élargissement pour intégrer l'ensemble des sites d'étude réalisés dans un contexte de côte meuble (305).

Identification de solutions d'adaptation aux aléas côtiers pour augmenter la résilience des communautés des Premières Nations dans un contexte de changements climatiques:

Rapport final 2021

L'ensemble des techniques douces obtiennent des résultats positifs. L'épi perméable est le seul ouvrage rigide qui obtient un résultat positif. Plus spécifiquement, la végétalisation ainsi que les recharges de plage et d'avant-plage obtiennent particulièrement de bons résultats sur l'échelle de pondération basée sur un N très élevé. Les couches perméables de drainage et le système vertical de drainage obtiennent de bons résultats sur l'échelle de pondération, mais les résultats sont basés sur un faible N. Le système horizontal de drainage et l'épi perméable obtiennent de bons résultats basés sur un N élevé. Vu l'indice de correspondance élevé et une moyenne près de 0, il serait pertinent de conserver le brise-lame émergé dans les prochaines étapes du processus de sélection d'un OPC afin de poursuivre l'analyse de ce type de structure. Également, les résultats démontrent clairement les effets géomorphologiques négatifs des structures réfléchissantes (enrochement et mur de protection) dans un contexte de côte meuble.

Tableau 37. Résultats de l'effet géomorphologique des OPC dans le contexte du regroupement 3

Pos.	OPC	% seuil	Moy	IC	N	-5	-3	-1	0	1	3	5
1	Végétalisation	3	2,748	0,375	119	0,0%	3,4%	0,8%	5,0%	5,9%	72,3%	12,6%
2	Couches perméables de drainage	3	2,182	0,375	11	0,0%	9,1%	0,0%	9,1%	0,0%	81,8%	0,0%
3	Recharge de plage	3	1,988	0,375	335	0,9%	6,0%	1,2%	17,0%	13,7%	48,7%	12,5%
4	Recharge d'avant-plage	3	1,75	0,375	104	0,0%	13,5%	1,0%	13,5%	9,6%	52,9%	9,6%
5	Système horizontal de drainage	1	1,649	0,375	114	0,9%	13,2%	2,6%	12,3%	13,2%	45,6%	12,3%
6	Système vertical de drainage	1	1,588	0,375	17	0,0%	0,0%	0,0%	35,3%	23,5%	35,3%	5,9%
7	Épi perméable	1	0,874	0,375	95	8,4%	16,8%	6,3%	8,4%	9,5%	37,9%	12,6%
8	Brise-lame émergé	-3	-0,125	0,375	80	7,5%	38,8%	2,5%	5,0%	2,5%	38,8%	5,0%
9	Brise-lame submergé	-3	-0,296	0,375	162	8,6%	39,5%	2,5%	4,9%	7,4%	29,0%	8,0%
10	Brise-lame à crête basse	-3	-0,557	0,375	97	10,3%	43,3%	2,1%	3,1%	5,2%	28,9%	7,2%
11	Épi imperméable	-3	-0,894	0,375	113	8,8%	47,8%	4,4%	7,1%	1,8%	24,8%	5,3%
12	Rip-rap	-3	-1,00	0,697	7	0,0%	42,9%	14,3%	28,6%	0,0%	14,3%	0,0%
13	Mur de protection	-3	-2,40	0,375	135	14,1%	60,0%	8,9%	9,6%	2,2%	4,4%	0,7%
14	Enrochement	-3	-3,219	0,375	32	25,0%	65,6%	0,0%	9,4%	0,0%	0,0%	0,0%

6.1.1.1.2 Résultats – Effets écosystémiques

Les résultats des effets écosystémiques des OPC sont présentés au tableau 35. En général, l'indice de correspondance (IC) est élevé. La différence par rapport aux résultats géomorphologiques est expliquée par l'ajustement de l'ordre des degrés d'élargissement pour l'analyse écosystémique.

La végétalisation, l'épi perméable, la recharge d'avant-plage et le système horizontal de drainage obtiennent de bons résultats basés sur un N significatif. La recharge de plage et le brise-lame émergé atteignent le pourcentage seuil à 0 sur l'échelle de pondération tout en ayant une moyenne positive justifiant l'inclusion du brise-lame émergé dans une analyse subséquente. Également, les résultats démontrent les effets écosystémiques négatifs des structures réfléchissantes (enrochement et mur de protection) dans le contexte de ce regroupement. L'incertitude des résultats pour l'enrochement est toutefois élevée en raison d'un faible N et d'un IC moyen.

Tableau 38. Résultats de l'effet écosystémique des OPC dans le contexte du regroupement 3

Pos.	OPC	% seuil	Moy	IC	N	-5	-3	-1	0	1	3	5
1	Végétalisation	3	3,10	0,899	20	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	5,0%	85,0%	10,0%
2	Épi perméable	3	2,154	0,922	26	3,8%	7,7%	3,8%	7,7%	0,0%	61,5%	15,4%
3	Recharge d'avant-plage	3	1,903	0,937	31	0,0%	6,5%	0,0%	25,8%	6,5%	51,6%	9,7%
4	Système horizontal de drainage	1	1,524	0,899	21	0,0%	9,5%	0,0%	23,8%	19,0%	38,1%	9,5%
5	Recharge de plage	0	1,314	0,937	118	0,8%	11,9%	4,2%	24,6%	9,3%	39,8%	9,3%
6	Brise-lame émergé	0	0,091	0,899	11	0,0%	36,4%	0,0%	18,2%	9,1%	36,4%	0,0%
7	Système vertical de drainage	0	0,00	0,375	5	0,0%	40,0%	0,0%	20,0%	20,0%	0,0%	20,0%
8	Épi imperméable	-3	-0,02	0,922	49	0,0%	40,8%	8,2%	12,2%	4,1%	24,5%	10,2%
9	Brise-lame à crête basse	-3	-0,583	0,937	48	12,5%	39,6%	4,2%	4,2%	4,2%	27,1%	8,3%
10	Brise-lame submergé	-3	-0,633	0,937	49	16,3%	38,8%	0,0%	0,0%	6,1%	32,7%	6,1%
11	Mur de protection	-3	-2,714	0,922	49	22,4%	59,2%	4,1%	8,2%	0,0%	4,1%	2,0%
12	Enrochement	-3	-2,889	0,899	9	11,1%	77,8%	0,0%	11,1%	0,0%	0,0%	0,0%

6.1.1.1.3 Résultats – Effets sociaux

Les résultats sociaux globaux sont basés sur une analyse de l'effet des OPC sur les services écologiques en général (tableau 36). Les effets des OPC spécifiques à chacun des services écologiques présents sur la superficie du regroupement 3 sont présentés dans le rapport détaillé (Sauvé et Bernatchez, 2021b).

L'ensemble des techniques douces obtiennent des résultats positifs. L'épi perméable est la seule structure qui obtient un résultat positif. Plus spécifiquement, la végétalisation et les couches perméables de drainage présentent de très bons résultats en termes d'atteinte du pourcentage seuil et de la moyenne. Par contre, les résultats des couches perméables de drainage sont basés sur un N faible. La recharge d'avant-plage, l'épi perméable, les systèmes vertical et horizontal de drainage et la recharge de plage présentent également de bons résultats basés sur des N élevés, voire très élevés. Également, les résultats démontrent clairement les effets négatifs des structures réfléchives (enrochement et mur de protection) sur les services écologiques dans le contexte des caractéristiques du regroupement 3.

Tableau 39. Résultats de l'effet des OPC sur les services écologiques du regroupement 3

Pos.	OPC	% seuil	Moy	N	-5	-3	-1	0	1	3	5
1	Végétalisation	3	2,413	138	1,4%	5,8%	2,2%	5,1%	6,5%	66,7%	12,3%
2	Couches perméables de drainage	3	2	9	0,0%	11,1%	0,0%	11,1%	0,0%	77,8%	0,0%
3	Recharge d'avant-plage	1	1,402	117	1,7%	17,1%	0,9%	12,8%	9,4%	49,6%	8,5%
4	Épi perméable	1	0,989	93	5,4%	19,4%	6,5%	7,5%	9,7%	38,7%	12,9%
5	Système vertical de drainage	0	0,824	17	0,0%	11,8%	0,0%	41,2%	17,6%	23,5%	5,9%
6	Recharge de plage	0	0,678	485	6,6%	17,9%	4,7%	17,3%	9,5%	34,8%	9,1%
7	Système horizontal de drainage	0	0,584	89	1,1%	18,0%	3,4%	32,6%	11,2%	29,2%	4,5%
9	Brise-lame submergé	-3	-0,127	158	8,2%	36,1%	3,2%	6,3%	7,6%	30,4%	8,2%
10	Brise-lame émergé	-3	-0,433	90	7,8%	43,3%	2,2%	5,6%	2,2%	34,4%	4,4%
11	Brise-lame à crête basse	-3	-0,788	118	10,2%	45,8%	3,4%	4,2%	4,2%	26,3%	5,9%

Identification de solutions d'adaptation aux aléas côtiers pour augmenter la résilience des communautés des Premières Nations dans un contexte de changements climatiques:

Rapport final 2021

12	Épi imperméable	-3	-0,836	122	9,8%	44,3%	5,7%	8,2%	1,6%	24,6%	5,7%
13	Mur de protection	-3	-2,589	168	18,5%	57,7%	7,1%	11,3%	1,2%	4,2%	0,0%
14	Enrochement	-3	-3,375	80	36,3%	53,8%	2,5%	5,0%	0,0%	2,5%	0,0%

6.1.1.2 Regroupements 4 et 5 – Flèche littorale

Les regroupements de segments géomorphologiques homogènes 4 et 5 présentent des caractéristiques environnementales identiques soit une flèche littorale sableuse sans présence d'artificialité. Le point distinctif est le taux de déplacement moyen qui est de -1,692 m/an pour le regroupement 4 et de 1,583 m/an pour le regroupement 5. En raison de son taux de déplacement moyen négatif, le regroupement 4 présente un apport sédimentaire potentiel d'environ 2025 m³/an pour le regroupement 5 situé à l'extrémité de la cellule hydrosédimentaire.

6.1.1.2.1 Résultats – Effets géomorphologiques

Les résultats des effets géomorphologiques des OPC sont présentés au tableau 37. Les recharges de dune et les ganivelles, applicables principalement dans un contexte de côte dunaire, ont été ajoutés à l'analyse, car la flèche littorale de Pessamit est dunifiée. Les OPC qui se classent dans les cinq positions initiales du classement présentent de très bons résultats. Toutefois, la végétalisation et la recharge de dune présentent une incertitude élevée en raison d'une faible correspondance pour la végétalisation et un N faible pour les recharges de dune. Le système vertical de drainage, la recharge de plage, le système horizontal de drainage et l'épi perméable présentent également de bons résultats. Le système vertical de drainage présente toutefois un N faible. L'épi imperméable présente une atteinte de pourcentage seuil négative, mais une moyenne légèrement positive. Également, les résultats démontrent clairement les effets géomorphologiques négatifs des structures réfléchissantes (enrochement et mur de protection) dans un contexte de côte basse meuble.

Tableau 40. Résultats de l'effet géomorphologique des OPC dans le contexte des regroupements de segments géomorphologiques homogènes 4 et 5

Pos.	OPC	% seuil	Moy	IC	N	-5	-3	-1	0	1	3	5
1	Végétalisation	3	2,748	0,375	119	0,0%	3,4%	0,8%	5,0%	5,9%	72,3%	12,6%
2	Ganivelle	3	2,529	0,859	17	0,0%	11,8%	0,0%	0,0%	5,9%	64,7%	17,6%
3	Recharge de dune	3	2,25	0,859	4	0,0%	0,0%	0,0%	25,0%	0,0%	75,0%	0,0%
4	Couches perméables de drainage	3	2,182	0,375	11	0,0%	9,1%	0,0%	9,1%	0,0%	81,8%	0,0%
5	Recharge d'avant-plage	3	2,032	0,697	31	0,0%	6,5%	0,0%	19,4%	9,7%	54,8%	9,7%
6	Système vertical de drainage	1	1,833	0,859	6	0,0%	0,0%	0,0%	16,7%	33,3%	50,0%	0,0%
7	Recharge de plage	1	1,793	0,859	111	0,9%	6,3%	0,9%	25,2%	10,8%	43,2%	12,6%
8	Système horizontal de drainage	1	1,405	0,697	42	0,0%	16,7%	0,0%	16,7%	16,7%	38,1%	11,9%
9	Épi perméable	1	1,00	0,697	36	8,3%	16,7%	2,8%	11,1%	2,8%	50,0%	8,3%
10	Épi imperméable	-3	0,043	0,697	47	4,3%	36,2%	4,3%	10,6%	4,3%	34,0%	6,4%
11	Brise-lame émergé	-3	-0,125	0,375	80	7,5%	38,8%	2,5%	5,0%	2,5%	38,8%	5,0%
12	Brise-lame à crête basse	-3	-0,588	0,859	51	11,8%	43,1%	2,0%	2,0%	3,9%	29,4%	7,8%
13	Brise-lame submergé	-3	-0,676	0,859	68	11,8%	44,1%	1,5%	2,9%	4,4%	27,9%	7,4%

Identification de solutions d'adaptation aux aléas côtiers pour augmenter la résilience des communautés des Premières Nations dans un contexte de changements climatiques:

Rapport final 2021

14	Rip-rap	-3	-1,00	0,375	7	0,0%	42,9%	14,3%	28,6%	0,0%	14,3%	0,0%
15	Mur de protection	-3	-2,586	0,697	58	13,8%	62,1%	8,6%	13,8%	0,0%	1,7%	0,0%
16	Enrochement	-3	-3,30	0,697	20	30,0%	60,0%	0,0%	10,0%	0,0%	0,0%	0,0%

6.1.1.2.2 Résultats – Effets écosystémiques

Les résultats des effets écosystémiques des OPC sont présentés au tableau 38. Les OPC qui se classent dans les cinq positions initiales du classement présentent de très bons résultats. Toutefois, la recharge de dune présente une incertitude élevée en raison d'une correspondance et d'un N faible. Le système horizontal de drainage et la recharge de plage obtiennent également de bons résultats. Le brise-lame émergé présente une atteinte de pourcentage seuil de 0 et une moyenne positive. Les résultats démontrent les effets écosystémiques négatifs des structures réfléchives (enrochement et mur de protection) dans le contexte de ce regroupement. L'incertitude des résultats pour l'enrochement est toutefois élevée en raison d'un faible N et d'un IC moyen.

Tableau 41. Résultats de l'effet écosystémique des OPC dans le contexte des regroupements 4 et 5

Pos.	OPC	% seuil	Moy	IC	N	-5	-3	-1	0	1	3	5
1	Végétalisation	3	3,10	0,899	20	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	5,0%	85,0%	10,0%
2	Ganivelle	3	2,579	0,922	19	0,0%	10,5%	0,0%	0,0%	5,3%	68,4%	15,8%
3	Recharge de dune	3	2,25	0,375	4	0,0%	0,0%	0,0%	25,0%	0,0%	75,0%	0,0%
4	Épi perméable	3	2,154	0,922	26	3,8%	7,7%	3,8%	7,7%	0,0%	61,5%	15,4%
5	Recharge d'avant-plage	3	1,903	0,937	31	0,0%	6,5%	0,0%	25,8%	6,5%	51,6%	9,7%
6	Système horizontal de drainage	1	1,524	0,899	21	0,0%	9,5%	0,0%	23,8%	19,0%	38,1%	9,5%
7	Recharge de plage	0	1,314	0,937	118	0,8%	11,9%	4,2%	24,6%	9,3%	39,8%	9,3%
8	Brise-lame émergé	0	0,091	0,899	11	0,0%	36,4%	0,0%	18,2%	9,1%	36,4%	0,0%
9	Système vertical de drainage	0	0,00	0,375	5	0,0%	40,0%	0,0%	20,0%	20,0%	0,0%	20,0%
10	Épi imperméable	-3	-0,02	0,922	49	0,0%	40,8%	8,2%	12,2%	4,1%	24,5%	10,2%
11	Brise-lame à crête basse	-3	-0,583	0,937	48	12,5%	39,6%	4,2%	4,2%	4,2%	27,1%	8,3%
12	Brise-lame submergé	-3	-0,633	0,937	49	16,3%	38,8%	0,0%	0,0%	6,1%	32,7%	6,1%
13	Mur de protection	-3	-2,714	0,922	49	22,4%	59,2%	4,1%	8,2%	0,0%	4,1%	2,0%
14	Enrochement	-3	-2,889	0,899	9	11,1%	77,8%	0,0%	11,1%	0,0%	0,0%	0,0%

6.1.1.2.3 Résultats – Effets sociaux

Les résultats sociaux globaux sont basés sur une analyse de l'effet des OPC sur les services écologiques en général (tableau 39). Les effets des OPC spécifiques à chacun des services écologiques présents sur la superficie des regroupements de segments géomorphologiques homogènes 4 et 5 sont présentés dans le rapport détaillé (Sauvé et Bernatchez, 2021b).

L'ensemble des techniques douces obtiennent des résultats positifs. L'épi perméable est la seule structure rigide qui obtient un résultat positif. Les résultats des couches perméables de drainage, de la recharge de dune et du système vertical de drainage sont basés sur un N faible, voire très faible, ce qui augmente l'incertitude. Également, les résultats démontrent clairement les effets négatifs des structures réfléchives

Identification de solutions d'adaptation aux aléas côtiers pour augmenter la résilience des communautés des Premières Nations dans un contexte de changements climatiques:

Rapport final 2021

(enrochement et mur de protection) sur les services écologiques dans le contexte des caractéristiques des regroupements de segments géomorphologiques homogènes 4 et 5.

Tableau 42. Résultats de l'effet des OPC sur les services écologiques des regroupements de segments géomorphologiques homogènes 4 et 5

Pos.	OPC	% seuil	Moy	N	-5	-3	-1	0	1	3	5
1	Couches perméables de drainage	3	3	1	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%	0,0%
2	Ganivelle	3	2,529	17	0,0%	11,8%	0,0%	0,0%	5,9%	64,7%	17,6%
3	Végétalisation	3	2,413	138	1,4%	5,8%	2,2%	5,1%	6,5%	66,7%	12,3%
4	Recharge de dune	3	2,250	4	0,0%	0,0%	0,0%	25,0%	0,0%	75,0%	0,0%
5	Recharge d'avant-plage	3	1,952	21	0,0%	4,8%	0,0%	19,0%	14,3%	57,1%	4,8%
6	Épi perméable	3	1,722	18	5,6%	11,1%	5,6%	5,6%	0,0%	61,1%	11,1%
7	Système horizontal de drainage	1	1,444	18	0,0%	11,1%	0,0%	22,2%	22,2%	33,3%	11,1%
8	Système vertical de drainage	0	1,429	7	0,0%	0,0%	0,0%	42,9%	14,3%	42,9%	0,0%
9	Recharge de plage	0	0,630	154	5,8%	18,2%	4,5%	22,7%	7,1%	31,8%	9,7%
10	Épi imperméable	-1	0,267	30	0,0%	36,7%	6,7%	13,3%	6,7%	23,3%	13,3%
11	Brise-lame submergé	-3	-0,507	67	11,9%	40,3%	1,5%	4,5%	4,5%	29,9%	7,5%
12	Brise-lame émergé	-3	-0,800	35	8,6%	45,7%	2,9%	8,6%	2,9%	28,6%	2,9%
13	Brise-lame à crête basse	-3	-1,000	62	12,9%	46,8%	3,2%	3,2%	3,2%	24,2%	6,5%
14	Mur de protection	-3	-2,711	76	14,5%	65,8%	5,3%	13,2%	0,0%	1,3%	0,0%
15	Enrochement	-3	-3,389	54	37,0%	51,9%	3,7%	5,6%	0,0%	1,9%	0,0%

6.1.2 Communauté de Uashat

La communauté de Uashat est située dans un contexte de dynamique hydrosédimentaire dans la cellule hydrosédimentaire de la baie des Sept-Îles (tableau 40). Seuls les segments de côte présents sur le territoire de la communauté ont été analysés afin de limiter le temps de calcul et de répondre directement aux objectifs du projet actuel. Ainsi, la longueur analysée est d'environ 5,2 km (figure 38). Le marnage est mesotidal (2 à 4 m) et l'énergie des vagues est faible ($H_s < 1$ m).

Tableau 43. Caractéristiques côtières des regroupements de segments géomorphologiques homogènes de la partie de la cellule hydrosédimentaire baie des Sept-Îles présentes sur la communauté de la Uashat

Regroup	Longueur (m)	Type de côte	Type de sédiments	Hauteur approximative (m)	Artificialité (%)	Direction dérive principale (°)	Présence d'infrastructure	Moyenne mobile de déplacement (m)
1	119,31	TP	Sable (0,063 - 2 mm)	1,5	5,4%	Nord-ouest	Oui	1,7
2	295,67	TP	Sable (0,063 - 2 mm)	1,5	18,9%	Nord-ouest	Oui	2,1
3	1071,93	FL	Sable (0,063 - 2 mm)	1,5	0,0%	Nord-ouest	Oui	2,6

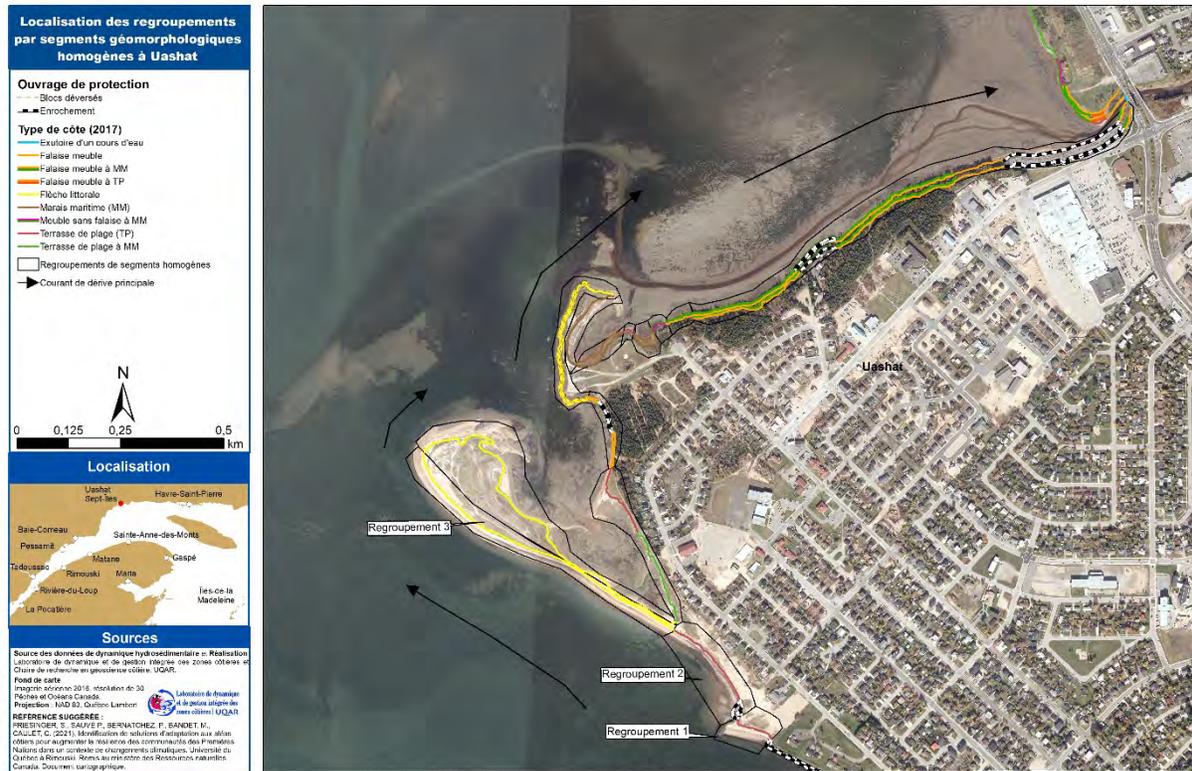


Figure 103. Localisation des regroupements par segments géomorphologiques homogènes à Uashat

Globalement, pour l'ensemble des regroupements analysés, la hiérarchisation des OPC selon leurs effets géomorphologiques, écosystémiques et sociaux est similaire. Les OPC présentant des résultats généralement positifs sont la végétalisation et les ganivelles, suivies par trois types de recharge sédimentaire, puis par trois types de systèmes de drainage de plage, et finalement, par les épis perméables.

6.1.2.1 Regroupement 1 et 2 – Terrasse de plage

Les regroupements de segments géomorphologiques homogènes 1 et 2 sont caractérisés par une terrasse de plage sableuse d'une hauteur approximative variant de 0 à 1,5 m. Ils présentent des pourcentages d'artificialité de 5,4 % et 18,9 % respectivement.

6.1.2.1.1 Résultats – Effets géomorphologiques

Les résultats des effets géomorphologiques des OPC sont présentés au tableau 41. Les OPC qui se classent dans les trois positions initiales du classement présentent de très bons résultats. Toutefois, ils présentent une incertitude élevée, voire très élevée, en raison d'une faible correspondance. Le système vertical de drainage, la recharge de plage, le système horizontal de drainage et l'épi perméable présentent également de bons résultats. Le système vertical de drainage présente toutefois un N faible. Également, les résultats démontrent clairement les effets géomorphologiques négatifs des structures réfléchives (enrochement et mur de protection) dans un contexte de côte basse meuble.

Identification de solutions d'adaptation aux aléas côtiers pour augmenter la résilience des communautés des Premières Nations dans un contexte de changements climatiques:

Rapport final 2021

Tableau 44. Résultats de l'effet géomorphologique des OPC dans le contexte des regroupements de segments géomorphologiques homogènes 1 et 2

Pos.	OPC	% seuil	Moy	IC	N	-5	-3	-1	0	1	3	5
1	Végétalisation	3	2,748	0,375	119	0,0%	3,4%	0,8%	5,0%	5,9%	72,3%	12,6%
2	Couches perméables de drainage	3	2,182	0,375	11	0,0%	9,1%	0,0%	9,1%	0,0%	81,8%	0,0%
3	Recharge d'avant-plage	3	2,032	0,697	31	0,0%	6,5%	0,0%	19,4%	9,7%	54,8%	9,7%
4	Système vertical de drainage	1	1,833	0,859	6	0,0%	0,0%	0,0%	16,7%	33,3%	50,0%	0,0%
5	Recharge de plage	1	1,793	0,859	111	0,9%	6,3%	0,9%	25,2%	10,8%	43,2%	12,6%
6	Système horizontal de drainage	1	1,405	0,697	42	0,0%	16,7%	0,0%	16,7%	16,7%	38,1%	11,9%
7	Épi perméable	1	1,00	0,697	36	8,3%	16,7%	2,8%	11,1%	2,8%	50,0%	8,3%
8	Brise-lame submergé	-3	0,282	0,922	39	2,6%	41,0%	2,6%	5,1%	2,6%	33,3%	12,8%
9	Épi imperméable	-3	0,043	0,697	47	4,3%	36,2%	4,3%	10,6%	4,3%	34,0%	6,4%
10	Brise-lame émergé	-3	-0,125	0,375	80	7,5%	38,8%	2,5%	5,0%	2,5%	38,8%	5,0%
11	Brise-lame à crête basse	-3	-0,514	0,937	37	8,1%	45,9%	2,7%	0,0%	5,4%	32,4%	5,4%
12	Rip-rap	-3	-1,00	0,375	7	0,0%	42,9%	14,3%	28,6%	0,0%	14,3%	0,0%
13	Mur de protection	-3	-2,586	0,697	58	13,8%	62,1%	8,6%	13,8%	0,0%	1,7%	0,0%
14	Enrochement	-3	-3,30	0,697	20	30,0%	60,0%	0,0%	10,0%	0,0%	0,0%	0,0%

6.1.2.1.2 Résultats – Effets écosystémiques

Les résultats des effets écosystémiques des OPC sont présentés au tableau 42. Les OPC qui se classent dans les trois positions initiales du classement présentent de très bons résultats. Le système horizontal de drainage et la recharge de plage obtiennent également de bons résultats.

Les résultats démontrent les effets écosystémiques négatifs des structures réfléchives (enrochement et mur de protection) dans le contexte de ce regroupement. L'incertitude des résultats pour l'enrochement est toutefois élevée en raison d'un faible N et d'un IC moyen.

Tableau 45. Résultats de l'effet écosystémique des OPC dans le contexte des regroupements de segments géomorphologiques homogènes 1 et 2

Pos.	OPC	% seuil	Moy	IC	N	-5	-3	-1	0	1	3	5
1	Végétalisation	3	3,10	0,899	20	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	5,0%	85,0%	10,0%
2	Épi perméable	3	2,154	0,922	26	3,8%	7,7%	3,8%	7,7%	0,0%	61,5%	15,4%
3	Recharge d'avant-plage	3	1,903	0,937	31	0,0%	6,5%	0,0%	25,8%	6,5%	51,6%	9,7%
4	Système horizontal de drainage	1	1,524	0,899	21	0,0%	9,5%	0,0%	23,8%	19,0%	38,1%	9,5%
5	Recharge de plage	0	1,314	0,937	118	0,8%	11,9%	4,2%	24,6%	9,3%	39,8%	9,3%
6	Brise-lame émergé	0	0,091	0,899	11	0,0%	36,4%	0,0%	18,2%	9,1%	36,4%	0,0%
7	Système vertical de drainage	0	0,00	0,375	5	0,0%	40,0%	0,0%	20,0%	20,0%	0,0%	20,0%
8	Épi imperméable	-3	-0,02	0,922	49	0,0%	40,8%	8,2%	12,2%	4,1%	24,5%	10,2%
9	Brise-lame à crête basse	-3	-0,583	0,937	48	12,5%	39,6%	4,2%	4,2%	4,2%	27,1%	8,3%
10	Brise-lame submergé	-3	-0,633	0,937	49	16,3%	38,8%	0,0%	0,0%	6,1%	32,7%	6,1%
11	Mur de protection	-3	-2,714	0,922	49	22,4%	59,2%	4,1%	8,2%	0,0%	4,1%	2,0%
12	Enrochement	-3	-2,889	0,899	9	11,1%	77,8%	0,0%	11,1%	0,0%	0,0%	0,0%

6.1.2.1.3 Résultats – Effets sociaux

Les résultats sociaux globaux sont basés sur une analyse de l'effet des OPC sur les services écologiques en général (tableau 43). Les effets des OPC spécifiques à chacun des services écologiques présents sur la superficie des regroupements de segments géomorphologiques homogènes 1 et 2 sont présentés dans le rapport détaillé (Sauvé et Bernatchez, 2021c).

L'ensemble des techniques douces obtiennent des résultats positifs. L'épi perméable est la seule structure rigide qui obtient un résultat positif. Les résultats des couches perméables de drainage, de la recharge de dune et du système vertical de drainage sont basés sur un N faible, voire très faible, ce qui augmente l'incertitude. Également, les résultats démontrent clairement les effets négatifs des structures réfléchissantes (enrochement et mur de protection) sur les services écologiques dans le contexte des caractéristiques des regroupements de segments géomorphologiques homogènes 1 et 2.

Tableau 46. Résultats de l'effet des OPC sur les services écologiques des regroupements de segments géomorphologiques homogènes 1 et 2

Pos.	OPC	% seuil	Moy	N	-5	-3	-1	0	1	3	5
1	Couches perméables de drainage	3	3	1	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%	0,0%
2	Végétalisation	3	2,413	138	1,4%	5,8%	2,2%	5,1%	6,5%	66,7%	12,3%
3	Recharge d'avant-plage	3	2	20	0,0%	5,0%	0,0%	20,0%	10,0%	60,0%	5,0%
4	Épi perméable	3	1,625	16	6,3%	12,5%	6,3%	0,0%	0,0%	68,8%	6,3%
5	Brise-lame submergé	3	1,526	19	5,3%	21,1%	0,0%	0,0%	5,3%	52,6%	15,8%
6	Système horizontal de drainage	1	1,706	17	0,0%	5,9%	0,0%	23,5%	23,5%	35,3%	11,8%
7	Système vertical de drainage	0	1,429	7	0,0%	0,0%	0,0%	42,9%	14,3%	42,9%	0,0%
8	Recharge de plage	0	0,731	52	3,8%	13,5%	5,8%	30,8%	7,7%	30,8%	7,7%
9	Épi imperméable	-1	0,267	30	0,0%	36,7%	6,7%	13,3%	6,7%	23,3%	13,3%
10	Brise-lame émergé	-3	-0,3	30	3,3%	43,3%	3,3%	10,0%	3,3%	33,3%	3,3%
11	Brise-lame à crête basse	-3	-0,837	43	11,6%	44,2%	4,7%	2,3%	4,7%	27,9%	4,7%
12	Mur de protection	-3	-2,711	76	14,5%	65,8%	5,3%	13,2%	0,0%	1,3%	0,0%
13	Enrochement	-3	-3,389	54	37,0%	51,9%	3,7%	5,6%	0,0%	1,9%	0,0%

6.1.2.2 Regroupement 3 – Flèche littorale

Le regroupement 3 sont caractérisés par une flèche littorale sableuse d'une hauteur approximative variant de 0 à 1,5 m. Le regroupement 3 n'est pas artificialisé.

6.1.2.2.1 Résultats – Effets géomorphologiques

Les résultats des effets géomorphologiques des OPC (tableau 44) sont pratiquement identiques aux résultats des regroupements de segments géomorphologiques homogènes 1 et 2. Ce constat est expliqué par le fait que les deux types de côtes sont des côtes basses meubles ainsi qu'un élargissement du type de côte est nécessaire dans les deux cas. Seul le brise-lame submergé obtient des résultats différents.

Identification de solutions d'adaptation aux aléas côtiers pour augmenter la résilience des communautés des Premières Nations dans un contexte de changements climatiques:

Rapport final 2021

Les OPC qui se classent dans les trois positions initiales du classement présentent de très bons résultats. Toutefois, ils présentent une incertitude élevée, voire très élevée, en raison d'une faible correspondance. Le système vertical de drainage, la recharge de plage, le système horizontal de drainage et l'épi perméable présentent également de bons résultats. Le système vertical de drainage présente toutefois un N faible. Également, les résultats démontrent clairement les effets géomorphologiques négatifs des structures réfléchives (enrochement et mur de protection) dans un contexte de côte basse meuble.

Tableau 47. Résultats de l'effet géomorphologique des OPC dans le contexte du regroupement 3

Pos.	OPC	% seuil	Moy	IC	N	-5	-3	-1	0	1	3	5
1	Végétalisation	3	2,748	0,375	119	0,0%	3,4%	0,8%	5,0%	5,9%	72,3%	12,6%
2	Couches perméables de drainage	3	2,182	0,375	11	0,0%	9,1%	0,0%	9,1%	0,0%	81,8%	0,0%
3	Recharge d'avant-plage	3	2,032	0,697	31	0,0%	6,5%	0,0%	19,4%	9,7%	54,8%	9,7%
4	Système vertical de drainage	1	1,833	0,859	6	0,0%	0,0%	0,0%	16,7%	33,3%	50,0%	0,0%
5	Recharge de plage	1	1,793	0,859	111	0,9%	6,3%	0,9%	25,2%	10,8%	43,2%	12,6%
6	Système horizontal de drainage	1	1,405	0,697	42	0,0%	16,7%	0,0%	16,7%	16,7%	38,1%	11,9%
7	Épi perméable	1	1,00	0,697	36	8,3%	16,7%	2,8%	11,1%	2,8%	50,0%	8,3%
8	Épi imperméable	-3	0,043	0,697	47	4,3%	36,2%	4,3%	10,6%	4,3%	34,0%	6,4%
9	Brise-lame émergé	-3	-0,125	0,375	80	7,5%	38,8%	2,5%	5,0%	2,5%	38,8%	5,0%
10	Brise-lame à crête basse	-3	-0,588	0,859	51	11,8%	43,1%	2,0%	2,0%	3,9%	29,4%	7,8%
11	Brise-lame submergé	-3	-0,676	0,859	68	11,8%	44,1%	1,5%	2,9%	4,4%	27,9%	7,4%
12	Rip-rap	-3	-1,00	0,375	7	0,0%	42,9%	14,3%	28,6%	0,0%	14,3%	0,0%
13	Mur de protection	-3	-2,586	0,697	58	13,8%	62,1%	8,6%	13,8%	0,0%	1,7%	0,0%
14	Enrochement	-3	-3,30	0,697	20	30,0%	60,0%	0,0%	10,0%	0,0%	0,0%	0,0%

6.1.2.2.2 Résultats – Effets écosystémiques

Les résultats des effets écosystémiques des OPC sont présentés au tableau 45. Les OPC qui se classent dans les cinq positions initiales du classement présentent de très bons résultats. Toutefois, la recharge de dune présente une incertitude élevée en raison d'une correspondance et d'un N faible. Également, les résultats démontrent les effets écosystémiques négatifs des structures réfléchives (enrochement et mur de protection) dans le contexte de ce regroupement. L'incertitude des résultats pour l'enrochement est toutefois élevée en raison d'un faible N et d'un IC moyen.

