

Cartographie rétrospective de la zostère marine et portrait des écosystèmes côtiers dégradés aux Îles-de-la-Madeleine

Présenté à Pêches et Océans Canada

Sous la direction de
Pascal Bernatchez, Ph. D.

Avril 2021



ÉQUIPE DE RÉALISATION

Direction, recherche, 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.qc.ca

<https://ldgizc.uqar.ca/Web/>

Rédaction, analyse, géomatique et relevés terrain

Sandrine Papageorges, B. Sc. géographie, Professionnelle de recherche, LDGIZC, UQAR

Autre collaborateurs

Mathieu Bélisle, M. Sc. Géographie, LDGIZC, UQAR

Géomatique

Biko Brideau, étudiant à la maîtrise, LDGIZC, UQAR

Relevés terrain et pilotage du ROV

Susan Drejza, M. Sc. Géographie, professionnelle de recherche, LDGIZC, UQAR

Collaboration et révision

Émie Audet-Gilbert, B. Sc. Biologie, chargée de projet biodiversité et milieux naturels,

Attention Fragîles

Relevés terrain et pilotage du ROV

Marie-Ève Giroux, B. Sc., M. Ss., Directrice générale, Attention Fragîles

Collaboration et révision

Catherine Leblanc-Jomphe, B. Sc. Géographie, chargée de projet restauration et aménagement des milieux côtiers, Attention Fragîles

Collaboration et révision

Ce projet a été réalisé en collaboration avec l'équipe d'Attention Fragîles

Référence complète

Papageorges, S. et Bernatchez, P. 2021. Cartographie rétrospective de la zostère marine et portrait des écosystèmes côtiers dégradés aux Îles-de-la-Madeleine. Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières, Université du Québec à Rimouski. Rapport remis à Pêches et Océans Canada, avril 2021, 86 p. + annexes.

REMERCIEMENTS

L'équipe de recherche tient à remercier pour sa contribution financière Pêches et Océans Canada qui a appuyé ce travail dans le cadre du Fonds pour la restauration côtière. Nous remercions aussi Laurence Provencher-Nolet, Benjamin Grégoire et Louis-David Pitre de Pêches et Océans Canada pour leurs conseils lors de l'élaboration des protocoles de validation terrain dans l'infralittoral et de l'analyse des données terrain, ainsi que pour l'identification d'espèces marines. Nous remercions aussi Steeve Dugas (LDGIZC) pour sa disponibilité et ses conseils généraux, Chambu Wani Marcellin (LDGIZC) pour ses conseils en géomatique, ainsi que Marie-Andrée Roy (UQAR) pour ses conseils en cartographie. Finalement, un grand merci à l'équipe d'Attention Fragîles, spécialement à Catherine Leblanc-Jomphe, Marie-Ève Giroux et Émie Audet-Gilbert, pour la précieuse collaboration dans ce projet.



Pêches et Océans
Canada

Fisheries and Oceans
Canada

Photographies de la page de couverture :

Au centre : Survol héliporté LDGIZC, septembre 2017, Baie du Bassin (Îles-de-la-Madeleine).

En bas : Cartographie de l'évolution de la zostère marine, LDGIZC 2021, Lagune du Havre-aux-Maisons (Îles-de-la-Madeleine).

TABLE DES MATIÈRES

TABLE DES MATIÈRES	4
LISTE DES FIGURES	5
LISTE DES TABLEAUX	8
LISTE DES ÉQUATIONS	8
LISTE DES ANNEXES	8
1. Introduction et mise en contexte.....	12
2. Présentation du territoire	14
2.1 Localisation de la zone d'étude	14
2.2 Le continuum côtier	15
2.3 Division du territoire en grands secteurs de continuums côtiers	18
3. Méthodologie	19
3.1 Imageries utilisées	19
3.2 Cartographie du recouvrement végétal de la zostère marine	21
3.3 Cartographie de l'évolution des herbiers de zostère	28
3.4 Identification des sites d'herbiers de zostère dégradés.....	31
3.5 Analyse et identification des milieux sableux dunifiés et milieux humides dégradés ..	33
4. Portrait des écosystèmes côtiers dégradés.....	39
4.1 Pointe de l'Est.....	40
4.2 Bassin aux Huîtres	45
4.3 Lagune de la Grande-Entrée.....	51
4.4 Lagune du Havre-aux-Maisons	57
4.5 Gros-Cap	64
4.6 L'Étang-du-Nord	67
4.7 Baie du Havre aux Basques.....	71
4.8 Baie du Bassin.....	75
4.9 Havre-Aubert / flèche littorale du Sandy Hook	78
5. Conclusion	82
6. Références.....	84
7. Annexes	87

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Carte de localisation générale (A) et régionale (B) des Îles-de-la-Madeleine	14
Figure 2 : Carte de localisation des noyaux rocheux, milieux sableux et plans d'eau principaux des Îles-de-la-Madeleine.....	15
Figure 3 : Exemple typique de continuum côtier (Dune du Sud, Îles-de-la-Madeleine)	16
Figure 4 : Carte de localisation des 9 grands secteurs de continuums côtiers analysés aux Îles-de-la-Madeleine.....	18
Figure 5 : Territoire couvert par l'imagerie SPOT-5 de 2009 (A) et LDGIZC de 2008 (B) pour la période de référence.....	20
Figure 6 : Exemples de photointerprétation de la végétation à partir de l'imagerie LDGIZC de 2008 (secteur du Havre-Aubert)	25
Figure 7 : Exemple de photointerprétation dans la zone infralittorale à partir de l'imagerie du MERN 2019 (secteur de la Lagune de la Grande-Entrée).....	26
Figure 8: Exemple d'utilisation d'un trio cartographique de la zostère marine (secteur de la baie du Havre aux Basques)	32
Figure 9 : Exemples de photointerprétation de la végétation psammophile et de marais maritimes aux Îles-de-la-Madeleine à l'aide des composés infrarouge fausses couleurs	34
Figure 10 : (A) Superficie de la végétation psammophile en 2009 et en 2019 et (B) évolution entre les deux années par l'utilisation de l'outil Symmetrical difference (exemple de la flèche littorale du Bassin Est, secteur du Bassin aux Huîtres)	35
Figure 11 : Exemple de mesure de la largeur du milieu sableux dunifié (Baie Clarke, secteur de la Pointe de l'Est).....	36
Figure 12 : Exemple de mesure du recul d'un front dunaire (tombolo/cordon littoral de la Dune du Nord, secteur de la Lagune du Havre-aux-Maisons)	37
Figure 13 : (A) Localisation du site dans le secteur de la Pointe de l'Est et (B) dégradation de la dune parabolique de la Baie Clarke.....	42
Figure 14 : (A) Localisation du site dans le secteur de la Pointe de l'Est et (B) largeur du cordon littoral dunifié situé au nord-est de la Baie Clarke.....	43
Figure 15 : (A) Localisation du site dans le secteur de la Pointe de l'Est et (B) dégradation du cordon sableux dunifié qui sépare l'Étang-de-l'Est du milieu marin	45
Figure 16 : (A) Localisation de la flèche littorale du Bassin Est dans le secteur du Bassin aux Huîtres, (B) dégradation de la flèche littorale dunifiée, de la zostère marine et des milieux humides et (C) empiètement du milieu sableux dans le milieu aquatique	48
Figure 17: (A) Localisation du site dans le secteur du Bassin aux Huîtres et (B) dégradation de l'extrémité est du noyau rocheux de l'Île Boudreau	49
Figure 18 : (A) Localisation du site dans le secteur du Bassin aux Huîtres et (B) dégradation du milieu sableux dunifié et de milieux humides sur le tombolo/cordon littoral du Bassin Ouest ...	50

Figure 19 : (A) Localisation du site dans le secteur de la Lagune de la Grande-Entrée et (B) évolution des herbiers de zostère sur le littoral de l'Île de la Grande-Entrée	53
Figure 20 : (A) Localisation du site dans le secteur de la Lagune de la Grande-Entrée et (B) évolution de l'herbier de zostère à proximité de l'Île Rouge de Grosse-Île	54
Figure 21 : (A) Localisation du site dans le secteur de la Lagune de la Grande-Entrée et (B) évolution des herbiers de zostère à proximité de l'embouchure de la lagune.....	55
Figure 22 : (A) Localisation du site dans le secteur de la Lagune de la Grande-Entrée et (B) évolution des herbiers de zostère au centre de la lagune	56
Figure 23 : (A) Localisation du site dans le secteur de la Lagune de la Grande-Entrée et (B) évolution des herbiers de zostère sur les battures et l'infra-littoral peu profond face au Pont du Déroit ..	57
Figure 24 : (A) Localisation du site dans le secteur de la Lagune du Havre-aux-Maisons et (B) évolution des herbiers de zostère sur le littoral de l'Île du Havre-aux-Maisons et du sud des Sillons	59
Figure 25 : (A) Localisation du site dans le secteur de la Lagune du Havre-aux-Maisons et (B) évolution des herbiers de zostère à proximité des embranchements du chenal du Havre-aux-Maisons	60
Figure 26 : (A) Localisation du site dans le secteur de la Lagune du Havre-aux-Maisons et (B) exemple représentatif de la dégradation des milieux sableux dunifiés et des marais maritimes sur le tronçon dégradé du tombolo/cordon littoral de la Dune du Nord (du Grand Plaquier de Fatima à l'épave de la Gabarre)	62
Figure 27 : (A) Localisation du site dans le secteur de la Lagune du Havre-aux-Maisons et (B) évolution des herbiers de zostère au niveau du Quai du Cap-Vert	63
Figure 28 : (A) Localisation du site sur l'Île de Cap-aux-Meules et (B) dégradation des milieux humides du site du Chemin des Chalets et de l'Étang à Procul (secteur de Gros-Cap)	65
Figure 29 : (A) Localisation du site sur l'Île de Cap-aux-Meules et (B) dégradation du milieu humide de La Veine d'Eau (secteur de Gros-Cap)	66
Figure 30 : (A) Localisation du site dans le secteur de L'Étang-du-Nord et (B) évolution des herbiers de zostère dans l'Étang du Nord	68
Figure 31 : (A) Localisation du site dans le secteur de L'Étang-du-Nord et (B) largeur du tombolo/cordon littoral dunifié au sud de l'Étang du Nord.....	69
Figure 32 : (A) Localisation du site dans le secteur de L'Étang-du-Nord et (B) largeur des tombolos/cordons littoraux dunifiés du site du Petit Étang et de l'Étang à Ben.....	70
Figure 33 : (A) Localisation du site dans le secteur de la Baie du Havre aux Basques et (B) dégradation du milieu sableux dunifié et d'un marais maritime au sud du Goulet du Nord	72
Figure 34 : (A) Localisation du site dans le secteur de la Baie du Havre aux Basques et (B) évolution de l'herbier de zostère situé à proximité du Goulet du Nord	73

Figure 35 : (A) Localisation du site dans le secteur de la Baie du Havre aux Basques et (B) dégradation d'un marais maritime sur le tombolo/cordon littoral de la Dune de l'Ouest face à l'île Arnaud 74

Figure 36 : (A) Localisation du site sur l'île du Havre-Aubert et (B) évolution des herbiers de zostère sur la batture à l'extrémité sud de la Baie du Bassin (secteur de la Baie du Bassin) 76

Figure 37 : (A) Localisation du site sur l'île du Havre-Aubert et (B) dégradation de milieux humides au niveau de la Dune du Bassin (secteur de la Baie du Bassin)..... 77

Figure 38 : (A) Localisation du site dans le secteur du Havre-Aubert / Sandy Hook et (B) évolution des herbiers de zostère sur les battures du Havre Amherst et de l'Étang du Sable 80

Figure 39 : (A) Localisation du site dans le secteur du Havre-Aubert / Sandy Hook et (B) dégradation d'un milieu humide sur la flèche littorale du Sandy Hook face au Cap Gridley 81

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Définition des principaux types de côtes formées de sédiments meubles aux Îles-de-la-Madeleine (modifié de Bernatchez et Drejza, 2015)	17
Tableau 2 : Sources d'imagerie utilisées pour l'année récente et pour la période de référence. 21	
Tableau 3 : Équivalences des champs de recouvrement végétal de la zostère marine	29
Tableau 4 : Intensité du changement correspondant aux valeurs numériques d'évolution du recouvrement végétal de la zostère marine	30
Tableau 5 : Phases d'accumulation et d'érosion du cordon sableux dunifié au nord-est de la Baie Clarke de 1963 à 2019 selon le taux de déplacement moyen du littoral.....	43

LISTE DES ÉQUATIONS

Équation 1 : Intensité du changement de recouvrement végétal de la zostère marine entre l'année récente et l'année de référence.....	29
--	----

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1 : Caractéristiques des sources d'imageries utilisées pour la cartographie de la zostère marine et le portrait des écosystèmes côtiers dégradés	87
Annexe 2 : Métadonnées des géodatabases de cartographie du recouvrement végétal de la zostère marine aux Îles-de-la-Madeleine en 2008-2009 et en 2019	88
Annexe 3 : Protocoles de validation terrain aux Îles-de-la-Madeleine (août 2020)	92
Annexe 4 : Géodatabase utilisée pour colliger les informations de la validation terrain aux Îles-de-la-Madeleine (août 2020).....	100
Annexe 5 : Index des cartes du Document cartographique du recouvrement végétal et de l'évolution des herbiers de zostère marine aux Îles-de-la-Madeleine pour la période 2008-2009 à 2019.....	105
Annexe 6 : Métadonnées de la géodatabase d'évolution de la zostère marine aux Îles-de-la-Madeleine pour la période de 2008-2009 à 2019.....	109
Annexe 7 : Liste des jeux de données générés pour l'analyse des milieux sableux et des milieux humides dégradés	110
Annexe 8 : Métadonnées des jeux de données des 4 indicateurs utilisés pour l'analyse des milieux sableux et des milieux humides dégradés.....	115
Annexe 9 : Tableau de superficie de chaque classe d'évolution de la zostère marine pour chaque secteur de continuum côtier	117

LISTE DES ACRONYMES

FRC : Fonds pour la restauration côtière

LDGIZC : Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières

MPO : Pêches et Océans Canada

MERN : Ministère de l'Énergie et des Ressources Naturelles du Québec

PIR : Proche infrarouge

ROV : (*Remotely Operated underwater Vehicle*) véhicule sous-marin téléguidé

UQAR : Université du Québec à Rimouski

VTT : véhicule tout-terrain

ZIP : Zone d'Intervention Prioritaire

GLOSSAIRE

Affinage panchromatique : technique permettant d'obtenir une image en couleur de haute résolution par fusion d'une image panchromatique (noir et blanc) de résolution supérieure avec une image multispectrale de résolution inférieure.

Barres sableuses : accumulation de sable de forme allongée et parallèle à la côte se situant sur le bas estran ou dans la zone infralittorale.

Bas estran : partie inférieure de l'estran qui s'étend généralement de la flexure de la plage (limite entre le haut et le bas estran) jusqu'à la limite des basses mers (*lower foreshore* en anglais).

Bas estran meuble : bas estran dont le substrat principal est meuble.

Batture : vaste bas estran meuble à très faible pente, d'une largeur généralement supérieure à 100 m.