Tableau 48. Résultats de l'effet écosystémique des OPC dans le contexte du regroupement 3

Pos.	OPC	% seuil	Moy	IC	N	-5	-3	-1	0	1	3	5
1	Végétalisation	3	3,10	0,899	20	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	5,0%	85,0%	10,0%
2	Épi perméable	3	2,154	0,922	26	3,8%	7,7%	3,8%	7,7%	0,0%	61,5%	15,4%
3	Recharge d'avant-plage	3	1,903	0,937	31	0,0%	6,5%	0,0%	25,8%	6,5%	51,6%	9,7%
4	Système horizontal de drainage	1	1,524	0,899	21	0,0%	9,5%	0,0%	23,8%	19,0%	38,1%	9,5%
5	Recharge de plage	0	1,314	0,937	118	0,8%	11,9%	4,2%	24,6%	9,3%	39,8%	9,3%
6	Brise-lame émergé	0	0,091	0,899	11	0,0%	36,4%	0,0%	18,2%	9,1%	36,4%	0,0%
7	Système vertical de drainage	0	0,00	0,375	5	0,0%	40,0%	0,0%	20,0%	20,0%	0,0%	20,0%

Identification de solutions d'adaptation aux aléas côtiers pour augmenter la résilience des communautés des Premières Nations dans un contexte de changements climatiques:

Rapport final 2021

8	Épi imperméable	-3	-0,02	0,922	49	0,0%	40,8%	8,2%	12,2%	4,1%	24,5%	10,2%
9	Brise-lame à crête basse	-3	-0,583	0,937	48	12,5%	39,6%	4,2%	4,2%	4,2%	27,1%	8,3%
10	Brise-lame submergé	-3	-0,633	0,937	49	16,3%	38,8%	0,0%	0,0%	6,1%	32,7%	6,1%
11	Mur de protection	-3	-2,714	0,922	49	22,4%	59,2%	4,1%	8,2%	0,0%	4,1%	2,0%
12	Enrochement	-3	-2,889	0,899	9	11,1%	77,8%	0,0%	11,1%	0,0%	0,0%	0,0%

6.1.2.2.3 Résultats – Effets sociaux

Les résultats sociaux globaux sont basés sur une analyse de l'effet des OPC sur les services écologiques en général (tableau 46). Les effets des OPC spécifiques à chacun des services écologiques présents sur la superficie du regroupement 3 sont présentés dans le rapport détaillé (Sauvé et Bernatchez, 2021c).

L'ensemble des techniques douces obtiennent des résultats positifs. L'épi perméable est la seule structure rigide qui obtient un résultat positif. Les résultats des couches perméables de drainage, de la recharge de dune et du système vertical de drainage sont basés sur un N faible, voire très faible, ce qui augmente grandement l'incertitude. Également, les résultats démontrent clairement les effets négatifs des structures réfléchives (enrochement et mur de protection) sur les services écologiques dans le contexte des caractéristiques du regroupement 3.

Tableau 49. Résultats de l'effet des OPC sur les services écologiques du regroupement 3

Pos.	OPC	% seuil	Moy	N	-5	-3	-1	0	1	3	5
1	Couches perméables de drainage	3	3	1	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%	0,0%
2	Ganivelle	3	2,529	17	0,0%	11,8%	0,0%	0,0%	5,9%	64,7%	17,6%
3	Végétalisation	3	2,413	138	1,4%	5,8%	2,2%	5,1%	6,5%	66,7%	12,3%
4	Recharge de dune	3	2,250	4	0,0%	0,0%	0,0%	25,0%	0,0%	75,0%	0,0%
5	Recharge d'avant-plage	3	1,952	21	0,0%	4,8%	0,0%	19,0%	14,3%	57,1%	4,8%
6	Épi perméable	3	1,722	18	5,6%	11,1%	5,6%	5,6%	0,0%	61,1%	11,1%
7	Système horizontal de drainage	1	1,444	18	0,0%	11,1%	0,0%	22,2%	22,2%	33,3%	11,1%
8	Système vertical de drainage	0	1,429	7	0,0%	0,0%	0,0%	42,9%	14,3%	42,9%	0,0%
9	Recharge de plage	0	0,630	154	5,8%	18,2%	4,5%	22,7%	7,1%	31,8%	9,7%
10	Épi imperméable	-1	0,267	30	0,0%	36,7%	6,7%	13,3%	6,7%	23,3%	13,3%
11	Brise-lame submergé	-3	-0,507	67	11,9%	40,3%	1,5%	4,5%	4,5%	29,9%	7,5%
12	Brise-lame émergé	-3	-0,800	35	8,6%	45,7%	2,9%	8,6%	2,9%	28,6%	2,9%
13	Brise-lame à crête basse	-3	-1,000	62	12,9%	46,8%	3,2%	3,2%	3,2%	24,2%	6,5%
14	Mur de protection	-3	-2,711	76	14,5%	65,8%	5,3%	13,2%	0,0%	1,3%	0,0%
15	Enrochement	-3	-3,389	54	37,0%	51,9%	3,7%	5,6%	0,0%	1,9%	0,0%

6.2 Analyse multicritère

L'objectif de l'analyse multicritère est d'intégrer les priorités des acteurs locaux dans un processus d'analyse multicritère menant à la sélection d'un OPC adapté à un milieu donné. Sur la base de la liste des OPC présélectionnés par l'algorithme, une analyse multicritère sera utilisée pour comparer les OPC en fonction de la pondération accordée par les acteurs locaux. Les résultats du processus d'analyse

Identification de solutions d'adaptation aux aléas côtiers pour augmenter la résilience des communautés des Premières Nations dans un contexte de changements climatiques:

Rapport final 2021

multicritère sont présentés en trois étapes : (1) identification et pondération des critères de sélection, (2) évaluation des OPC en regard de chaque critère de sélection, (3) hiérarchisation globale des OPC.

La méthodologie utilisée pour l'analyse multicritère est présentée à l'annexe.

En regard des résultats obtenus avec l'algorithme d'identification, les OPC suivants ont été retenus pour le processus d'analyse multicritère : épi perméable, recharge de plage, recharge d'avant-plage, système de drainage, végétalisation et ganivelle.

6.2.1 Critères de sélection

L'identification et la pondération des critères de sélection ont été réalisées en fonction d'un processus de co-construction de l'analyse multicritère. L'identification et la pondération des critères de sélection ont été effectuées lors de l'atelier de Pessamit. Il n'a pas été possible de faire le même travail lors de l'atelier de Uashat en raison d'un manque de participant. Ainsi, les résultats obtenus lors de l'atelier de Pessamit seront appliqués aussi à Uashat.

6.2.1.1 Identification des critères de sélection

Les critères de sélection identifiés par les participants lors de l'atelier de Pessamit (tableau 47) ont été uniformisés en fonction des regroupements de segments géomorphologiques homogènes et de critères généraux établis à la suite de l'ensemble des ateliers.

Tableau 50. Définitions des critères de sélection identifiés par les participants de Pessamit (*Catégorie de critère*)

Critère de sélection	Définition
<u>Contexte économique</u>	
Répercussion économique	Retombées indirectes sur le développement économique
Coûts de construction	Coût d'aménagement initial de l'OPC, incluant les matériaux, la main d'œuvre et l'équipement nécessaire.
Coûts d'entretien	Coût nécessaire pour maintenir un rendement optimal de l'OPC, incluant les matériaux, la main d'œuvre et l'équipement nécessaire.
<u>Contexte environnemental</u>	
Effets géomorphologiques	Importance des modifications engendrées par l'OPC sur la morphologie d'une cellule hydrosédimentaire
Effets écosystémiques	Importance des modifications engendrées par l'OPC sur l'écosystème naturel d'une cellule hydrosédimentaire
<u>Contexte social</u>	
Répercussions sociales	Répercussions sur la qualité de vie et les activités de la population ainsi que sur les aspects culturels et patrimoniaux, positives ou négatives.
Perception sociale	Perception de l'OPC par la population
Esthétisme	Impact visuel et potentiel d'intégration de l'OPC dans le paysage en général
<u>Gestion de projet</u>	
Aptitude de réalisation	Capacité à aménager un OPC en termes de temps de réalisation et de disponibilité de la main d'œuvre et de l'expertise à l'échelle locale.
Assujettissement réglementaire	Susceptibilité de l'OPC à être sujet aux règlements et au processus d'étude d'impact en vigueur dans la juridiction du secteur d'étude.
Faisabilité technique	Complexité liée à l'aménagement de l'OPC selon le type de structure, la disponibilité des matériaux et l'accessibilité au site.
<u>Caractéristiques techniques</u>	

Identification de solutions d'adaptation aux aléas côtiers pour augmenter la résilience des communautés des Premières Nations dans un contexte de changements climatiques:

Rapport final 2021

Durée de vie	Période qu'un OPC peut conserver son intégrité en considérant un entretien minimal
Efficacité	Capacité de l'OPC à freiner le recul du trait de côte et à protéger les infrastructures côtières lors d'un événement en considérant un OPC en parfait état et dimensionné selon les normes et dimensionné en regard de la dynamique hydrosédimentaire locale.

6.2.1.2 Pondération des critères de sélection par les participants

Les critères de sélection d'ouvrages de protection côtière ont été pondérés par les participants de l'atelier de Pessamit. La figure 104 présente pour chaque critère la moyenne, le maximum et le minimum des poids. Les critères *Effets écosystémiques*, *Répercussions sociales*, *Aptitude de réalisation*, *Efficacité* et *Répercussions économiques* sont les critères de sélection ayant reçu en moyenne les poids les plus élevés.

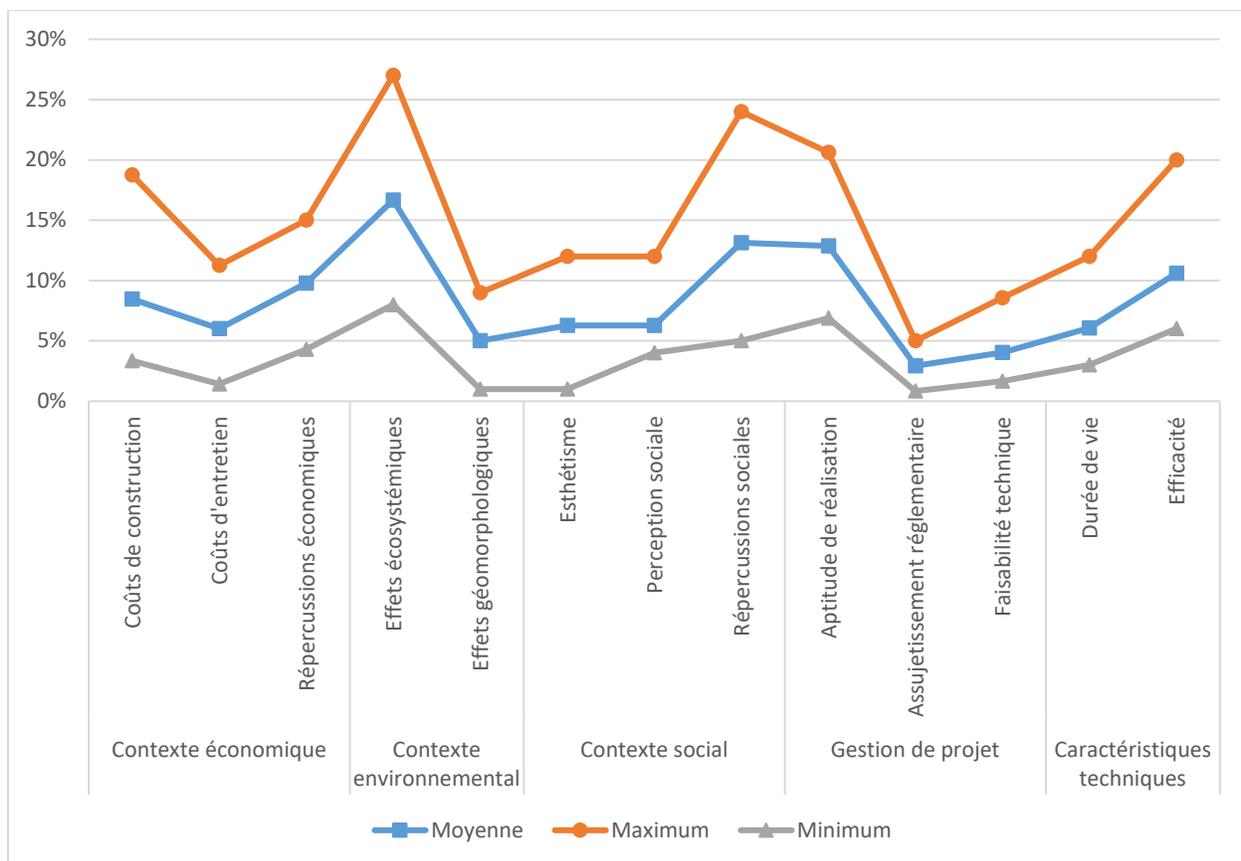


Figure 104. Poids attribués par les participants de l'atelier de Pessamit aux critères de sélection (moyenne, maximum et minimum)

6.2.2 Évaluation des OPC en regard des critères de sélection

L'évaluation des OPC en regard des critères de sélection a été réalisée sur les bases des connaissances scientifiques sur chacun des OPC. Chaque OPC est évalué en regard de chaque critère de sélection.

La méthode Promethee permet d'utiliser des échelles différentes en fonction du type de critères de sélection. Deux échelles ont été utilisées : une échelle qualitative à 9 points (Très bon; Très bon – Bon;

Identification de solutions d'adaptation aux aléas côtiers pour augmenter la résilience des communautés des Premières Nations dans un contexte de changements climatiques:

Rapport final 2021

Bon; Bon – Moyen; Moyen; Moyen – Mauvais; Mauvais; Mauvais – Très mauvais; Très mauvais) et une échelle qualitative d'impact (Très faible; Faible; Modéré; Élevé; Très élevé). L'utilisation d'une échelle qualitative à 9 points exige une hiérarchisation établie selon la performance de chaque OPC l'un par rapport à l'autre en regard d'un critère de sélection. Ainsi, un OPC noté *mauvais* ne présente pas nécessairement une mauvaise performance en général, mais plutôt un mauvais rendement par rapport aux autres OPC dans le contexte d'un critère en particulier. L'utilisation d'une échelle qualitative d'impact est davantage associée à l'expression de l'impact direct de l'OPC sur le système. Les sous-sections suivantes présentent les éléments considérés dans l'évaluation des OPC en regard de chacun des critères de sélection.

6.2.2.1 Contexte économique

La catégorie de critère *Contexte économique* inclut les critères de sélection *Répercussion économique*, *Coûts de construction* et *Coûts d'entretien* (tableau 48).

Tableau 51. Définition, échelle de notation et signification de la note des critères de sélection du contexte économique

Critère de sélection	Échelle de notation	Signification de la note
Répercussion économique	Échelle qualitative à 9 points	Aucune répercussion = Moyen Excellente répercussion économique = Très bien
Coûts de construction	Échelle qualitative à 9 points	Coût très élevé = Très mauvais Coût très faible = Très bon
Coûts d'entretien	Échelle qualitative à 9 points	Coût très élevé = Très mauvais Coût très faible = Très bon

Le critère *Répercussion économiques* vise à évaluer les OPC quant à la plus-value potentiellement engendrée par l'aménagement. L'évaluation est effectuée en considérant ce qui ressort de la littérature scientifique. Une évaluation basée, idéalement, sur une estimation des coûts de chaque OPC dans le contexte du secteur d'étude serait réalisée pour les critères de sélection *Coûts de construction* et *Coûts d'entretien*. Or, l'échelle qualitative à 9 points a été utilisée en raison d'un manque de données sur les coûts associés à l'ensemble des OPC. Ainsi, les exemples de coûts unitaires d'ouvrage de protection côtière présentés au tableau 7 du rapport de Bernatchez et al. (2015) ont été utilisés. Dans ce tableau, seuls les coûts unitaires d'enrochement, de mur de protection et de recharge de plage sont présents. Ainsi, une approximation des coûts des autres ouvrages de protection côtière a été réalisée en fonction des coûts de cette référence. Les coûts d'entretien sont basés sur la fréquence d'entretien et sur une fraction du coût initial. Les éléments théoriques considérés pour noter chaque OPC en regard des critères de sélection du contexte économique sont présentés au tableau 49.

Tableau 52. Éléments théoriques considérés pour l'évaluation des OPC en regard des critères de sélection du contexte économique (note attribuée à l'OPC en regard du critère de sélection; bases référentielles tirées du rapport de Bernatchez et al. (2015))

Ouvrages de protection côtière	Répercussion économique	Coûts de construction	Coûts d'entretien
Épi perméable	<u>Moyen</u> -Aucune répercussion économique recensée	<u>Moyen</u> -Travaux terrestres -Type de matériaux similaire à l'enrochement	<u>Faible à moyen</u> -Travaux terrestres -Fréquence d'entretien faible à moyen
Recharge de plage	<u>Très bon</u> -Augmente le potentiel touristique	<u>Élevé</u>	<u>Élevé à très élevé</u> -Fréquence élevée
Recharge d'avant-plage		<u>Élevé - Très élevé</u> -Travaux au large -Type de matériaux similaire à recharge de plage -Quantité de matériaux similaire à recharge de plage	<u>Très élevé</u> -Fréquence élevée -Travaux au large -Quantité de matériaux similaire à recharge de plage
Système de drainage	<u>Moyen</u> -Aucune répercussion économique recensée	<u>Moyen à élevé</u> -Travaux terrestres -Équipement particulier	<u>Faible à Moyen</u> -Fréquence d'entretien faible -Coût élevé Travaux terrestres
Végétalisation		<u>Très faible</u> -Travaux terrestres -Peu de matériaux	<u>Très faible</u> -Travaux terrestres -Peu de matériaux
Ganivelle		<u>Faible à très faible</u> -Travaux terrestres -Peu de matériaux	<u>Faible à très faible</u> -Travaux terrestres -Peu de matériaux

6.2.2.2 Contexte environnemental

La catégorie de critère *Contexte environnemental* inclue les critères de sélection *Effets géomorphologiques* et *Effets écosystémiques* (tableau 50). L'évaluation des OPC en regard des critères de sélection du contexte environnementale (tableau 51) est basée sur la revue de littérature sur les effets des OPC décrite dans la section présentant l'algorithme (section 6.1).

Tableau 53. Définition, échelle de notation et signification de la note des critères de sélection du contexte environnemental

Critère de sélection	Échelle de notation	Signification de la note
Effets géomorphologiques	Échelle d'impact	Impact négatif important = Très élevé Impact positif important = Très faible
Effets écosystémiques	Échelle d'impact	Impact négatif important = Très élevé Impact positif important = Très faible

Identification de solutions d'adaptation aux aléas côtiers pour augmenter la résilience des communautés des Premières Nations dans un contexte de changements climatiques:
Rapport final 2021

Tableau 54. *Éléments théoriques considérés pour l'évaluation des OPC en regard des critères de sélection du contexte environnemental (note attribuée à l'OPC en regard du critère de sélection)*

Ouvrages de protection côtière	Effets géomorphologiques	Effets écosystémiques
Épi perméable	<u>Faible</u> - Accumulation sédimentaire - Augmentation de la largeur de la plage	<u>Modéré</u> - Perte d'habitat par empiètement - Perte de surface de plage - Barrière physique - Colonisation des matériaux
Recharge de plage	<u>Faible</u> - Contribue au bilan sédimentaire à l'échelle de la cellule hydrosédimentaire	<u>Modéré</u> - Enfouissement des organismes - Augmentation de la turbidité - Modification de la perméabilité du substrat
Recharge d'avant-plage	<u>Faible</u> - Contribue légèrement au bilan sédimentaire à l'échelle de la cellule hydrosédimentaire	- Modification des assemblages
Système de drainage	<u>Modéré</u> - Favorise une accumulation sédimentaire faible	<u>Très faible</u> - Aucun effet recensé
Végétalisation	<u>Modéré</u> - Stabilise les sédiments - Accélère l'accumulation sédimentaire	<u>Très faible</u> - Maintien des écosystèmes côtiers
Ganivelle	<u>Modéré</u> - Crée, stabilise, augmente le volume et la hauteur des dunes	<u>Très faible</u> - Aucun effet recensé

6.2.2.3 Contexte social

La catégorie de critère *Contexte social* inclut les critères de sélection *Répercussions sociales*, *Perception sociale* et *Esthétisme* (tableau 52 et tableau 53).

Tableau 55. *Définition, échelle de notation et signification de la note des critères de sélection du contexte social*

Critère de sélection	Échelle de notation	Signification de la note
Répercussions sociales	Échelle qualitative à 9 points	Effet négatif marqué = Mauvais à très mauvais Aucune répercussion = Moyen Effet positif important = Très bon
Perception sociale	Échelle qualitative à 9 points	Perception sociale positive = Bon Perception sociale négative = Mauvais
Esthétisme	Échelle d'impact	Nuisance visuelle, sans similitude avec le paysage = Très élevé Aucun impact visuel = Très faible

L'évaluation des OPC en regard du critère *Répercussions sociales* (tableau 53) est basée sur la revue de littérature sur les effets des OPC décrite dans la section présentant l'algorithme (section 6.1). Le critère de sélection *Perception sociale* a été évalué en fonction des résultats d'une enquête citoyenne réalisée à Pessamit en 2010 (Bernatchez et al., 2012).

Identification de solutions d'adaptation aux aléas côtiers pour augmenter la résilience des communautés des Premières Nations dans un contexte de changements climatiques:

Rapport final 2021

Tableau 56. *Éléments théoriques considérés pour l'évaluation des OPC en regard des critères de sélection du contexte social*

Ouvrages de protection côtière	Répercussion sociale	Perception sociale	Esthétisme
Épi perméable	<u>Mauvais à moyen</u> -Idem à épi imperméable, mais de moindre ampleur	<u>Très mauvais à mauvais</u>	<u>Modéré</u> -Dépend des matériaux : similitude limitée avec le paysage naturel (si bois)
Recharge de dune	<u>Moyen</u> -Aucune répercussion	<u>Moyen</u>	<u>Faible</u> -Similitude avec le paysage naturel
Recharge de plage	<u>Moyen à bon</u> -Augmente rapidement la superficie pour la pratique de loisirs	<u>Mauvais à moyen</u>	
Recharge d'avant-plage	<u>Moyen à bon</u> -Améliorer potentiellement les conditions pour la pratique du surf -Augmente la superficie pour la pratique de loisirs à moyen terme		<u>Très faible</u> -Aucun impact visuel, car submergé
Système de drainage	<u>Moyen</u> -Répercussion limitée	<u>NA</u>	<u>Très faible</u> -Aucun impact visuel, car enfoui
Végétalisation	<u>Moyen</u> -Aucune répercussion	<u>Bon</u>	<u>Très faible</u> -Aucun impact visuel -Forte similitude avec le paysage naturel
Ganivelle	<u>Bon à moyen</u> -Crée potentiellement un obstacle à la circulation	<u>Moyen</u>	<u>Faible</u> -Faible impact visuel

6.2.2.4 Gestion de projet

La catégorie de critère *Gestion de projet* inclue les critères de sélection *Aptitude de réalisation*, *Assujettissement réglementaire* et *Faisabilité technique* (tableau 54 et tableau 55).

Tableau 57. *Définition, échelle de notation et signification de la note des critères de sélection du contexte social*

Critère de sélection	Échelle de notation	Signification de la note
Aptitude de réalisation	Échelle qualitative à 9 points	Très facilement réalisable = Très bon Très difficilement réalisable = Très mauvais
Assujettissement réglementaire	Échelle qualitative à 9 points	Assujettissement faible = Bon Assujettissement élevé = Mauvais
Faisabilité technique	Échelle qualitative à 9 points	Faisabilité technique très difficile = Très mauvais Faisabilité technique très facile = Très bon

Le critère de sélection *Assujettissement réglementaire* exige une étude de la réglementation en vigueur sur le site d'étude. Ainsi, au Québec, selon l'article 3.3 de la *Politique de protection des rives, du littoral et*

Identification de solutions d'adaptation aux aléas côtiers pour augmenter la résilience des communautés des Premières Nations dans un contexte de changements climatiques:

Rapport final 2021

des plaines inondables, « sur le littoral, sont en principe interdits toutes les constructions, tous les ouvrages et tous les travaux ». Toutefois, « Peuvent [...] être permis les constructions, les ouvrages et les travaux suivants, si leur réalisation n'est pas incompatible avec d'autres mesures de protection recommandées pour les plaines inondables : » parmi lesquelles figures « les constructions, les ouvrages et les travaux à des fins municipales, industrielles, commerciales, publiques ou pour des fins d'accès public, y compris leur entretien, leur réparation et leur démolition, assujettis à l'obtention d'une autorisation en vertu de la Loi sur la qualité de l'environnement, de la Loi sur la conservation et la mise en valeur de la faune (chapitre C-61.1), de la Loi sur le régime des eaux (chapitre R-13) et de toute autre loi ».

Tableau 58. Éléments théoriques considérés pour l'évaluation des OPC en regard des critères de sélection de la catégorie de critère Gestion de projet

Ouvrages de protection côtière	Aptitude de réalisation	Assujettissement réglementaire	Faisabilité technique
Brise-lame à crête basse		-	-
Brise-lame submergé			
Épi perméable	<u>Bon à très bon</u> -Expertise présente au Québec -Équipements mécaniques largement disponibles	<u>Très mauvais</u>	<u>Moyen</u> -Structure simple à complexe -Travaux terrestres
Recharge de plage	<u>Bon</u> -Expertise en développement au Québec -Équipements mécaniques largement disponibles (sédiments terrestres) -Dragage disponible, mais rare et complexe d'un point de vue réglementaire	<u>Bon</u>	<u>Moyen à bon</u> -Technique relativement simple -Travaux terrestres
Recharge d'avant-plage	<u>Moyen</u> -Nécessite des techniques de dragage disponible, mais rare et complexe d'un point de vue réglementaire	<u>Très mauvais</u>	<u>Mauvais</u> -Accès au site difficile, car travaux au large -Technique relativement simple
Système de drainage	<u>Mauvais à très mauvais</u> -Expertise à acquérir -Équipement de dragage de champs potentiellement utilisable	<u>Bon</u>	<u>Moyen à bon</u> -Travaux terrestres -Matériaux accessibles
Végétalisation	<u>Très bon</u> -Expertise disponible (Comité ZIP)	<u>Bon</u>	<u>Très bon</u> -Culture de plants adaptés au Québec -Transplantation locale possible -Travaux terrestres
Ganivelle	<u>Bon à très bon</u> -Rarement réalisé au Québec -Expertise facile à acquérir (Attention Fragiles)	<u>Bon</u>	<u>Bon à très bon</u> -Travaux terrestres -Matériaux accessibles

Identification de solutions d'adaptation aux aléas côtiers pour augmenter la résilience des communautés des Premières Nations dans un contexte de changements climatiques:
Rapport final 2021

6.2.2.5 Caractéristiques techniques

La catégorie de critère *Caractéristiques techniques* inclut les critères de sélection *Durée de vie*, *Adaptabilité* et *Efficacité* (tableau 56 et tableau 57).

Tableau 59. Définition, échelle de notation et signification de la note des critères de sélection du contexte social

Critère de sélection	Échelle de notation	Signification de la note
Durée de vie	Échelle qualitative à 9 points	Longue période = Très élevé Courte période = Très faible
Efficacité	Échelle qualitative à 9 points	Très efficace = Très bon Non efficace = Très mauvais

Tableau 60. Éléments théoriques considérés pour l'évaluation des OPC en regard des critères de sélection de la catégorie de critère *Caractéristiques techniques*

Ouvrages de protection côtière	Durée de vie	Efficacité
Épi perméable	<u>Moyen à élevé</u> - Exposition partielle, permanente au déferlement des vagues - Structure rigide - Matériaux pouvant être sujets aux mouvements	<u>Moyen</u> - Engendre le dépôt sédimentaire sur le site - Freine le recul du trait de côte à moyen terme
Recharge de plage	<u>Faible à Très faible</u> - Exposition permanente au déferlement des vagues - Matériaux meubles	<u>Bon</u> - Stabilise ou avance le trait de côte - Dépend de l'entretien
Recharge d'avant-plage		<u>Moyen à bon</u> - Engendre le déferlement des vagues au large - Stabilise ou avance légèrement le trait de côte - Dépend de l'entretien
Système de drainage de plage	<u>Élevé à très élevé</u> - Entretien très rarement nécessaire des drains - Entretien des pompes à intervalle régulier	<u>Très mauvais</u> - Réduit le transport sédimentaire vers le large
Végétalisation	<u>Très faible</u> - Exposition rare au déferlement des vagues - Matériaux peu résistants	<u>Très mauvais à mauvais</u> - Stabilise les sédiments en place
Ganivelle	<u>Très faible</u> - Exposé au vent fort - Matériaux peu résistants	<u>Très mauvais à mauvais</u> - Favorise le dépôt sédimentaire à moyen terme

6.2.3 Hiérarchisation des OPC

La hiérarchisation des OPC résultant de la pondération accordée aux critères de sélection par les participants de l'atelier de Pessamit est présentée pour les communautés de Pessamit et de Uashat ainsi qu'en fonction des regroupements de segments géomorphologiques homogènes. Les OPC intégrés dans le processus de hiérarchisation ont été sélectionnés en fonction des résultats des effets géomorphologiques, écosystémiques et sociaux de l'algorithme d'identification. Les OPC présentant des résultats positifs ont été conservés.

Identification de solutions d'adaptation aux aléas côtiers pour augmenter la résilience des communautés des Premières Nations dans un contexte de changements climatiques:

Rapport final 2021

Les résultats sont présentés sous une forme de diamant. Cette forme présente la hiérarchisation globale (Φ net) sur l'axe vertical, ainsi que les flux entrants et sortants sur les bords du diamant. Le rectangle correspond au plan (Φ^+ , Φ^-) où chaque OPC est représenté par un point. Ainsi, pour qu'un OPC soit meilleur qu'un autre, l'ensemble des flux de cet OPC doivent surpasser les flux des autres OPC.

6.2.3.1 Communauté de Pessamit

Les trois regroupements de segments géomorphologiques homogènes de la communauté de Pessamit analysés à la section 6.1.1 présentaient des distinctions par rapport aux pré-classements des OPC obtenus avec l'algorithme d'identification ou par rapport aux caractéristiques environnementales propres à chaque regroupement. Ainsi, une analyse multicritère a été réalisée pour chacun de ces regroupements.

6.2.3.1.1 Regroupement 3

Les OPC intégrés dans le processus de hiérarchisation sont la végétalisation, la recharge d'avant-plage, la recharge de plage, le système de drainage de plage, l'épi perméable et le brise-lame émergé.

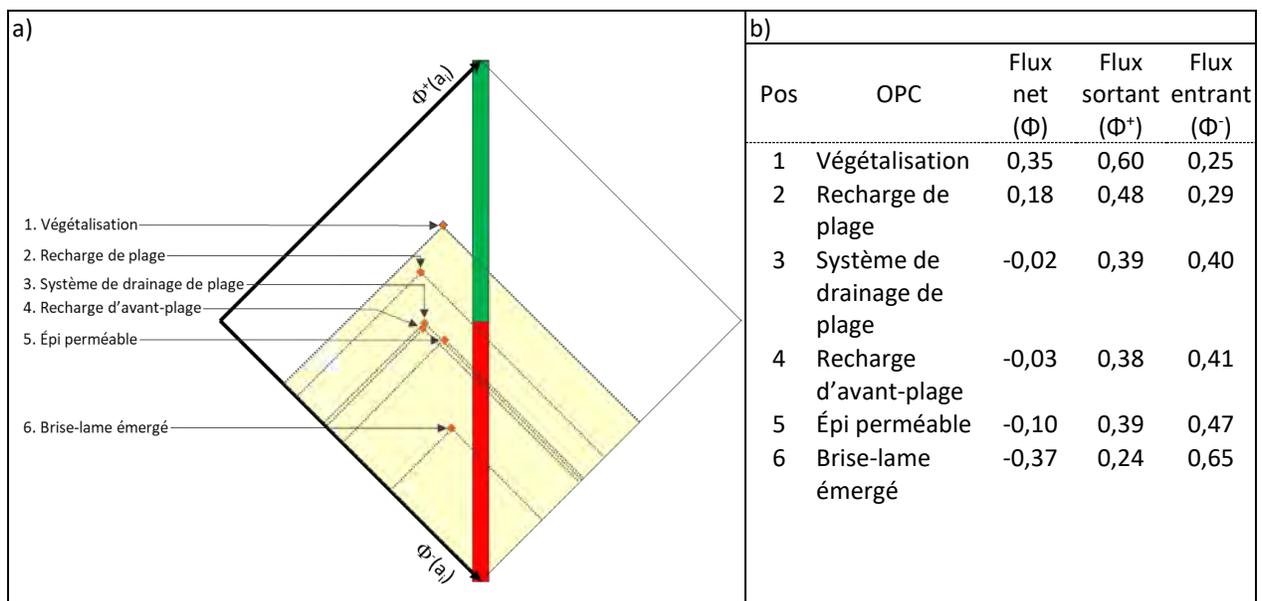


Figure 105. Hiérarchisation des OPC pour le regroupement 3 se segments géomorphologiques homogènes de Pessamit en regard de la pondération accordée aux critères de sélection par les participants de l'atelier de Pessamit. (a) graphique sous forme de diamant; (b) flux net, sortant et entrant.

Les résultats montrent que la végétalisation est l'OPC significativement favorisé par les participants selon les critères pondérés (figure 105). Au deuxième rang, la recharge de plage surpasse également complètement les OPC de rang inférieur. Le système de drainage de plage (troisième rang) et la recharge d'avant-plage (quatrième rang) sont pratiquement à égalité. Ces deux OPC surpassent légèrement l'épi perméable (cinquième rang) sur l'axe des flux entrants. Ils sont toutefois équivalents sur l'axe des flux sortants. Finalement, le brise-lame émergé (sixième rang) est largement surpassé par les autres OPC analysés.

En complément de ces résultats, une analyse de sensibilité basée sur la comparaison entre le poids moyen de chaque critère plus ou moins un écart-type est présentée à l'annexe A. Cette analyse confirme ce qui est observé dans le graphique en diamant (figure 105), soit que la première position de la végétalisation, la deuxième position à la recharge de plage et la sixième position au brise-lame. Également, la proximité

entre les OPC occupant les positions 3 à 5 est confirmée, car ils sont sujets à changement dans la zone de la variation du poids moyen par rapport à l'écart-type.

6.2.3.1.2 Regroupement 4

Les OPC intégrés dans le processus de hiérarchisation sont la végétalisation, la recharge d'avant-plage, la recharge de plage, le système de drainage de plage, l'épi perméable, l'épi imperméable et le brise-lame émergé. La recharge de dune et les ganivelles ont été exclues, car ces OPC ne sont pas adaptés au type de côte de ce regroupement.