Caudeyre : dépression circulaire d'origine éolienne formée au flanc ou au sommet de certaines dunes littorales.

Chenal de marées : chenal creusé et maintenu par les courants de marée montante et descendante.

Continuum côtier : ensemble d'écosystèmes côtiers dont la formation et l'intégrité sont directement reliées à celles des autres et forment une continuité d'écosystèmes côtiers connectés entre eux.

Dune : accumulation de sable formée par l'action combinée des processus éoliens et de la stabilisation par la végétation dans les zones où une importante quantité de sable est disponible.

Écosystème : système formé par la relation entre un environnement physico-chimique inerte composé de sol, d'air, de lumière, d'eau, etc. (biotope) et une communauté formée d'animaux, de végétaux, de champignons et de micro-organismes vivants et morts (biocénose).

Flèche littorale : accumulation de sable ou de gravier qui s'attache d'un côté à la côte et qui s'étire généralement parallèlement à celle-ci; l'extrémité est libre. Sa surface peut être affectée par les processus éoliens, formant alors une flèche littorale dunifiée.

Goulet : passage étroit qui permet la connexion entre un plan d'eau intérieur et la mer (aussi appelé *passé*). Un goulet peut se former de façon périodique, saisonnière, ou être présent en permanence.

Haut estran : partie supérieure de l'estran allant de la flexure jusqu'à la ligne de rivage (*upper foreshore* en anglais).

Image multispectrale : image formées d'un petit nombre de bandes spectrales (généralement de 3 à 8) de longueurs d'ondes spécifiques. Selon le capteur utilisé, les bandes spectrales peuvent inclure le spectre du visible (rouge, vert, bleu) et des longueurs d'ondes non-visibles à l'œil nu (ex. : infrarouge, ultraviolet, etc.)

Infralittoral : partie du littoral constamment immergée dont la frange supérieure peut cependant être émergée aux marées basses de vives eaux les plus grandes. Sa limite inférieure est celle qui est compatible avec la vie des algues photophiles et des phanérogames marines (entre - 10 et - 40 m en fonction notamment de la turbidité).

Lagune : étendue d'eau salée ou saumâtre séparée de la mer par un tombolo, un cordon littoral ou une flèche littorale et avec laquelle elle communique par un étroit passage (goulet, passe).

Marais maritime : milieux humides salés ou saumâtres situés généralement en zone intertidale et colonisés par de la végétation herbacée dont la distribution verticale des espèces varie selon la durée d'immersion par la mer et la salinité. Ils peuvent aussi être présents en zone supratidale sous l'effet d'intrusions marines périodiques et des embruns salés. Les marais maritimes se forment généralement en zone abritée et la présence de végétation herbacée favorise l'accumulation de sédiments fins.

Milieu sableux dunifié : milieu sableux (flèche littorale, tombolo/cordon littoral ou terrasse de plage) dont le sable a été remanié par les processus éoliens et a formé une ou plusieurs dunes.

Schorre inférieur : étage inférieur d'un marais maritime inondé quotidiennement par les marées. Dans le golfe du Saint-Laurent, le schorre inférieur est généralement colonisé par la spartine alterniflore (*Spartina alterniflora*) et occasionnellement par la salicorne d'Europe (*Salicornia europaea*).

Terrasse de plage : accumulation de sable ou de gravier littoral formée d'un replat généralement végétalisé qui est très rarement submergé par les marées. Le replat est parfois bordé sur sa partie inférieure par un talus d'érosion (microfalaise) de moins de 2 m de hauteur et sa surface peut être affectée par les processus éoliens, formant alors une terrasse de plage dunifiée.

Tombolo : un tombolo est un cordon littoral formé d'une accumulation de sable ou de gravier qui relie la côte à un îlot souvent rocheux ou deux îlots rocheux entre eux. Ce type de côte abrite souvent une lagune. Sa surface peut être affectée par les processus éoliens, formant alors un tombolo dunifié.

Végétation psammophile : végétation qui se développe sur les sols sablonneux.

1. Introduction et mise en contexte

L'archipel des îles de la Madeleine est composé de noyaux rocheux pour la plupart reliés par des tombolos/cordons littoraux et des flèches littorales dunifiées qui abritent des milieux humides ainsi que des lagunes où est généralement présente la zostère marine (Hétu *et al.*, 2020). La valeur écologique élevée de ces écosystèmes côtiers engendre une forte valeur sociale et économique par tous les bénéfices directs et indirects qui en découlent : pêche, chasse, tourisme, qualité de vie, sentiment d'appartenance, qualité de l'eau potable, stabilisation des sédiments, fixation du carbone, etc. Les pressions sur ces milieux sont toutefois en croissance et il importe d'effectuer le suivi de ces écosystèmes dans le temps et de contribuer à la restauration de sites dégradés lorsque possible.

La cartographie rétrospective de la zostère marine et le portrait des écosystèmes côtiers dégradés aux Îles-de-la-Madeleine ont été réalisés afin de pouvoir cibler des écosystèmes particulièrement dégradés et orienter des interventions de restauration côtière sur l'archipel. La zostère marine a été sélectionnée pour cette cartographie rétrospective puisque de manière générale les herbiers de zostère sont en recul à différents endroits dans le monde (Green *et al.*, 2021; Lotze *et al.*, 2006) et ils constituent un habitat à forte valeur écologique. Il était donc important de vérifier si cette tendance était observée pour l'archipel. *La cartographie rétrospective de la zostère marine* comprend la cartographie du recouvrement végétal en 2008 ou 2009 et en 2019, ainsi que l'évolution des herbiers de zostère de l'archipel pour cette période. Cette cartographie comble des lacunes importantes au niveau de la répartition et de l'état des herbiers de zostère aux Îles-de-la-Madeleine et constitue une étape nécessaire afin de cibler les sites dégradés d'herbiers de zostère et d'orienter des interventions de restauration côtière. *Le portrait des écosystèmes côtiers dégradés* présente pour sa part des sites dégradés d'herbiers de zostère, de milieux humides côtiers et de milieux sableux dunifiés ainsi que les facteurs ayant pu mener à leur dégradation. Il s'agit d'une base importante pour la planification d'interventions de restauration côtière aux Îles-de-la-Madeleine.

Ce rapport a été réalisé dans le cadre du projet d'*Intégration du savoir local et scientifique dans la restauration d'écosystèmes côtiers à forte valeur écologique dans le golfe du Saint-Laurent* (ci-après nommé « Restauration côtière ») qui vise la réhabilitation d'écosystèmes de grande valeur écologique aux Îles-de-la-Madeleine, tels que les herbiers de zostère, les marais maritimes et les écosystèmes sableux qui les protègent. Le projet *Restauration côtière* s'échelonne sur près de 3 années (de septembre 2019 à mars 2022). Jusqu'à présent, deux secteurs dégradés d'écosystèmes sableux dunifiés qui protègent des marais maritimes et des herbiers de zostère ont été visés par des restaurations en 2019-2020 (Leblanc-Jomphe *et al.*, 2020). Des sites d'écosystèmes sableux dunifiés et de marais maritimes pourront aussi être restaurés à l'été 2021 (rapport à venir en mars 2022) à partir des informations présentées dans le *portrait des écosystèmes côtiers dégradés*. Le projet est financé par Pêches et Océans Canada (MPO) dans le

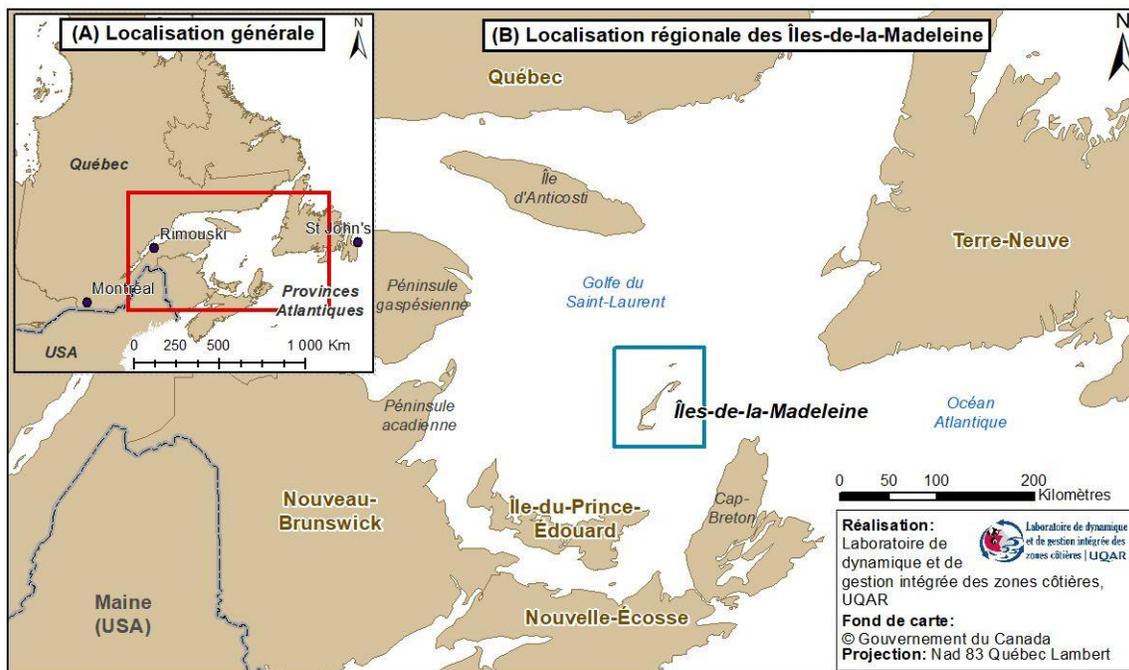
cadre du Fonds pour la restauration côtière et est réalisé en collaboration avec l'organisme Attention Fragîles qui œuvre à la protection de l'environnement des Îles-de-la-Madeleine.

Le rapport présente dans un premier temps le territoire d'intérêt, la méthodologie utilisée, puis présente les éléments suivants pour chaque grand secteur identifié : les éléments du continuum côtier, les constats généraux par rapport à la zostère marine et les sites dégradés sur le continuum côtier. Finalement, l'intégralité des cartes de recouvrement végétal et de l'évolution de la zostère marine sont présentées dans le *Document cartographique du recouvrement végétal et de l'évolution des herbiers de zostère des Îles-de-la-Madeleine pour la période 2008-2009 à 2019* (Papageorges et Bernatchez, 2021).

2. Présentation du territoire

2.1 Localisation de la zone d'étude

Les îles de la Madeleine forment un archipel situé dans le golfe du Saint-Laurent (figure 1).



L'archipel est constitué de huit noyaux rocheux habités en permanence, dont sept sont reliés entre eux par des tombolos/cordons littoraux dunifiés (figure 2). Ces milieux sableux forment des plans d'eau intérieurs où se trouve la majorité des herbiers de zostère et des marais maritimes de l'archipel.

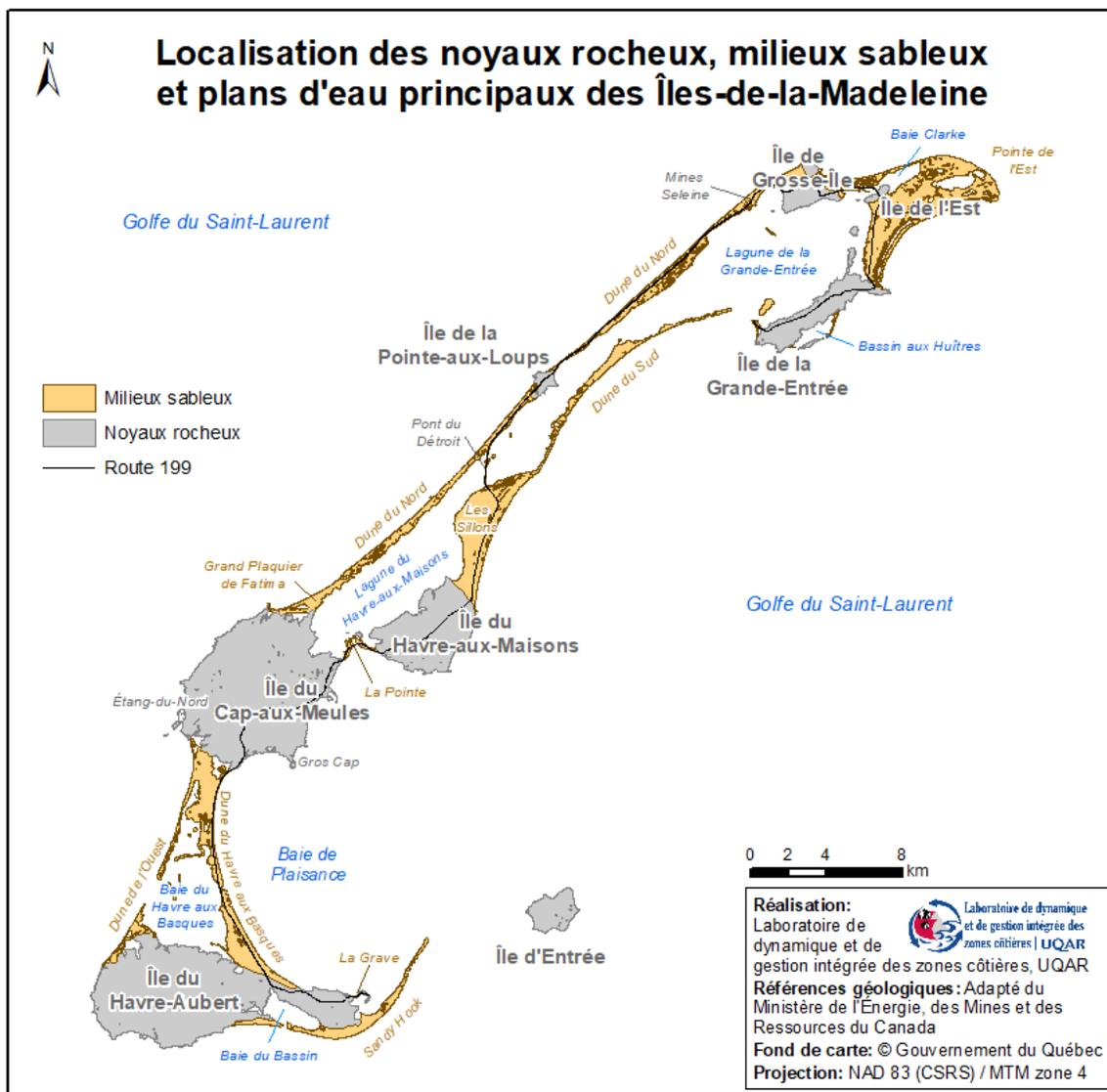


Figure 2 : Carte de localisation des noyaux rocheux, milieux sableux et plans d'eau principaux des Îles-de-la-Madeleine

2.2 Le continuum côtier

Le continuum côtier comprend l'ensemble des écosystèmes côtiers dont la formation et l'intégrité sont directement reliées à celles des autres. Ils forment, pour ainsi dire, une continuité d'écosystèmes côtiers connectés entre eux. Aux Îles-de-la-Madeleine, il est généralement formé d'un milieu sableux dunifié (flèche littorale, tombolo/cordon littoral ou terrasse de plage) abritant des marais maritimes et une lagune où est habituellement présente la zostère marine. À certains endroits, le milieu sableux dunifié abrite seulement des milieux humides sans qu'il n'y ait nécessairement présence d'une lagune. Les milieux humides les plus fréquemment retrouvés sur

le continuum côtier de l'archipel sont les marais maritimes, mais d'autres types de milieux humides (ex. : marais d'eau douce ou saumâtre, prés humides, étangs, tourbières, marécages) sont aussi présents à certains endroits (Comité ZIP des Îles, 2021).

Les milieux sableux dunifiés sont essentiels à la formation et à l'intégrité des milieux humides et des herbiers de zostère en procurant des conditions calmes nécessaires à leur formation et à leur maintien. En retour, les herbiers de zostère et les marais maritimes jouent aussi un rôle de stabilisation des sédiments et de réduction de l'intensité des vagues à la côte, ce qui contribue à la stabilité des milieux sableux dunifiés (Shepard *et al.*, 2011; CREGIM, 2006).

Il s'agit donc d'un continuum dans lequel les 3 types d'écosystèmes côtiers sont interconnectés et où la dégradation d'un seul de ces écosystèmes risque d'entraîner la dégradation des autres. À l'inverse, dans une perspective de restauration côtière, la restauration de l'un de ces écosystèmes bénéficie à l'intégrité et au maintien des autres.

La figure 3 constitue un exemple typique de continuum côtier aux Îles-de-la-Madeleine et le tableau 1 présente les principaux types de côtes retrouvés sur l'archipel.

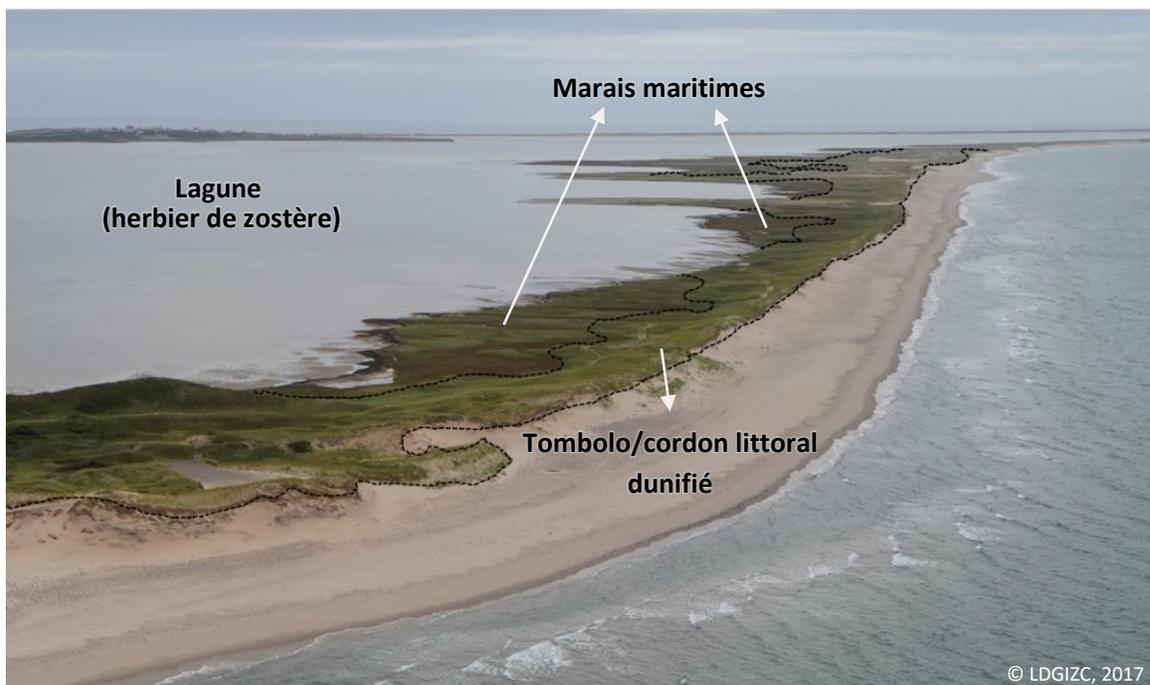


Figure 3 : Exemple typique de continuum côtier (Dune du Sud, Îles-de-la-Madeleine)

Tableau 1 : Définition des principaux types de côtes formées de sédiments meubles aux Îles-de-la-Madeleine (modifié de Bernatchez et Drejza, 2015)

Type de côte	Exemple photographique	Définition
Marais maritime		Milieus humides salés ou saumâtres situés généralement en zone intertidale et colonisés par de la végétation herbacée dont la distribution verticale des espèces varie selon la durée d'immersion par la mer et la salinité. Ils peuvent aussi être présents en zone supratidale sous l'effet d'intrusions marines périodiques et des embruns salés. Les marais maritimes se forment généralement en zone abritée et la présence de végétation herbacée favorise l'accumulation de sédiments fins.
Terrasse de plage		Accumulation de sable ou de gravier littoral formée d'un replat généralement végétalisé qui est très rarement submergé par les marées. Le replat est parfois bordé sur sa partie inférieure par un talus d'érosion (microfalaise) de moins de 2 m de hauteur. La terrasse de plage peut être suivie à l'arrière-plage ou l'arrière-côte d'une falaise morte ou d'une surface plane. Sa surface peut être affectée par les processus éoliens, formant alors une terrasse de plage dunifiée.
Tombolo et cordon littoral		Accumulation basse de sable ou de gravier qui relie la côte à un îlot souvent rocheux ou deux îlots rocheux entre eux. Ce type de côte abrite souvent une lagune. Sa surface peut être affectée par les processus éoliens, formant alors un tombolo ou cordon littoral dunifié. Le cordon littoral peut ne pas être attaché à la côte et est souvent parallèle à celle-ci.
Flèche littorale		Accumulation de sable ou de gravier qui s'attache d'un côté à la côte et qui s'étire généralement parallèlement à celle-ci; l'extrémité est libre. Sa surface peut être affectée par les processus éoliens, formant alors une flèche littorale dunifiée.

2.3 Division du territoire en grands secteurs de continuums côtiers

L'archipel des îles de la Madeleine a été divisé en grands secteurs à partir de la connexion du continuum côtier. Par exemple, un plan d'eau intérieur a été inclus dans le même grand secteur que les marais maritimes présents sur son pourtour et que les tombolos/cordons littoraux qui forment le milieu abrité. La présentation du portrait des écosystèmes côtiers dégradés est effectuée pour chacun des neuf grands secteurs de continuums côtiers identifiés (figure 4).

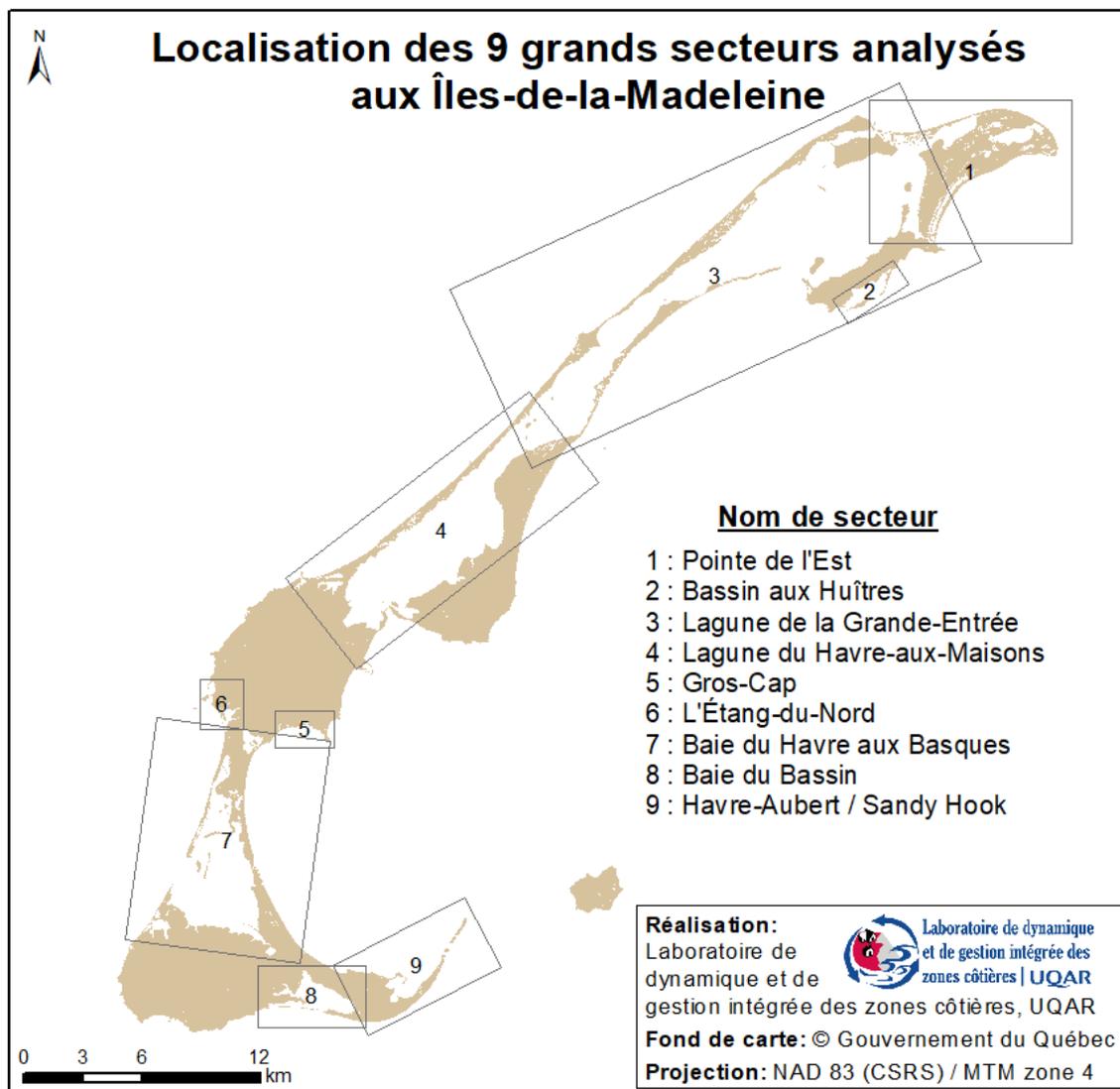


Figure 4 : Carte de localisation des 9 grands secteurs de continuums côtiers analysés aux Îles-de-la-Madeleine

3. Méthodologie

La *cartographie rétrospective de la zostère marine* et le *portrait des écosystèmes côtiers dégradés* ont été réalisés en majeure partie à l'aide du système d'informations géographiques (SIG) ArcGIS 10.5.1 en comparant deux sources d'imagerie séparées d'un intervalle d'environ 10 ans. Des données de validation terrain et des données existantes (internes au LDGIZC et provenant de sources externes) ont aussi contribué à bonifier les deux volets du rapport.

3.1 Imageries utilisées

Les sources d'imagerie retenues pour le projet devaient idéalement répondre aux critères suivants :

- Résolution comprise entre 0,5 et 2,5 mètres;
- Comprenant minimalement les bandes spectrales du rouge, du vert et du proche infrarouge;
- Relevées pendant la période de croissance optimale de la végétation allant de la mi-juillet à la mi-octobre;
- Bonne visibilité dans la colonne d'eau (peu de réflexion spéculaire et de turbidité).

L'imagerie utilisée pour représenter la situation actuelle est l'imagerie satellitaire Pléiades datant du 22 septembre 2019. Les images multispectrales et pansharp ont été utilisées selon les besoins. Les images multispectrales présentent moins de réflexion spéculaire que les images pansharp, mais ont une moins bonne résolution. Les images aériennes provenant du ministère de l'Énergie et des Ressources Naturelles (MERN) relevées le 13 mai 2019 ont aussi été utilisées pour bonifier la photointerprétation dans les zones plus profondes des lagunes malgré qu'elles aient été prises avant la période de croissance optimale de la végétation (voir la section 3.2.2.3 à la page 24 pour plus de détails).

Deux sources d'imagerie ont été utilisées pour la période de référence. L'imagerie satellitaire SPOT-5 datant du 17 septembre 2009 couvre une majeure partie du territoire des Îles-de-la-Madeleine (figure 5a). L'imagerie aérienne relevée par le Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières (LDGIZC) du 12 au 26 septembre 2008 a été utilisée pour couvrir une partie de la portion manquante au sud de l'archipel (figure 5b). L'entièreté du territoire n'a toutefois pas pu être cartographiée pour la période de référence faute d'imagerie disponible répondant aux critères de sélection. Lorsque disponible, l'imagerie du LDGIZC 2008 a aussi été utilisée pour bonifier la photointerprétation pour le territoire cartographié à partir de l'imagerie SPOT-5 2009 puisqu'elle présente une résolution plus fine.

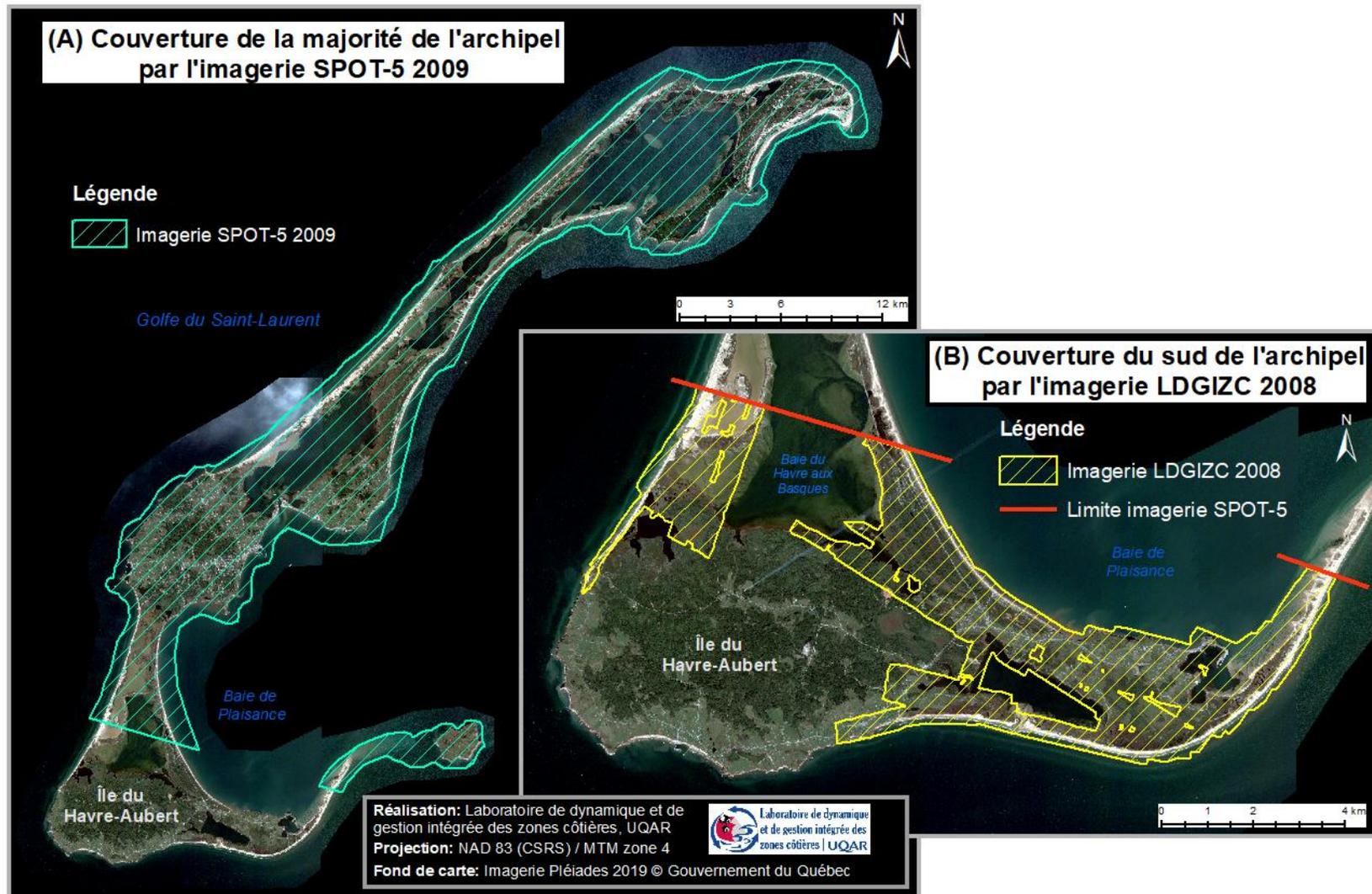


Figure 5 : Territoire couvert par l'imagerie SPOT-5 de 2009 (A) et LDGIZC de 2008 (B) pour la période de référence

L'imagerie Pléiades de 2019, SPOT-5 de 2009 et LDGIZC de 2008 répondent à la plupart des critères. Toutefois, la visibilité est souvent limitée par la profondeur de la colonne d'eau, particulièrement pour les imageries utilisées pour la période de référence. Le recouvrement de la zostère marine a donc dû être classé comme étant non déterminé pour ces années dans les zones infralittorales ayant une colonne d'eau supérieure à 1-2 m. Pour l'année 2019, l'imagerie aérienne du MERN a été utilisée pour bonifier la photointerprétation des zones profondes. Le tableau 2 présente les sources d'imagerie utilisées pour l'année récente et pour la période de référence.