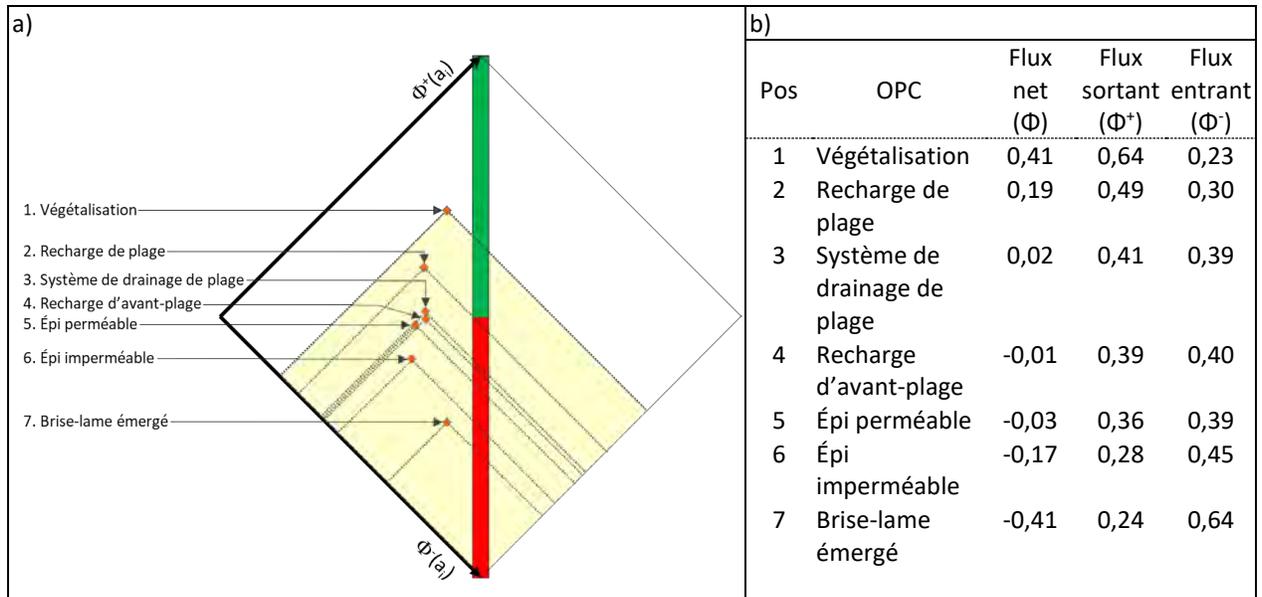


Figure 106. Hiérarchisation des OPC pour le regroupement 4 se segments géomorphologiques homogènes de Pessamit en regard de la pondération accordée aux critères de sélection par les participants de l'atelier de Pessamit. (a) graphique sous forme de diamant; (b) flux net, sortant et entrant.

Les résultats montrent que la végétalisation est l'OPC significativement favorisé par les critères pondérés par les participants. Au deuxième rang, la recharge de plage surpasse également complètement les OPC de rang inférieur. Les OPC occupant les rangs trois à cinq sont pratiquement à égalité. Le système de drainage de plage (troisième rang) surpasse la recharge d'avant-plage (quatrième rang) par un flux net très faible. Ces deux OPC surpassent l'épi perméable (cinquième rang) sur l'axe des flux nets. Par contre, l'épi perméable obtient un flux entrant équivalent au système de drainage de plage. L'épi imperméable (sixième rang) et le brise-lame émergé (septième rang) sont entièrement surpassés par les OPC de rang supérieur.

En complément de ces résultats, une analyse de sensibilité basée sur la comparaison entre le poids moyen de chaque critère plus ou moins un écart-type est présentée à l'annexe A. Cette analyse confirme ce qui est observé dans le graphique en diamant (figure 106), soit que la première position de la végétalisation, la deuxième position à la recharge de plage, la sixième position à l'épi imperméable et la septième position au brise-lame émergé. Également, la proximité entre les OPC occupant les positions 3 à 5 est confirmée, car ils sont sujets à changement dans la zone de la variation du poids moyen par rapport à l'écart-type.

6.2.3.1.3 Regroupement 5

Les OPC intégrés dans le processus de hiérarchisation ont été sélectionnés en fonction des résultats des effets géomorphologiques, écosystémiques et sociaux de l'algorithme : végétalisation, recharge d'avant-plage, recharge de plage, recharge de dune, système de drainage de plage, ganivelle et épi perméable.

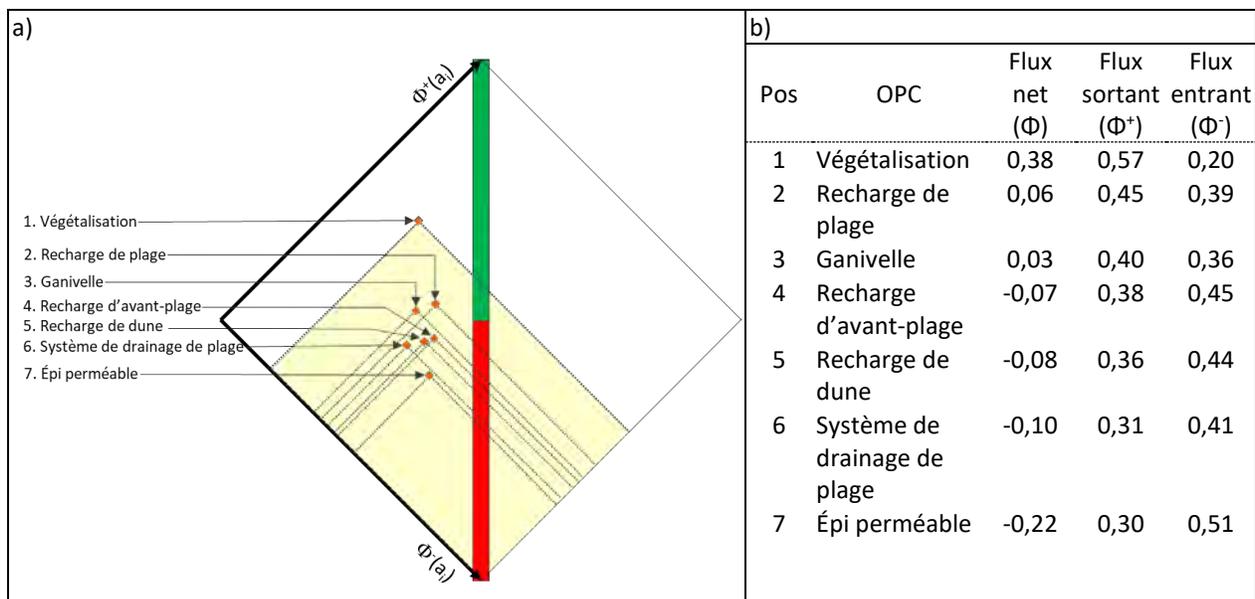


Figure 107. Hiérarchisation des OPC pour le regroupement 5 se segments géomorphologiques homogènes de Pessamit en regard de la pondération accordée aux critères de sélection par les participants de l'atelier de Pessamit. (a) graphique sous forme de diamant; (b) flux net, sortant et entrant.

L'analyse des résultats montre que la végétalisation est l'OPC significativement favorisé par les critères pondérés par les participants. Au deuxième et au troisième rang, la recharge de plage et les ganivelles sont pratiquement équivalents. Alors que la recharge de plage surpasse les ganivelles sur l'axe des flux nets et des flux sortants, la situation inverse est constatée sur l'axe des flux entrants. Une situation similaire est constatée au position trois à cinq. Alors que la recharge d'avant-plage surpasse la recharge de dune et le système de drainage de plage sur l'axe des flux net et des flux sortants, la situation inverse est constatée sur l'axe des flux entrants. Finalement, l'épi perméable est surpassé par l'ensemble des autres OPC analysés.

En complément de ces résultats, une analyse de sensibilité basée sur la comparaison entre le poids moyen de chaque critère plus ou moins un écart-type est présentée à l'annexe A. Cette analyse confirme ce qui est observée dans le graphique en diamant (figure 107), soit que la première position de la végétalisation et la septième position à l'épi perméable. Également, la proximité entre la recharge de plage et la ganivelle ainsi qu'entre la recharge d'avant-plage, la recharge de dune et le système de drainage de plage est confirmée, car ils sont sujets à changement dans la zone de la variation du poids moyen par rapport à l'écart-type.

6.2.3.2 Communauté de Uashat

Les trois regroupements de segments géomorphologiques homogènes de la communauté de Uashat analysés à la section 6.1.1 présentaient des pré-classements des OPC similaires qui impliquent les mêmes

Identification de solutions d'adaptation aux aléas côtiers pour augmenter la résilience des communautés des Premières Nations dans un contexte de changements climatiques:

Rapport final 2021

OPC obtenus avec l'algorithme d'identification ou par rapport aux caractéristiques environnementales propres à chaque regroupement. Ainsi, une analyse multicritère a été réalisée pour ces regroupements.

6.2.3.2.1 Regroupement 1, 2 et 3

Les OPC intégrés dans le processus de hiérarchisation sont la végétalisation, la recharge d'avant-plage, la recharge de plage, le système de drainage de plage, l'épi perméable et le brise-lame émergé.

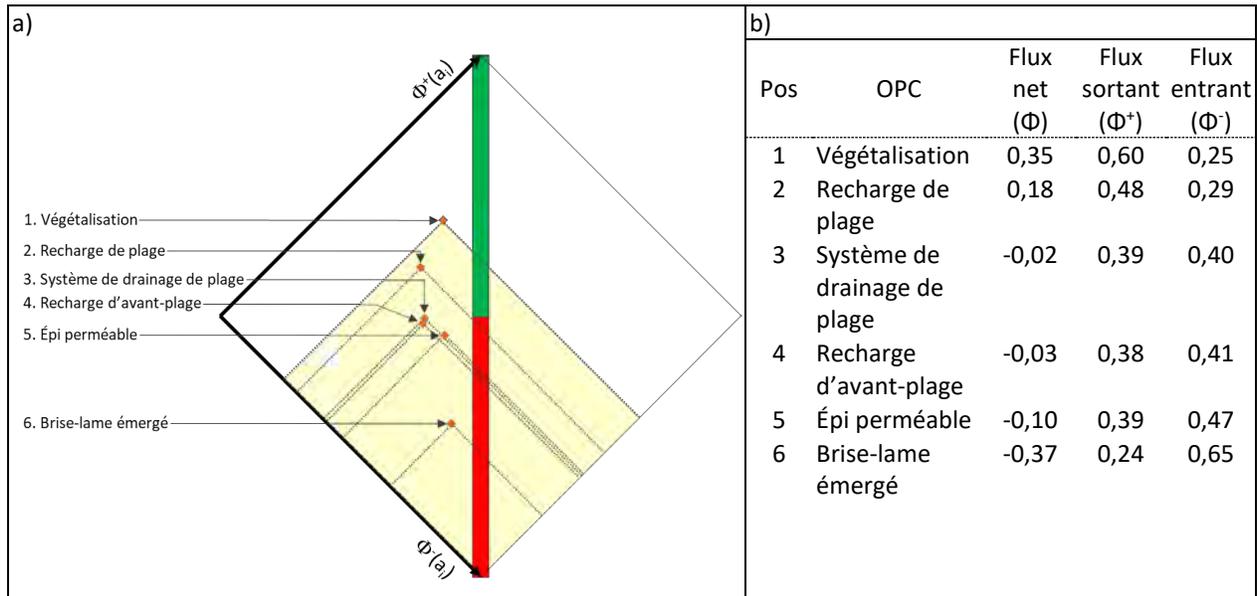


Figure 108. Hiérarchisation des OPC pour le regroupement 3 se segments géomorphologiques homogènes de Pessamit en regard de la pondération accordée aux critères de sélection par les participants de l'atelier de Pessamit. (a) graphique sous forme de diamant; (b) flux net, sortant et entrant.

Les résultats montrent que la végétalisation est l'OPC significativement favorisé par les participants selon les critères pondérés. Au deuxième rang, la recharge de plage surpasse également complètement les OPC de rang inférieur. Les OPC occupant les rangs trois à cinq sont pratiquement à égalité. Le système de drainage de plage (troisième rang) surpasse la recharge d'avant-plage (quatrième rang) par un flux net très faible. Ces deux OPC surpassent l'épi perméable (cinquième rang) sur l'axe des flux nets. Par contre, l'épi perméable obtient un flux entrant équivalent au système de drainage de plage. L'épi imperméable (sixième rang) et le brise-lame émergé (septième rang) sont entièrement surpassés par les OPC de rang supérieur.

En complément de ces résultats, une analyse de sensibilité basée sur la comparaison entre le poids moyen de chaque critère plus ou moins un écart-type est présentée à l'annexe A. Cette analyse confirme ce qui est observée dans le graphique en diamant (figure 108), soit que la première position de la végétalisation, la deuxième position de la recharge de plage et la septième position du brise-lame émergé. Également, la proximité entre les OPC occupant les positions 3 et 4 ainsi que 5 et 6 est confirmée, car ils sont sujets à changement dans la zone de la variation du poids moyen par rapport à l'écart-type.

7 Propositions de solutions d'adaptation

Cette section présente des solutions d'adaptation pour les deux communautés basées sur la prise en compte des échanges avec les participants aux rencontres et ateliers, de la caractérisation environnementale du milieu côtier et des usages, de l'analyse du risque d'érosion et de submersion côtières ainsi que sur l'analyse multicritère des OPC. Pour chacune des communautés, nous présentons d'abord des solutions (OPC) adaptées à des secteurs présentant des risques, puis des solutions non structurées plus globales. Mentionnons, qu'aucune étude d'ingénierie n'a été réalisée pour la proposition des OPC. Une étude d'ingénierie doit être réalisée préalablement à l'aménagement d'un ouvrage de protection côtière.

7.1 Communauté de Pessamit

Trois secteurs ont été identifiés comme étant problématique en regard des risques côtiers dans la communauté de Pessamit : secteur du tuyau pluvial, secteur de l'atelier et secteur de la flèche littorale (figure 109).



Figure 109. Localisation des secteurs prioritaires pour l'analyse des solutions d'adaptation

7.1.1 Secteur du tuyau pluvial

Le secteur du tuyau pluvial est situé dans le regroupement de segments géomorphologiques homogènes 3, tel que présenté au chapitre 6. Ce secteur situé à l'est de la communauté de Pessamit est l'exutoire d'un fossé où converge une partie des eaux de ruissellement. À cet endroit, un fort recul du trait de côte est observé.

Ce recul est expliqué notamment par l'effet de bout occasionné par la réflexion des vagues sur l'enrochement. Également, la concentration des eaux de ruissellement à cet endroit engendre deux principaux effets hydrosédimentaires. D'abord, un abaissement de la plage est observé devant une partie de l'extrémité est de l'enrochement et devant l'exutoire du drain. Cet abaissement du niveau de la plage fait en sorte que la côte est exposée davantage à l'action des vagues. La stabilité de l'enrochement est d'ailleurs affectée, tel que constaté par un affaissement de cette portion de l'enrochement. Puis, l'écoulement de l'eau engendre un déplacement vers le large du transit sédimentaire. Ce phénomène engendre une réduction de l'apport sédimentaire aux segments de côte immédiatement adjacents à l'exutoire où des infrastructures sont présentes (rue). De plus, avec le développement immobilier au nord de la communauté, les eaux de drainage et de ruissellement sont aussi redirigées vers ce fossé ce qui contribue certainement à augmenter le débit et à amplifier les effets.

Les ouvrages de protection côtière identifiés au chapitre 6 pour le regroupement de segments géomorphologiques homogènes 3 sont la végétalisation et la recharge de plage. Alors que la végétalisation peut être adaptée au secteur du tuyau pluvial, la recharge de plage ne serait pas une solution durable, car les sédiments seraient évacués par le ruissellement. Dans ce contexte, deux scénarios sont envisageables : le déplacement du tuyau pluvial plus loin vers le nord-est et la renaturalisation du secteur ou l'aménagement d'un enrochement vis-à-vis le tuyau pluvial.

Le premier scénario proposé est le déplacement de l'exutoire du fossé à environ 200 mètres à l'est de l'exutoire actuel, combiné à un reprofilage et à une végétalisation du segment actuel (figure 110). De cette manière, le reprofilage et la végétalisation limiteront l'effet de bout à l'extrémité de l'enrochement. Le déplacement du tuyau abrogera l'abaissement du niveau de la plage à proximité de l'enrochement. Le décalement du transit sédimentaire vers le large sera également en amont de la cellule hydrosédimentaire. Ainsi, les sédiments pourront être redirigés vers la côte par d'autres processus hydrodynamiques (vagues et courants) préalablement à la zone où des infrastructures sont présentes. Cette solution permettrait également d'aménager un accès à la plage sécuritaire à l'est de la communauté. Cette solution permettrait de réhabiliter la descente à la mer, notamment pour les VTT qui existait auparavant. On constate en effet que plusieurs descentes de VTT se font directement sur la flèche littorale et fragilisent ce milieu et augmentent le risque d'érosion et de submersion. Ainsi l'aménagement d'une descente dans le secteur actuel du tuyau pluvial serait beaucoup plus adapté et engendrait un gain environnemental global sur la flèche littorale en déplaçant les accès vers des secteurs plus appropriés.

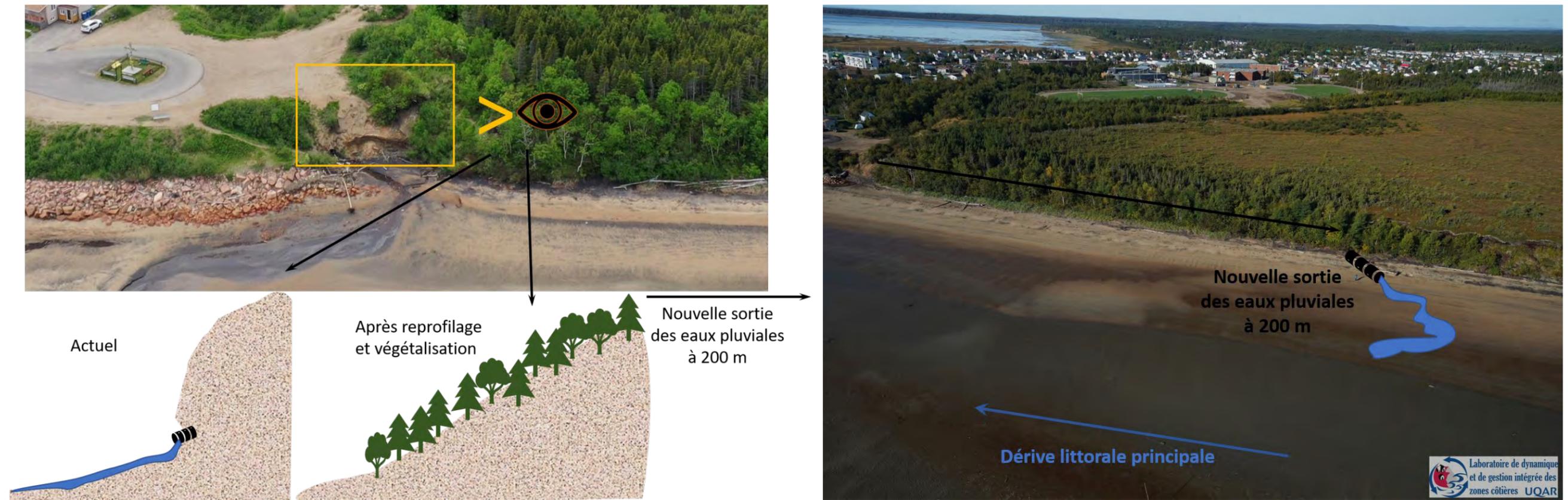


Figure 110. Première solution d'adaptation proposée pour le secteur du tuyau pluvial – Reprofilage et végétalisation de la falaise meuble, déplacement du tuyau pluvial à 200 m vers l'est de la sortie actuelle.

Le deuxième scénario proposé est le remblaiement du segment de côte à la sortie du fossé, puis de prolonger l'enrochement existant vers l'est de manière à recouvrir le segment remblayé et de terminer l'aménagement de l'enrochement en biseau vers la falaise (figure 111). De cette manière, le tuyau en acier existant déboucherait dans l'enrochement (ponceau). Il serait alors important d'adapter la conception de l'ouvrage afin qu'il puisse supporter l'effet du débit à la sortie du tuyau. Cependant, l'effet d'abaissement du niveau de la plage persisterait, car l'écoulement de l'eau du tuyau serait toujours présent. Également, la problématique associée à l'effet de bout occasionné par l'enrochement serait décalée dans la portion de falaise meuble immédiatement à l'est de l'extension de l'enrochement. Finalement, l'accès à la plage serait bloqué par l'enrochement.

Le premier scénario proposé est recommandé. Le déplacement de l'exutoire du fossé permet d'éliminer le problème d'érosion à la source. De plus, elle permet de faciliter l'accès à la plage plutôt que de le soustraire comme engendré par le deuxième scénario. Sans égard au scénario choisi, il serait important de réduire le débit du fossé en redirigeant les eaux de ruissellement de futurs développements vers d'autres méthodes de rejet. Également, la division des exutoires permettrait de réduire la concentration des eaux de ruissellement ce qui limiterait les effets hydrosédimentaires à l'embouchure et sur la plage, notamment en réduisant l'effet de déplacement du transit sédimentaire vers le large.



Figure 111. Deuxième solution d'adaptation proposée pour le secteur du tuyau pluvial – Enrochement de la falaise active et ponceau à l'intérieur de l'ouvrage.

Identification de solutions d'adaptation aux aléas côtiers pour augmenter la résilience des communautés des Premières Nations dans un contexte de changements climatiques:

Rapport final 2021

7.1.2 Secteur de l'atelier

Le secteur de l'atelier est situé dans le regroupement de segments géomorphologiques homogènes 4, tel que présenté au chapitre 6. Ce secteur est situé à l'ouest de l'enrochement. À cet endroit, un foyer d'érosion est présent avec des valeurs de recul du trait de côte très élevées. Aussi, le risque de submersion est élevé. Il est à noter que le secteur de l'atelier est actuellement largement dévégétalisé. Comme mentionné au cours des discussions entre les experts et les membres de la communauté, cet endroit est important pour le conseil de bande ainsi que pour les usagers.

Les ouvrages de protection côtière identifiés au chapitre 6 pour le regroupement de segments géomorphologiques homogènes 4 sont la végétalisation et la recharge de plage. Deux scénarios sont proposés dans ce secteur : la relocalisation de l'atelier ou la recharge de plage avec végétalisation et aménagement d'une dune bordière.

Le premier scénario proposé est la relocalisation de l'atelier et la végétalisation du secteur. De cette manière, les risques d'érosion et de submersion seraient éliminés spécifiquement pour ce bâtiment. Toutefois, en considérant la présence d'un foyer d'érosion, la rue présente au nord serait menacée à moyen terme et un ouvrage de protection serait nécessaire. De plus, les bâtiments présents à l'ouest de l'atelier seraient toujours à risque élevé de submersion.



Figure 112. Première solution d'adaptation proposée pour le secteur de l'atelier.

Identification de solutions d'adaptation aux aléas côtiers pour augmenter la résilience des communautés des Premières Nations dans un contexte de changements climatiques:

Rapport final 2021

Le second scénario proposé est l'aménagement d'une recharge de plage combinée à l'aménagement d'une dune bordière et à la végétalisation du secteur. Cette recharge de plage doit être aménagée entre le saillant triangulaire à l'est de l'atelier et une limite située à 450 mètres à l'ouest de ce saillant (figure 113). En tenant compte de la hausse du niveau marin relatif pour 2100, la crête de la recharge de plage doit avoir une élévation en géodésique de 5 mètres afin de réduire considérablement les risques de submersion. Une recharge de plage de cette envergure est nécessaire afin d'éliminer le phénomène de foyer d'érosion. Il est également important d'utiliser des sédiments d'emprunt ayant une taille granulométrique similaire à la taille granulométrique des sédiments en place afin de limiter les effets sur les usages et l'écosystème de la plage et de la batture. Avec cette restauration de la plage et de l'arrière-plage, ce secteur serait davantage en mesure de recevoir aussi de manière naturelle des sédiments provenant de l'érosion de la falaise en amont de la cellule hydrosédimentaire. En effet, sur la base du recul de la falaise localisée entre le village de Pessamit et Papinachois entre 1950 et 2016 (figure 113), on constate que le volume total érodé varie entre plus de 10 000 et 19 000 m³/an (tableau 61). Ces sédiments contribuent à alimenter la zone intertidale et la flèche littorale.

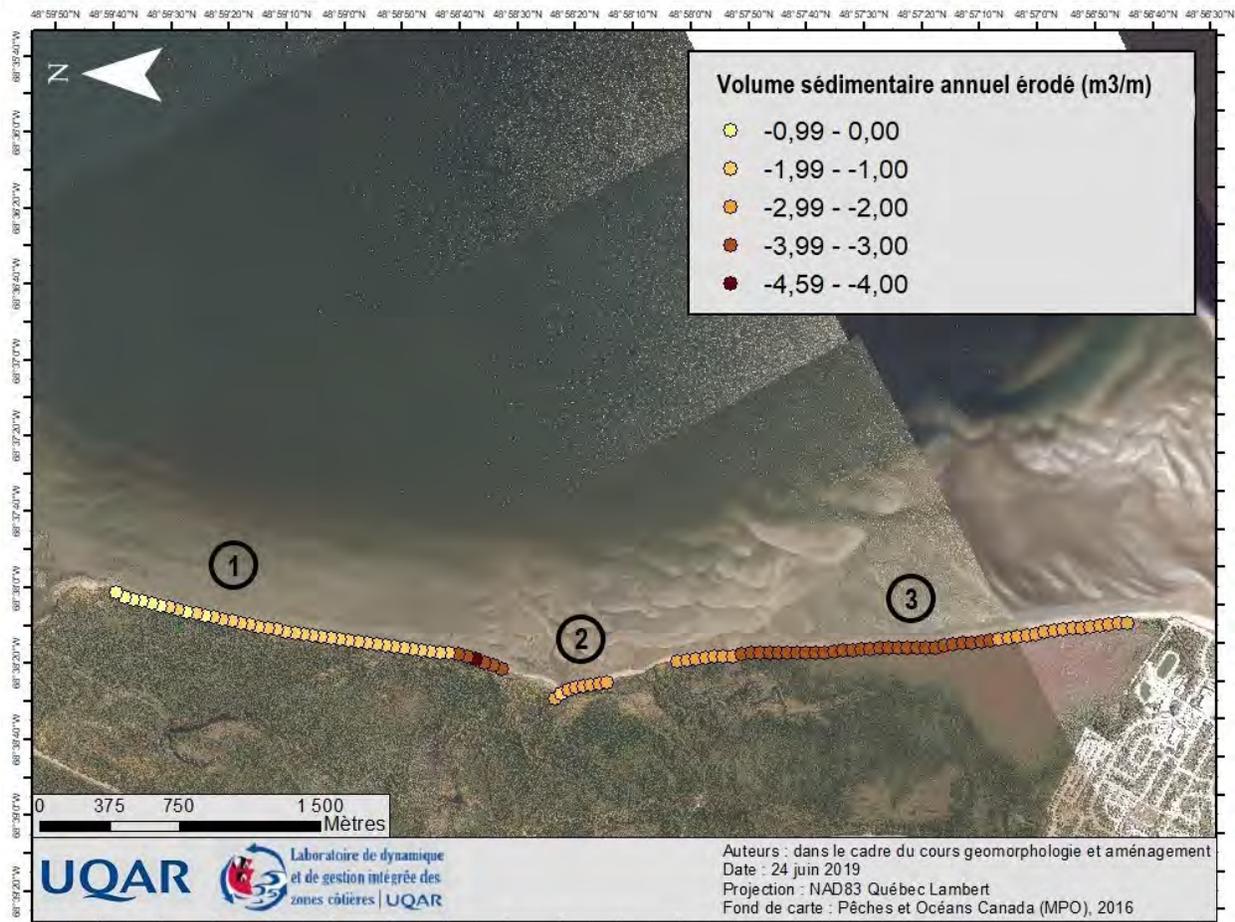


Figure 113. Volume de sédiments érodés annuellement (m³/m) entre 1950 et 2016

Tableau 61. Volumes de sédiments érodés de la falaise (tiré de Béland et al., 2019)

Période	Volume total maximal de sable érodé (m ³ /année)	Volume total minimal de sable érodé (m ³ /année)	Volume total érodé (m ³ /année)
1950 - 1964	-9026,52	-4973,52	-17 448,12
1964 - 1979	-7076,51	-4437,45	-14 338,41
1979 - 1987	-5961,71	-3188,54	-10 508,38
1987 - 2006	-8836,76	-5042,70	-18 896,60
2006 - 2016	-8524,24	-5018,45	-16 792,33

Le deuxième scénario proposé est recommandé. La recharge de plage permet de limiter les risques d'érosion et de submersion pour l'atelier, en plus de réduire les risques d'érosion et de submersion pour 12 bâtiments à l'ouest de l'atelier à court terme ainsi que le risque d'érosion à moyen terme pour la rue. Puisque c'est un endroit utilisé par les membres de la communauté, un seul accès à la plage devrait être balisé pour traverser la dune bordière artificielle. L'emplacement de cet accès devrait se situer à l'est de l'atelier au-delà du foyer d'érosion, soit vers le saillant triangulaire (figure 113).



Figure 114. Deuxième solution d'adaptation proposée pour le secteur de l'atelier – Recharge de plage pour former une dune bordière devant l'atelier et végétalisation.

7.1.3 Secteur de la flèche littorale

Le secteur de la flèche littorale est situé dans les regroupements de segments géomorphologiques homogènes 4 et 5, tel que présenté au chapitre 6. Ce secteur est situé à l'ouest de l'atelier. À cet endroit, 49 bâtiments, majoritairement résidentiels, sont à risque de submersion à moyen terme (25 ans). Également, une forte corrélation entre le niveau de la nappe phréatique et le niveau d'eau du fleuve Saint-Laurent a été établie. Ainsi, le risque d'inondation par la nappe phréatique est très élevé en période de tempête où le niveau d'eau est amplifié par une surcote. Ce secteur a aussi été particulièrement touché par l'érosion, notamment entre 2006 et 2019 où il y a eu une perte d'une bande de terrain variant entre 30 et plus de 70 m.

Les ouvrages de protection côtière identifiés au chapitre 6 pour les regroupements de segments géomorphologiques homogènes 4 et 5 sont la végétalisation et la recharge de plage. L'enjeu de submersion peut être traité partiellement par la végétalisation et la dunification de la flèche littorale. La végétalisation permet de dissiper l'écoulement du jet de rive. La dunification permet d'augmenter le niveau d'eau total nécessaire pour que le phénomène de submersion survienne. Toutefois, ces interventions ne permettent pas de traiter l'enjeu d'inondation associé à la hausse du niveau de la nappe phréatique en période de tempête. Les sentiers d'accès piétonniers et de véhicules tout terrain sont des voies directes pour l'écoulement de l'eau en provenance des vagues. Une opération de végétalisation de plusieurs sentiers et de balisement de certains sentiers doit être effectuée afin de limiter le passage à des endroits bien définis (figure 114). L'accès principal à la plage devrait être balisé à l'extrémité ouest de la flèche littorale dans la zone d'accumulation. Également, les bâtiments ayant un sous-sol doivent être adaptés afin d'éliminer les enjeux associés à l'alimentation électrique et à la présence de biens.

Identification de solutions d'adaptation aux aléas côtiers pour augmenter la résilience des communautés des Premières Nations dans un contexte de changements climatiques:
Rapport final 2021



Figure 115. Une partie de la solution d'adaptation pour le secteur de la flèche littorale – Végétalisation des accès à la plage pour réduire le nombre de sentiers et balisement de certains sentiers ciblés par la communauté.

7.1.4 Solutions non structurelles pour Pessamit

Les solutions non structurelles sont orientées vers la prévention et la gestion des risques côtiers. Dans le contexte d'aléas multiples, plusieurs actions peuvent être réalisées afin de réduire les conséquences potentielles en terme de vies humaines et de cadre bâti. À Pessamit, quelques éléments de solutions non structurelles sont ressorties lors des ateliers d'échange. L'évaluation des suggestions a été réalisée et les recommandations sont présentées dans le tableau suivant (tableau 62).

Tableau 62. Solutions non structurelles à envisager pour la communauté de Pessamit

Solutions non structurelles	Commentaires et détails
1. Création d'un comité côtier	<p>Ce comité devrait être constitué de membres de la communauté, du conseil de bande, du conseil tribal Mamuitun et toutes autres personnes ciblées par la communauté. Il peut avoir plusieurs rôles dans une gestion des risques côtiers. Par exemple :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sensibiliser la population à la problématique • Prendre des décisions en termes de solutions d'adaptation • Gérer un budget-portefeuille pour les différentes solutions d'adaptation choisie • S'assurer que les solutions choisies s'harmonisent avec les usages • Réduire les conflits d'usages • Organiser des événements de financement ou d'information sur le sujet
2. Création d'outils de sensibilisation	<p>Les outils de sensibilisation sont fortement priorisés comme moyen d'adaptation dans la communauté. Ces outils devraient être élaborés en collaboration avec les organismes experts sur le sujet. La question de l'érosion et de la submersion, des effets de la hausse du niveau de la mer et des changements climatiques, de l'inondation par la nappe phréatique devraient notamment être des sujets abordés. Voici quelques éléments importants à tenir compte :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Explication des phénomènes en schéma et en images, ceci de façon appliquée à Pessamit; • Traduction de tous les outils en innu; • Affichage et diffusion des outils en innu et en français; • Utilisation de la radio communautaire; • Utilisation des réseaux sociaux; • Développement de capsules vidéos
3. Développement d'un plan stratégique de sensibilisation	<p>Cette stratégie de sensibilisation à la problématique devrait être développée et déployée par le comité côtier. Le plan devrait contenir entre autres :</p>

	<ul style="list-style-type: none"> • Organisation des événements de sensibilisation selon les différents groupes d'âge • Création d'un comité de personnes portes-paroles pour chacun des groupes d'âge • Explication de la démarche des solutions d'adaptation choisies pour les sites priorités.
<p>4. Interdiction de nouvelle construction et développement d'un plan de relocalisation planifiée pour la flèche littorale</p>	<p>Considérant le niveau de risque d'érosion, de submersion et d'inondation par la nappe phréatique qui va être amplifié par la hausse du niveau de la mer dans les prochaines décennies sur la flèche littorale, un plan de relocalisation devrait être développé par le conseil de bande en collaboration avec le comité côtier, les membres de la communauté impliqués directement ou indirectement et le conseil tribal Mamuitun. D'autres instances ou personnes jugées importantes dans le processus décisionnel devraient être incluses.</p>
<p>5. Planification du réseau de drainage pluvial</p>	<p>Avec l'aide des experts, le réseau de drainage pluvial devrait être revu pour éviter la concentration du ruissellement qui provoque l'érosion de la côte. Les services concernés du conseil de bande devraient être en charge ainsi que les experts.</p>
<p>6. Acquisition des alertes météorologiques et des avertissements d'onde de tempête ou développement d'un système d'alertes adapté pour Pessamit</p>	<p>Voici quelques exemples pour y parvenir :</p> <ul style="list-style-type: none"> • À l'aide des cellulaires, des ordinateurs, (https://meteo.gc.ca/warnings/index_f.html; https://www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/services/types-previsions-meteorologiques-utilisation/publiques/criteres-alertes-meteo.html#ondedetempete); https://meteo.gc.ca/city/pages/qc-160_metric_f.html; • L'écoute régulière de la radio communautaire qui avise la population par des bulletins spéciales; • Les réseaux sociaux; <p>Il serait aussi possible à partir des équations empiriques développées et de la modélisation de développer un système d'alertes adapté à Pessamit.</p>

7. Révision du plan de mesures d'urgence	Consultation du site internet https://www.sac-isc.gc.ca/fra/1309369889599/1535119888656 . Voici quelques exemples des étapes à faire qui sont entre autres ressortis lors des échanges à Pessamit: <ul style="list-style-type: none">• Établir une chaîne téléphonique au début et après l'événement;• Établir une liste de bénévoles lors des événements de submersion et d'érosion;• Revoir les plans d'évacuation;• Planifier le lieu ou les lieux d'accueil en cas d'évacuation (en intégrant les mesures sanitaires recommandées).
8. Formation de membres experts	La communauté devrait s'engager à former des membres de la communauté qui deviendront les experts en matière d'érosion et de submersion. Le but étant d'acquérir une expertise locale à même la communauté de Pessamit.