Tableau 2 : Sources d'imagerie utilisées pour l'année récente et pour la période de référence.

Année récente (2019)	Période de référence (2008 et 2009)
Imagerie satellitaire Pléiades (22 septembre 2019)	2008 : imagerie aérienne du LDGIZC (12 au 26 septembre 2008)
Imagerie aérienne du MERN (13 mai 2019)	2009 : imagerie satellitaire SPOT-5 (17 septembre 2009)

L'imagerie SPOT-5 a été orthorectifiée à partir de l'imagerie Pléiades 2019, rendant les comparaisons spatiales entre les deux sources d'imagerie très précises.

Pour davantage d'informations, l'annexe 1 (page 87) présente les caractéristiques des différentes sources d'imagerie utilisées.

3.2 Cartographie du recouvrement végétal de la zostère marine

La cartographie des herbiers de zostère a été effectuée sur l'ensemble de l'archipel pour l'année récente (2019) et sur les secteurs où l'imagerie était disponible pour la période de référence (2008 ou 2009). Pour ce faire, une segmentation automatisée ou manuelle du territoire a été réalisée, suivie d'une étape de photointerprétation et de consultation des données existantes. Une campagne de validation terrain a permis d'apporter les mises à jour finales à la cartographie. Le logiciel ArcGIS 10.5.1 de ESRI a été utilisé pour effectuer la majorité des étapes de cartographie et le logiciel PCI Geomatica Banff a été utilisé pour effectuer les segmentations automatisées.

La méthodologie est inspirée de celle élaborée pour la cartographie des écosystèmes côtiers de l'estuaire maritime et du golfe du Saint-Laurent réalisée par une collaboration entre le LDGIZC et le MPO dans le cadre du projet *Vulnérabilité et résilience de la zone côtière aux aléas côtiers dans un contexte de changements climatiques : Vers le développement d'outils et de solutions d'adaptation durables pour les municipalités côtières de l'Est du Québec* (ci-après nommé « Résilience côtière ») (cartographie et rapport à venir en 2021, <https://ldgizc.uqar.ca/Web/projets/projet-resilience-cotiere#documents-resilience>) et de l'initiative fédérale de *Planification pour une intervention environnementale intégrée*.

3.2.1 Segmentation du territoire

Une segmentation initiale du territoire a d'abord été réalisée. Des segmentations automatisées ont été générées à partir des imageries Pléiades de 2019 et SPOT-5 de 2009 avec le logiciel de télédétection PCI Geomatica Banff. L'imagerie 2008 du LDGIZC a pour sa part été segmentée manuellement avec le logiciel ArcGIS 10.5.1 par photointerprétation étant donné les caractéristiques de ces images.

3.2.1.1 Segmentation automatisée

La segmentation automatisée permet de générer une segmentation initiale du territoire d'étude à partir des données spectrales des images, et ce, en peu de temps. Des segmentations automatisées ont été réalisées pour les imageries Pléiades de 2019 et SPOT-5 de 2009. Pour l'imagerie Pléiades de 2019, les images multispectrales ont été utilisées à cette étape puisqu'elles présentaient moins de réflexion spéculaire que celles ayant subi un affinage panchromatique.

En premier lieu, des polygones couvrant toute la superficie des plans d'eau où la zostère pouvait être présente ont été numérisés manuellement et à l'aide du trait de côte de 2008 tracé auparavant au LDGIZC (Drejza *et al.* 2014) dans le logiciel ArcGIS 10.5.1. Les portions des imageries Pléiades de 2019 et SPOT-5 de 2009 correspondant à ces polygones ont ensuite été extraites à l'aide de l'outil *Clip* afin de conserver seulement la superficie des plans d'eau.

Les portions aquatiques extraites des images Pléiades de 2019 et SPOT-5 de 2009 ont ensuite été importées dans le logiciel PCI Geomatica Banff afin d'effectuer une segmentation orientée objet à l'aide de l'outil *Object Analyst*. Les bandes du visible ont été utilisées pour générer la segmentation. La bande proche infrarouge n'a pas été intégrée à cette étape puisqu'elle ne pénètre pas assez dans la colonne d'eau et nuisait à la segmentation lors des tests effectués. Des indices de végétation, qui utilisent généralement le proche infrarouge, n'ont pas non plus été utilisés à cette étape pour la même raison. De plus, mis à part lors de l'utilisation de données hyperspectrales ou de résolution spectrale très fine (ex. : capteur Sentinelle 2), les indices de végétation élaborés jusqu'à maintenant ne permettent pas de distinguer la végétation submergée puisqu'ils sont davantage influencés par l'épaisseur de la colonne d'eau que par la présence ou non de végétation submergée (Jia *et al.* 2019; Ma et Zhou 2018). Les paramètres de forme et de compacité utilisés ont été tous les deux de 0,5. Un jeu de données a été généré à un paramètre d'échelle de 80 et un autre à 40. Le paramètre d'échelle a été ajusté de façon plus précise pour certains des petits secteurs (ex. : secteur de L'Étang-du-Nord) afin que la segmentation soit davantage représentative des classes de recouvrement végétal observées.

Ces segmentations ont ensuite été exportées en format shapefile. La segmentation la plus grossière (échelle 80) a été intégrée dans une géodatabase prévue à cet effet (voir la section 3.2.2.2) dans ArcGIS 10.5.1.

3.2.1.2 Segmentation manuelle

Une segmentation manuelle a été réalisée pour les secteurs cartographiés à partir de l'imagerie LDGIZC de 2008 (figure 5b) dans le logiciel ArcGIS 10.5.1 étant donné les caractéristiques de ces images. Cette source d'imagerie est formée d'une multitude de lanières qui ne se chevauchent pas. Il est alors impossible de générer des mosaïques pour les regrouper, et il aurait été beaucoup trop long de générer une segmentation automatisée pour chacune des lanières puis de les assembler. La segmentation manuelle a donc été retenue pour cartographier les herbiers de zostère pour la période de référence dans les secteurs pour lesquels l'imagerie 2008 du LDGIZC est utilisée.

Pour réaliser la segmentation manuelle, des polygones couvrant toute la superficie des plans d'eau où la zostère pouvait être présente ont été numérisés manuellement et à l'aide du trait de côte de 2008 tracé auparavant au LDGIZC (Drejza *et al.* 2014). Ces polygones ont par la suite été segmentés à l'aide de l'outil *Cut polygons* en utilisant les paramètres et les critères de photointerprétation présentés à la section 3.2.2.

3.2.2 Photointerprétation et intégration des informations dans des géodatabases

Cette étape consiste à retravailler la segmentation du territoire selon des critères préétablis de photointerprétation, et à intégrer les informations d'intérêt dans la table d'attributs pour chacun des polygones. Les outils d'édition *Merge*, *Cut polygons* et *Split polygons*¹ ont été utilisés pour retravailler la segmentation du territoire.

3.2.2.1 Échelles et taille minimale utilisée

Une échelle de 1 : 4 000 a été utilisée pour visualiser les polygones à retravailler, et les modifications apportées à la segmentation ont été effectuées à une échelle de 1 : 2 000. De plus, une taille minimale des polygones a été fixée à 1 000 m², à l'exception du haut estran et des schorres inférieurs des marais maritimes où aucune taille minimale n'a été déterminée afin d'éviter que ces polygones ne doivent être groupés avec des polygones où la zostère marine est présente.

¹ Le jeu de données de segmentation généré à échelle plus petite (généralement 40) a été utilisé via l'outil d'édition avancé *Split polygons* pour modifier des polygones lorsque cette segmentation était plus représentative des différentes classes de recouvrement végétal.

3.2.2.2 Géodatabases

Deux géodatabases de type fichiers (*File geodatabases*) ont été générées : une pour l'année récente (2019) et une seconde pour les années de référence (2008 et 2009). Le recouvrement végétal occupé par la zostère marine est l'information principale photointerprétée et intégrée dans la géodatabase. Il est distingué en 5 classes :

- Non végétalisé (0-1 %)
- Peu végétalisé (1-25 %)
- Semi-végétalisé (25-75 %)
- Végétalisé (75-100 %)
- Non déterminé

La présence d'autres espèces, lorsqu'observable, a été notée dans des champs séparés du recouvrement végétal occupé par la zostère marine. L'annexe 2 (page 88) présente les métadonnées des deux géodatabases créées pour la cartographie du recouvrement de la zostère marine.

3.2.2.3 Photointerprétation de la zostère marine

Pour la photointerprétation des zones peu profondes, les bandes spectrales ont été affichées en composé infrarouge fausses couleurs « 4-1-2 », soit le proche infrarouge affiché dans le canal rouge, le rouge associé au canal vert et le vert au canal bleu. Cet affichage est idéal pour identifier la végétation en milieu terrestre (NASA Earth Observatory, en ligne). Pour la cartographie de la zostère marine, cet affichage permet de distinguer différents types de végétation émergée s'il y a lieu et de distinguer les laisses de marées ou de tempêtes de la végétation vivante. La figure 6 présente quelques exemples provenant de l'imagerie LDGIZC (2008) :

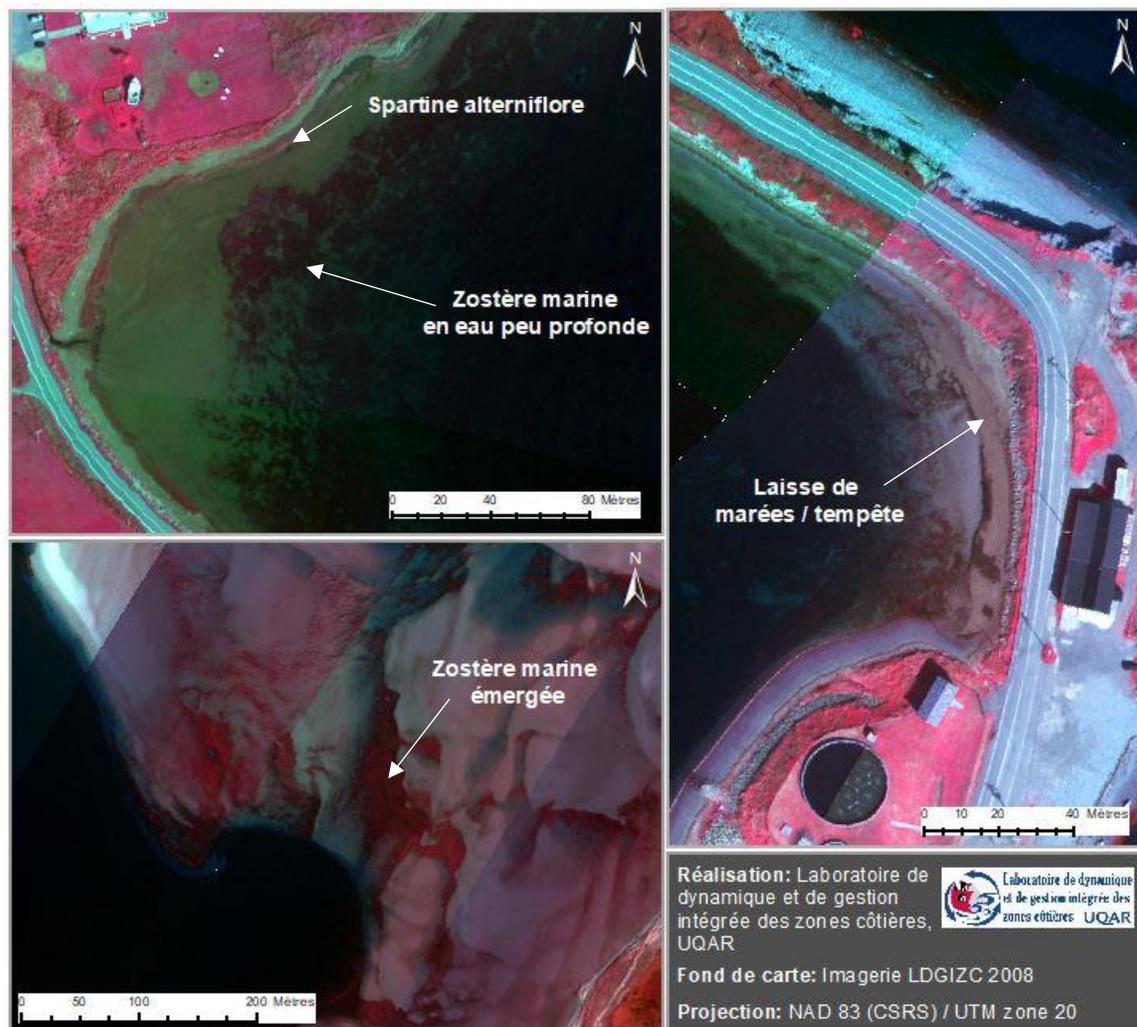


Figure 6 : Exemples de photointerprétation de la végétation à partir de l'imagerie LDGIZC de 2008 (secteur du Havre-Aubert)

La capacité à cartographier la végétation dans les zones plus profondes des lagunes est limitée. Premièrement, la bande infrarouge est absorbée par l'eau et parvient donc moins à traverser la colonne d'eau que les bandes du visible (rouge, vert, bleu). Les sources d'imagerie n'ayant que l'infrarouge, le rouge et le vert comme bandes spectrales (c'est le cas de l'imagerie SPOT-5 de 2009 et LDGIZC de 2008) ne permettent pas de visualiser les contrastes entre la végétation et le substrat lorsque la profondeur est de plus d'un ou deux mètres. La cartographie réalisée à partir de ces sources d'imagerie présente donc de grandes surfaces au recouvrement végétal « non déterminé ». Deuxièmement, l'imagerie satellitaire ne permet pas de distinguer les contrastes afin de pouvoir distinguer la végétation de la matière organique qui s'accumule dans les zones profondes des lagunes. Ainsi, même en utilisant les bandes spectrales du visible pour l'imagerie Pléiades de 2019, la capacité à cartographier les zones plus profondes est limitée. L'imagerie aérienne du MERN relevée en mai 2019 a donc été utilisée afin de compléter la

photointerprétation dans les zones plus profondes pour l'année récente. Ces images permettent entre autres de distinguer la zostère marine de la matière organique dans la plupart des zones profondes. Les données de validation terrain (voir la section 3.2.4 à la page 27) ont permis de confirmer que l'imagerie du MERN correspondait à la réalité terrain dans l'infralittoral malgré que les images aient été prises tôt dans la saison de croissance de la végétation. La figure 7 présente un exemple de photointerprétation dans l'infralittoral où on peut distinguer la zostère marine de la matière organique et du substrat nu.

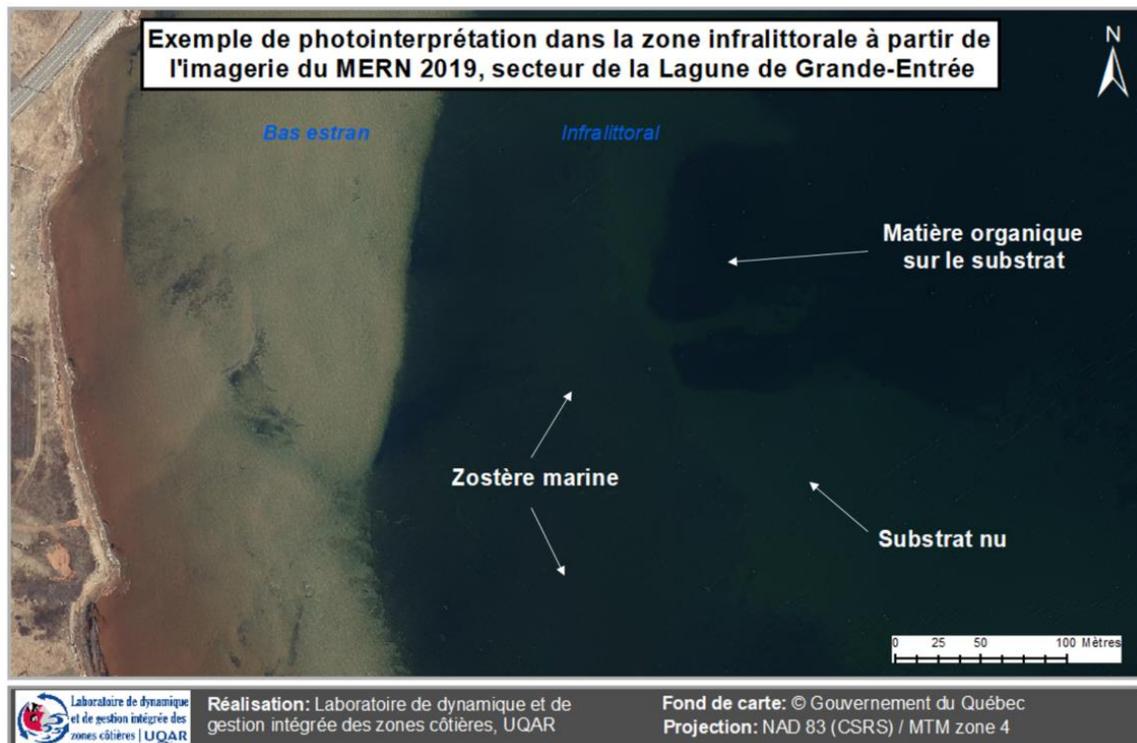


Figure 7 : Exemple de photointerprétation dans la zone infralittorale à partir de l'imagerie du MERN 2019 (secteur de la Lagune de la Grande-Entrée)

Les photos obliques prises lors des survols hélicoptérés en septembre 2010 et 2017 du LDGIZC ont aussi été utilisées pour aider à la photointerprétation au besoin.

3.2.3 Utilisation des données existantes

Une revue de la littérature sur la zostère marine aux Îles-de-la-Madeleine a permis de constater qu'il existe peu de données sur le sujet. Les données provenant de la revue de la littérature, de même que des données provenant du MPO et du LDGIZC, ont permis de confirmer la présence de la zostère dans certains secteurs. Toutefois, comme l'information au niveau du recouvrement végétal est généralement manquante, ces données n'ont pas pu être intégrées à l'analyse de l'évolution des herbiers de zostère sur l'archipel.

L'inventaire de la zostère marine dans la Baie James, la Baie des Chaleurs, l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent est la source principale de données cartographiques disponibles pour le territoire des Îles-de-la-Madeleine. Cet inventaire collige l'information provenant d'une revue de littérature de documents parus de 1987 à 2009. Un jeu de données présentant la distribution spatiale de la zostère à partir de cette revue de littérature est disponible en ligne sur le site Internet « Gouvernement ouvert » (Gouvernement du Canada (a), en ligne). Ce jeu de données a permis de confirmer la présence de la zostère dans plusieurs secteurs sur l'archipel. Il est toutefois possible que ce jeu de données ne représente pas l'ensemble de la distribution de la zostère marine aux Îles-de-la-Madeleine. Pour davantage d'informations, le document *Distribution et description des herbiers de zostère du Québec* de Martel *et al.*, 2009 présente les différents inventaires de la zostère marine ayant eu lieu dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent, notamment aux Îles-de-la-Madeleine.

Deux sources de validation terrain déjà effectuées au LDGIZC ont été consultées afin de valider la présence de zostère marine ou d'autres types de végétation. Ces étapes de validation terrain ont été effectuées dans le cadre de la cartographie des écosystèmes côtiers intertidaux du projet *Résilience côtière* du LDGIZC. La validation terrain a été effectuée à pied. En tout, 258 points de validation ont été effectués en zone intertidale. Ces données ont permis de confirmer la présence de zostère à certains endroits et d'identifier un secteur où la zostère n'avait pas encore été identifiée ni dans la littérature ni au cours de la *cartographie préliminaire rétrospective de la zostère marine*.

Finalement, des communications avec le MPO ont permis de cibler un secteur où la zostère marine n'avait pas été identifiée encore ni dans la littérature ni au cours de la *cartographie préliminaire rétrospective de la zostère marine* (MPO, 2020).

Ces différentes sources de données et d'informations ont permis d'identifier ou de valider la présence ou non de zostère marine et d'autres types de végétation. Par contre, aucune de ces sources d'informations ne permettait de valider la présence ou non de zostère marine dans les zones plus profondes des lagunes (au-delà de 1 à 2 mètres de profondeur) et donc de cartographier les herbiers de zostère de façon à dresser un portrait exhaustif pour les Îles-de-la-Madeleine.

3.2.4 Validation terrain et mise à jour de la cartographie

Une étape de validation terrain a été effectuée du 19 au 29 août 2020 afin de compléter la cartographie de la zostère marine dans les zones plus profondes des lagunes ainsi que dans les secteurs où il y avait un potentiel qu'elle soit confondue avec un autre type de végétation. La validation terrain a été effectuée par une équipe formée du LDGIZC et d'Attention Fragiles en utilisant 3 méthodes : en zodiac avec un ROV (*Remotely Operated underwater Vehicle*, c'est-à-dire un véhicule sous-marin téléguidé), en apnée avec une caméra GoPro et à pied avec un appareil

photo. Les protocoles de validation terrain s'inspirent de ceux élaborés par les équipes du LDGIZC (pour la validation intertidale) et du MPO (pour la validation infralittorale) dans le cadre de la cartographie des écosystèmes côtiers de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent. Pour davantage d'informations, l'annexe 3 présente les protocoles de validation terrain et l'annexe 4 présente la géodatabase utilisée pour colliger les informations récoltées pendant la validation terrain.

La cartographie a ensuite pu être mise à jour à partir de données de validation terrain. Pour les zones moins profondes où l'imagerie Pléiades de 2019 offrait une bonne visibilité, les données terrain ont été intégrées à la cartographie par photointerprétation et ont pu permettre de distinguer la présence d'autres types de végétation dans certains secteurs. Pour les zones plus profondes, l'imagerie aérienne du MERN datant du 13 mai 2019 a été utilisée pour intégrer les données par photointerprétation lorsque l'imagerie le permettait. Lorsque la photointerprétation ne permettait pas de délimiter l'étendue du territoire à laquelle s'appliquaient les données de validation d'un point donné, un cercle de 1 000 m² était dessiné autour du point afin d'y attribuer les informations provenant de la validation terrain.

3.3 Cartographie de l'évolution des herbiers de zostère

La cartographie de l'évolution des herbiers de zostère a été effectuée en comparant la cartographie du recouvrement végétal de la zostère marine de l'année récente (2019) avec celle de l'année de référence (2008 ou 2009). Les données de recouvrement végétal ont d'abord été jointes à des jeux de données de quadrillages. Le recouvrement de la zostère marine de 2019 et de 2008-2009, transféré en valeurs numériques, a ensuite pu être soustrait l'un à l'autre. Le résultat indique l'intensité du changement survenu entre les deux années. Les traitements ont été effectués en utilisant le logiciel ArcGIS 10.5.1.

L'intégralité des cartes du recouvrement végétal de la zostère marine (2008-2009 et 2019) et de son évolution est disponible dans le *Document cartographique du recouvrement végétal et de l'évolution des herbiers de zostère des Îles-de-la-Madeleine pour la période 2008-2009 à 2019* (Papageorges et Bernatchez, 2021). Un index des cartes est présenté à l'annexe 5.

3.3.1 Jeux de données de quadrillages

Deux jeux de données de quadrillages surfaciques ont d'abord été générés pour l'ensemble du territoire cartographié : un pour l'année récente et un pour la période de référence. Pour ce faire, l'outil *Fishnet* a été utilisé, avec une taille de cellules déterminée de 25 m² (largeur et hauteur de 5 m). Afin d'alléger les jeux de données et donc de faciliter les traitements, seules les cellules ayant leur centroïde compris à l'intérieur des zones préalablement cartographiées ont été conservées.

3.3.2 Joint spatial des données de recouvrement végétal

Un joint spatial (outil *Spatial join*) a ensuite été effectué pour joindre les informations du recouvrement végétal de la zostère marine aux jeux de données de quadrillages. Les champs de recouvrement végétal simplifiés (texte et valeurs numériques) ont été joints pour l'année récente et pour la période de référence, ajoutant quatre champs au jeu de données de quadrillages : COV_rec_t, COV_rec_v, COV_ref_t et COV_ref_v. Pour ces champs, « rec » et « ref » correspondent respectivement à l'année récente et à la période de référence, et « t » et « v » correspondent respectivement au recouvrement végétal en format texte simplifié et en valeurs numériques. Le tableau 3 présente les équivalences des champs de recouvrement végétal de la zostère marine.

Tableau 3 : Équivalences des champs de recouvrement végétal de la zostère marine

Zo_COV	COV_ref_t COV_rec_t	COV_ref_v COV_rec_v
Description (texte)	Simplifié (texte)	Simplifié (valeur numérique)
non végétalisé (0-1%)	nv	0
peu végétalisé (1-25%)	pv	1
semi-végétalisé (25-75%)	sv	2
végétalisé (75-100%)	vg	3
non déterminé	nd	30 ou 50 ¹
<Null>	ab ²	0

1 Les valeurs numériques de recouvrement végétal non déterminé ont été fixées à 50 pour l'année récente et à 30 pour la période de référence afin que la différence entre les deux années ne puisse pas être égale à 0 et soit différente des autres valeurs d'évolution.

2 Le code « ab » a été donné aux cellules qui n'avaient aucun recouvrement végétal inscrit, et correspondent à une absence de zostère marine, donc une valeur numérique de 0.

3.3.3 Calcul de l'évolution des herbiers de zostère

Un nouveau champ « Evolution » a ensuite été créé dans le jeu de données de quadrillages. À l'aide de l'outil *Field calculator*, le calcul suivant a été effectué afin de mesurer l'intensité du changement survenu entre l'année récente et la période de référence (équation 1) :

Équation 1 : Intensité du changement de recouvrement végétal de la zostère marine entre l'année récente et l'année de référence

$$EvolZostere = [COV_rec_v] - [COV_ref_v]$$

Les cellules ayant des valeurs d'évolution supérieures à 3 et inférieures à -3 ont été changées pour une même valeur (99) afin de les représenter sous une même classe. Ces cellules correspondent aux endroits où le recouvrement végétal occupé par la zostère n'avait pas pu être déterminé pour au moins une des deux années cartographiées.

Les cellules contiguës ayant les mêmes valeurs d'évolution ont ensuite été regroupées entre elles à l'aide de l'outil *Dissolve*. Finalement, les polygones de taille plus petite que 1 000 m² ont été intégrés aux polygones adjacents à l'aide de l'outil *Eliminate*.

Le tableau 4 présente l'intensité du changement associée aux valeurs numériques d'évolution du recouvrement végétal de la zostère marine.

Tableau 4 : Intensité du changement correspondant aux valeurs numériques d'évolution du recouvrement végétal de la zostère marine

Évolution	
Valeur numérique	Intensité du changement
-3	Dégradation élevée
-2	Dégradation modérée
-1	Dégradation légère
0	Aucun changement observé
1	Croissance légère
2	Croissance modérée
3	Croissance élevée
99	Non déterminée

Pour davantage d'informations, l'annexe 6 présente les métadonnées de la géodatabase de l'évolution de la zostère marine aux Îles-de-la-Madeleine pour la période de 2008-2009 à 2019.

3.4 Identification des sites d'herbiers de zostère dégradés

L'identification des sites d'herbiers de zostère dégradés a été effectuée de façon qualitative en prenant en compte l'intensité du changement survenu entre 2008-2009 et 2019 et son étendue par rapport à l'étendue des herbiers de zostère du plan d'eau. De plus, une importance supplémentaire a été accordée aux sites où des portions d'herbiers de zostère ont complètement disparues puisqu'il s'agit d'un niveau de dégradation plus important qu'un changement de recouvrement végétal.

L'identification des sites d'herbiers de zostère dégradés a été effectuée à l'aide du trio cartographique comprenant 1) l'évolution de la zostère marine, 2) le recouvrement végétal de la zostère en 2019 et 3) le recouvrement végétal de la zostère en 2008 ou 2009.

Le trio cartographique a été utilisé afin de pallier à deux limites de la méthodologie de l'évolution de la zostère marine, soit :

- 1) Toutes les surfaces qui ne montrent pas de changements de recouvrement végétal sont représentées de la même façon, incluant les surfaces où la zostère est absente (non végétalisées les deux années);
- 2) L'intensité du changement n'indique pas si un herbier de zostère est complètement disparu. Le changement qui implique la disparition d'un herbier de zostère consiste en une dégradation plus importante.