7.2 Communauté de Uashat

Un secteur a été identifié comme étant problématique en regard des risques côtiers dans la communauté de Uashat : secteur de la flèche littorale et de la terrasse de plage.

7.2.1 Secteur de la flèche littorale et de la terrasse de plage

Le secteur de la flèche littorale et de la terrasse de plage est situé dans le regroupement de segments géomorphologiques homogènes 1, 2 et 3, tel que présenté au chapitre 6. Ce secteur est situé au sud-ouest de la communauté de Uashat. À cet endroit, un fort recul du trait de côte est observé. Actuellement, neuf bâtiments sont à risque d'érosion. Par contre, un amincissement et un abaissement du pédoncule de la flèche littorale sont constatés dans les dernières années. Ce phénomène engendre une augmentation des risques d'érosion et de submersion pour plusieurs résidences, en plus de menacer l'écosystème et les usages associés présents derrière la flèche littorale. Les ouvrages de protection côtière identifiés au chapitre 6 pour le regroupement de segments géomorphologiques homogènes 1, 2 et 3 sont la végétalisation et la recharge de plage.

Dans ce contexte, les ouvrages de protection côtière identifiés au chapitre 6 sont les seules solutions envisageables. La recharge de plage doit couvrir la zone entre l'émissaire actuel et le début de la partie distale de la flèche littorale (figure 115 et figure 116). Lors de la conception de la recharge de plage, un élément qui est primordial pour assurer le succès de l'ouvrage est le calibre des sédiments qui doit être semblable à celui des sédiments présents actuellement. Sans cette condition, la recharge de plage peut engendrer d'autres problèmes comme une réflexion des vagues plus élevée et l'érosion de la recharge. Aussi, on ne doit pas oublier les effets sur les usages si le sable est remplacé, par exemple, par du gravier ou des galets. Il est donc très important d'effectuer une étude qui détermine la taille granulométrique des

Identification de solutions d'adaptation aux aléas côtiers pour augmenter la résilience des communautés des Premières Nations dans un contexte de changements climatiques:

Rapport final 2021

sédiments à larguer sur la plage. De plus, considérant la hausse du niveau de la mer pour l'horizon 2100, la crête de la recharge de plage doit avoir une élévation en géodésique de 4,5 mètres afin de ne pas être surpassée par le jet de rive. Également, la sortie de l'émissaire doit être repositionnée au bout de l'épi actuel. Cette combinaison de solutions permet de répondre aux aléas d'érosion et de submersion, en plus d'augmenter la résilience de l'écosystème de la flèche littorale et du marais maritime dont la rareté est élevée dans le contexte de la ville de Sept-Îles, puis de permettre la fraie du caplan et de conserver l'ensemble des usages présents sur la flèche littorale. Les avantages de cette solution sont incommensurables par rapport à un ouvrage réfléchissant comme un enrochement ou un mur de protection. L'enrochement aménagé en amont de la cellule hydrosédimentaire dans les limites de la ville de Sept-Îles a provoqué la disparition complète de la plage sableuse et des usages associés.



Figure 116. Solution d'adaptation proposée pour le secteur de la flèche littorale et de la terrasse de plage – Recharge de plage et végétalisation en limitant l'accès à la plage avec un sentier balisé à l'est de l'émissaire.



Figure 117. Solution d'adaptation proposée pour le secteur de la flèche et de la terrasse de plage – Recharge de plage et végétalisation en limitant l'accès à la plage avec un sentier balisé derrière la recharge.

7.2.2 Solutions non structurelles pour Uashat

Les solutions non structurelles concernent la prévention et la gestion des risques côtiers au-delà des ouvrages de protection. Ces solutions non structurelles prennent en compte des mesures comme l'aménagement du territoire, le fonctionnement d'une communauté et d'une société. À Uashat, quelques éléments de solutions non structurelles sont ressorties lors des ateliers d'échange. L'évaluation des suggestions a été réalisée et les recommandations sont présentées dans le tableau suivant (tableau 63).

Tableau 63. Solutions non structurelles à envisager pour la communauté de Uashat

Solutions non structurelles	Commentaires et détails
1. Création d'outils de sensibilisation et de vulgarisation	<p>Les outils de sensibilisation sont fortement priorisés comme moyen d'adaptation dans la communauté. Ces outils devraient être élaborés en collaboration avec les organismes experts sur le sujet. Les enjeux associés aux aléas côtiers devraient notamment être abordés. Voici quelques éléments importants à tenir compte :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Explication des phénomènes en schéma et en images, ceci de façon appliquée à Uashat; • Traduction de tous les outils en innu; • Affichage et diffusion des outils en innu et en français; • Explication de la démarche des solutions d'adaptation choisies pour les sites priorités.
2. Diffusion des outils de sensibilisation et de vulgarisation	<p>Voici quelques éléments à tenir en compte pour la diffusion :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Organisation d'événements publics de sensibilisation; • Invitations personnalisées pour les aînés de la communauté; • Utilisation de la radio communautaire; • Utilisation des réseaux sociaux;
3. Acquisition des alertes météorologiques et des avertissements d'onde de tempête ou développement d'un système d'alertes adapté pour Uashat	<p>Voici quelques éléments à tenir en compte :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Planification de la diffusion de l'information lors des alertes; • Développer plusieurs types de systèmes d'alerte (SMS, téléphonique, radio communautaire, réseaux sociaux, etc.). <p>Un système de prévision des niveaux d'eau totaux à la côte pour prévoir les phénomènes d'érosion et de submersion est en cours de développement par la Chaire de recherche en géoscience côtière de l'UQAR et Uashat pourrait devenir un secteur pilote.</p>

4. Révision du plan de mesures d'urgence	Consultation du site internet https://www.sac-isc.gc.ca/fra/1309369889599/1535119888656 . Voici quelques exemples des étapes à faire: <ul style="list-style-type: none">• Établir une chaîne téléphonique au début et après l'événement;• Établir une liste de bénévoles lors des événements de submersion et d'érosion;• Revoir les plans d'évacuation;• Planifier le lieu ou les lieux d'accueil en cas d'évacuation (en intégrant les mesures sanitaires recommandées).
5. Formation de membres experts	La communauté devrait s'engager à former des membres de la communauté qui deviendront les experts en matière d'érosion et de submersion. Le but étant d'acquérir une expertise locale à même la communauté de Pessamit.

8 Conclusion

Les communautés autochtones côtières, comme Pessamit et Uashat, sont amenés à intervenir afin de s'adapter aux répercussions des changements climatiques sur leur territoire et leurs activités traditionnelles. Le projet actuel par un processus de co-construction a permis d'identifier une série de solutions d'adaptation exprimées par des membres des communautés innues, et de développer deux types d'outils pour l'adaptation aux aléas côtiers.

Tout d'abord, on constate que les solutions d'adaptation non structurelles sont fortement considérées et se reflètent notamment par le besoin de développer des outils de sensibilisation aux aléas côtiers, de créer un fond pour la prévention et la relocalisation planifiée ainsi que pour les aspects environnementaux. L'importance aussi de développer le capital humain et l'expertise dans les communautés ainsi que d'assurer une concertation régionale entre les communautés innues et les municipalités de la région.

Une cartographie des risques d'érosion et de submersion côtières a été réalisée qui pourra servir à des fins d'aménagement du territoire et afin d'informer les décideurs sur les secteurs critiques d'intervention. Cet outil vient rejoindre les besoins exprimés par les communautés. Un outil intégré d'identification d'OPC adapté au contexte local a aussi été développé et combine deux approches, soit un algorithme d'identification et une analyse multicritère. L'algorithme d'identification permet de classer les effets des OPC sur le système socio-écologique côtier en étant basé sur une méta-analyse de la littérature scientifique sur les études de cas d'OPC. Cette analyse a permis de déterminer que les techniques douces (végétalisation, couches perméables de drainage, recharge de plage, recharge d'avant-plage, systèmes horizontal et vertical de drainage, ganivelle) ainsi que les épis perméables ont un effet positif sur le système socio-écologique des secteurs de Pessamit et de Uashat. Sur la base de cette liste d'OPC, l'analyse multicritère a permis de comparer les OPC en fonction de la pondération accordée par les acteurs locaux aux critères de sélection. Ainsi, la végétalisation est classée en première position et la recharge de plage est classée en deuxième position pour l'ensemble des regroupements de segments géomorphologiques homogènes analysés.

Selon ces résultats ainsi que d'une analyse approfondie des risques d'érosion et de submersion côtières et des caractéristiques socio-écologiques, des scénarios ont été proposés et des recommandations ont été établies pour trois secteurs de la communauté de Pessamit et un secteur de la communauté de Uashat. En regard de ces recommandations, les décideurs locaux pourront sélectionner des solutions d'adaptation à conserver dans des étapes d'analyse subséquente, soit la pré-conception et la conception d'ingénierie. À partir des données produites dans ce projet, les solutions pourront être modélisées afin d'évaluer la réduction du risque. Ce projet a permis de jeter les bases pour maintenant passer à l'action et à la mise en œuvre des solutions d'adaptation.

Références bibliographiques

- Ananda, J., Herath, G., 2009. A critical review of multi-criteria decision making methods with special reference to forest management and planning. *Ecol. Econ.* 68, 2535–2548. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2009.05.010>
- André, P., Delisle, C.E., Revéret, J.-P., 2010. L'évaluation des impacts sur l'environnement: processus, acteurs et pratique pour un développement durable, 3e ed. Presses internationales Polytechnique.
- Antunes, P., Karadzic, V., Santos, R., Beça, P., Osann, A., 2011. Participatory multi-criteria analysis of irrigation management alternatives: The case of the Caia irrigation district, Portugal. *Int. J. Agric. Sustain.* 9, 334–349. <https://doi.org/10.1080/14735903.2011.582358>
- Atkinson, A.L., Power, H.E., Moura, T., Hammond, T., Callaghan, D.P., Baldock, T.E., 2017. Assessment of runup predictions by empirical models on non-truncated beaches on the south-east Australian coast. *Coast. Eng.* 119, 15–31. <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2016.10.001>
- Bandet, M., Caulet, C., Baudry, J., Didier, D., Dubuc, D., Marion, N., McKinnon, R., Paul-Hus, C., Caveen, J., Sévigny, C., Senneville, S., Dumont, D. et Bernatchez, P., 2020. Programme de mesure et de modélisation de la morphodynamique de l'érosion et de la submersion côtière dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent (MoDESCo), Phase III : rapport final. Chaire de recherche en géoscience côtière, Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières, Université du Québec à Rimouski. Rapport remis au ministère de la Sécurité publique du Québec, novembre 2020, 260 p.
- Behzadian, M., Kazemzadeh, R.B., Albadvi, A., Aghdasi, M., 2010. PROMETHEE: A comprehensive literature review on methodologies and applications. *Eur. J. Oper. Res.* 200, 198–215. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2009.01.021>
- Béland, C., Biehler, A., Blanchard, Y., Ferris, B., Goudreault, M-O., Légaré, B., Mabit, R., Sauvé, P. et Savoie-Ferron, F., 2019. Analyse de risque de submersion et d'érosion côtière de la communauté de Pessamit. Rapport présenté à Pascal Bernatchez dans le cadre du cours Géomorphologie et aménagement, GEO8613. 9 août 2019, UQAR, LDGIZC. 125 p.
- Bernatchez, P.; Fraser, C.; Lefavre, D.; Dugas, S. 2011. Integrating anthropogenic factors, geomorphological indicators and local knowledge in the analysis of coastal flooding and erosion hazards. *Ocean Coast. Manag.* 2011, 54, 621–632.
- Bernatchez, P.; Fraser, C. 2012. Evolution of coastal defence structures and consequences for beach width trends, Québec, Canada. *J. Coast. Res.* 2012, 285, 1550–1566.
- Bernatchez, P., Fraser, C., Friesinger, S., Jolivet, Y., Dugas, S., Drejza, S., ... OURANOS. (2008). Sensibilité des côtes et vulnérabilité des communautés du golfe du Saint-Laurent aux impacts des changements climatiques.
- Bernatchez, P., Friesinger, S., Denis, C. et Y. Jolivet, 2012 a. Géorisques côtiers, vulnérabilité et adaptation de la communauté de Pessamit dans un contexte de changements climatiques. Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières, Université du Québec à Rimouski. Rapport de recherche remis au Conseil tribal Mamuitun, 243 pages.
- Bernatchez, P., Friesinger, S., Denis, C. et Y. Jolivet, 2012 b. Géorisques côtiers, vulnérabilité et adaptation de la communauté de Uashat mak Mani-Utenam dans un contexte de changements climatiques. Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières, Université du Québec à Rimouski. Rapport de recherche remis au Conseil tribal Mamuitun et au Ministère des Affaires autochtones et Développement du Nord Canada, 240 pages.
- Bernatchez, P., Dugas, S., Fraser, C., Da Silva, L., 2015. Évaluation économique des impacts potentiels de l'érosion des côtes du Québec maritime dans un contexte de changements climatiques 45.
- Bernatchez, P., Arsenault, E., Lambert, A., Bismuth, E., Didier, D., Senneville, S., Dumont, D., Caveen, J., Sévigny, C., Beaudry, J. Bandet, M. 2017. Programme de mesure et de modélisation de la morphodynamique de l'érosion et de la submersion côtière dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent

- (MODESCO), Phase II : rapport final. Chaire de recherche en géoscience côtière, Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières, Université du Québec à Rimouski. Rapport remis au ministère de la Sécurité publique du Québec, mars 2017, 172 p. + annexe.
- Bird, E., 2008. Coastal Geomorphology: An Introduction, Second ed. ed. Wiley. <https://doi.org/10.1029/01eo00219>
- BPR INC. et Alliance Environnement, 2007. « Étude de caractérisation et de faisabilité – Érosion des berges - Communauté de Pessamit », rapport final présenté au conseil des Innus de Pessamit, N/réf. :M90-06-28 (60ET), 52 p. + annexes
- Brans, J.P., 1982. L'ingénierie de la décision; Élaboration d'instruments d'aide à la décision. La méthode PROMETHEE, in: Nadeau, R., Landry, M. (Eds.), L'aide à La Décision: Nature, Instruments et Perspectives d'Avenir. Presse de l'Université Laval, Québec, Canada, pp. 183–213.
- Brans, J.P., Vincke, P., Mareschal, B., 1986. How to select and how to rank projects : The PROMETHEE method. Eur. J. Oper. Res. 24, 228–238.
- Brown, J., Isaacs, D., World Café community, 2005. The World Café: Shaping Our Futures Through Conversations That Matter. Berrett-Koehler Publishers, Inc.
- Caillet, R., 2003. Analyse multicritère : Étude et comparaison des méthodes existantes en vue d'une application en analyse de cycle de vie.
- Chang, H.-K., Liou, J.-C., Chen, W.-W., 2012. Protection Priority in the Coastal Environment Using a Hybrid AHP-TOPSIS Method on the Miaoli Coast, Taiwan. J. Coast. Res. <https://doi.org/10.2112/JCOASTRES-D-10-00092.1>
- Chini, N.; Stansby, P.K. Coupling TOMAWAC and Eurotop for uncertainty estimation in wave overtopping predictions. In Advances in Hydroinformatics, Springer Hydrogeology; Gourbesville, P., Cunge, J., Caignaert, G., Eds.; Springer: Singapore, Singapore, 2014.
- Comité ZIP de la rive nord de l'estuaire, 2010. « Plan d'action pour la mise en valeur et la protection de l'estuaire de la rivière Betsiamites », Baie-Comeau, Québec, 48 pages + Annexes
- Conseil des Innus de Pessamit (Bacon M.), 2010. La grande marée du 6 décembre 2010 et les impacts sur les infrastructures.
- De Bruin, K., Dellink, R.B., Ruijs, A., Bolwidt, L., Van Buuren, A., Graveland, J., De Groot, R.S., Kuikman, P.J., Reinhard, S., Roetter, R.P., Tassone, V.C., Verhagen, A., Van Ierland, E.C., 2009. Adapting to climate change in the Netherlands: An inventory of climate adaptation options and ranking of alternatives. Clim. Change. <https://doi.org/10.1007/s10584-009-9576-4>
- Didier, D., Bernatchez, P., Boucher-Brossard, G. et al (2015) Coastal flood assessment based on field debris measurements and wave runup empirical model. J Mar Sci Eng 3:560–590. doi:10.3390/jmse3030560
- Didier, D., Caulet, C., Bandet, M., Bernatchez, P., Dumont, D., Augereau, E., ... & Delacourt, C. (2020). Wave runup parameterization for sandy, gravel and platform beaches in a fetch-limited, large estuarine system. *Continental Shelf Research*, 192, 104024.
- Garmendia, E., Gamboa, G., 2012. Weighting social preferences in participatory multi-criteria evaluations: A case study on sustainable natural resource management. Ecol. Econ. 84, 110–120. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2012.09.004>
- Garmendia, E., Gamboa, G., Franco, J., Garmendia, J.M., Liria, P., Olazabal, M., 2010. Social multi-criteria evaluation as a decision support tool for integrated coastal zone management. Ocean Coast. Manag. 53, 385–403. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2010.05.001>
- GIEC. (2014). Annexe II: Glossaire. In Changements climatiques 2014: Rapport de synthèse. Contribution des Groupes de travail I, II et III au cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (pp. 131–145). Genève, Suisse: GIEC.
- Holman, R.A., 1986. Extreme value statistics for wave run-up on a natural beach. Coast. Eng. 9, 527–544. [https://doi.org/10.1016/0378-3839\(86\)90002-5](https://doi.org/10.1016/0378-3839(86)90002-5)

Identification de solutions d'adaptation aux aléas côtiers pour augmenter la résilience des communautés des Premières Nations dans un contexte de changements climatiques:

Rapport final 2021

- HYDRO-QUÉBEC, 1999. « Dérivation partielle de la rivière Sault aux Cochons », Rapport d'avant-projet, août 1999, Volume 1, 344 p.
- Hydro-Québec, 2007. « Dérivation partielle des rivières Portneuf, Sault aux Cochons et Manouane – Stabilité des berges du cours inférieur de la rivière Betsiamites, Volume 1 », suivi environnemental 2006 en phase exploitation, Direction-Production-Manicouagan, Enviroconsult, 32 p.
- Inrest, 2018. Observatoire environnemental de la baie de Sept-Îles, volume 1. 794 pages. Numéro ISBN : 978-2-9817636-0-0.
- InteRives Ltée et Naturam Environnement Inc., 2000. « Hydrodynamisme et dynamique sédimentaire de l'Estuaire de la Betsiamites » présenté à la Direction Expertise et Support technique de Production Hydro-Québec, 87 p.
- Koohzare, A., Vaníček, P., Santos, M., 2008. Pattern of recent vertical crustal movements in Canada. *J. Geodyn.* 45, 133–145. <https://doi.org/10.1016/j.jog.2007.08.001>.
- Mareschal, B., n.d. PROMETHEE & GAIA Software [WWW Document].
- Marie, G., Bernatchez, P., Fraser, C., Touchette, M., Papageorges, S., Coulombe, D., Arsenault, E., Friesinger, S., Sauvé, P. et Lapointe-St-Pierre, M., 2017. L'adaptation aux aléas côtiers dans un contexte de changements climatiques : portrait des besoins exprimés et des outils proposés à l'échelle des MRC de l'Est du Québec. Chaire de recherche en géoscience côtière, Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières, Université du Québec à Rimouski. Rapport remis au ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, novembre 2017, 114 p.
- Marttunen, M., Lienert, J., Belton, V., 2017. Structuring problems for Multi-Criteria Decision Analysis in practice: A literature review of method combinations. *Eur. J. Oper. Res.* 263, 1–17. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2017.04.041>
- Monterroso, I., Binimelis, R., Rodríguez-Labajos, B., 2011. New methods for the analysis of invasion processes: Multi-criteria evaluation of the invasion of *Hydrilla verticillata* in Guatemala. *J. Environ. Manage.* 92, 494–507. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.09.017>
- MPO, 2002. « Dérivation partielle de la rivière Sault aux Cochons, Loi canadienne sur l'évaluation environnementale – Rapport d'étude approfondie », préparé par le Ministère des Pêches et des Océans Canada, Région du Québec, 39 p.
- National Research Council, 2009. *Informing Decisions in a Changing Climate*. The National Academies Press, Washington, DC. <https://doi.org/10.17226/12626>
- Naturam Environnement, 1995. La possibilité de fraie de l'esturgeon noir dans l'estuaire de la rivière Manicouagan. Présenté au comité ZIP, Corporation d'amélioration et de protection de l'environnement (CAPE). Dossier 95, 869. Novembre 1995. 94 p.
- Oppenheimer, M., B.C. Glavovic, J. Hinkel, R. van de Wal, A.K. Magnan, A. Abd-Elgawad, R. Cai, M. Cifuentes-Jara, R.M. DeConto, T. Ghosh, J. Hay, F. Isla, B. Marzeion, B. Meyssignac and Z. Sebesvari (2019). *Sea Level Rise and Implications for Low-Lying Islands, Coasts and Communities*. IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate. Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Paprotny, D., Andrzejewski, P., Terefenko, P., Furmańczyk, K., 2014. Application of empirical wave run-up formulas to the polish baltic sea coast. *PLoS One* 9, 1–8. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0105437>
- Pawlowicz, R., B. Beardsley, and S. Lentz, "Classical Tidal Harmonic Analysis including Error Estimates in MATLAB using T_TIDE", *Computers and Geosciences*, 28, 929-937 (2002)
- Potschin, M., Haines-Young, R., Fish, R., & Turner, R. K. (Eds.). (2016). *Routledge handbook of ecosystem services*. Routledge.

Identification de solutions d'adaptation aux aléas côtiers pour augmenter la résilience des communautés des Premières Nations dans un contexte de changements climatiques:

Rapport final 2021

- Quintin, C., Bernatchez, P., Jolivet, Y. 2013. Impacts de la tempête du 6 décembre 2010 sur les côtes du Bas-Saint-Laurent et de la baie des Chaleurs. Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières et Chaire de recherche en géoscience côtière, Université du Québec à Rimouski. Rapport remis au ministère de la Sécurité publique du Québec, Février 2013, Volume I : 48p. + Volume II : 170 p.
- Ruggiero, P., Komar, P.D., McDougal, W.G., Marra, J.J., Beach, R.A., 2001. Wave Runup , Extreme Water Levels and the Erosion of Properties Backing Beaches Stable. *J. Coast. Res.* 17, 407–419.
- Sarukhán, J., Whyte, A., Hassan, R., Scholes, R., Ash, N., Carpenter, S. T., ... & Raudsepp-Hearne, C. (2005). Millenium ecosystem assessment: Ecosystems and human well-being.
- Sauvé, P., Bernatchez, P. et Glaus, M. 2021 a. Protocole de l'algorithme d'identification d'ouvrage de protection côtière. Guide écrit dans le cadre du projet Identification de solutions d'adaptation aux aléas côtiers pour augmenter la résilience des communautés des Premières Nations dans un contexte de changements climatiques. Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières, Université du Québec à Rimouski. Document remis au ministère des Ressources naturelles Canada, mars 2021, 49 p.
- Sauvé, P. et Bernatchez, P. 2021 b. Rapport détaillé des résultats de l'algorithme d'identification d'ouvrages de protection côtière pour la communauté de Pessamit. Guide écrit dans le cadre du projet Identification de solutions d'adaptation aux aléas côtiers pour augmenter la résilience des communautés des Premières Nations dans un contexte de changements climatiques. Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières, Université du Québec à Rimouski. Document remis au ministère des Ressources naturelles Canada, mars 2021, 115 p.
- Sauvé, P. et Bernatchez, P. 2021 c. Rapport détaillé des résultats de l'algorithme d'identification d'ouvrages de protection côtière pour la communauté de Uashat. Guide écrit dans le cadre du projet Identification de solutions d'adaptation aux aléas côtiers pour augmenter la résilience des communautés des Premières Nations dans un contexte de changements climatiques. Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières, Université du Québec à Rimouski. Document remis au ministère des Ressources naturelles Canada, mars 2021, 68 p.
- Scott, J.A., Ho, W., Dey, P.K., 2012. A review of multi-criteria decision-making methods for bioenergy systems. *Energy* 42, 146–156. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2012.03.074>
- Stagl, S., 2006. Multicriteria evaluation and public participation: The case of UK energy policy. *Land use policy* 23, 53–62. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2004.08.007>
- Stockdon, H.F., Holman, R.A., Howd, P.A., Sallenger, A.H., 2006. Empirical parameterization of setup, swash, and runup. *Coast. Eng.* 53, 573–588. <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2005.12.005>
- Tolman, H. L. et le groupe de développement 2014. User Manual and System Documentation of WAVEWATCH III version 4.18; NOAA/NWS/NCEP: College Park, MD, USA; p. 311.
- TRMAL, C., PONS, F., & SABATIER, F. (2012). MobiTC, outil de calcul automatique de l'évolution historique du trait de côte: exemples sur 3 types de morphologies côtières. *XIIèmes Journées Nationales Génie Côtier–Génie Civil, Cherbourg*, 511-519.
- Trutnevyte, E., Stauffacher, M., Scholz, R.W., 2012. Linking stakeholder visions with resource allocation scenarios and multi-criteria assessment. *Eur. J. Oper. Res.* 219, 762–772. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2012.01.009>
- Trutnevyte, E., Stauffacher, M., Scholz, R.W., 2011. Supporting energy initiatives in small communities by linking visions with energy scenarios and multi-criteria assessment. *Energy Policy* 39, 7884–7895. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.09.038>
- van Ormondt, M., Nederhoff, K., & van Dongeren, A. (2020). Delft Dashboard: a quick set-up tool for hydrodynamic models. *Journal of Hydroinformatics*, 22(3), 510-527.
- Vousdoukas, M.I., Wziatek, D., Almeida, L.P., 2012. Coastal vulnerability assessment based on video wave run-up observations at a mesotidal , steep-sloped beach. *Ocean Dyn.* 123–137.

Identification de solutions d'adaptation aux aléas côtiers pour augmenter la résilience des communautés des Premières Nations dans un contexte de changements climatiques:

Rapport final 2021

<https://doi.org/10.1007/s10236-011-0480-x>

Westmacott, S., 2001. Developing decision support systems for integrated coastal management in the tropics: Is the ICM decision-making environment too complex for the development of a useable and useful DSS? *J. Environ. Manage.* 62, 55–74.

Annexe A – Méthodologie pour l'analyse multicritère

Les systèmes d'aide à la décision, développés pour améliorer la compréhension de problèmes complexes, peuvent contribuer à parfaire le processus décisionnel (National Research Council, 2009; Westmacott, 2001). Les méthodes d'analyse multicritère sont un type de système d'aide à la décision utilisé pour sélectionner la meilleure ou les meilleures actions parmi un groupe en étant basé sur plusieurs procédures permettant de pondérer des critères qui ont une influence sur la décision (Marttunen et al., 2017; Scott et al., 2012). Les méthodes d'analyse multicritère ont été utilisées dans plusieurs contextes de gestion environnementale (Ananda et Herath, 2009).

Critères de sélection

Les critères de sélection sont des paramètres utilisés pour évaluer la contribution d'action à la réalisation des objectifs d'un projet (André et al., 2010). L'identification de critères de sélection vise à former un ensemble de critères complet, opérationnel, indépendant mutuellement, sans doublon et cohérent avec les effets à différentes échelles temporelles (De Bruin et al., 2009). Cet exercice est généralement effectué par des scientifiques ou des experts (p. ex. Chang et al., 2012; Monterroso et al., 2011; Trutnevyte et al., 2011) ou par des parties prenantes dans des processus participatifs plus avancés par des questionnaires, des ateliers, etc. (p. ex. Antunes et al., 2011; Garmendia et al., 2010; Garmendia and Gamboa, 2012; Stagl, 2006; Trutnevyte et al., 2012). La pondération des critères peut être définie comme la mesure de l'importance d'un critère de sélection selon un acteur (Garmendia and Gamboa, 2012; Stagl, 2006). Un groupe d'acteurs peuvent être en accord sur un ensemble de critères sans accorder la même importance à chacun d'entre eux (Garmendia and Gamboa, 2012). Dans ce contexte, un processus de consultation des acteurs de la zone côtière de l'Est du Québec a été réalisé afin d'identifier et de pondérer des critères de sélection menant à la sélection d'ouvrage de protection côtière (OPC).

Contexte de consultation

Des acteurs de la zone côtière de l'Est du Québec ont été rencontrés dans le contexte de 4 ateliers organisés en 2019 du projet résilience côtière ainsi que dans le cadre de 2 ateliers du présent projet avec deux communautés innues. Les acteurs invités comprenaient du personnel administratif et professionnel des municipalités, des communautés des Premières nations et des municipalités régionales de comté (MRC) côtières, des ministères provinciaux et fédéraux concernés par les enjeux côtiers ainsi que des organismes locaux et régionaux. Dans le cadre du présent projet, seuls les membres de la communauté étaient invités. Plusieurs activités étaient réalisées durant les ateliers. Un de ces ateliers visait à intégrer les participants dans le processus décisionnel d'un ouvrage de protection côtière (OPC).

Tableau 64. Nombre de participants ayant participé à l'identification et la pondération des critères de sélection d'OPC lors des ateliers réalisés dans le contexte de consultation des projets Résilience côtière et du présent projet

Territoire	Nombre de participants	Date
Projet Résilience côtière		
MRC La Mitis, La Matanie et Haute-Gaspésie	26	2 avril 2019
MRC Haute-Côte-Nord et Manicouagan	19	30 avril 2019
MRC La Côte-de-Gaspé et Le Rocher-Percé	23	16 octobre 2019

MRC Sept-Rivières et La Minganie	27	4 décembre 2019
<hr/>		
<u>Présent projet</u>		
Communauté de Pessamit	7	19 juin 2019
Communauté de Uashat	0	18 février 2020
<hr/>		

Identification des critères de sélection

Les participants ont été séparés en deux ou trois groupes afin de former des tables de discussion d'environ 5 à 15 personnes basées sur la méthodologie du World Cafe (Brown et al., 2005). Le nombre de groupe était en fonction du nombre de participants et du nombre de territoire couvert par un atelier. L'objectif était de permettre aux participants d'exprimer leurs opinions sur différents sujets associés aux enjeux côtiers dans des discussions de 25 minutes. Une table était dédiée à l'identification de critères de sélection d'ouvrages de protection côtière (OPC). Deux animateurs faisant partie de l'équipe de recherche étaient responsables de la discussion.

Au début de la discussion, une contextualisation était effectuée afin d'amener les participants à se situer dans le contexte de l'identification de critères de sélection d'OPC (tableau 65). La question *Selon vous, quels sont les critères à prendre en compte lorsqu'il faut sélectionner un ouvrage de protection côtière?* était posée aux participants pour initier la discussion (tableau 65 point 6). Cinq catégories de critères étaient présentées aux participants afin de les guider dans leurs réflexions (tableau 65. point 7). Les critères identifiés par les participants étaient inscrits par les animateurs sur un papier de type *Post-it* et apposés sur le carton correspondant à la catégorie du critère. Les critères de sélection identifiés par les participants d'un groupe servaient de base pour poursuivre la discussion avec les participants des groupes subséquents.

Tableau 65. Séquence des points mentionnés aux participants durant la mise en contexte de l'identification de critères de sélection d'ouvrages de protection côtière

1. Avec les changements climatiques, une pression est ajoutée sur les milieux côtiers, d'une part, par la hausse du niveau marin et, d'autre part, la diminution du nombre de jours avec un couvert de glace côtière entraînant une augmentation de l'impact des tempêtes et par le fait même les problèmes associés à l'érosion et à la submersion côtière.
2. Afin de faire face aux enjeux de ces changements, il existe plusieurs stratégies, dont l'aménagement d'ouvrages de protection côtière.
3. Comme nous vous l'avons présenté en début d'après-midi, il existe plusieurs types d'ouvrage de protection côtière. Le problème devient alors l'identification de l'ouvrage de protection qui convient le mieux au site affecté par de l'érosion ou de la submersion côtière.
4. C'est dans ce contexte que nous développons une méthode d'évaluation d'ouvrage de protection côtière qui tient compte de l'ensemble des paramètres d'un environnement côtier.
5. Dans le cadre de cette méthode, nous utilisons une analyse multicritère pour filtrer les ouvrages de protection côtière en fonction des priorités des acteurs locaux.
6. Nous vous posons donc la question suivante : *Selon vous, quels sont les critères à prendre en compte lorsqu'il faut sélectionner un ouvrage de protection côtière?*
7. Pour vous guider, nous vous proposons 5 catégories de critères dans lesquels nous vous demandons d'identifier des critères correspondants qui selon vous sont importants à prendre en compte dans la sélection d'un ouvrage de protection côtière.
 - a. Contexte économique : critères associés aux coûts, aux bénéfices, aux enjeux, etc.
 - b. Contexte environnemental : critères associés aux impacts environnementaux
 - c. Contexte social : critères associés à l'acceptabilité, à l'accessibilité, aux activités, à la culture, etc.

- d. Gestion de projet : critères associés à la planification et à l'exécution d'un chantier
 - e. Caractéristiques techniques : critères associés au comportement, à la fiabilité, etc. de l'ouvrage de protection
8. Ainsi, à cette table, nous cherchons à identifier les critères qui, pour vous, sont importants à intégrer dans ce filtre visant à retenir et classer les ouvrages de protection côtière adaptés à la dynamique locale.
 9. Nous ne cherchons pas d'éléments associés au contexte du problème d'érosion côtière, par exemple le contexte politique, les caractéristiques environnementales du secteur, etc.
 10. Après les tables, vous serez amenés à prioriser les critères de sélection que vous allez avoir identifiés ici. C'est à ce moment que vous pourrez opposer les critères de sélection entre eux.
 11. Nous cherchons des éléments pour résoudre le problème du choix d'une solution parmi plusieurs options. Des éléments sur lesquels nous pouvons avoir de l'influence pour choisir une solution.
 12. Par exemple, pour sélectionner une voiture qui correspond à nos besoins, nous pouvons considérer comme critères la force du moteur, l'équipement intégré, le coût, le kilométrage, la couleur, les émissions de CO₂, l'esthétisme, etc.
-

En plus d'effectuer la mise en contexte, les animateurs participaient à la discussion en encourageant les participants à approfondir leur pensée suite à l'identification d'un critère. Ils étaient également amenés à ramener la discussion vers l'identification des critères de sélection d'OPC lorsque la discussion divergeait.

Priorisation des critères de sélection

Un système de pondération a été élaboré afin de permettre aux participants de pondérer les critères de sélection précédemment identifiés. Une classification à trois niveaux a été établie : critères identifiés par les participants; critères généraux qui sont une synthèse des critères identifiés; catégories de critères (tableau 65, point 7).

Une synthèse des critères identifiés par les participants est effectuée par les animateurs. Chaque catégorie de critère a été limitée à cinq critères généraux. Chaque critère général était inscrit sur un carton et les critères identifiés correspondants étaient inscrits en sous-points à titre d'exemple. La pondération des critères généraux est effectuée en deux étapes. La table de vote est divisée en 6 sections, soit une par catégorie de critères et une rassemblant les catégories de critères (*figure 118*). Dans chacune des 5 sections correspondant à une catégorie de critère, 5 boîtes (pots de plastique) correspondent aux critères généraux potentiellement identifiés par les participants lors de la table de discussion. Chaque carton indiquant un critère général est placé à côté d'une boîte de sa catégorie de critère. S'il y a moins de 5 critères généraux, les boîtes sans carton sont retirées de la table. Dans la 6^e section rassemblant les catégories de critères, 5 boîtes correspondent chacune à une catégorie de critères. Pour chaque boîte, un carton identifie une catégorie de critère et des exemples de critères généraux de la catégorie sont écrits manuellement sur chaque carton.