L'utilisation du trio cartographique permet donc, en plus de cibler les sites où un changement de recouvrement végétal s'est produit, d'identifier les endroits où un herbier de zostère aurait disparu, et, en cas d'absence de changement, de déterminer s'il s'agit d'un herbier de zostère stable dans le temps, ou s'il s'agit plutôt d'une zone non végétalisée qui n'est pas propice à la présence de la zostère marine. La figure 8 présente un exemple d'utilisation d'un trio cartographique.

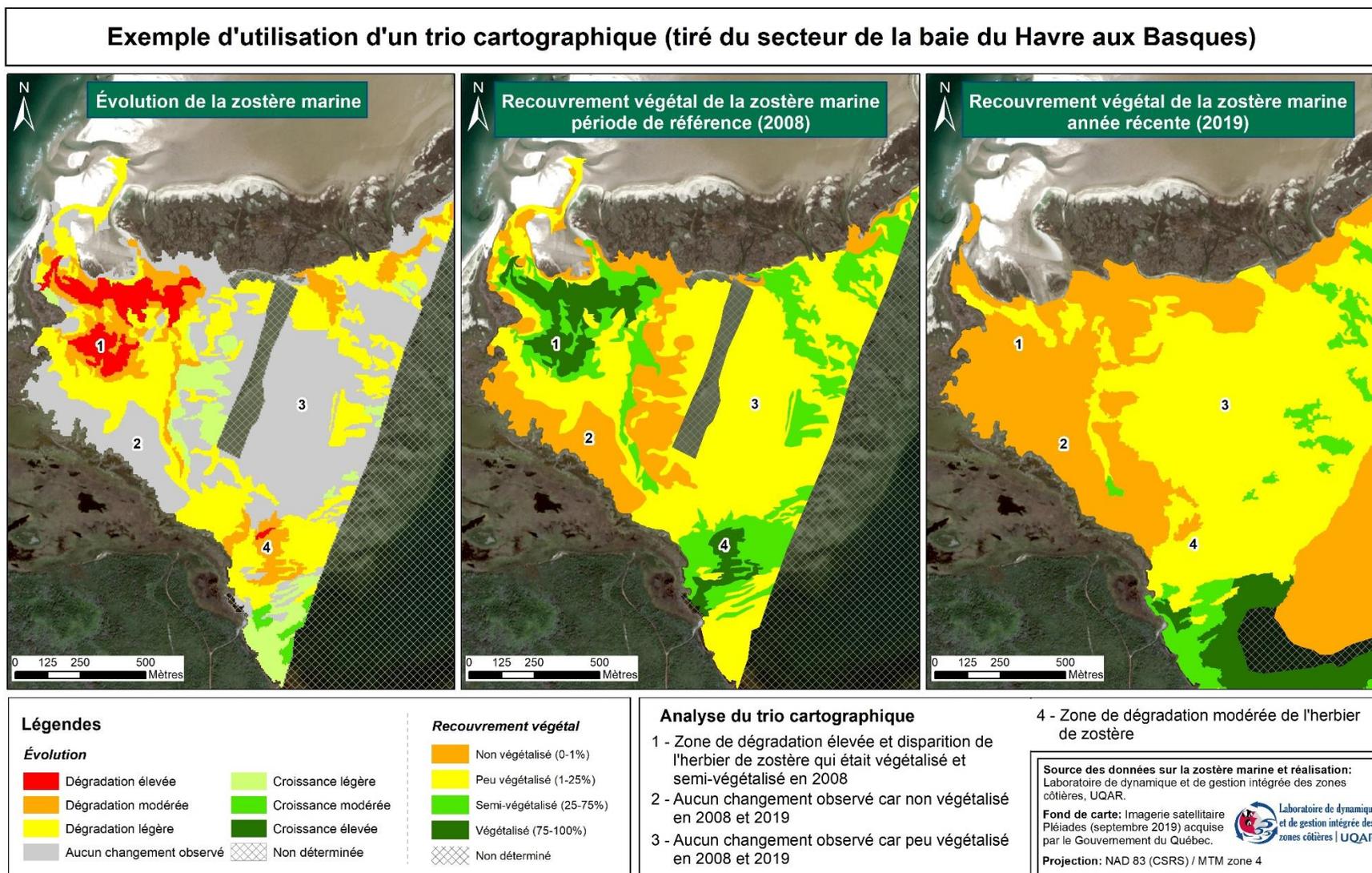


Figure 8: Exemple d'utilisation d'un trio cartographique de la zostère marine (secteur de la baie du Havre aux Basques)

3.5 Analyse et identification des milieux sableux dunifiés et milieux humides dégradés

Une comparaison qualitative de l'imagerie de l'année récente (2019) avec celle de l'année de référence (2008 ou 2009) a permis d'identifier des milieux sableux dunifiés (flèches littorales, tombolos/cordons littoraux et terrasses de plages) et des milieux humides dégradés sur le continuum côtier aux Îles-de-la-Madeleine.

Pour ce faire, quatre indicateurs permettant de quantifier l'amplitude du changement observé ont été utilisés :

- Superficie de végétation érodée ou ensablée;
- Superficie de l'empiètement de milieux sableux dans le milieu aquatique;
- Largeur du milieu sableux dunifié;
- Recul de fronts dunaires et de caoudeyres.

Une échelle de numérisation de 1 : 2 000 a été utilisée pour la cartographie des indicateurs de dégradation. Les images ont été affichées en composés infrarouge fausses couleurs (4-1-2) afin de pouvoir distinguer la végétation psammophile, propre aux milieux sableux, de celle des milieux humides. Les photos obliques prises lors des survols hélicoptérés en septembre 2010 et 2017 du LDGIZC ont aussi été utilisées pour aider à la photointerprétation au besoin.

Une liste des jeux de données générés pour l'analyse des milieux sableux et des milieux humides dégradés est présentée à l'annexe 7, et les métadonnées des jeux de données utilisés sont présentées à l'annexe 8.

3.5.1 Distinction de la végétation psammophile et de milieux humides par photointerprétation

Les composés infrarouge fausses couleurs (4-1-2) ont été utilisés pour distinguer la végétation psammophile, propre aux milieux sableux, de celle des milieux humides par photointerprétation. Pour ce type d'affichage, la bande infrarouge est affichée dans le canal rouge, la bande rouge est associée au canal vert et la bande verte au canal bleu.

Le continuum côtier des Îles-de-la-Madeleine est composé de deux principaux types de végétation psammophile : celle des dunes mobiles et celle des dunes fixées. Dans le cas des dunes mobiles, la végétation est dominée par l'ammophile à ligule courte (*Ammophila brevigulata*), une espèce adaptée aux apports sableux fréquents qui enfouissent la végétation. Sur les dunes fixées, où les apports sableux sont moins fréquents, on retrouve aussi des mousses (*Polytrichum sp.*) et des lichens (*Cladonia sp.*), ainsi que des espèces ligneuses telles que l'arctostaphyle raisin-d'ours (*Arcostaphylos uva-ursi*), la camarine noire (*Empetrum nigrum*), l'HUDSONIE tomenteuse (*HUDSONIA tomentosa*), des génévriers (*Juniperus communis* var. *megistocarpa* et *Juniperus horizontalis*) et le myrique de Pennsylvanie (*Myrica pennsylvanica*) (Grandtner, 1968).

La végétation des milieux humides peut être très variée et dépend du type de milieu humide duquel il s'agit (marais, étang, marécage, tourbière, pré humide). Le type de milieu humide le plus fréquemment retrouvé en périphérie des lagunes est le marais maritime (salé ou saumâtre), caractérisé par une végétation herbacée aquatique et halophyte. Son étage inférieur, appelé schorre inférieur, est généralement dominé par la spartine alterniflore (*Spartina alterniflora*), alors que son étage supérieur, appelé schorre supérieur, peut être composé d'espèces variées en fonction principalement de la durée d'immersion par la mer et de la salinité.

Sur les composés infrarouge fausses couleurs, la végétation psammophile et de milieux humides prennent des couleurs ou teintes différentes qui permettent de les distinguer. La figure 9 présente des exemples typiques de végétation psammophile et de marais maritimes présents sur le continuum côtier de l'archipel :

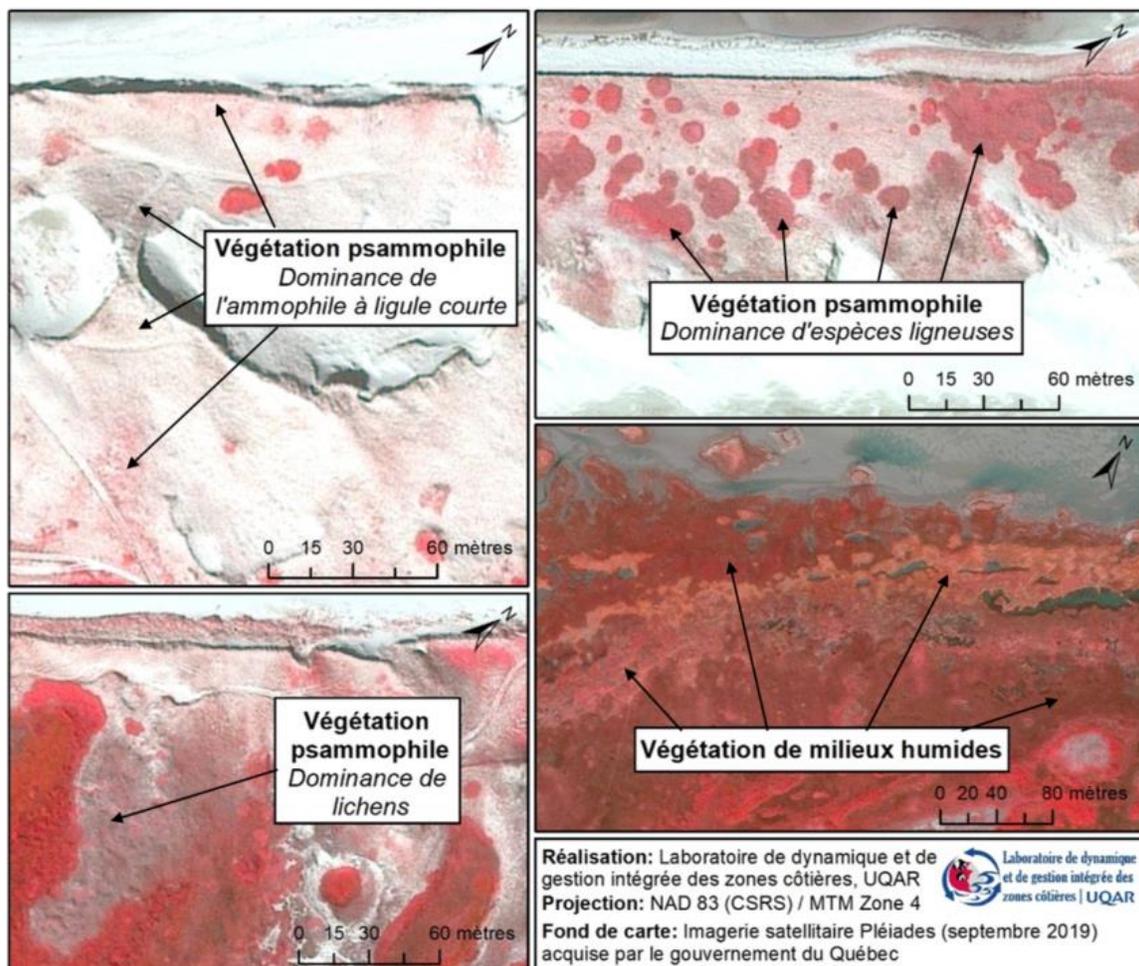


Figure 9 : Exemples de photointerprétation de la végétation psammophile et de marais maritimes aux Îles-de-la-Madeleine à l'aide des composés infrarouge fausses couleurs

3.5.2 Indicateurs de dégradation des milieux sableux dunifiés et des milieux humides

3.5.2.1 Superficie de végétation érodée ou ensablée

Le calcul de la superficie de végétation érodée ou ensablée consiste d'abord à numériser manuellement la superficie végétalisée (recouvrement végétal supérieur à 50 %) pour chacune des années comparées. L'outil *Symmetrical difference* de la boîte d'outils *Overlay* a été utilisé pour distinguer les pertes et les gains de superficie de végétation survenus entre les deux années (voir exemple figure 10). Afin de tenir compte des gains, le calcul de la superficie de végétation érodée ou ensablée correspond au total des pertes à laquelle est soustraite le total des gains. Cet indicateur peut être utilisé à la fois pour les milieux sableux et pour les milieux humides et, exceptionnellement, pour les noyaux rocheux.

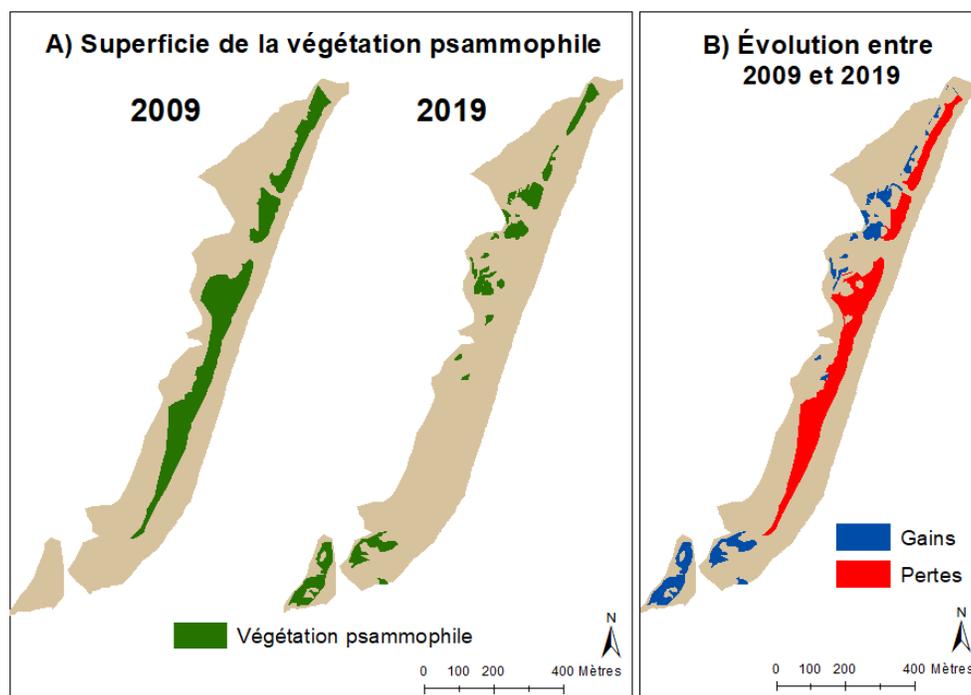


Figure 10 : (A) Superficie de la végétation psammophile en 2009 et en 2019 et (B) évolution entre les deux années par l'utilisation de l'outil Symmetrical difference (exemple de la flèche littorale du Bassin Est, secteur du Bassin aux Huîtres)

Dans le cas de milieux humides en cours d'ensablement, mais où le recouvrement de la végétation est encore supérieur à 50 %, la zone où est localisé l'ensablement est numérisée manuellement en comparant l'imagerie utilisée pour l'année récente avec celle de la période de référence.