Chaque participant reçoit un sac contenant des jetons de vote afin de prioriser les critères de sélection qu'ils jugent les plus appropriés. Dans un premier temps, les participants sont amenés à pondérer les critères généraux de chacune des catégories avec 10 jetons par catégories en répondant à la question : *Pour chaque catégorie de critère, quelle importance accordez-vous à chaque critère à prendre en compte lorsqu'il faut sélectionner un ouvrage de protection côtière?* Dans un deuxième temps, les participants sont amenés à pondérer les 5 grandes catégories avec 10 jetons en répondant à la question : *Quelle importance accordez-vous à chaque catégorie de critère de sélection d'un ouvrage de protection côtière?* Ils distribuent

Identification de solutions d'adaptation aux aléas côtiers pour augmenter la résilience des communautés des Premières Nations dans un contexte de changements climatiques:

Rapport final 2021

leurs jetons selon la valeur qu'ils veulent donner à un concept. Les boîtes de vote sont opaques et nul ne peut voir quel concept reçoit des votes.

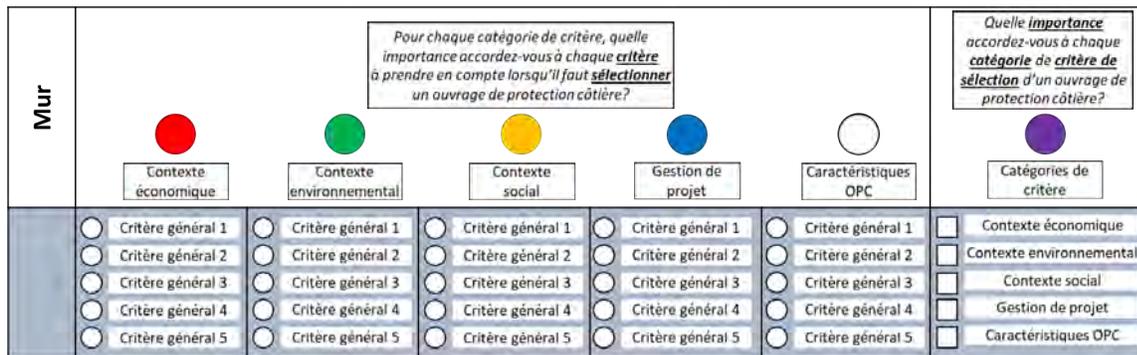


Figure 118. Schématisation de la table de vote de la table de discussion *Identification des critères de sélection des ouvrages de protection côtière*

Chaque participant était identifié par un numéro anonyme qui était également inscrit sur chacun des jetons. Ainsi, les résultats de la pondération ont été obtenus à l'échelle des participants.

Traitement des résultats

Les critères de sélection identifiés dans les différents ateliers ont été regroupés afin d'établir un ensemble de critères uniques qui répond aux conditions de conformité, soit un ensemble de critères complet, opérationnel, indépendant et cohérent avec les effets à différentes échelles temporelles (De Bruin et al., 2009). Ces conditions sont importantes à respecter afin d'évaluer les OPC de manière cohérente, sans double comptage.

L'identification de critères de sélection par les participants entraîne des irrégularités entre les ateliers qui doivent être corrigées afin d'être en mesure d'obtenir une base comparative commune entre les ateliers. Ces irrégularités faibles, moyennes ou élevées sont expliquées par les exigences auprès des animateurs d'être attentifs, compréhensifs, patients et d'avoir un esprit de synthèse tout en considérant les limites temporelles de l'atelier. Les irrégularités faibles nécessitent seulement une modification du nom du critère générale. Les irrégularités moyennes nécessitent un regroupement de critères généraux (k_i) à l'intérieur d'une catégorie de critère (C_j). Les irrégularités élevées nécessitent un regroupement de critères généraux entre deux catégories de critère (tableau 66).

Tableau 66. Type d'irrégularités dans l'identification des critères de sélection entre les ateliers

Types d'irrégularité	Cause	Implication pour la pondération
Faible	- Uniformisation de l'orthographe	- Aucune
Moyenne	- Critères menant aux mêmes points d'évaluation (indépendance des critères)	- Somme des poids des critères (w_i)
	- Critères ne permettant pas de distinguer deux OPC (opérationnels)	

$$w_{i'} = \sum_{k_i=k_{i'}} w_i$$

Identification de solutions d'adaptation aux aléas côtiers pour augmenter la résilience des communautés des Premières Nations dans un contexte de changements climatiques:

Rapport final 2021

Élevée	- Critères dans la mauvaise catégorie	<ul style="list-style-type: none"> - Définition du poids absolu par la multiplication du poids de la catégorie par le poids de chaque critère - Redistribution des critères dans les bonnes catégories - Recalcul du poids relatif des critères à l'intérieur de chaque catégorie
--------	---------------------------------------	--

Méthode PROMETHEE

Les méthodes *Analytical Hierarchy Process* (AHP), ELECTRE et PROMETHEE sont les plus communément utilisées dans un contexte de gestion environnementale. Les points distinctifs entre les méthodes sont le type d'agrégation, le type de calcul, les échelles de pondération et la hiérarchisation des solutions (Caillet, 2003). Dans le contexte du projet actuel, l'objectif est d'identifier une solution ou un groupe de solutions adapté à l'objectif du projet, à l'opinion des décideurs et aux critères de sélection en général.

Brans et al. (1986) ont démontré que la méthode PROMETHEE était plus stable que la méthode ELECTRE III. Également, cette méthode est largement appliquée dans un contexte de gestion environnementale (Behzadian et al., 2010). Ainsi, la méthode PROMETHEE et le logiciel VISUAL PROMETHEE ont été utilisés dans le cadre du projet actuel (Mareschal, n.d.).

PROMETHEE signifie *Preference Ranking Organization METHode for the Enrichment of Evaluation*. La méthode a initialement été développée par Jean-Pierre Brans en 1982 sur les bases des méthodes de surclassement proposé par Bernard Roy (Brans, 1982; Brans et al., 1986). La méthode permet de résoudre le problème multicritère de l'équation 1 où A est un ensemble finit d'action et $f_{i, i=1, \dots, k}$, est un nombre k de critères à maximiser (Brans et al., 1986). La méthode peut être séparée en deux étapes : construction des relations de surclassement et utilisation de ces relations de manière à répondre à l'équation 1.

Relations de surclassement

Considérant un nombre d'action $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ et un ensemble de critères $F = \{f_1, f_2, \dots, f_m\}$, une comparaison binaire est faite entre chaque critère, où $\Delta_k(a_i, a_j)$ est l'écart entre l'évaluation de l'action en regard du critère f_k (équation 2). Ensuite, chaque comparaison binaire est transférée dans un index de préférence $P[\Delta_k(a_i, a_j)]$ dont la valeur est située entre 0 et 1 selon la fonction de préférence associé au critère f_k . Les fonctions de préférences permettent d'introduire des seuils dans la relation entre a_i et a_j . Brans et al. (Brans et al., 1986) présentent en détail chaque fonction de préférence. Puis, l'index de préférence multicritère $\pi(a_i, a_j)$ est calculé (équation 3) en tenant compte du poids w_k , soit une mesure de l'importance relative du critère f_i . Si tous les critères ont le même poids pour un décideur, tous les poids seront égaux. L'index de préférence multicritère est défini comme la somme pondérée de l'index de préférence (Brans et al., 1986). $\pi(a_i, a_j)$ représente l'intensité de la préférence du décideur de l'action a_i par rapport à l'action a_j en regard de tous les critères simultanément (tableau 68).

Tableau 67. Variation de l'intensité de la préférence de l'action a_i par rapport à l'action a_j (tiré de Brans et al. (Brans et al., 1986))

$P[\Delta_k(a_i, a_j)] = 0$	Indifférence entre a_i et a_j
$P[\Delta_k(a_i, a_j)] \sim 0$	Faible préférence pour a_i par rapport à a_j

$P[\Delta_k(a_i, a_j)] \sim 1$	Forte préférence pour a_i par rapport à a_j
$P[\Delta_k(a_i, a_j)] = 1$	Stricte préférence pour a_i par rapport à a_j

Tableau 68. Variation de l'intensité de la préférence de l'action a_i par rapport à l'action a_j en regard de tous les critères simultanément (tiré de Brans et al. (Brans et al., 1986))

$\pi(a_i, a_j) \approx 0$	Faible préférence pour a_i par rapport à a_j pour l'ensemble des critères
$\pi(a_i, a_j) \approx 1$	Forte préférence pour a_i par rapport à a_j pour l'ensemble des critères

$Max\{f_1(a), \dots, f_k(a) a \in A\}$	Équation 1
$\Delta_k(a_i, a_j) = f_k(a_i) - f_k(a_j)$	Équation 2
$\pi(a_i, a_j) = \frac{\sum_{x \in k} P_k(a_i, a_j)}{\sum_k w_k}$	Équation 3

Hiérarchisation

L'index de préférence permet de déterminer une valeur à la relation de surclassement de l'ensemble d'action A. Cette relation peut être représentée sur un graphique où les nœuds représentent les actions de l'ensemble A et les arcs entre les nœuds représentent l'intensité de la préférence entre deux actions (nœuds) (figure 119).

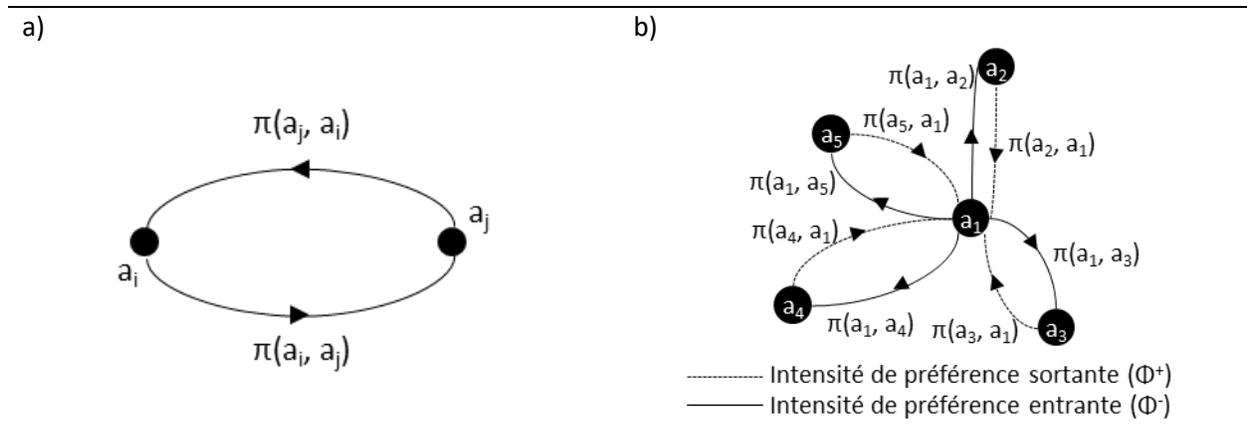


Figure 119. a) relation de surclassement entre a_i et a_j , b) relation de surclassement a_1 et $a_2, 3, 4, 5$

Le flux sortant $\Phi^+(a_i)$ (équation 4) est la somme des valeurs de l'intensité de préférence sortante de l'action a_i . Il représente l'étendue sur laquelle a_i est surpassée par les autres actions. Le flux entrant $\Phi^-(a_i)$ (équation 5) est la somme des valeurs de l'intensité de préférence entrante de l'action a_i . Il représente l'étendue sur laquelle a_i surpasses les autres actions.

$\Phi^+(a_i) = \sum_{x \in k} \pi(a_i, x)$	Équation 4
$\Phi^-(a_i) = \sum_{x \in k} \pi(x, a_i)$	Équation 5

Ainsi, la meilleure solution est celle avec le flux sortant le plus élevé et le flux entrant le plus faible.

Analyse de sensibilité

Une analyse a été réalisée sur les poids des critères en fonction de la variation des valeurs attribuées par les participants afin d'évaluer la sensibilité de cette variation sur la hiérarchisation des OPC dans le classement final. Cette analyse est basée sur la comparaison entre le poids moyen de chaque critère plus ou moins un écart-type avec les seuils inférieur et supérieur des valeurs des poids pour lesquels il n'y a pas de changement de position dans le classement pour les trois premiers OPC.

Les outils d'analyse *Visual Stability Intervals* et *Walking Weights* du logiciel *Visual PPROMETHEE* ont été utilisés pour réaliser l'analyse de sensibilité. *Walking Weights* permet de faire varier le poids d'un critère tout en normalisant le poids des autres critères. *Visual Stability Intervals* permet d'illustrer la position hypothétique de chaque OPC en regard du poids accordé à chacun des critères sur une échelle de 0 à 100.

Les figure 120 à figure 171 présentent la position hypothétique de chaque OPC en fonction de la proportion du poids accordé respectivement à chacun des 13 critères par rapport aux autres critères (lignes pointillées). Le croisement des lignes pointillées indique un changement de position dans le classement. Sur ces figures, la ligne rouge et verte représente le poids moyen réel du critère attribué par les participants. Les lignes bleues *tirets-points* représentent les seuils inférieur et supérieur sans changement de position dans le classement pour les trois premiers OPC selon la proportion réelle du poids moyen. La zone jaune représente le poids réel moyen plus ou moins un écart-type. Les points oranges représentent la position hypothétique des OPC pour un poids de 0 % (axe vertical gauche) et de 100 % (axe vertical droit) du critère.

Une analyse de sensibilité a été réalisé pour chaque regroupement analysé dans les communautés de Pessamit et de Uashat.

Communauté de Pessamit

Regroupement 3

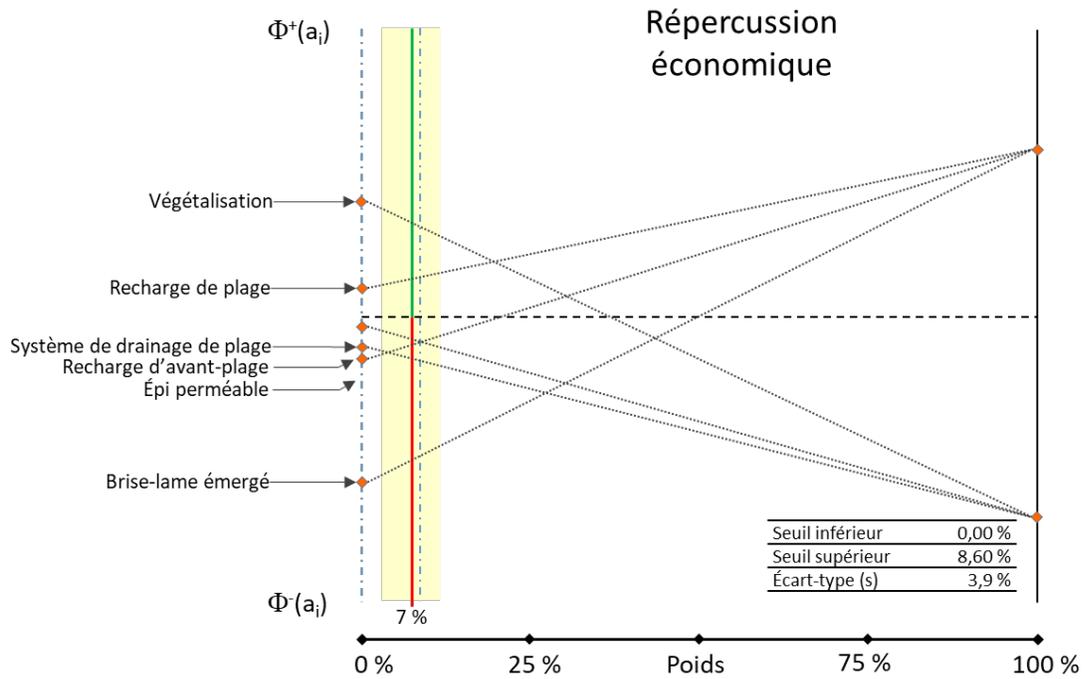


Figure 120. Influence de la variation de la proportion du critère Répercussion économique sur la position des OPC pour le regroupement 3 de la communauté de Pessamit

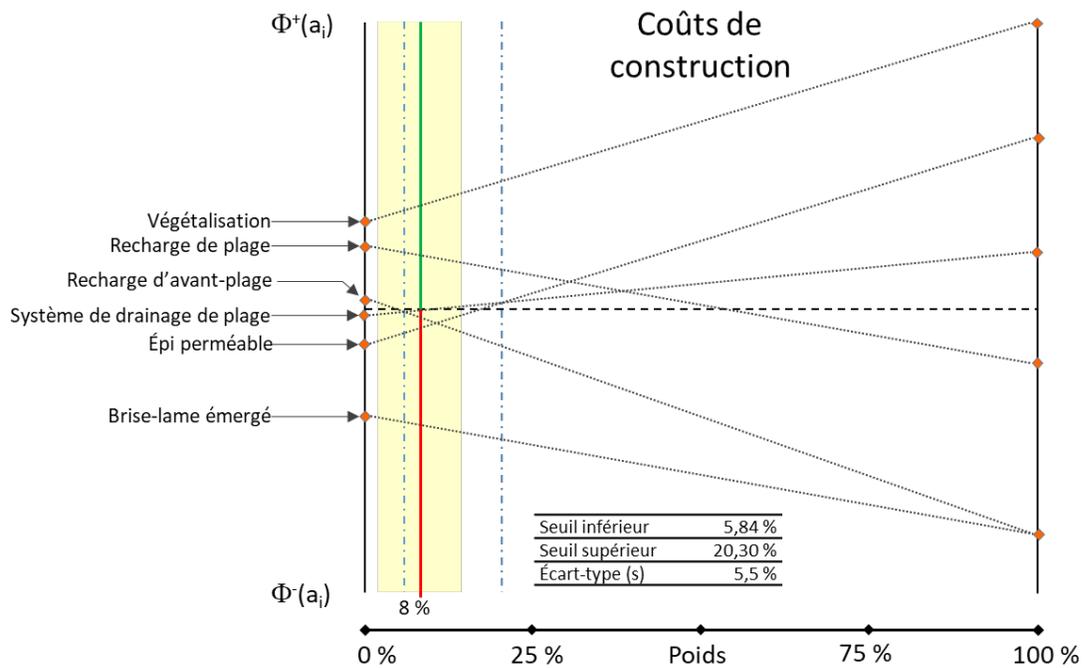


Figure 121. Influence de la variation de la proportion du critère Coûts de construction sur la position des OPC pour le regroupement 3 de la communauté de Pessamit

Identification de solutions d'adaptation aux aléas côtiers pour augmenter la résilience des communautés des Premières Nations dans un contexte de changements climatiques:
Rapport final 2021

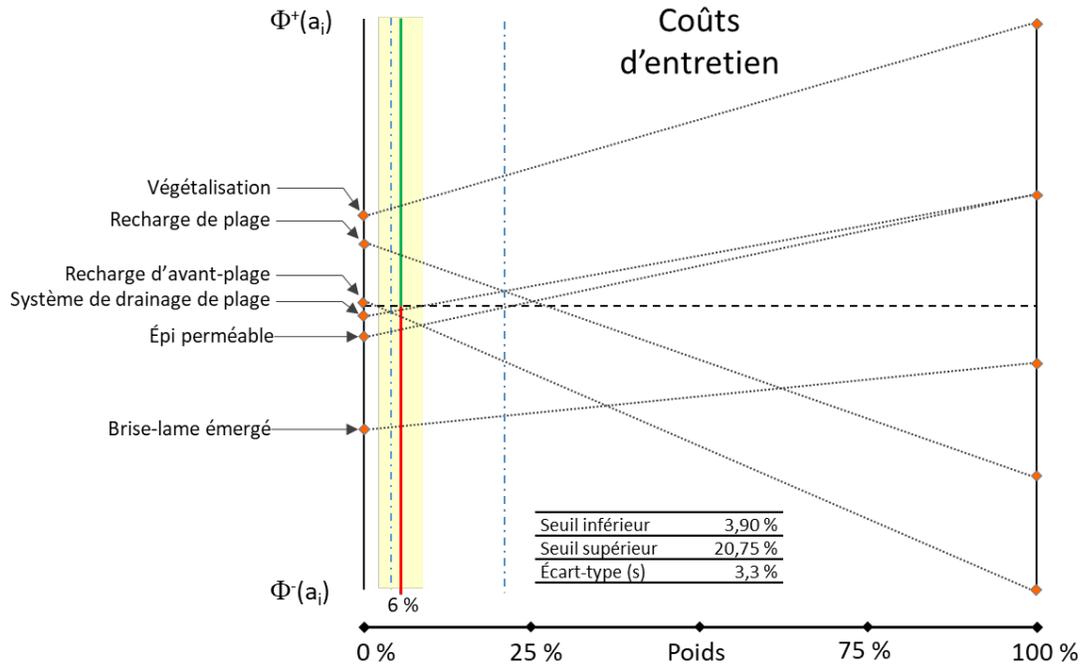


Figure 122. Influence de la variation de la proportion du critère Coûts d'entretien sur la position des OPC pour le regroupement 3 de la communauté de Pessamit

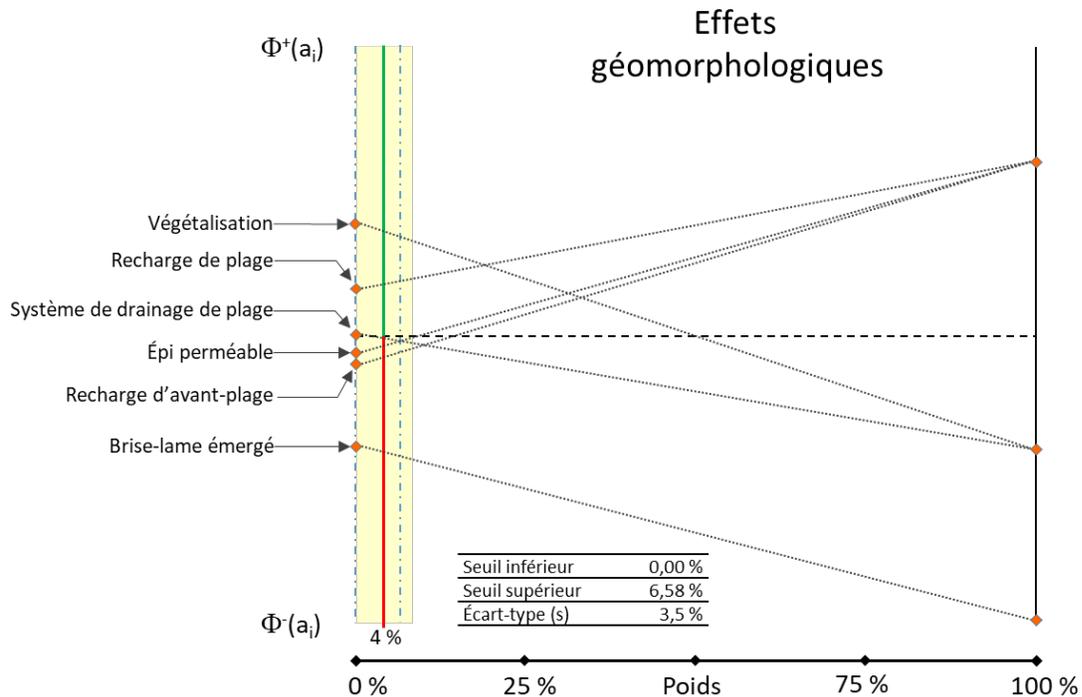


Figure 123. Influence de la variation de la proportion du critère Effets géomorphologiques sur la position des OPC pour le regroupement 3 de la communauté de Pessamit

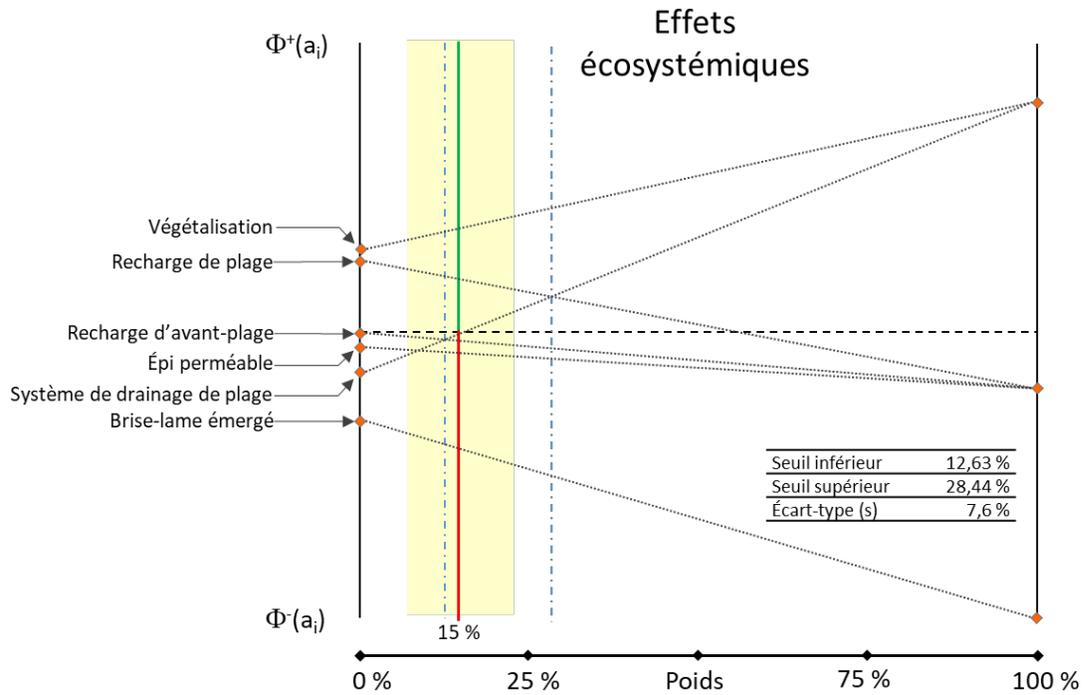


Figure 124. Influence de la variation de la proportion du critère Effets écosystémiques sur la position des OPC pour le regroupement 3 de la communauté de Pessamit

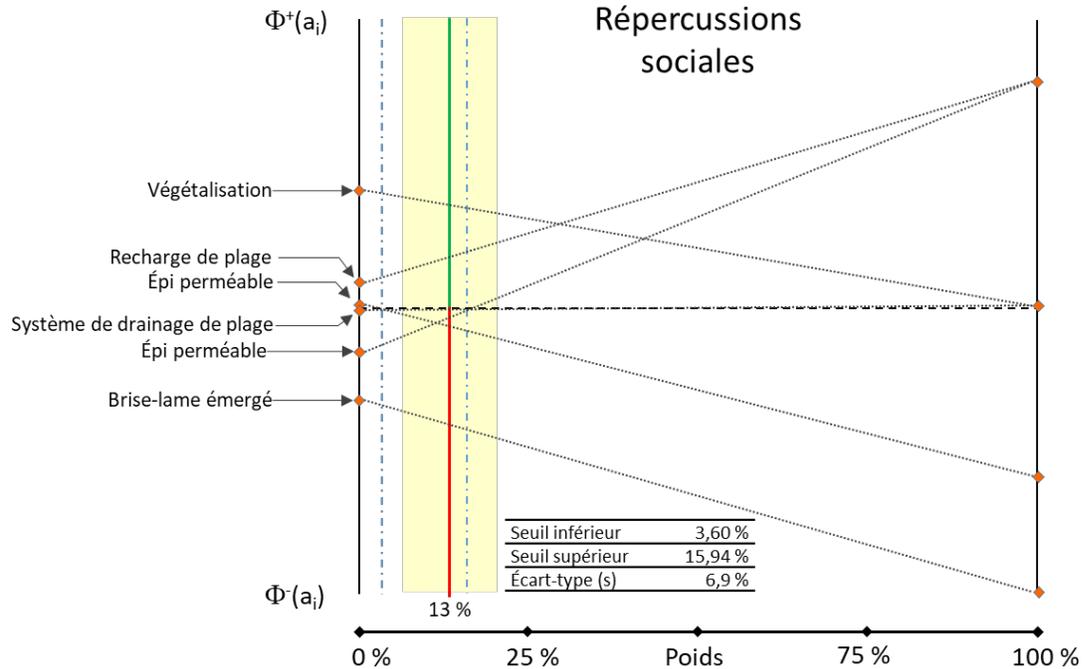


Figure 125. Influence de la variation de la proportion du critère Répercussions sociales sur la position des OPC pour le regroupement 3 de la communauté de Pessamit

Identification de solutions d'adaptation aux aléas côtiers pour augmenter la résilience des communautés des Premières Nations dans un contexte de changements climatiques:
Rapport final 2021

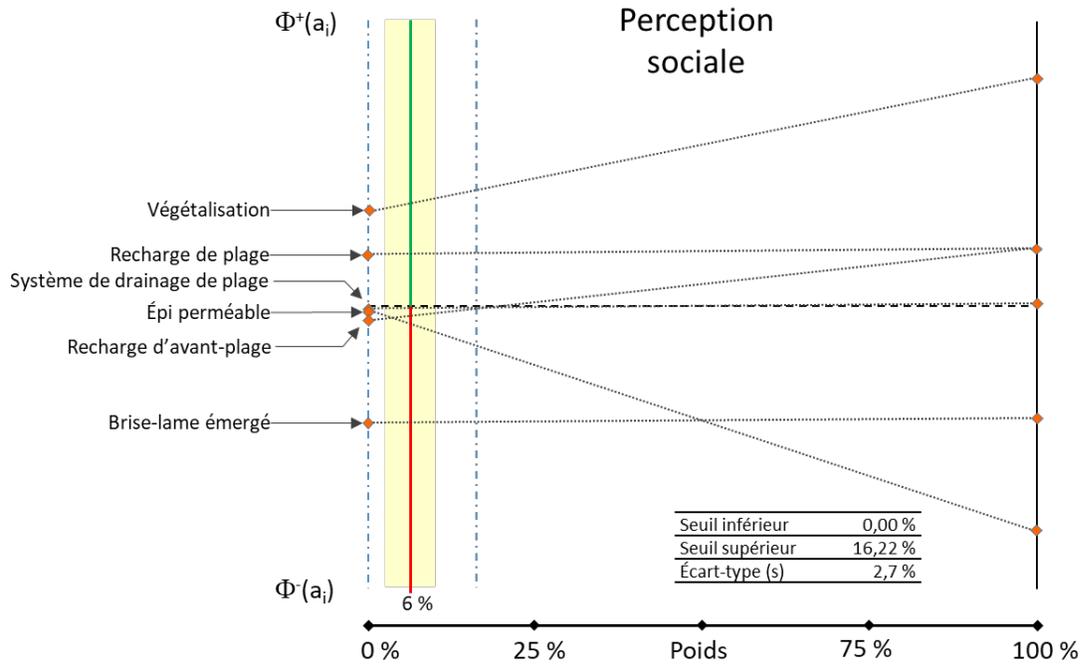


Figure 126. Influence de la variation de la proportion du critère Perception sociale sur la position des OPC pour le regroupement 3 de la communauté de Pessamit

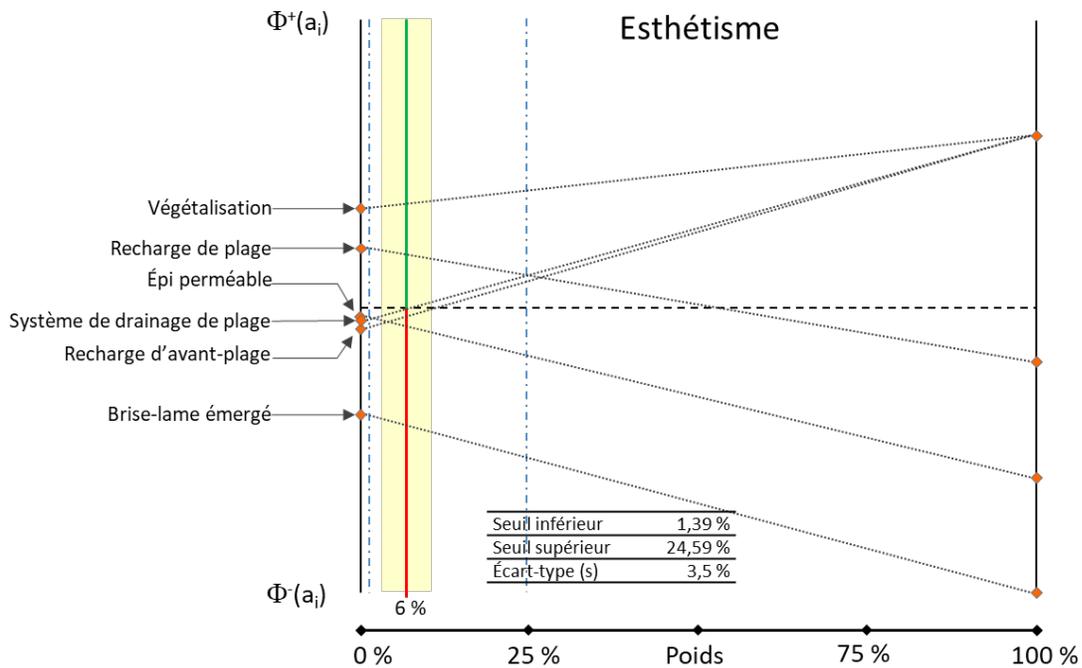


Figure 127. Influence de la variation de la proportion du critère Esthétisme sur la position des OPC pour le regroupement 3 de la communauté de Pessamit

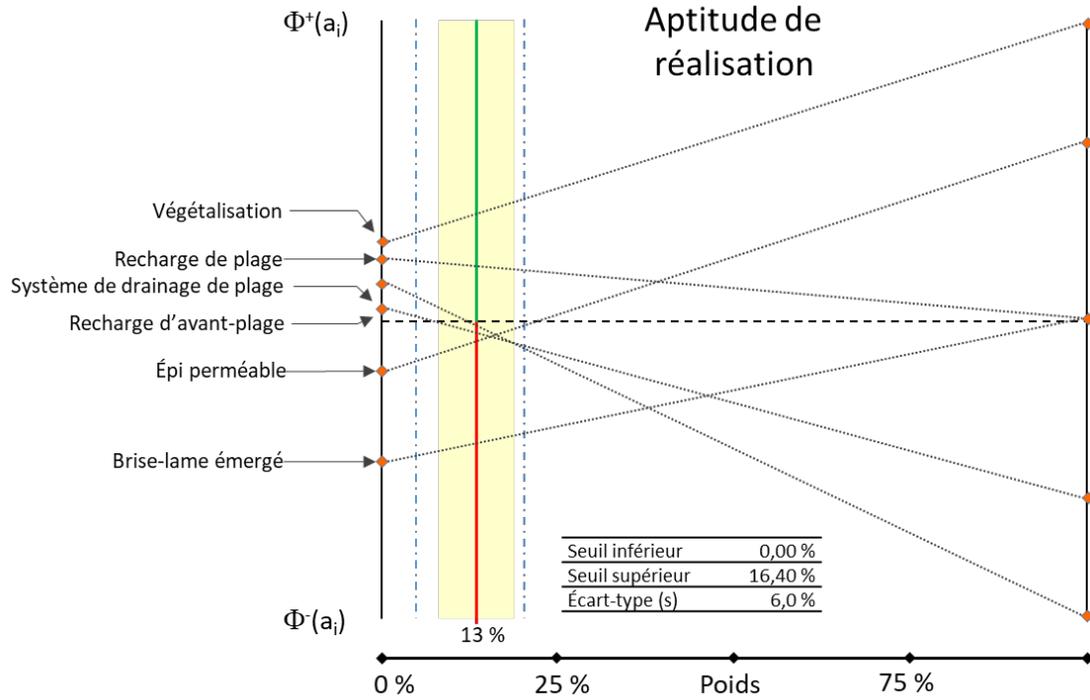


Figure 128. Influence de la variation de la proportion du critère Aptitude de réalisation sur la position des OPC pour le regroupement 3 de la communauté de Pessamit

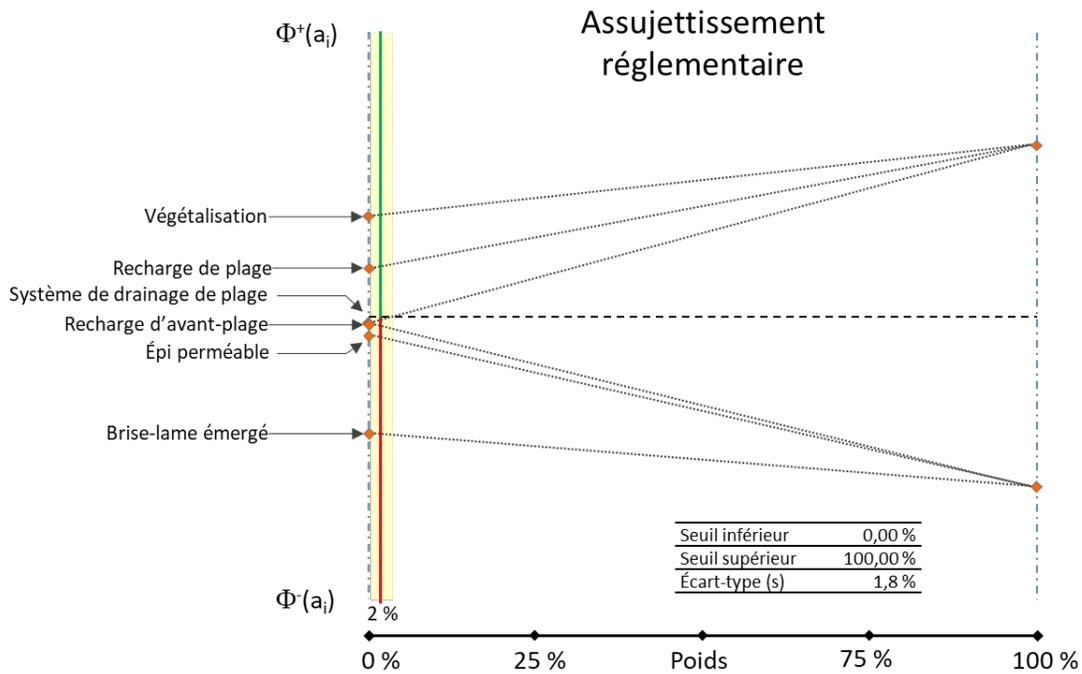


Figure 129. Influence de la variation de la proportion du critère Assujettissement réglementaire sur la position des OPC pour le regroupement 3 de la communauté de Pessamit

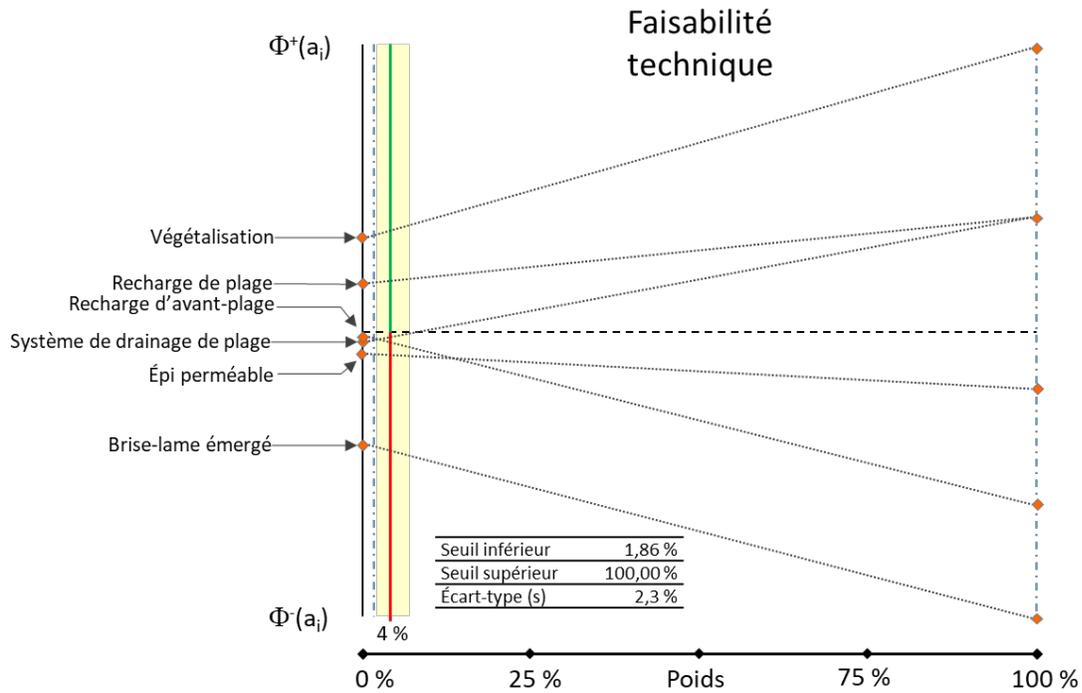


Figure 130. Influence de la variation de la proportion du critère Faisabilité technique sur la position des OPC pour le regroupement 3 de la communauté de Pessamit

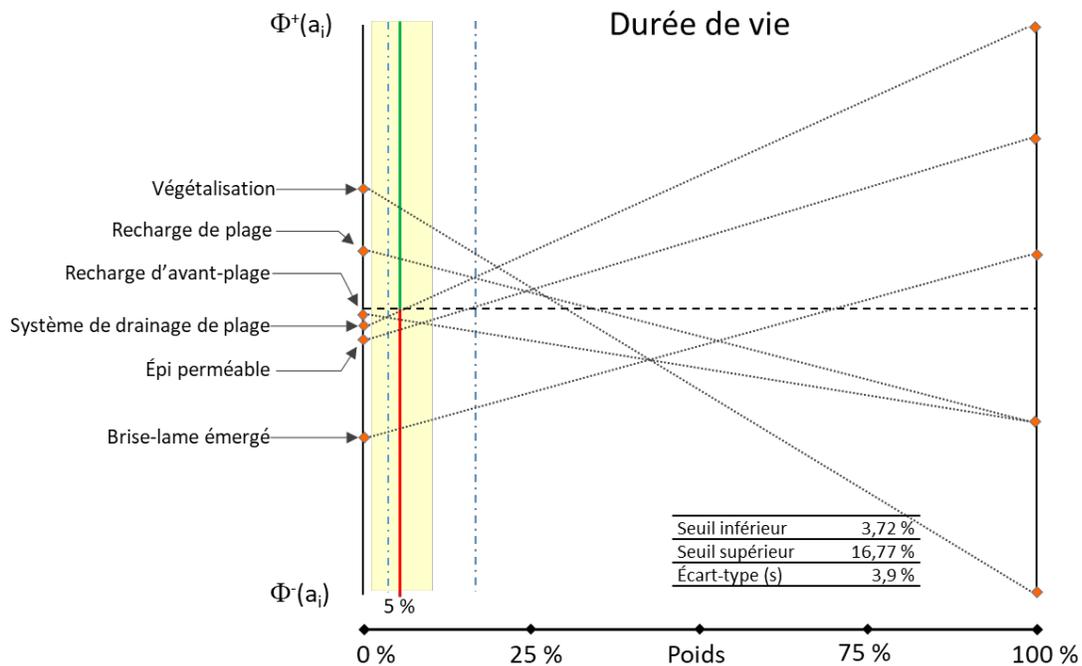
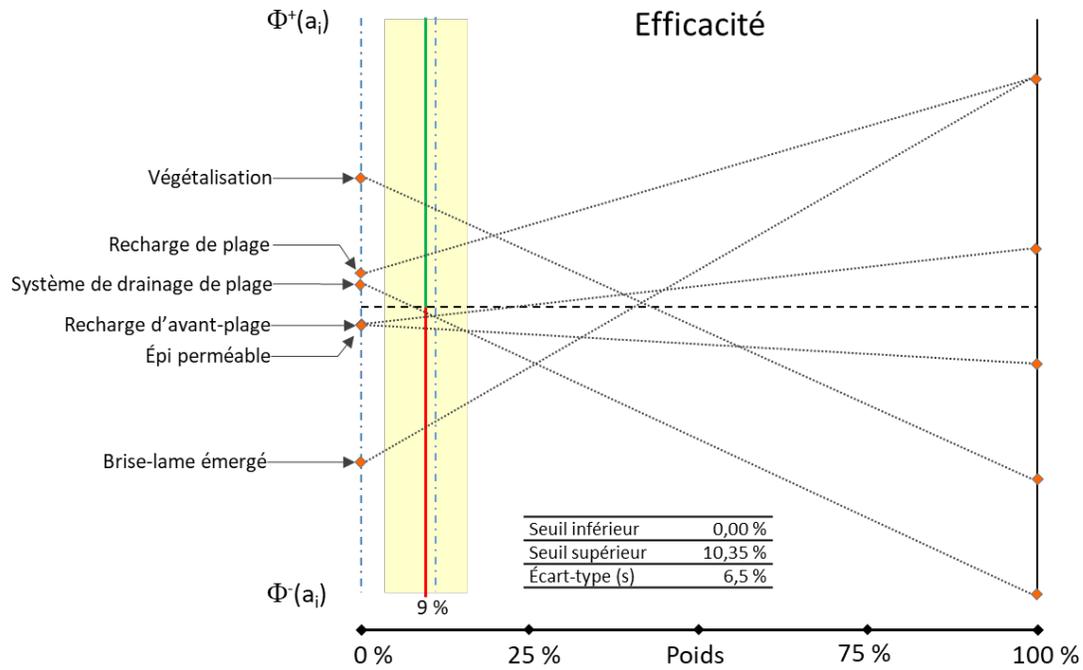


Figure 131. Influence de la variation de la proportion du critère Durée de vie sur la position des OPC pour le regroupement 3 de la communauté de Pessamit

Identification de solutions d'adaptation aux aléas côtiers pour augmenter la résilience des communautés des Premières Nations dans un contexte de changements climatiques:
Rapport final 2021



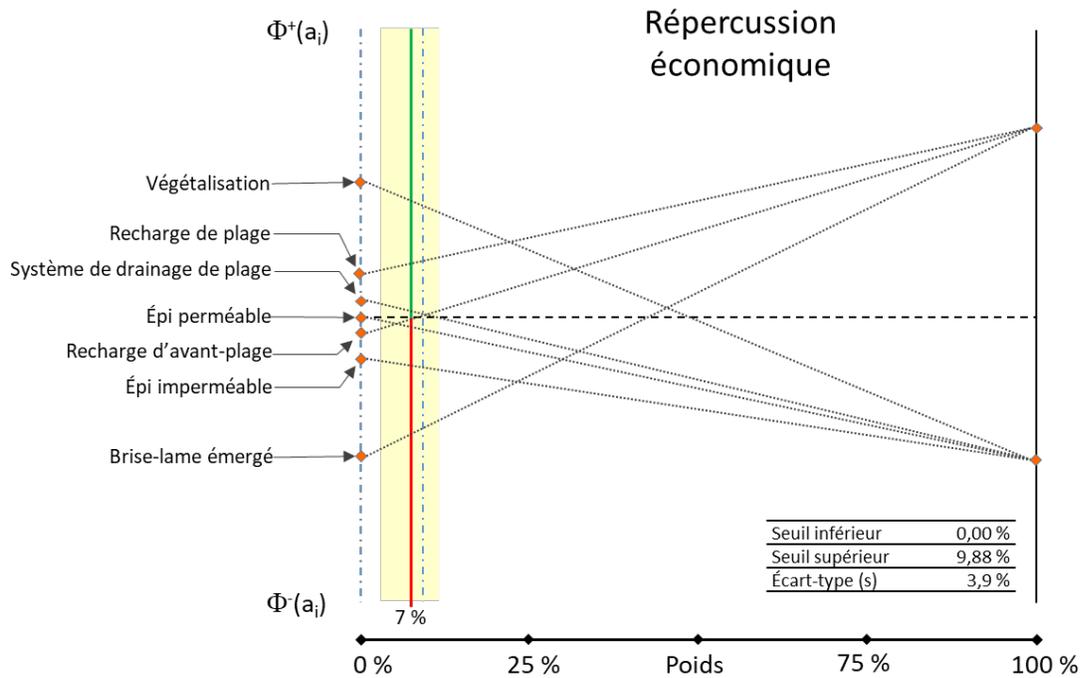


Figure 133. Influence de la variation de la proportion du critère Répercussion économique sur la position des OPC pour le regroupement 4 de la communauté de Pessamit

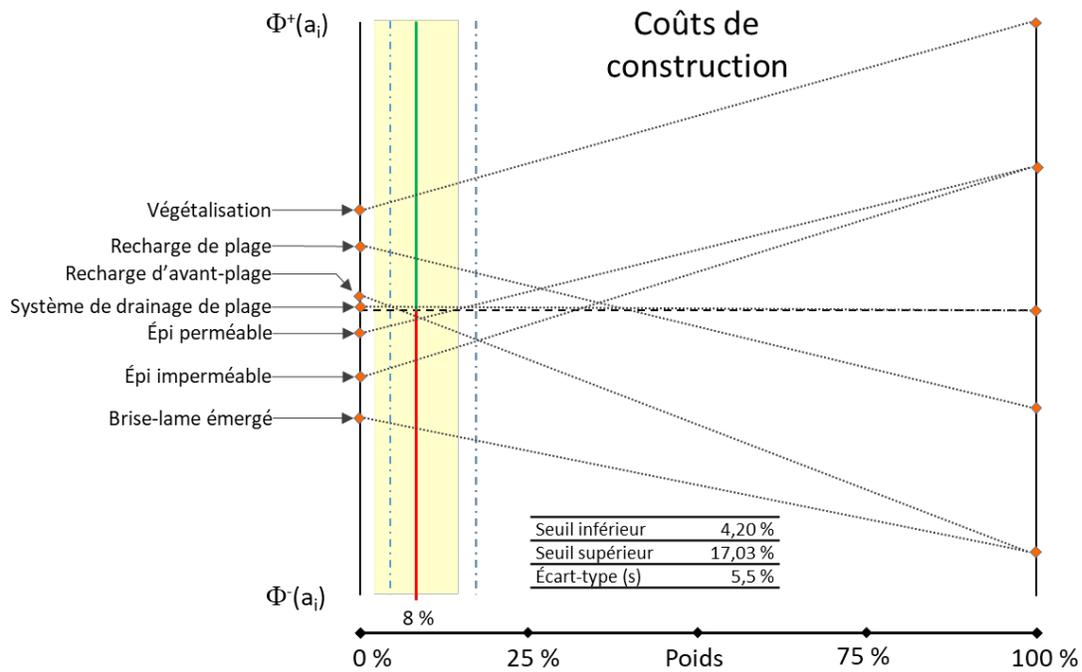


Figure 134. Influence de la variation de la proportion du critère Coûts de construction sur la position des OPC pour le regroupement 4 de la communauté de Pessamit

Identification de solutions d'adaptation aux aléas côtiers pour augmenter la résilience des communautés des Premières Nations dans un contexte de changements climatiques:
Rapport final 2021

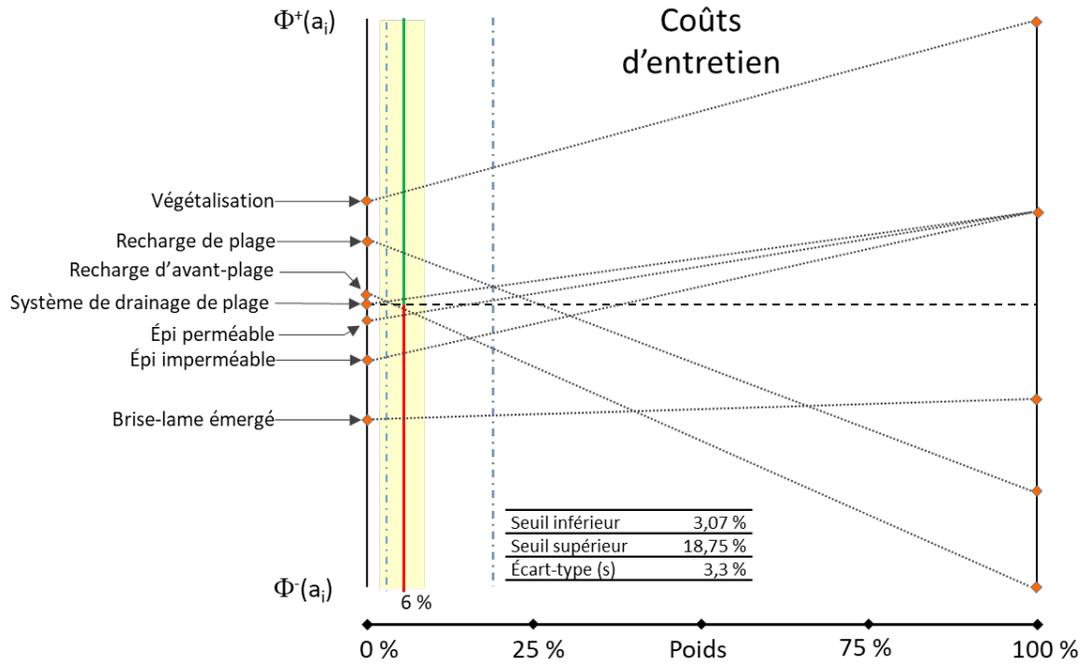


Figure 135. Influence de la variation de la proportion du critère Coûts d'entretien sur la position des OPC pour le regroupement 4 de la communauté de Pessamit

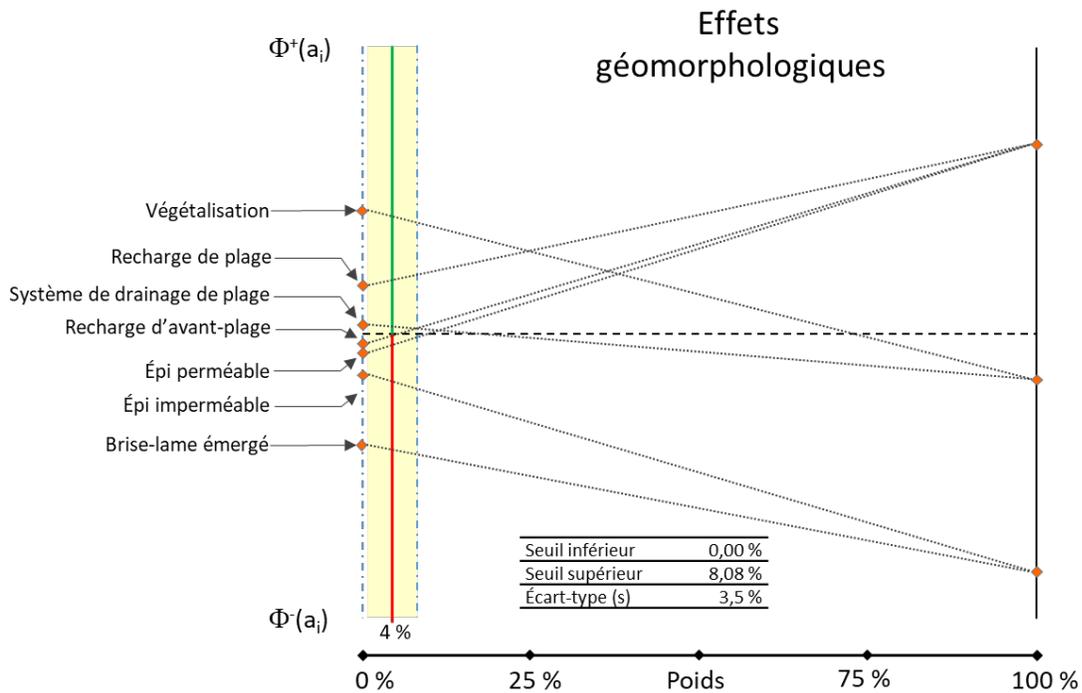


Figure 136. Influence de la variation de la proportion du critère Effets géomorphologiques sur la position des OPC pour le regroupement 4 de la communauté de Pessamit

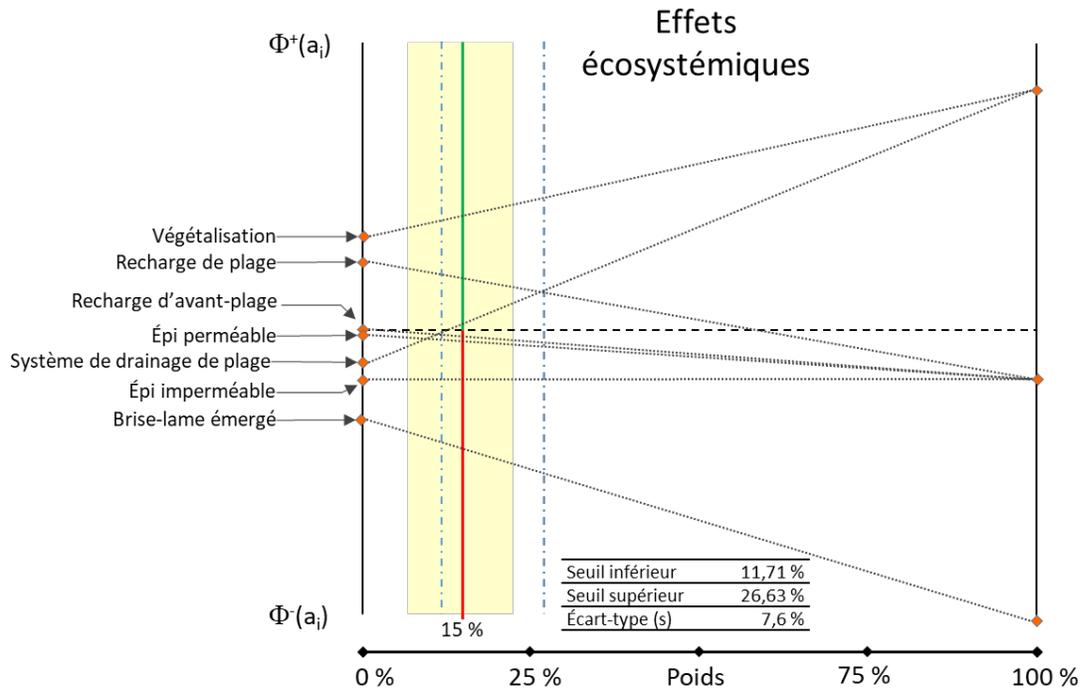


Figure 137. Influence de la variation de la proportion du critère Effets écosystémiques sur la position des OPC pour le regroupement 4 de la communauté de Pessamit

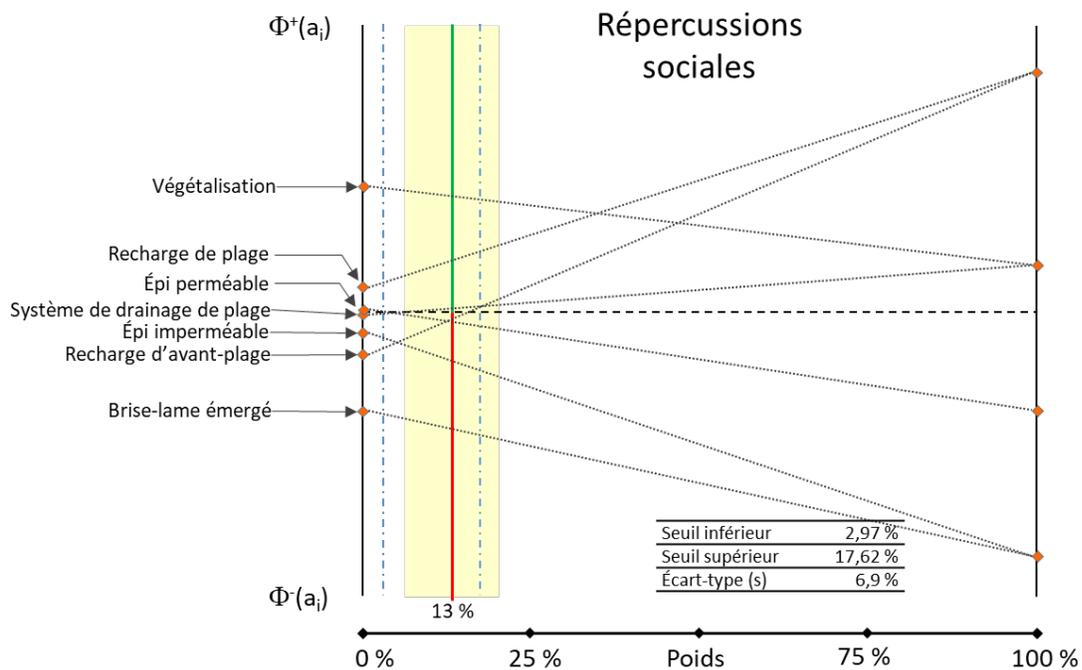


Figure 138. Influence de la variation de la proportion du critère Répercussions sociales sur la position des OPC pour le regroupement 4 de la communauté de Pessamit

Identification de solutions d'adaptation aux aléas côtiers pour augmenter la résilience des communautés des Premières Nations dans un contexte de changements climatiques:
Rapport final 2021

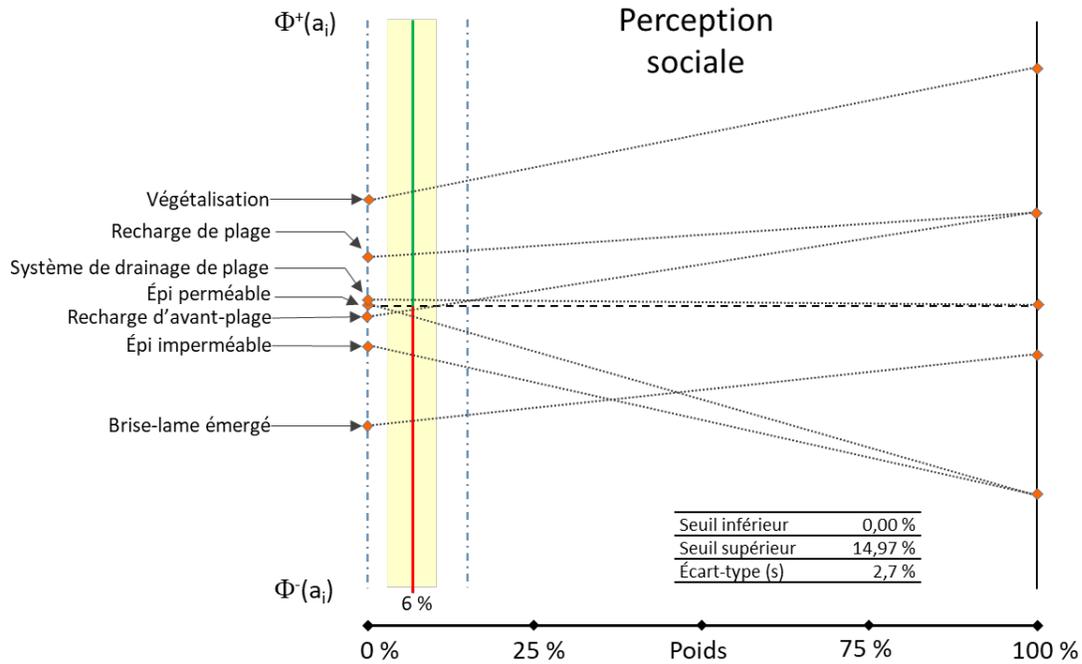


Figure 139. Influence de la variation de la proportion du critère Perception sociale sur la position des OPC pour le regroupement 4 de la communauté de Pessamit

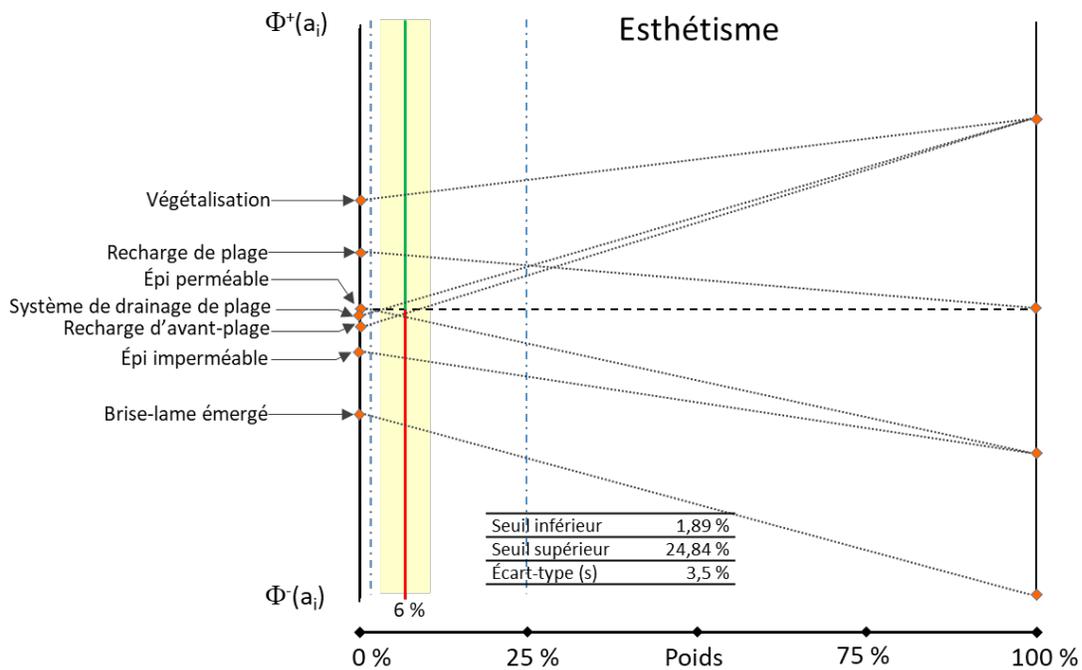


Figure 140. Influence de la variation de la proportion du critère Esthétisme sur la position des OPC pour le regroupement 4 de la communauté de Pessamit

Identification de solutions d'adaptation aux aléas côtiers pour augmenter la résilience des communautés des Premières Nations dans un contexte de changements climatiques:
Rapport final 2021

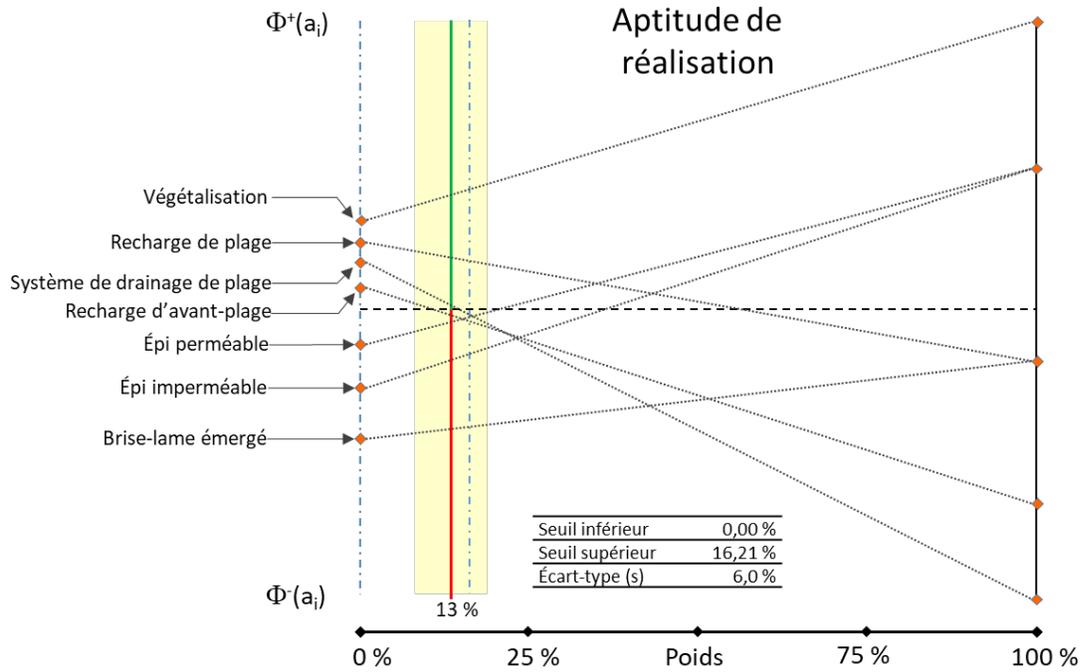


Figure 141. Influence de la variation de la proportion du critère Aptitude de réalisation sur la position des OPC pour le regroupement 4 de la communauté de Pessamit

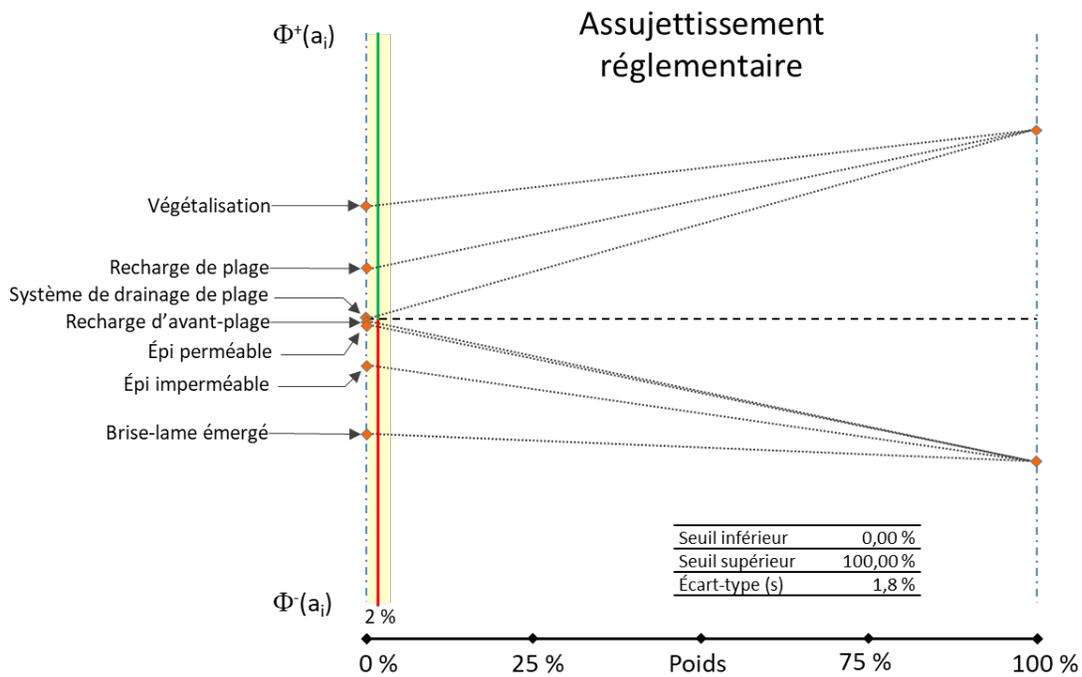


Figure 142. Influence de la variation de la proportion du critère Assujettissement réglementaire sur la position des OPC pour le regroupement 4 de la communauté de Pessamit