3.5.2.2 Superficie de l'empiètement du milieu sableux dans le milieu aquatique

Cet indicateur est utilisé pour calculer la superficie de l'empiètement du milieu sableux dans le milieu aquatique pour les plans d'eau intérieurs. Il consiste d'abord à numériser manuellement la

portion visée du milieu aquatique pour chacune des années comparées. Pour ce faire, le niveau d'eau apparent sur les images a été utilisé comme limite pour tracer le milieu aquatique. Les plans d'eau intérieurs sont toutefois sujets à des variations de niveaux d'eau causées par plusieurs facteurs (marées, surcote, surcote survenue au cours des jours précédents, vidange saisonnière de certains plans d'eau, etc.). Afin de s'assurer que les changements observés correspondent à l'empiètement du milieu sableux dans le milieu aquatique et non à une différence de niveau d'eau, les niveaux d'eau apparents des imageries utilisées ont été comparés visuellement dans les zones des plans d'eau intérieurs visés qui n'ont pas connu d'apport sédimentaire. Si une différence de niveau d'eau était notée, une autre source d'imagerie a été utilisée pour tracer la limite de l'eau.

Tout comme pour le calcul de la superficie de végétation érodée ou ensablée, l'outil *Symmetrical difference* de la boîte d'outils *Overlay* a été utilisé pour distinguer les pertes et les gains de superficie de milieux aquatiques survenus entre les deux années. Les pertes correspondent à la superficie de l'empiètement du milieu sableux dans le milieu aquatique.

3.5.2.3 Largeur du milieu sableux dunifié

La largeur du milieu sableux dunifié est utilisée en tant qu'indicateur de dégradation potentielle dans les secteurs qui présentent un milieu sableux dunifié de faible largeur et qui risque d'entraîner une dégradation de milieux humides ou d'herbiers de zostère. L'outil de mesure de ArcGIS a été utilisé pour mesurer manuellement la largeur du milieu sableux dunifié aux endroits les plus minces à partir de l'imagerie Pléiades de 2019. La mesure est effectuée entre les deux limites de la végétation psammophile dense (recouvrement végétal supérieur à 50 %) (figure 11). La végétation de milieu humide, si présente, n'est pas incluse dans la mesure.



Figure 11 : Exemple de mesure de la largeur du milieu sableux dunifié (Baie Clarke, secteur de la Pointe de l'Est)

3.5.2.4 Recul de fronts dunaires et de caoudeyres

Dans des sites préalablement identifiés, le sommet des fronts dunaires et de caoudeyres a été marqué d'un point sur l'imagerie de la période de référence (2008-2009) et celle de l'année récente (2019), de façon à pouvoir tracer une ligne perpendiculaire à la face en érosion (figure 12). Les points ont été posés aux endroits présentant les reculs les plus élevés. L'outil de mesure de ArcGIS a ensuite été utilisé pour mesurer manuellement le recul survenu entre les deux années.

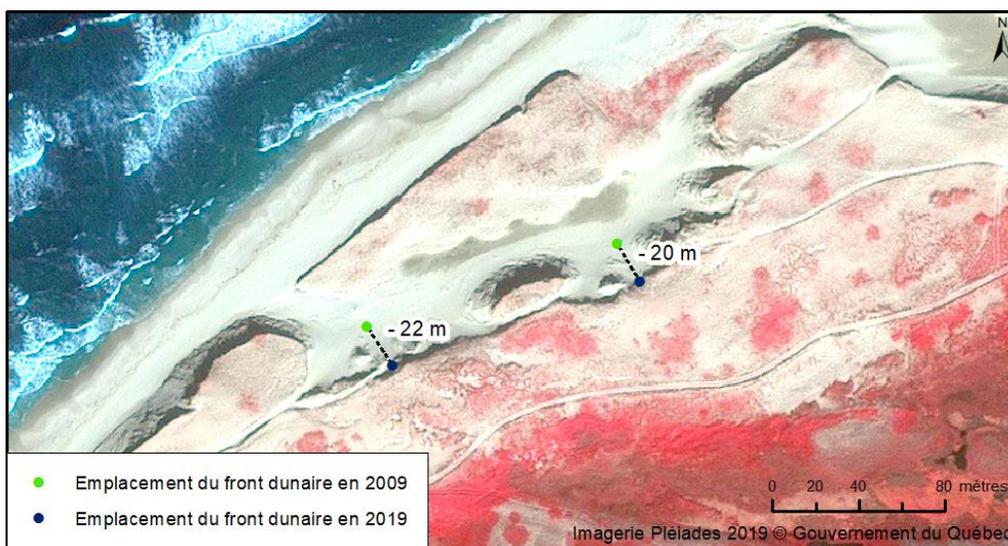


Figure 12 : Exemple de mesure du recul d'un front dunaire (tombolo/cordon littoral de la Dune du Nord, secteur de la Lagune du Havre-aux-Maisons)

3.5.3 Utilisation de données existantes

Des données existantes ont été utilisées afin de décrire la dynamique côtière de certains sites dégradés identifiés dans le *portrait des écosystèmes côtiers dégradés*, ainsi que de cibler certaines causes ayant pu mener à la dégradation du site. Trois types de données principales ont été utilisées : les types de côtes (Drejza *et al.*, 2014), l'évolution historique du littoral entre 1963 et 2008 (Drejza et Bernatchez, 2013; Bernatchez *et al.*, 2012), ainsi que l'évolution récente du littoral entre 2005 et 2019 (LDGIZC, 2020; Bernatchez et Drejza, 2015).

Les types de côtes ont été déterminés à partir de la caractérisation côtière réalisée en 2014 dans le cadre du projet *Vulnérabilité des infrastructures routières de l'Est du Québec à l'érosion et à la submersion côtière dans un contexte de changements climatiques : Caractérisation des côtes, dynamique hydrosédimentaire et exposition des infrastructures routières à l'érosion et à la submersion, Est du Québec, Volume I, Projet X008.1* (Drejza *et al.*, 2014). La ligne de côte des Îles-de-la-Madeleine a été tracée à partir de l'imagerie du LDGIZC de 2008. Les données brutes de la ligne de côte ont été utilisées pour déterminer les types de côtes des secteurs et des sites dégradés présentés dans le *portrait des écosystèmes côtiers dégradés*.

L'évolution historique du littoral des Îles-de-la-Madeleine (1963-2008) a été réalisée dans le cadre du projet *Marges de sécurité en érosion côtière : évolution historique et future du littoral des îles de la Madeleine* (Bernatchez et al., 2012) et du rapport interne *Géomorphologie, dynamique côtière et vulnérabilité des Îles de la Madeleine* du LDGIZC (Drejza et Bernatchez, 2013). Les lignes de côte ont été tracées pour l'ensemble de l'archipel à partir d'imageries de 1963, 1983 et de 2008. Des taux de déplacement moyens ont été générés pour 3 périodes, soit 1963-1983, 1983-2008, ainsi que 1963-2008 et ont été utilisés dans le *portrait des écosystèmes côtiers dégradés* afin de caractériser la dynamique côtière du site. Les taux de déplacement probables ainsi que les reculs maximums événementiels enregistrés selon le type de côte, présentés dans Bernatchez et al., 2012, ont aussi été utilisés.

L'évolution récente du littoral (2005-2019) provient des données du *Réseau de suivi de l'érosion côtière du Québec maritime* du LDGIZC (LDGIZC, 2012; Bernatchez et Drejza, 2015). Ce réseau de suivi consiste à mesurer annuellement le déplacement du littoral à partir de stations de mesure fixes. Aux Îles-de-la-Madeleine, un total de 1 137 stations de mesure ont été implantées depuis 2005, desquelles 1 041 faisaient toujours l'objet d'un suivi annuel en 2019. Pour le *portrait des écosystèmes côtiers dégradés*, des moyennes des taux de déplacement annuels ont été générées pour certains sites spécifiques afin de représenter l'évolution récente du littoral, sous les effets combinés de la dynamique côtière du site, des changements climatiques et d'impacts anthropiques.

4. Portrait des écosystèmes côtiers dégradés

Le *portrait des écosystèmes côtiers dégradés* est présenté pour chacun des 9 grands secteurs de continuum côtier identifiés : la Pointe de l'Est, le Bassin aux Huîtres, la Lagune de la Grande-Entrée, la Lagune du Havre-aux-Maisons, L'Étang-du-Nord, Gros-Cap, la Baie du Havre aux Basques, la Baie du Bassin et Havre-Aubert / Sandy Hook (figure 4).

Pour chaque secteur, les éléments suivants sont présentés :

- Une présentation du secteur où sont décrits les principaux éléments qui forment le continuum côtier;
- Les constats généraux par rapport à la zostère marine;
- Certains sites dégradés d'herbiers de zostère, de milieux humides et de milieux sableux dunifiés.

Les sites dégradés qui y sont présentés sont des herbiers de zostère et des milieux humides situés sur le continuum côtier, ainsi que des milieux sableux qui protègent l'un ou l'autre de ces écosystèmes. Ils présentent une intensité ou une étendue de dégradation élevée (parfois les deux) et ont été sélectionnés de façon qualitative à partir d'un ratio comprenant l'intensité et la taille du site dégradé en comparaison avec la taille du secteur dont il fait partie. En ce qui concerne les herbiers de zostère, l'ensemble des sites dégradés rejoignant ces critères ont été retenus puisque les causes de dégradation sont généralement difficiles à identifier. Pour les milieux humides et sableux, les sites retenus sont principalement ceux pour lesquels la cause de la dégradation semble être liée à des impacts anthropiques (ex. : circulation en véhicules motorisés). Toutefois, certains sites pour lesquels la dégradation est liée à une dynamique naturelle ont été conservés dans le but de contextualiser cette dynamique.

Afin de visualiser la couverture complète de l'archipel, l'intégralité des cartes du recouvrement végétal de la zostère marine (2008-2009 et 2019) et de son évolution sont présentées dans le *Document cartographique du recouvrement végétal et de l'évolution des herbiers de zostère de l'archipel pour la période 2008-2009 à 2019* (Papageorges et Bernatchez, 2021). L'index des cartes du document cartographique est présenté à l'annexe 5 du présent rapport. De plus, l'annexe 9 présente, pour chaque secteur, la superficie des classes d'évolution de la zostère marine.

4.1 Pointe de l'Est

4.1.1 Présentation du secteur

La Pointe de l'Est est une flèche littorale qui débute au niveau des noyaux rocheux de l'île de Grosse-Île, de l'île de l'Est et de l'île de la Grande-Entrée et s'étend vers l'est, formant l'extrémité orientale de l'archipel. Elle est constituée de milieux sableux dunifiés mobiles et fixés, d'une baie (Baie Clarke), d'étangs et de nombreux marais maritimes et milieux humides d'eau douce. Une réserve nationale du faune y a été créée en 1978 pour préserver son importance écologique pour les oiseaux migrateurs et pour la reproduction et la nidification d'espèces en péril (Pluvier siffleur et Grèbe esclavon) (Gouvernement du Canada (b), en ligne). La Pointe de l'Est présente une forte érosion de sa portion nord, ainsi qu'une forte accumulation au niveau de sa portion sud où a été mesuré le bilan sédimentaire positif le plus élevé de l'archipel pour la période de 1983 à 2008 (Bernatchez *et al.*, 2012). Des écosystèmes côtiers sont donc érodés du côté nord, alors que de nouveaux se forment du côté sud. Il s'agit de la dynamique naturelle de la flèche littorale.

La zostère marine est présente dans la Baie Clarke seulement, où se trouve un herbier de zostère très dense. Ce plan d'eau de petite taille (environ 1,5 km²) est connecté à la lagune de la Grande-Entrée par une ouverture mince à son extrémité ouest. Elle n'a pas de connexion directe avec la mer. Le pourtour de la Baie Clarke est généralement formé de battures qui se transforment en zones infralittorales peu profondes d'une centaine de mètres de largeur et qui s'étendent au-delà de 300 m par endroits. Deux zones plus profondes sont présentes à l'est (environ 5,5 m de profondeur) et à l'ouest (1,5 à 2,5 m de profondeur). La zostère marine est principalement présente au niveau des zones infralittorales peu profondes, où elle forme des herbiers denses.

4.1.2 Constats généraux par rapport à la zostère marine

Les cartes du recouvrement végétal de la zostère marine de 2009 et de 2019 et de son évolution peuvent être visualisées aux cartes 1 à 3 du document cartographique (Papageorges et Bernatchez, 2021). Seule la Baie Clarke y est représentée puisqu'il s'agit de l'unique plan d'eau où la zostère est présente dans la Pointe de l'Est. Voici les principaux constats par rapport à la zostère marine pour la Baie Clarke :

- En 2019 et en 2009, l'herbier de zostère végétalisé couvrait respectivement 44 % et 42 % de la superficie totale de la Baie Clarke, ce qui en fait le plan d'eau ayant le ratio de recouvrement de zostère marine le plus élevé de l'archipel;
- L'herbier de zostère est généralement stable dans le temps;
- L'évolution présente des sites de dégradation élevée de petite taille sur le pourtour des zones infralittorales profondes, mais la dégradation observée pourrait être liée à une erreur d'interprétation (voir section suivante).

4.1.3 Herbiers de zostère, milieux humides et milieux sableux dunifiés dégradés

Trois sites de milieux sableux dunifiés et de milieux humides dégradés ou à risque de le devenir ont été identifiés dans le secteur de la Pointe de l'Est : la *dune parabolique de la Baie Clarke*, le *milieu sableux dunifié au nord-est de la Baie Clarke* et le site de *l'Étang-de-l'Est*.

Des sites dégradés d'herbiers de zostère de petite taille ont aussi été ciblés sur le pourtour des zones infralittorales profondes de la Baie Clarke, mais ne sont pas présentés dans le *portrait des écosystèmes côtiers dégradés*. La dégradation apparente pourrait effectivement être causée par l'érosion du pourtour des zones profondes ou à de l'ensablement, mais elle pourrait toutefois aussi être liée à une erreur d'interprétation de l'imagerie SPOT-5 de 2009 puisque les zones profondes y sont moins bien visibles. Ces sites n'ont donc pas été retenus pour l'instant pour cette raison, mais seront à réanalyser dans le futur afin de confirmer leur évolution.

4.1.3.1 Dune parabolique de la Baie Clarke

La dune parabolique de la Baie Clarke est influencée par la déflation éolienne uniquement, n'étant pas exposée directement aux vagues. Son front dunaire présente un dénivelé d'environ 15 m et fait face au nord-ouest. Cette déflation éolienne a été accentuée au cours des dernières années par le passage de véhicules tout terrain (VTT) qui fragilisent le sommet de la dune et y ouvrent des brèches (Attention Fragîles, 2019).

La portion sud-ouest de la dune parabolique est la plus affectée par le passage de VTT, avec un recul du front de la dune allant de 7 à 28 m en 10 ans (figure 13). La portion nord-est de la dune parabolique, moins affectée par la circulation en VTT, montre plutôt des reculs allant de 5 à 15 m en 10 ans.