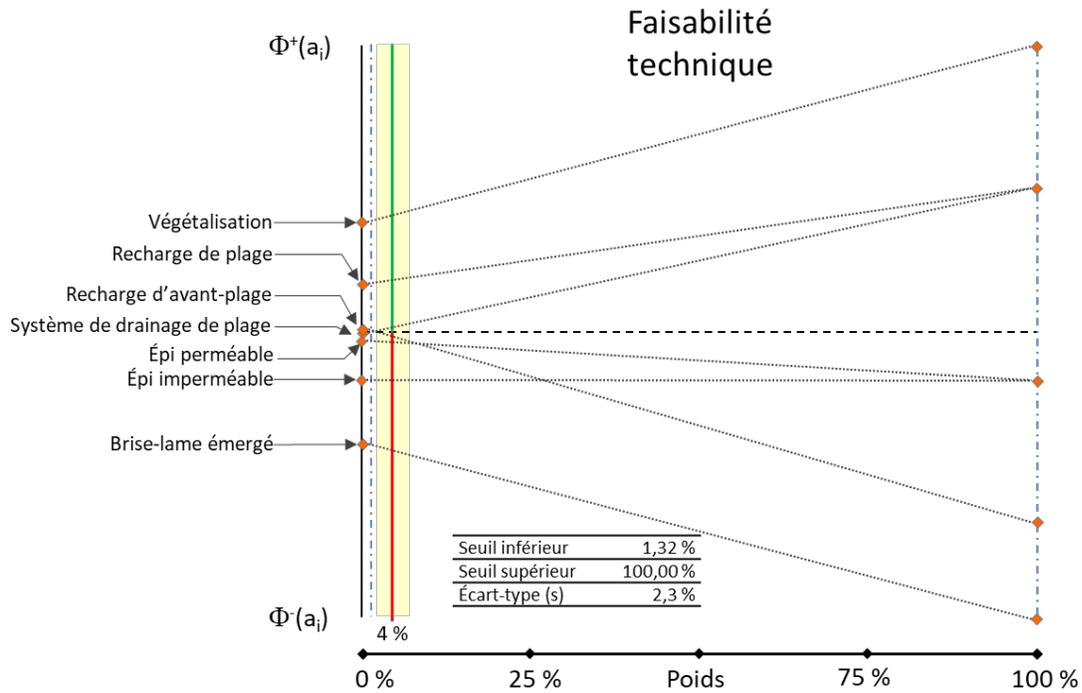


Figure 143. Influence de la variation de la proportion du critère Faisabilité technique sur la position des OPC pour le regroupement 4 de la communauté de Pessamit

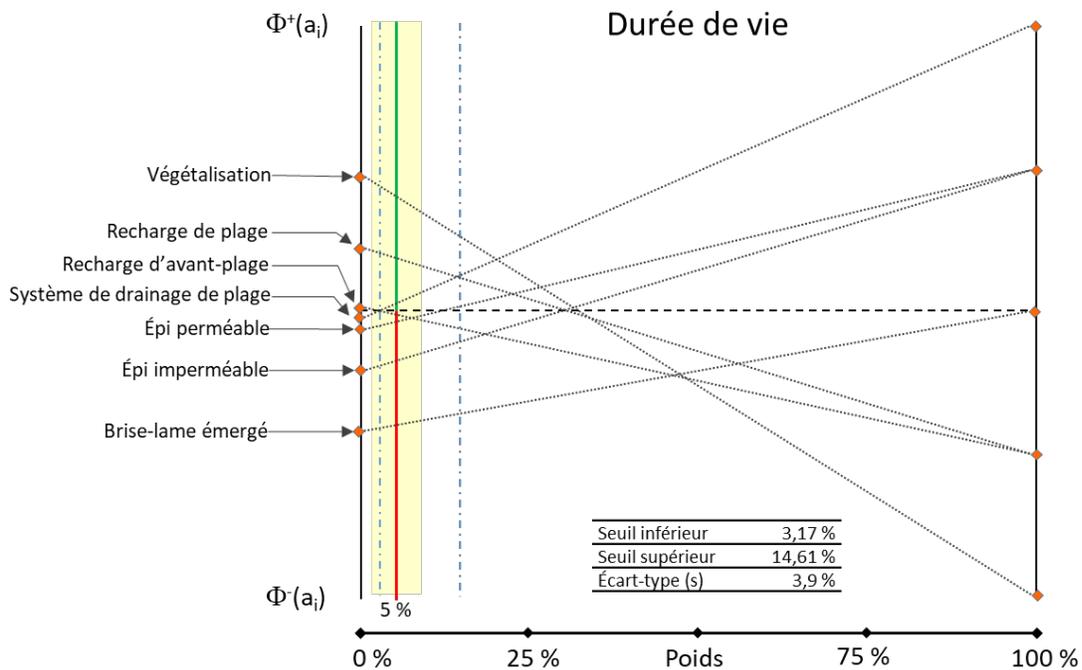


Figure 144. Influence de la variation de la proportion du critère Durée de vie sur la position des OPC pour le regroupement 4 de la communauté de Pessamit

Identification de solutions d'adaptation aux aléas côtiers pour augmenter la résilience des communautés des Premières Nations dans un contexte de changements climatiques:
 Rapport final 2021

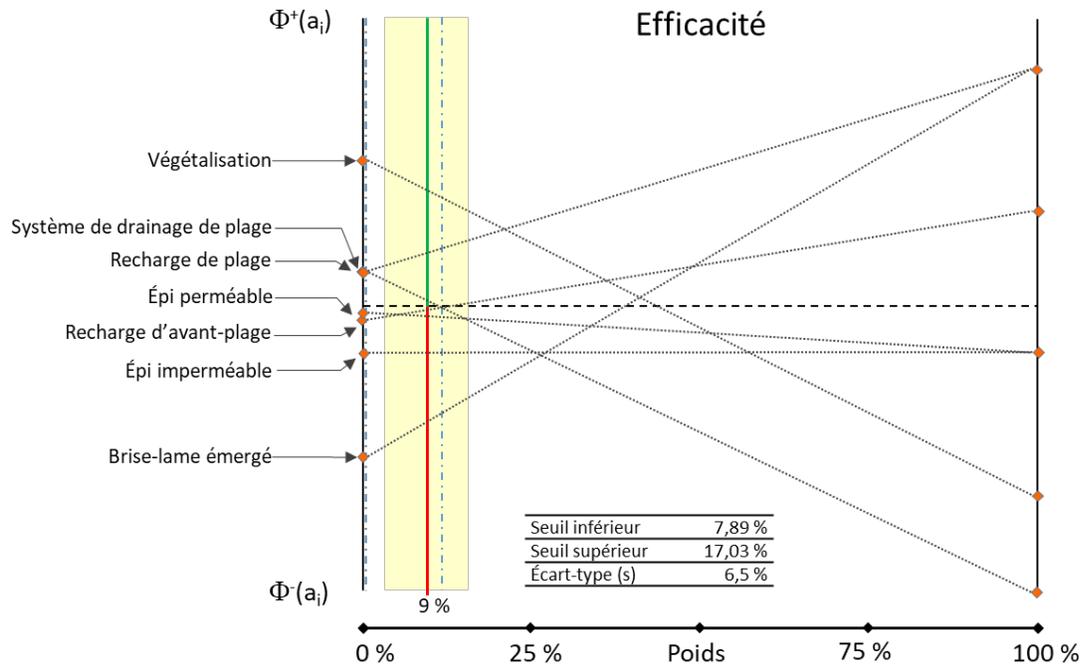


Figure 145. Influence de la variation de la proportion du critère Efficacité sur la position des OPC pour le regroupement 4 de la communauté de Pessamit

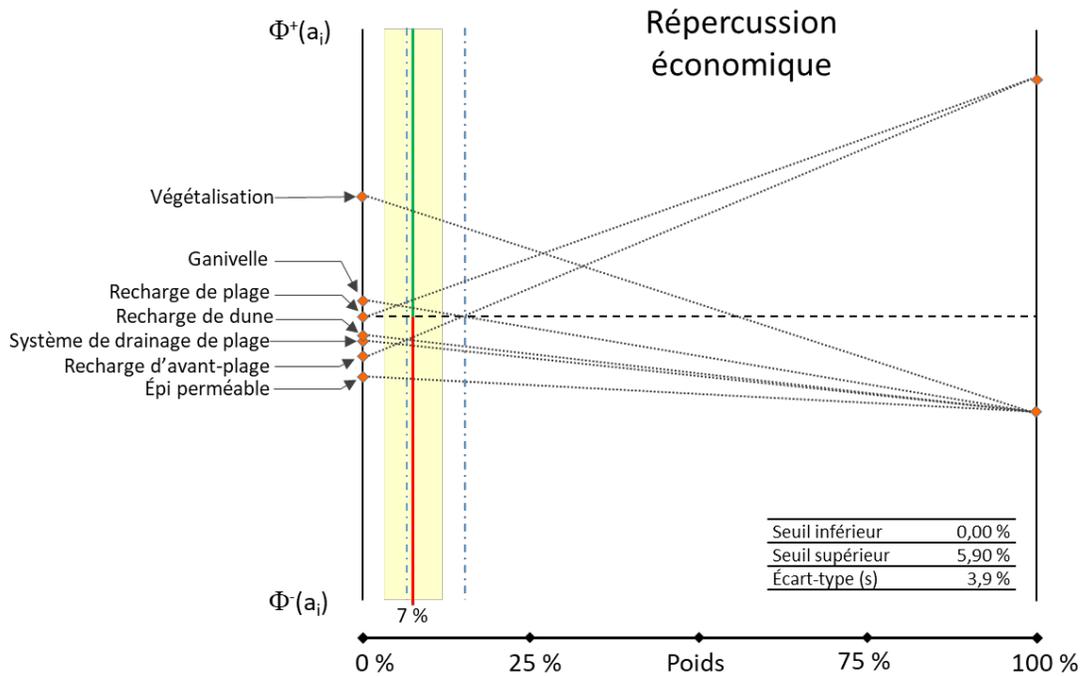


Figure 146. Influence de la variation de la proportion du critère Répercussion économique sur la position des OPC pour le regroupement 5 de la communauté de Pessamit

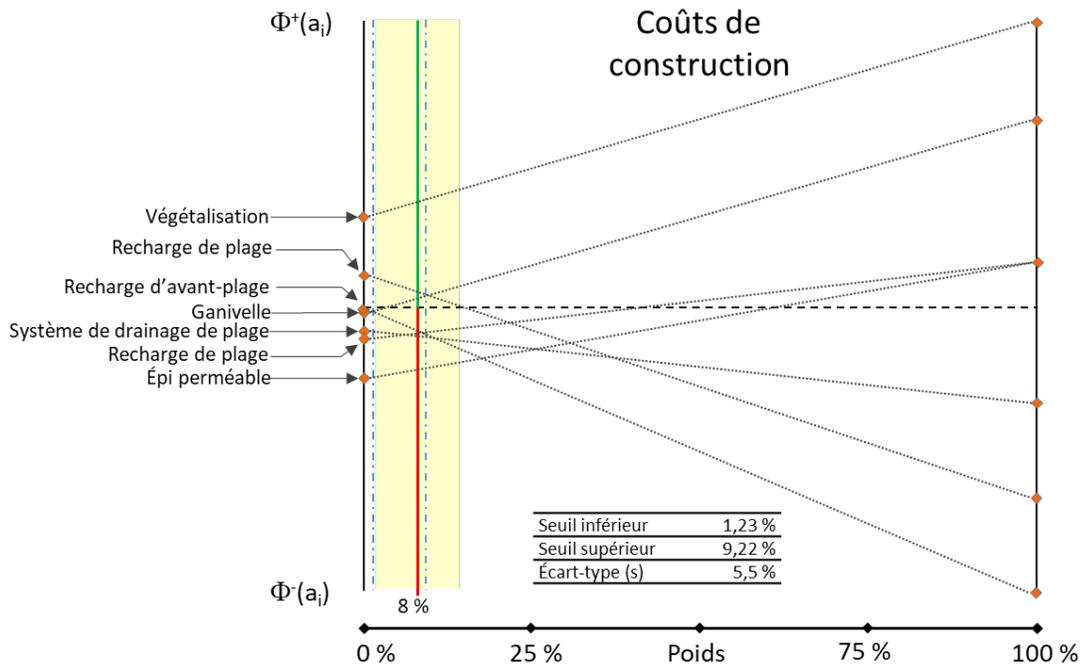


Figure 147. Influence de la variation de la proportion du critère Coûts de construction sur la position des OPC pour le regroupement 5 de la communauté de Pessamit

Identification de solutions d'adaptation aux aléas côtiers pour augmenter la résilience des communautés des Premières Nations dans un contexte de changements climatiques:
Rapport final 2021

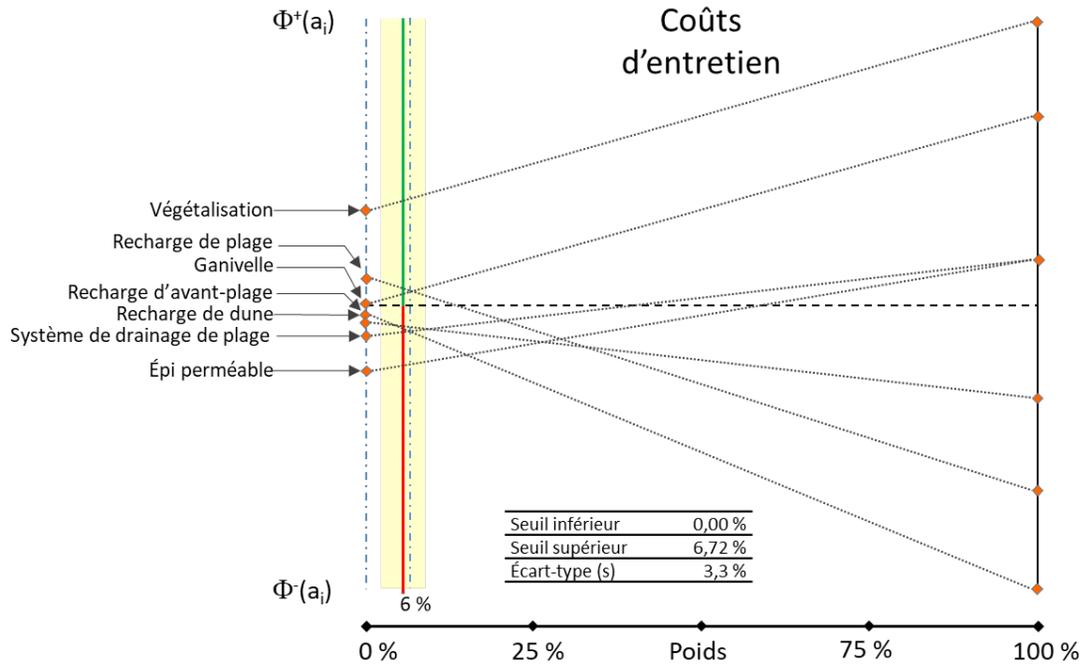


Figure 148. Influence de la variation de la proportion du critère Coûts d'entretien sur la position des OPC pour le regroupement 5 de la communauté de Pessamit

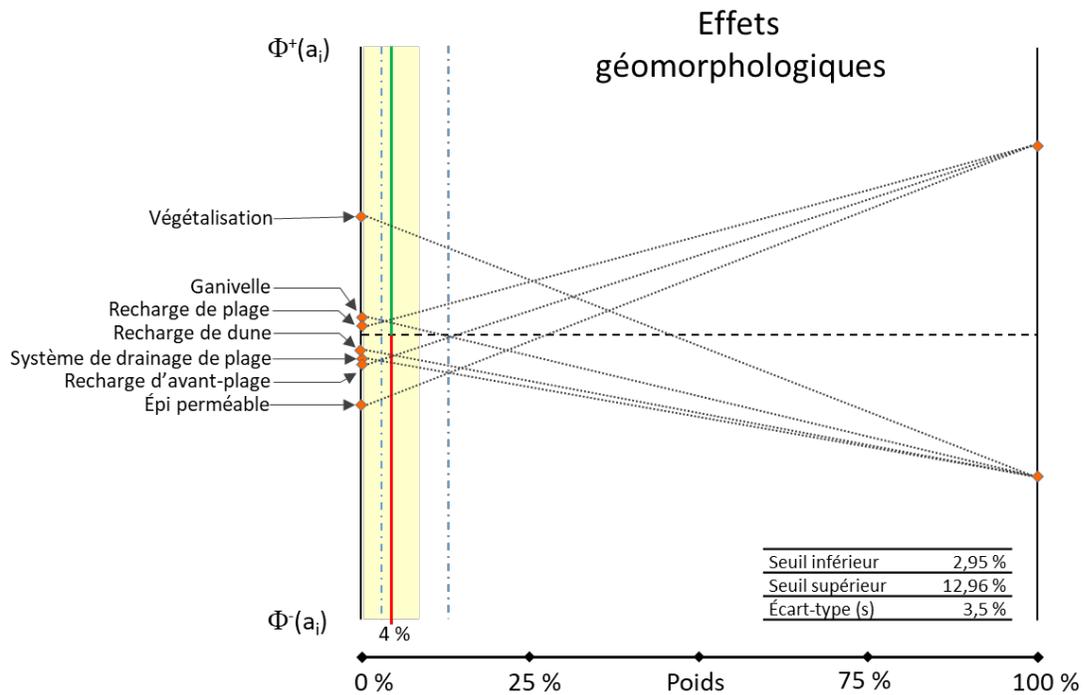


Figure 149. Influence de la variation de la proportion du critère Effets géomorphologiques sur la position des OPC pour le regroupement 5 de la communauté de Pessamit

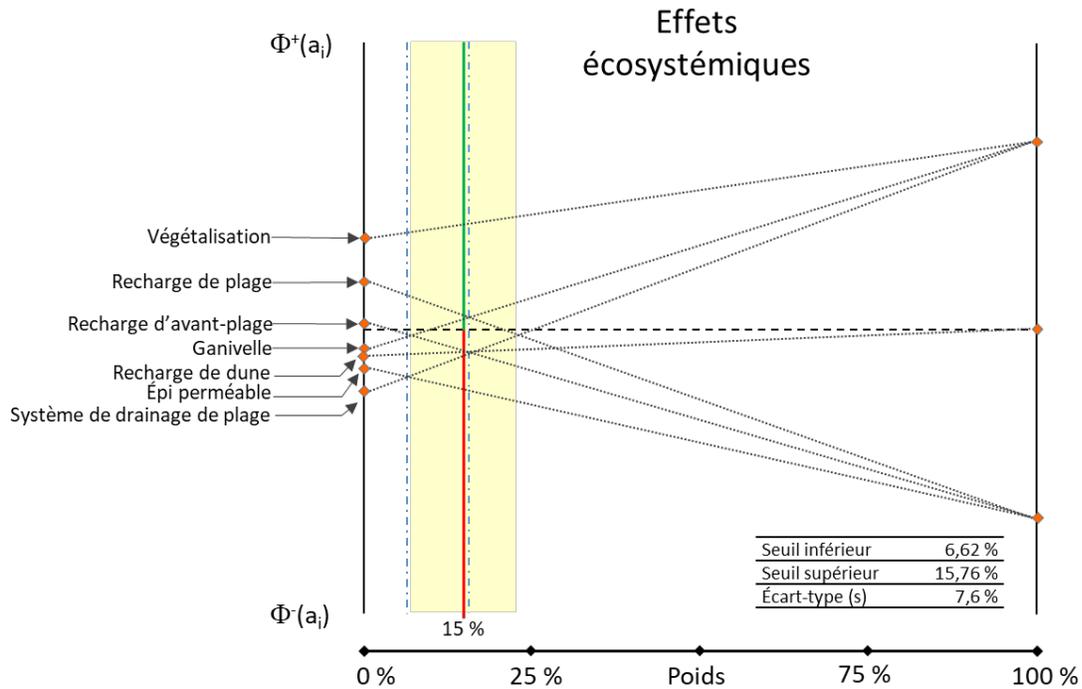


Figure 150. Influence de la variation de la proportion du critère Effets écosystémiques sur la position des OPC pour le regroupement 5 de la communauté de Pessamit

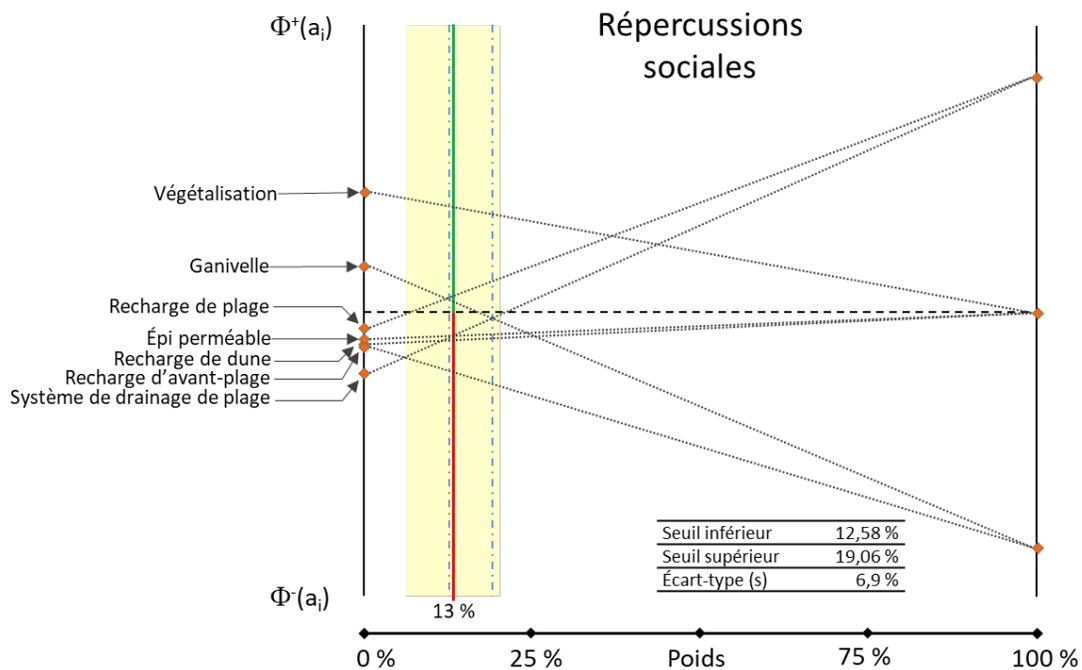


Figure 151. Influence de la variation de la proportion du critère Répercussions sociales sur la position des OPC pour le regroupement 5 de la communauté de Pessamit

Identification de solutions d'adaptation aux aléas côtiers pour augmenter la résilience des communautés des Premières Nations dans un contexte de changements climatiques:
Rapport final 2021

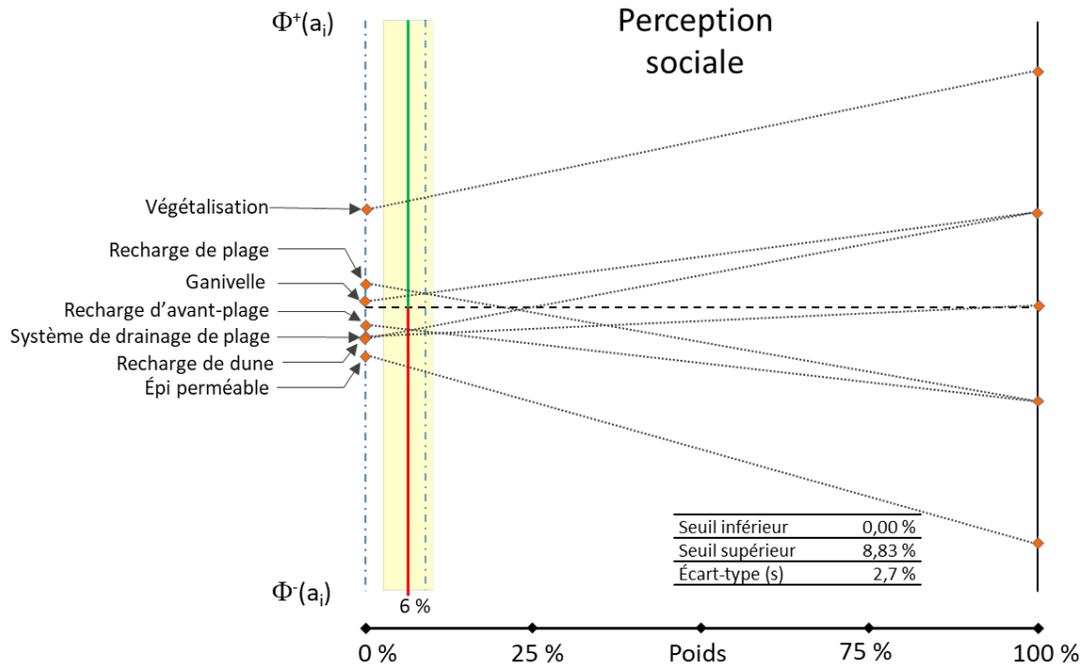


Figure 152. Influence de la variation de la proportion du critère Perception sociale sur la position des OPC pour le regroupement 5 de la communauté de Pessamit

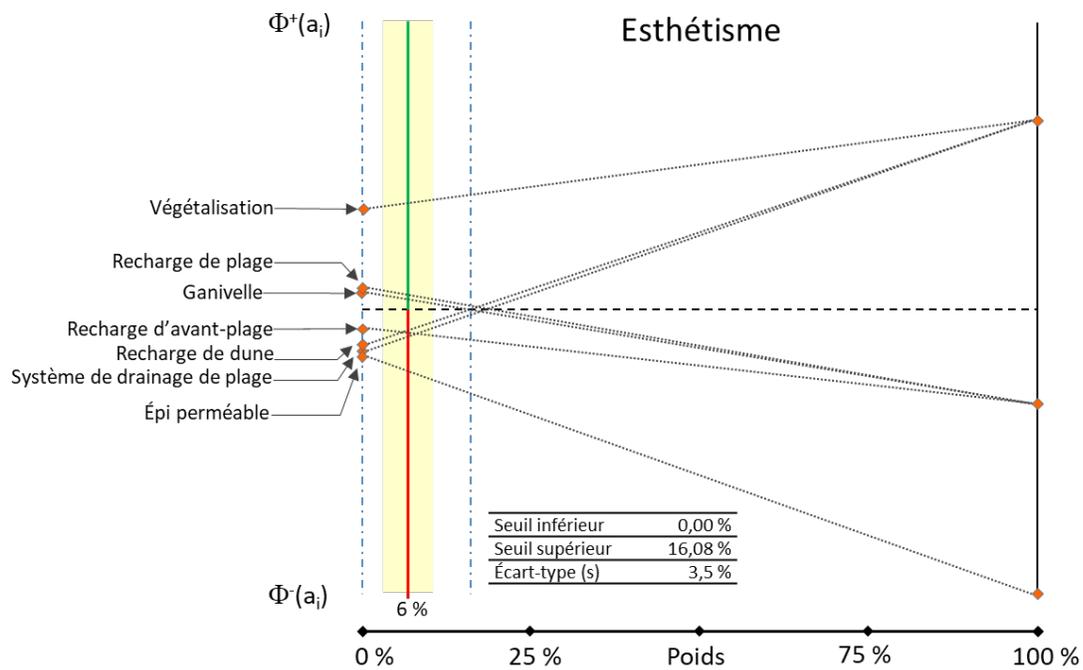


Figure 153. Influence de la variation de la proportion du critère Esthétisme sur la position des OPC pour le regroupement 5 de la communauté de Pessamit

Identification de solutions d'adaptation aux aléas côtiers pour augmenter la résilience des communautés des Premières Nations dans un contexte de changements climatiques:
Rapport final 2021

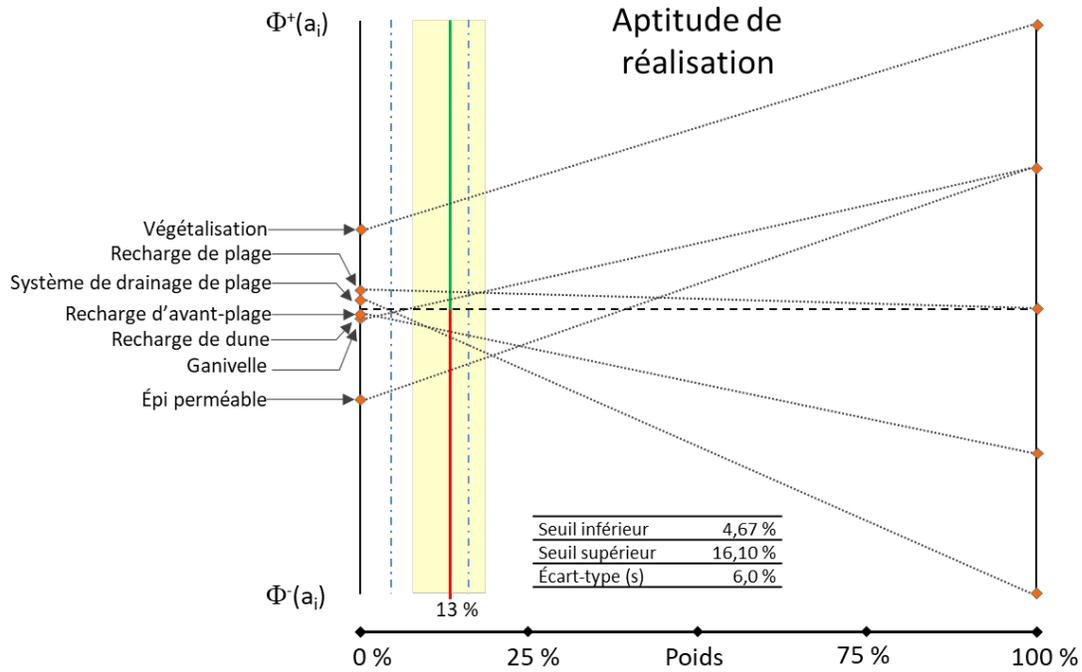


Figure 154. Influence de la variation de la proportion du critère Aptitude de réalisation sur la position des OPC pour le regroupement 5 de la communauté de Pessamit

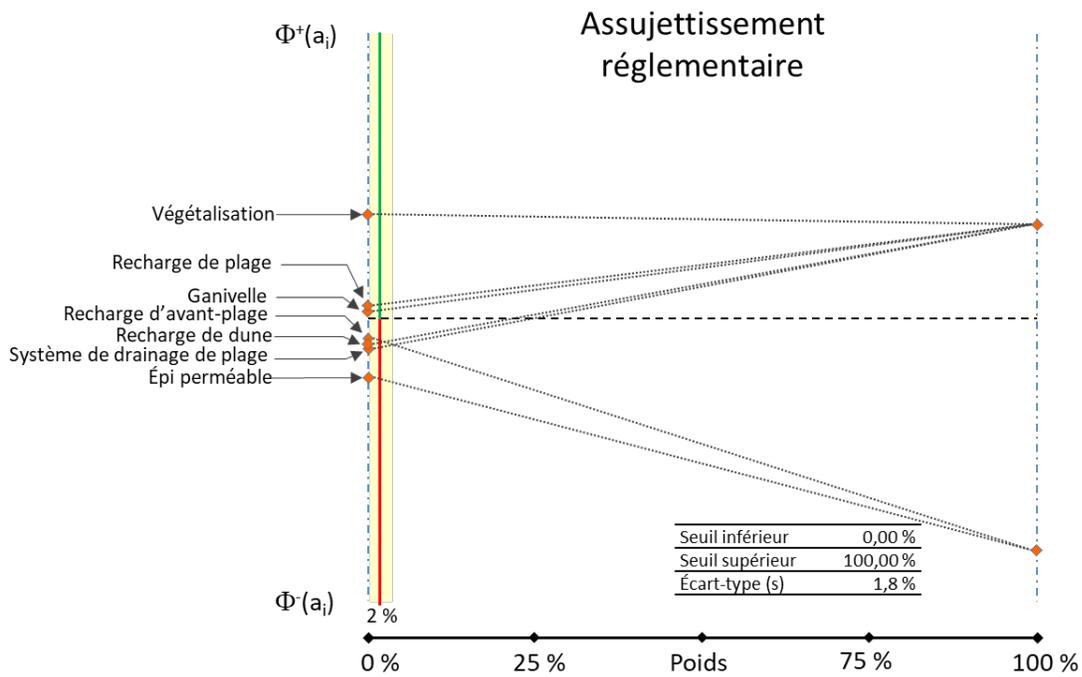


Figure 155. Influence de la variation de la proportion du critère Assujettissement réglementaire sur la position des OPC pour le regroupement 5 de la communauté de Pessamit

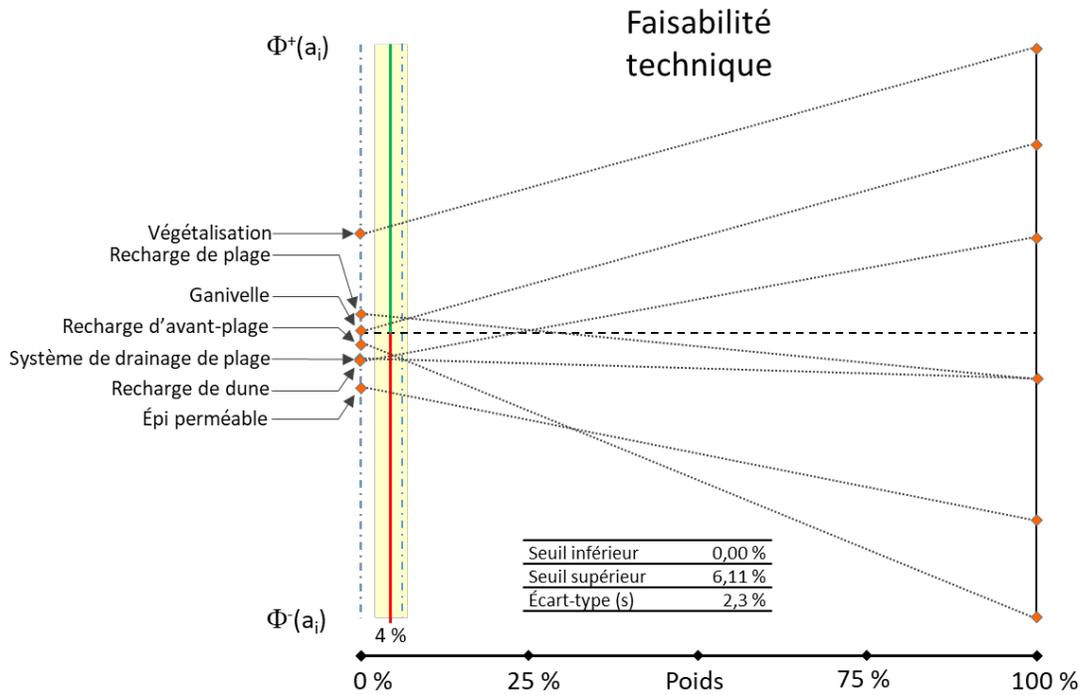


Figure 156. Influence de la variation de la proportion du critère Faisabilité technique sur la position des OPC pour le regroupement 5 de la communauté de Pessamit

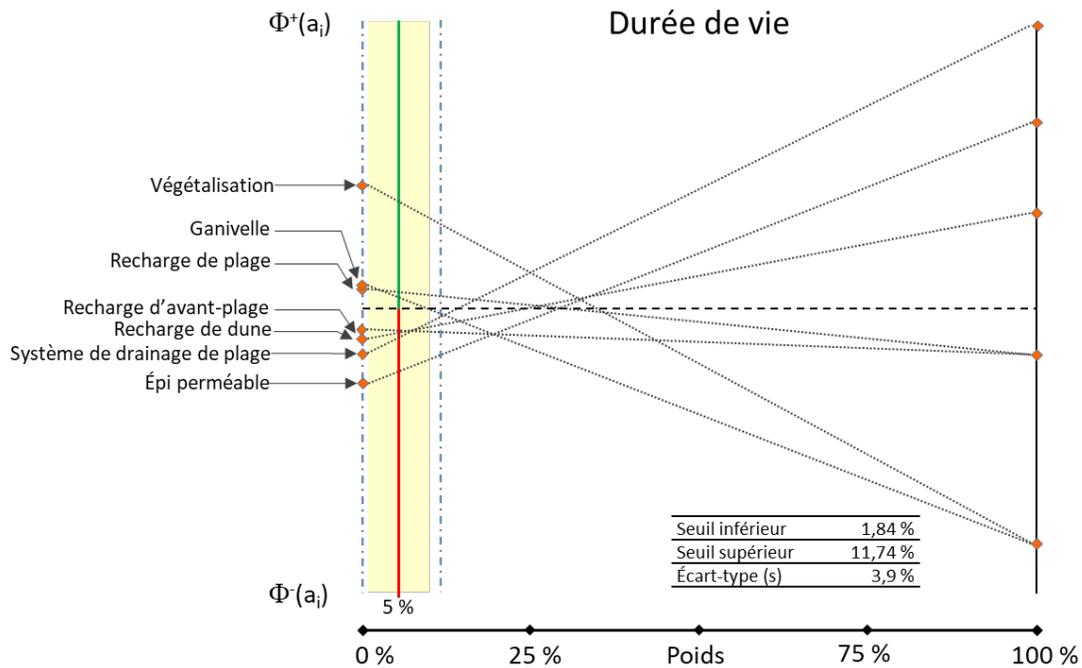


Figure 157. Influence de la variation de la proportion du critère Durée de vie sur la position des OPC pour le regroupement 5 de la communauté de Pessamit

Identification de solutions d'adaptation aux aléas côtiers pour augmenter la résilience des communautés des Premières Nations dans un contexte de changements climatiques:
Rapport final 2021

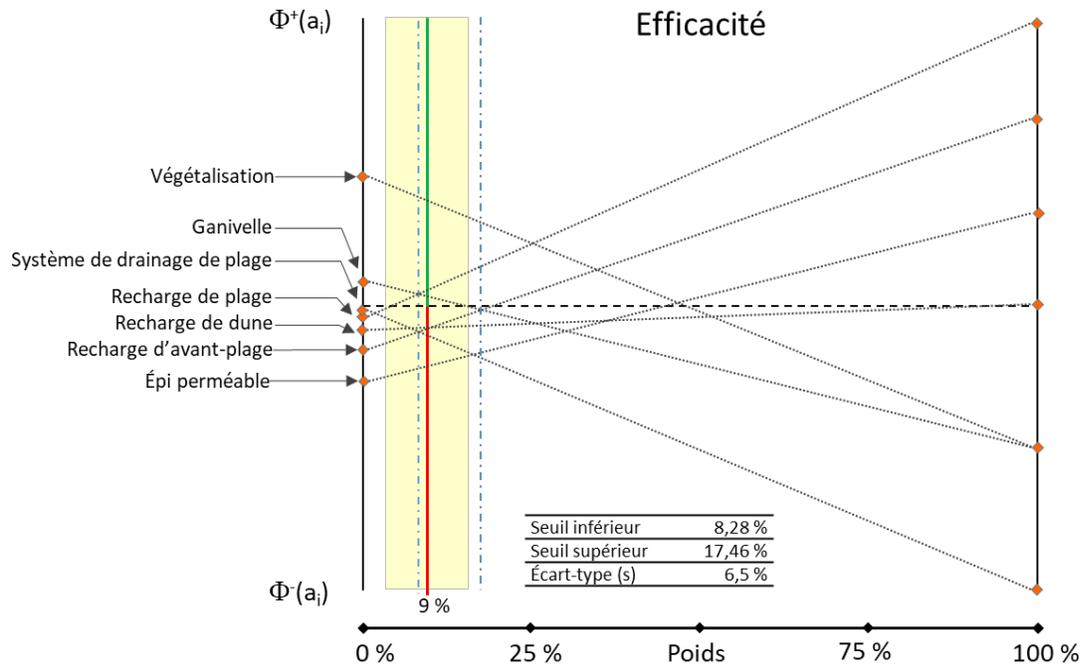


Figure 158. Influence de la variation de la proportion du critère Efficacité sur la position des OPC pour le regroupement 5 de la communauté de Pessamit

Communauté de Uashat

Regroupement 1, 2 et 3

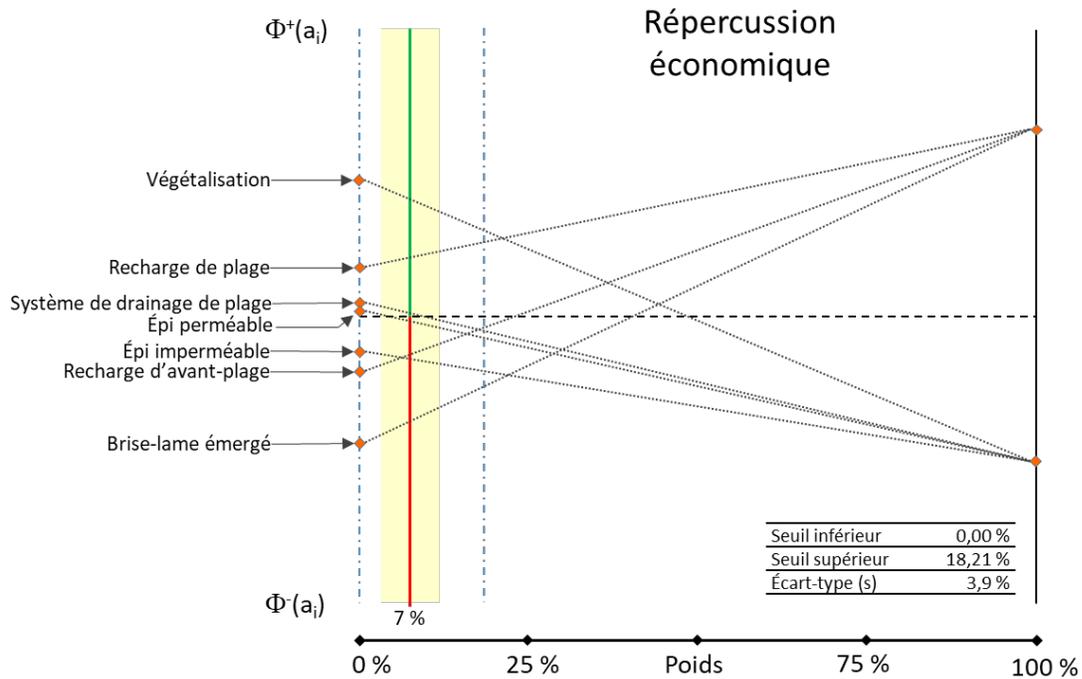


Figure 159. Influence de la variation de la proportion du critère Répercussion économique sur la position des OPC pour les regroupement 1, 2 et 3 de la communauté de Uashat

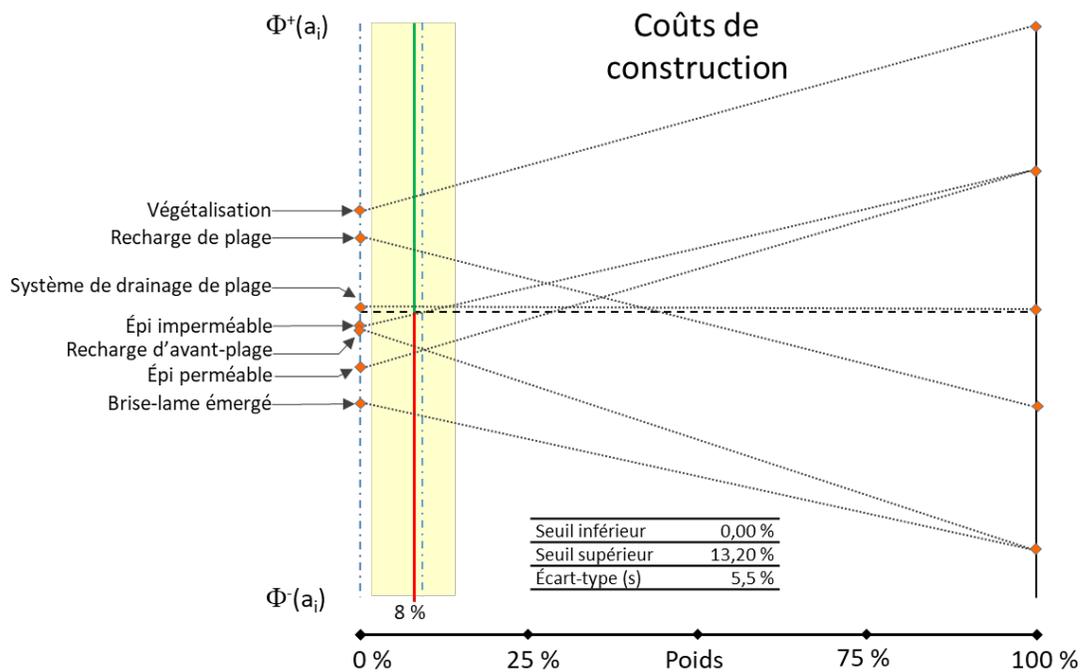


Figure 160. Influence de la variation de la proportion du critère Coûts de construction sur la position des OPC pour les regroupement 1, 2 et 3 de la communauté de Uashat

Identification de solutions d'adaptation aux aléas côtiers pour augmenter la résilience des communautés des Premières Nations dans un contexte de changements climatiques:
Rapport final 2021

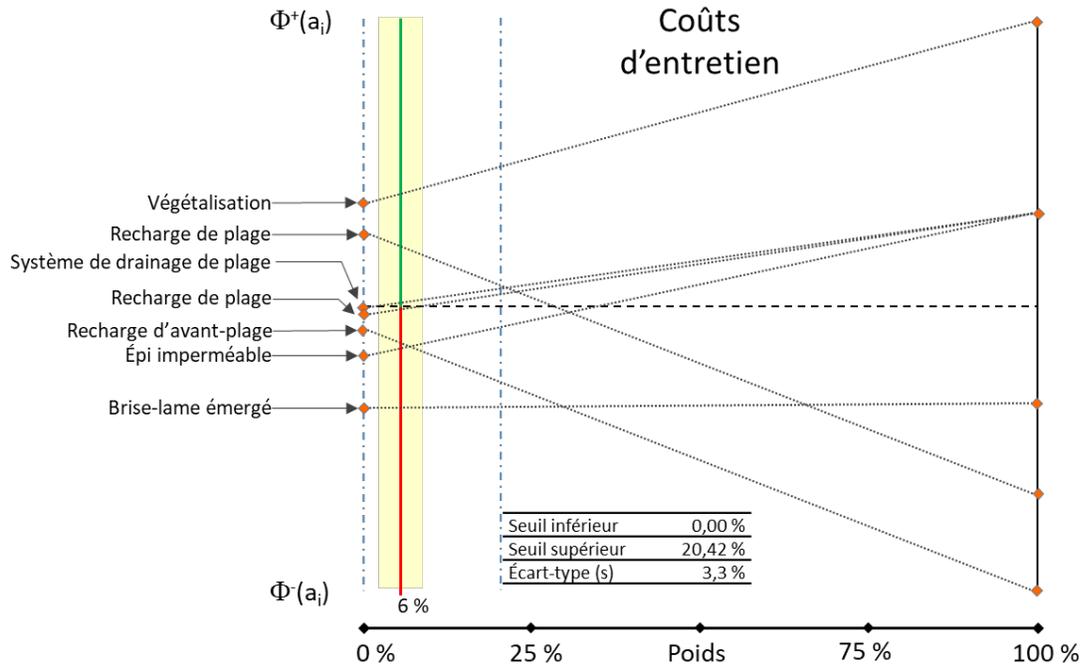


Figure 161. Influence de la variation de la proportion du critère Coûts d'entretien sur la position des OPC pour les regroupement 1, 2 et 3 de la communauté de Uashat

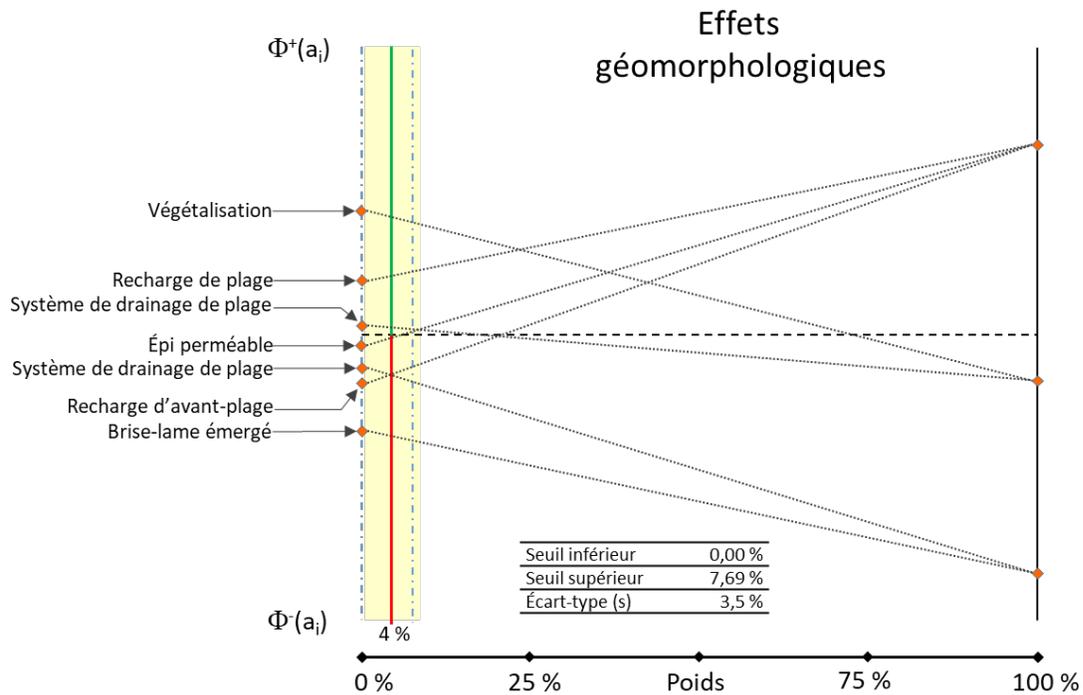


Figure 162. Influence de la variation de la proportion du critère Effets géomorphologiques sur la position des OPC pour les regroupement 1, 2 et 3 de la communauté de Uashat

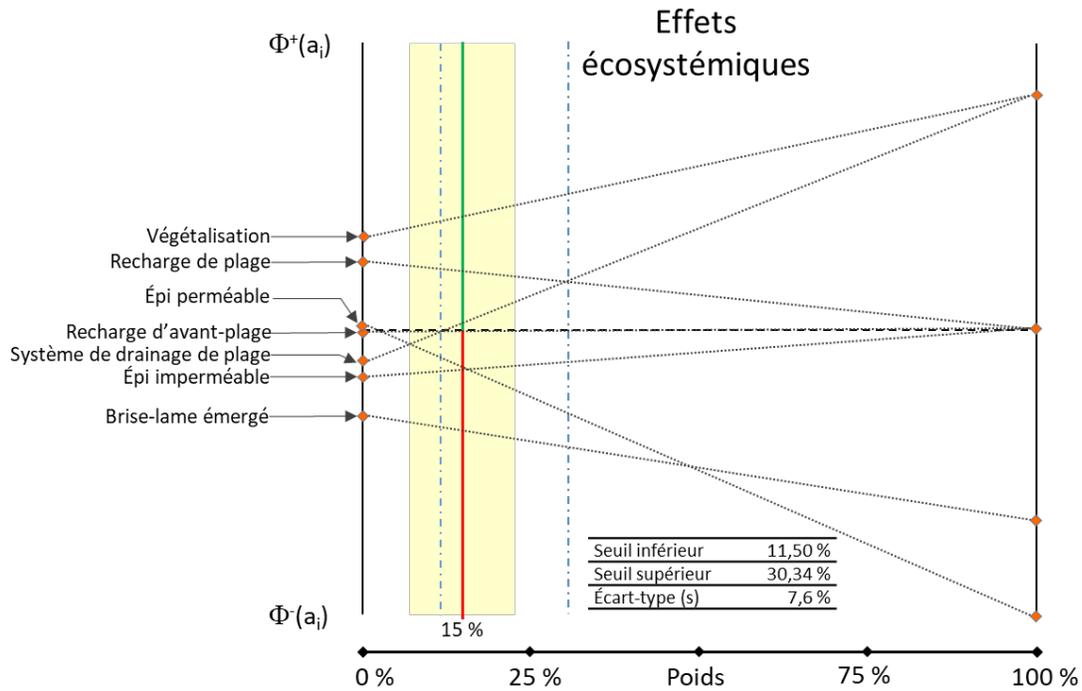


Figure 163. Influence de la variation de la proportion du critère Effets écosystémiques sur la position des OPC pour les regroupement 1, 2 et 3 de la communauté de Uashat

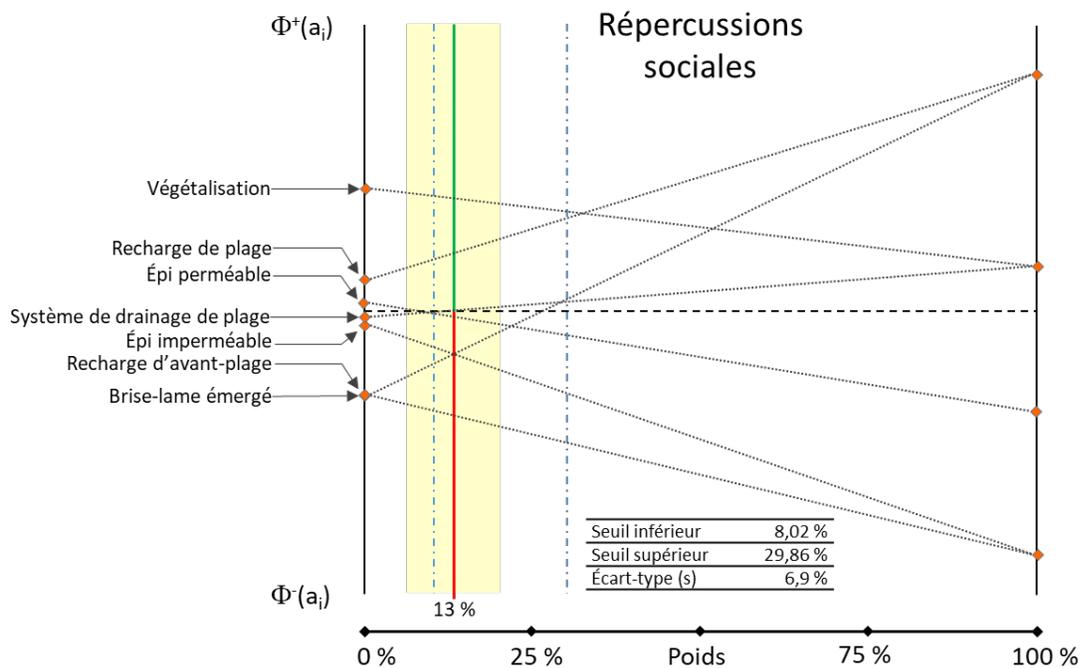


Figure 164. Influence de la variation de la proportion du critère Répercussions sociales sur la position des OPC pour les regroupement 1, 2 et 3 de la communauté de Uashat

Identification de solutions d'adaptation aux aléas côtiers pour augmenter la résilience des communautés des Premières Nations dans un contexte de changements climatiques:
Rapport final 2021

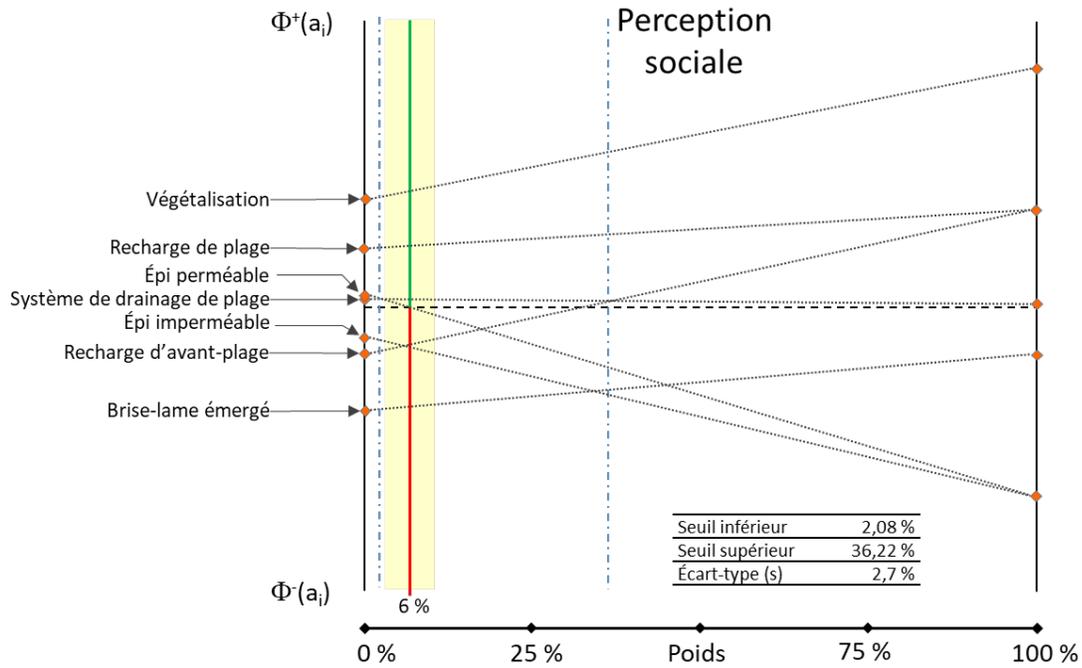


Figure 165. Influence de la variation de la proportion du critère Perception sociale sur la position des OPC pour les regroupement 1, 2 et 3 de la communauté de Uashat

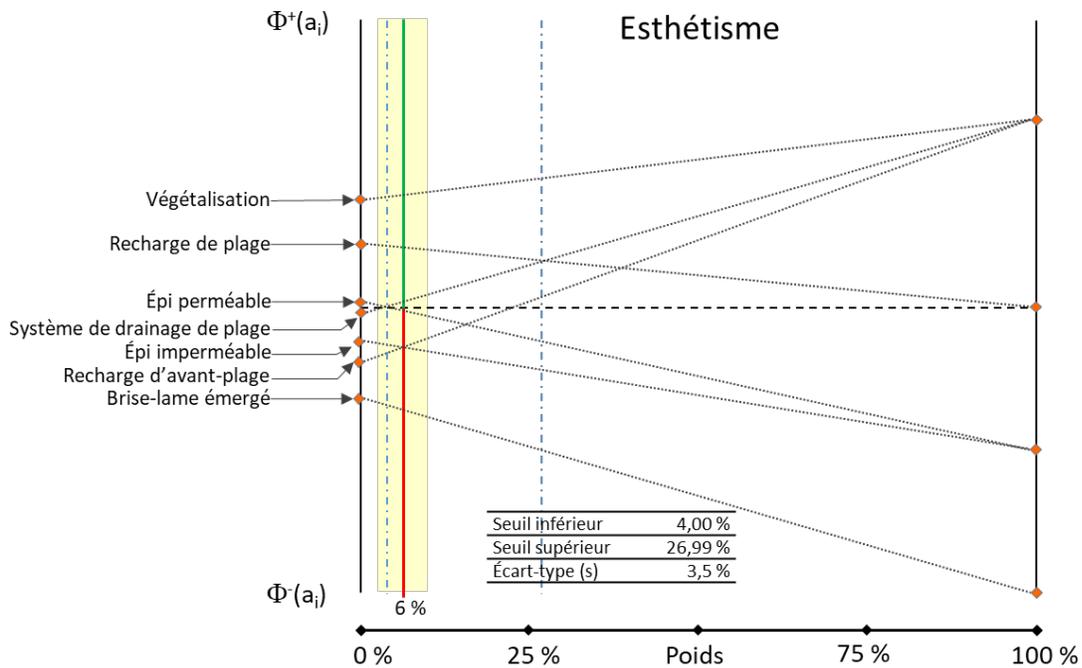


Figure 166. Influence de la variation de la proportion du critère Esthétisme sur la position des OPC pour les regroupement 1, 2 et 3 de la communauté de Uashat

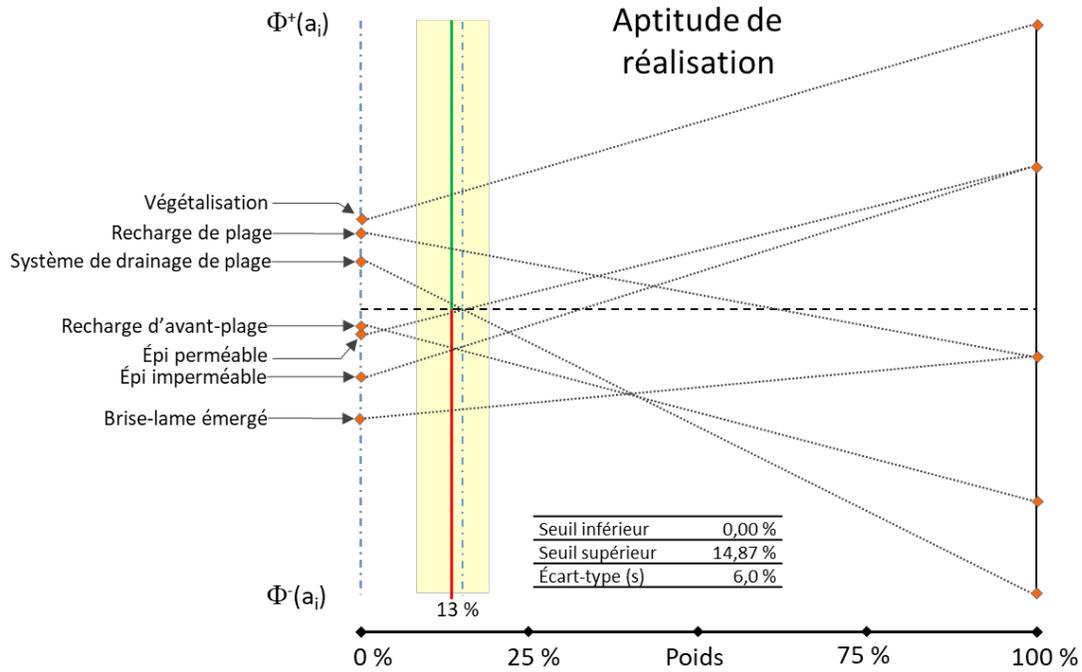


Figure 167. Influence de la variation de la proportion du critère Aptitude de réalisation sur la position des OPC pour les regroupement 1, 2 et 3 de la communauté de Uashat

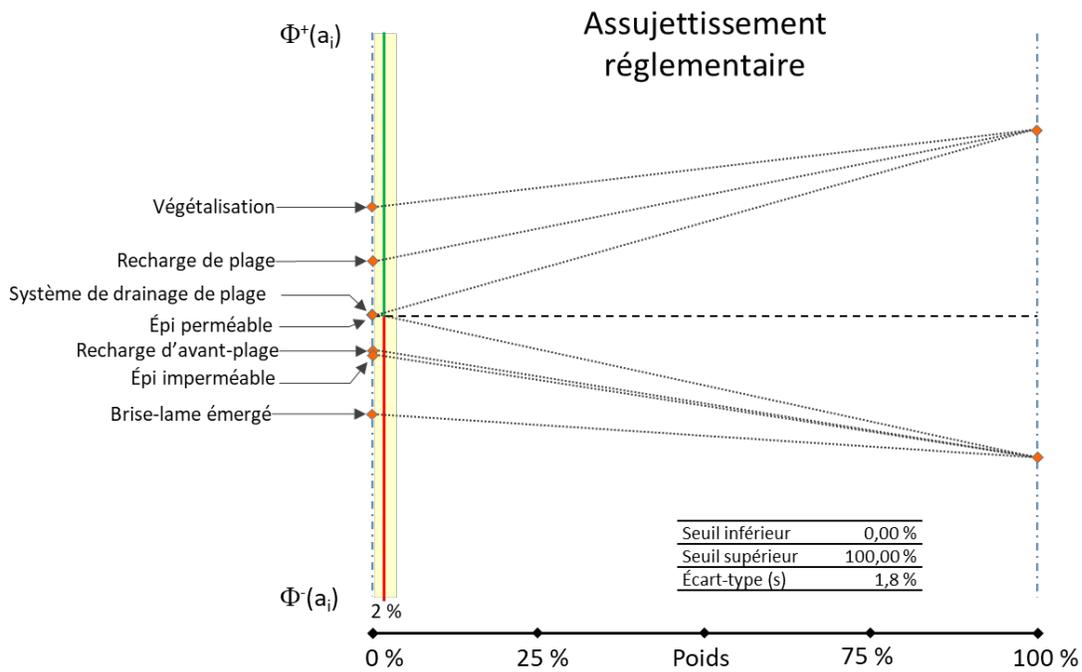


Figure 168. Influence de la variation de la proportion du critère Assujettissement réglementaire sur la position des OPC pour les regroupement 1, 2 et 3 de la communauté de Uashat

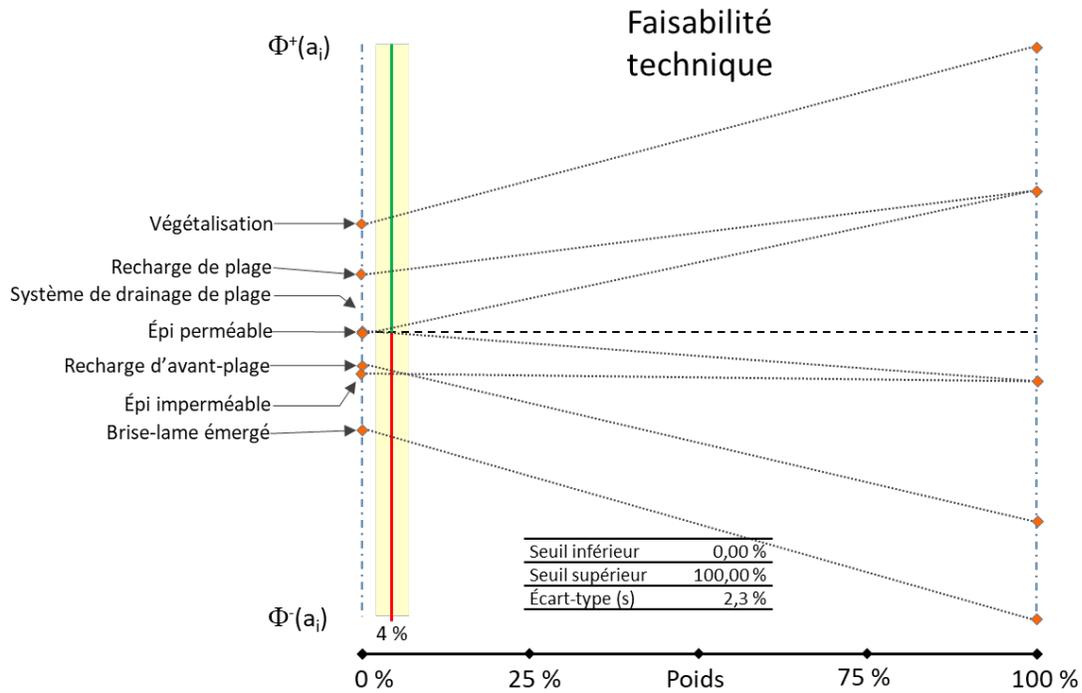


Figure 169. Influence de la variation de la proportion du critère Faisabilité technique sur la position des OPC pour les regroupement 1, 2 et 3 de la communauté de Uashat

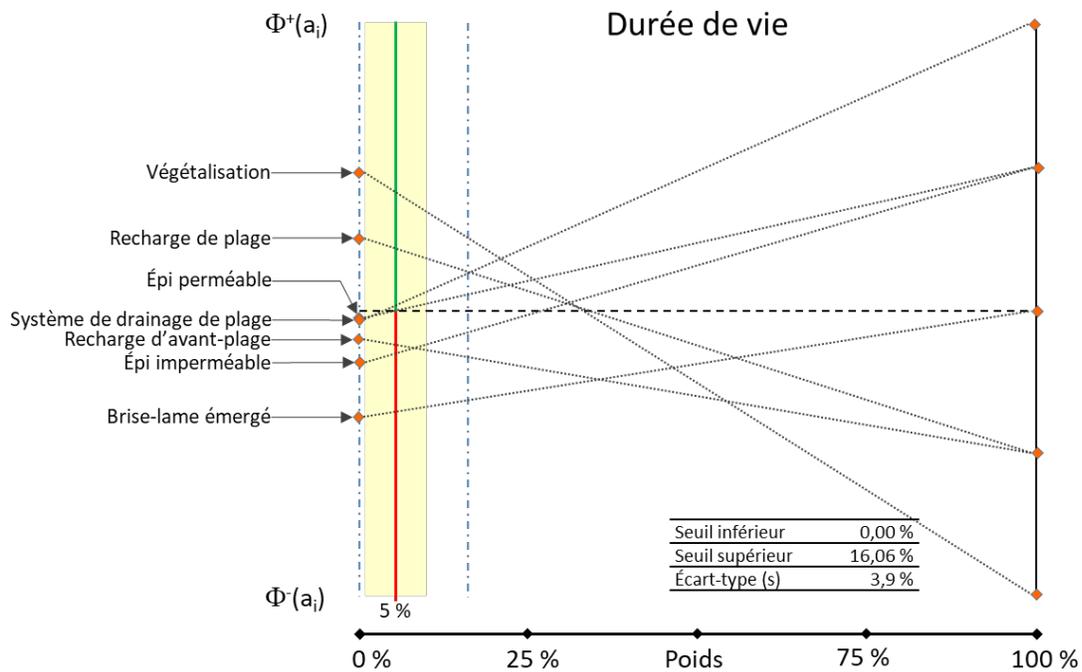


Figure 170. Influence de la variation de la proportion du critère Durée de vie sur la position des OPC pour les regroupement 1, 2 et 3 de la communauté de Uashat

Identification de solutions d'adaptation aux aléas côtiers pour augmenter la résilience des communautés des Premières Nations dans un contexte de changements climatiques:
Rapport final 2021

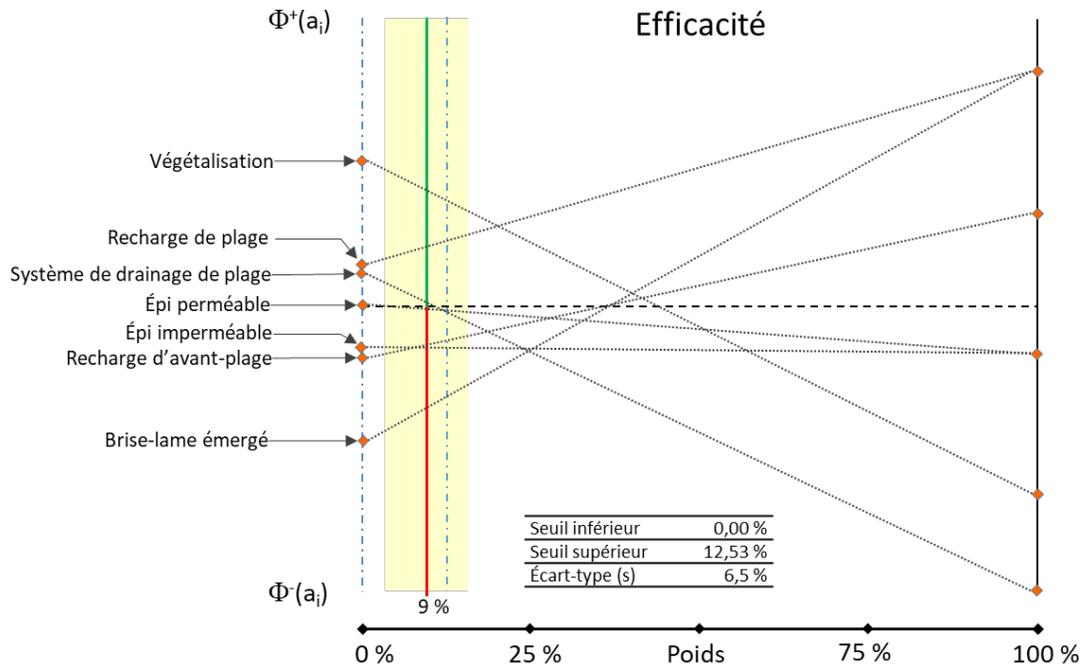


Figure 171. Influence de la variation de la proportion du critère Efficacité sur la position des OPC pour les regroupement 1, 2 et 3 de la communauté de Uashat