De plus, la dégradation de la végétation au sommet de la dune dans la portion sud-ouest semble entraîner un plus grand déplacement de sable à l'arrière de la dune, où une zone de près de 10 910 m² de marais maritime est en cours d'ensablement. Cet ensablement a aussi pu être constaté sur le terrain, où des espèces typiques de milieux humides tels que le myrique baumier (*Myrica gale*) et des quenouilles (*Typha sp.*) sont en partie ensevelies sous le sable.



Figure 13 : (A) Localisation du site dans le secteur de la Pointe de l'Est et (B) dégradation de la dune parabolique de la Baie Clarke

Le milieu aquatique situé à proximité risque lui aussi de recevoir un apport supplémentaire en sédiments provenant de la dune parabolique. À noter que la zostère marine ne tolère pas bien l'ensablement de ses parties foliaires et risque d'engendrer de la mortalité (Mills et Fonseca, 2003). Le suivi des variations topographiques à haute précision avec un DGPS permettra éventuellement de confirmer la présence ou non d'un apport sédimentaire dans le milieu aquatique.

4.1.3.1 Milieu sableux dunifié au nord-est de la Baie Clarke

Le milieu sableux dunifié situé au nord-est de la Baie Clarke et qui sépare le milieu marin de la baie est très mince. Sa largeur est de 27 et 31 m à son plus mince dans les encoches dunaires et de 54 m à son plus mince sans considérer les encoches (figure 14).



Figure 14 : (A) Localisation du site dans le secteur de la Pointe de l'Est et (B) largeur du cordon littoral dunifié situé au nord-est de la Baie Clarke

Les données historiques d'évolution côtière (Drejza et Bernatchez, 2013) et les suivis récents de l'érosion côtière (LDGIZC, 2020) indiquent que la dynamique de ce site varie dans le temps, en oscillant entre des phases d'accumulation et d'érosion (tableau 5). Le littoral tend tout de même à reculer, puisque le milieu dunifié était de plus de 100 m de largeur à cet endroit en 1963 et en 1983.

Tableau 5 : Phases d'accumulation et d'érosion du cordon sableux dunifié au nord-est de la Baie Clarke de 1963 à 2019 selon le taux de déplacement moyen du littoral

Période	Taux de déplacement moyen (m/an)	Situation
1963 à 1983	0,6	Accumulation
1983 à 2008	-3,7	Érosion
2008 à 2012	-1,0	Érosion
2012 à 2019	2,4	Accumulation

De plus, le recul maximum atteint lors d'un seul événement de tempête sur les flèches littorales de l'archipel est de 15 m (Bernatchez *et al.*, 2012), soit environ la moitié de la largeur du milieu dunifié mesuré au niveau des encoches au nord-est de la Baie Clarke. Une période de fortes tempêtes recrudescentes pourrait donc mener à la formation de brèches. La présence d'encoches augmente le risque de formation de brèches et accroît donc la vulnérabilité des marais maritimes et des herbiers de zostère vigoureux de la Baie Clarke protégés par ce milieu sableux dunifié.

4.1.3.2 L'Étang-de-l'Est

L'Étang-de-l'Est, de taille comparable à la Baie Clarke, est un plan d'eau dont le niveau fluctue en fonction de l'accumulation de l'eau de fonte des neiges et de la vidange périodique de l'étang par une passe qui s'ouvre sur le cordon. Le plan d'eau est entouré de marais maritimes (salés ou saumâtres), normalement abrités par des systèmes dunaires mobiles et fixés (O'Carroll et Jolicoeur, 2018). La zostère marine n'y est pas présente.

Le cordon sableux dunifié qui séparait le plan d'eau du milieu marin s'est fortement dégradé. En 2019, la végétation psammophile y était presque absente. Sa dégradation a entraîné l'ensablement de 25 675 m² de marais maritimes qui bordaient le nord-ouest de l'étang (figure 15). De plus, l'absence de végétation psammophile pour retenir le sable en place a aussi causé un ensablement important dans le milieu aquatique, d'une superficie d'environ 79 025 mètres carrés². Cet ensablement a mené à l'isolement d'une portion de l'étang.

² À noter : l'ensablement a été tracé à partir de l'imagerie aérienne du MERN datant de mai 2019 puisque les niveaux d'eau étaient comparables à ceux de l'imagerie SPOT-5 2009. L'ensablement tracé correspond donc à un ensablement réel, et non à une fluctuation du niveau d'eau de l'étang.



L'ensemble du site est en érosion, avec un taux de déplacement moyen de -4,9 m/an pour la période allant de 1963 à 2008 (Drejza et Bernatchez, 2013). Le taux de migration probable établi pour cette portion de la flèche littorale entre 2012 à 2060 est de 3,0 à 6,0 m/an (Bernatchez et al., 2012). Les tronçons restants du cordon sableux dunifié sont donc aussi à risque de se dégrader et de migrer vers le milieu aquatique de l'Étang-de-l'Est. Il s'agit de la dynamique naturelle propre à l'extrémité de la flèche littorale de la Pointe de l'Est, caractérisée par une forte érosion du côté nord, et une forte accumulation du côté sud.

4.2 Bassin aux Huîtres

4.2.1 Présentation du secteur

Le Bassin aux Huîtres est un plan d'eau intérieur de petite taille (environ 1,4 km²) situé au sud-est du noyau rocheux de l'île de la Grande-Entrée. Le plan d'eau est formé par la flèche littorale du Bassin Est, le tombolo/cordon littoral du Bassin Ouest, et par le noyau rocheux de l'Île Boudreau. Un goulet qui permet la connexion avec le milieu marin se forme de façon périodique généralement à l'extrémité sud de la flèche littorale du Bassin Est et, plus récemment, à d'autres endroits sur la flèche.

Le pourtour du milieu aquatique est formé de bas estrans meubles qui se poursuivent en zones infralittorales peu profondes variant de quelques mètres à 200 m de largeur, sauf au niveau de la

flèche littorale du Bassin Est où la transition entre les bas estrans meubles et la zone infralittorale profonde est abrupte. Le centre du plan d'eau est constitué d'une zone infralittorale dont la profondeur varie entre 1,5 et 3 m. La colonne d'eau présente une turbidité généralement plus élevée que dans les autres plans d'eau intérieurs de l'archipel en raison de la présence d'argilites dans la composition géologique du secteur.

La zostère marine est principalement présente dans la zone infralittorale peu profonde présente sur le pourtour du plan d'eau à l'exception de la portion qui borde la flèche littorale du Bassin Est. La zostère marine est toutefois absente du centre du plan d'eau malgré les profondeurs peu élevées. Son absence est probablement liée à la turbidité généralement élevée dans le Bassin aux Huîtres qui réduit l'accès à la lumière. Des milieux humides sont présents de façon éparse sur tout le périmètre du plan d'eau. Ceux de plus grandes tailles sont abrités par le tombolo/cordon littoral du Bassin Ouest (au sud du plan d'eau) et situés à la base de la flèche littorale du Bassin Est (au nord du plan d'eau).

4.2.2 Constats généraux par rapport à la zostère marine

Les cartes du recouvrement végétal de la zostère marine de 2009 et de 2019 dans le Bassin aux Huîtres et de son évolution peuvent être visualisées aux cartes 4 à 6 du document cartographique (Papageorges et Bernatchez, 2021). Voici les principaux constats par rapport à la zostère marine pour ce secteur :

- Les herbiers de zostère de petite taille situés le long des bas estrans meubles qui bordent la flèche littorale du Bassin Est ont complètement disparus;
- Les herbiers de zostère marine situés en périphérie du plan d'eau sont généralement stables, avec des zones de croissance et de dégradation environ équivalentes;
- Certaines portions d'herbiers de zostère situées à proximité des zones infralittorales profondes semblent être en dégradation, mais la dégradation observée pourrait être liée à une erreur d'interprétation (voir section suivante).

4.2.3 Herbiers de zostère, milieux humides et milieux sableux dunifiés dégradés

Trois sites d'herbiers de zostère, de milieux humides, de milieux sableux dunifiés et même de noyau rocheux dégradés ont été identifiés dans le secteur du Bassin aux Huîtres : le site du *Bassin Est, l'extrémité est du noyau rocheux de l'Île Boudreau* et le site du *Bassin Ouest*.

Les portions d'herbiers de zostère qui semblent être en dégradation en périphérie des zones infralittorales profondes ne sont pas présentées dans le *portrait des écosystèmes côtiers dégradés*. Leur dégradation apparente pourrait être une dégradation réelle, mais il pourrait aussi s'agir d'une erreur d'interprétation de l'imagerie SPOT-5 de 2009 puisque les zones profondes y

sont moins bien visibles. Ces sites n'ont donc pas été retenus pour l'instant pour cette raison, mais seront à réanalyser dans le futur afin de confirmer leur évolution.

4.2.3.1 Bassin Est

La flèche littorale du Bassin Est, autrefois dunifiée, s'est fortement dégradée en 10 ans. Entre 2009 et 2019, elle a perdu environ la moitié de sa superficie de végétation psammophile en passant de 60 991 m² à 30 538 m² (une perte de 30 449 m²). Cette dégradation a entraîné la perte de 22 610 m² de milieux humides soit par l'ensablement, l'érosion ou la submersion marine (figure 16b).

De plus, la végétation n'étant plus présente pour retenir le sable et former une dune, le déplacement latéral du sable vers le Bassin aux Huîtres a mené à un empiètement de 60 063 m² du milieu sableux dans le milieu aquatique (figure 16c). Les petits herbiers de zostère présents en 2009 sur les bas estrans meubles abrités par la flèche littorale ont été complètement dégradés dû à l'ensablement qui en a résulté (figure 16b).

Les données historiques de l'évolution côtière montrent que la dynamique naturelle du site tend à l'érosion, avec des taux de déplacement moyens de - 0,62 m/an pour la période allant de 1963 à 1983 et de - 1,46 m/an pour la période allant de 1983 à 2008 (Drejza et Bernatchez, 2013). Il est connu que la diminution de la durée de l'englacement et la hausse du niveau moyen relatif de la mer entraînent une accélération de l'érosion côtière (Bernatchez *et al.*, 2008; Corriveau *et al.*, 2019). Toutefois, la dégradation de la végétation psammophile sur l'ensemble du site risque d'être davantage causée par une augmentation de la circulation en véhicules motorisés sur la flèche littorale du Bassin Est, observée au cours des dernières années (Attention Fragîles, 2019). De plus, le profil bas du milieu sableux dunifié déjà fragilisé favorise la submersion marine et le déplacement du sable lors des événements de tempêtes, ce qui contribue aussi à la dégradation du site, comme ce fut le cas lors de la tempête Dorian du 8 septembre 2019.

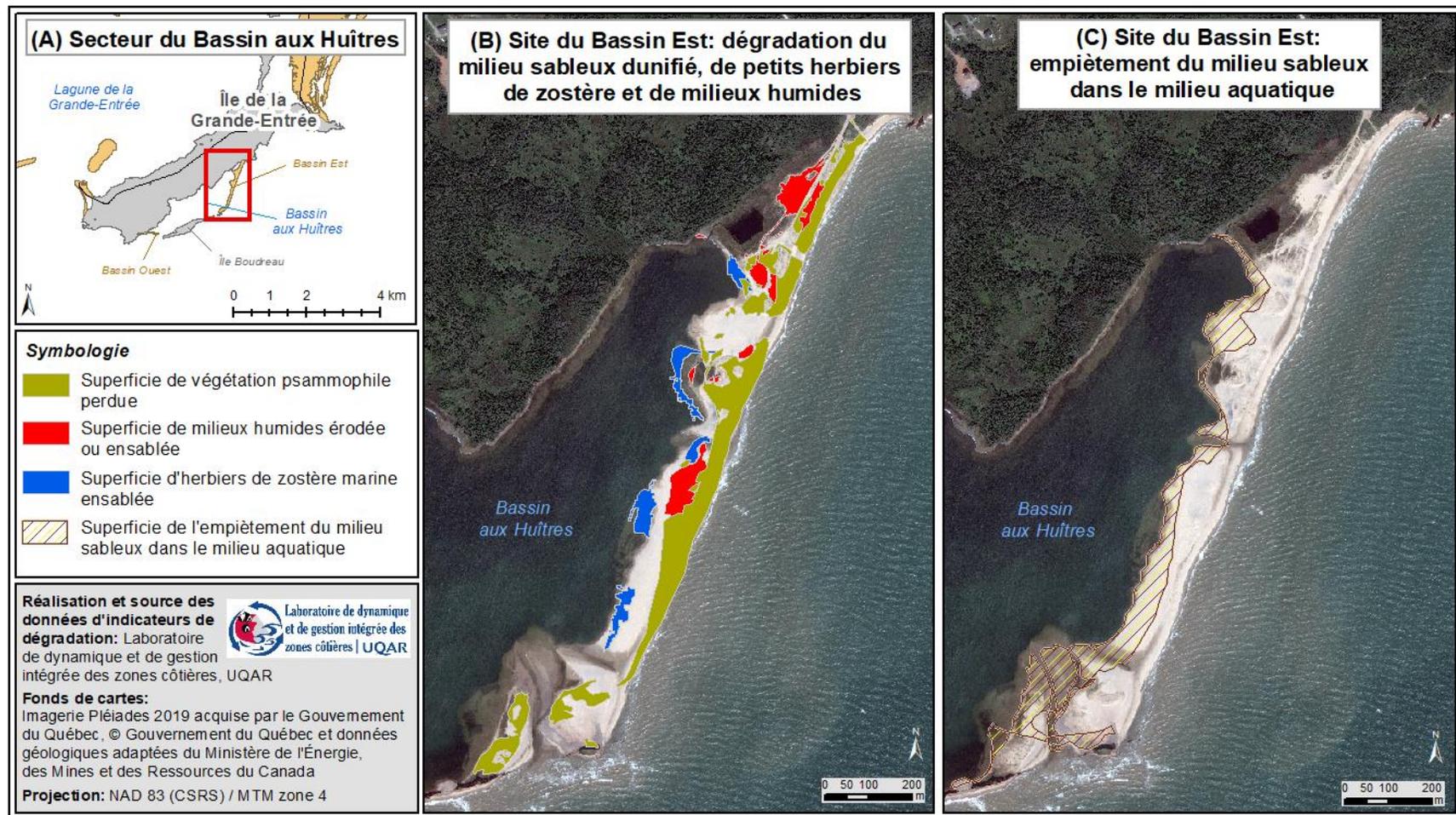


Figure 16 : (A) Localisation de la flèche littorale du Bassin Est dans le secteur du Bassin aux Huîtres, (B) dégradation de la flèche littorale dunifiée, de la zostère marine et des milieux humides et (C) empiètement du milieu sableux dans le milieu aquatique

4.2.3.2 Extrémité est du noyau rocheux de l'Île Boudreau

L'Île Boudreau est un noyau rocheux composé majoritairement d'argilites, de grès, de siltites et de calcaires (Giles, 2008). Sa composition géologique en fait un secteur très affecté par l'érosion côtière, qui présente un taux de déplacement moyen de $-0,84 \text{ m/an}^3$ pour la période allant de 2006 à 2019 (LDGIZC, 2020). L'érosion entraîne le recul graduel de l'extrémité est de l'île, où est survenu une perte de superficie de $7\,084 \text{ m}^2$ entre 2009 et 2019 (figure 17).

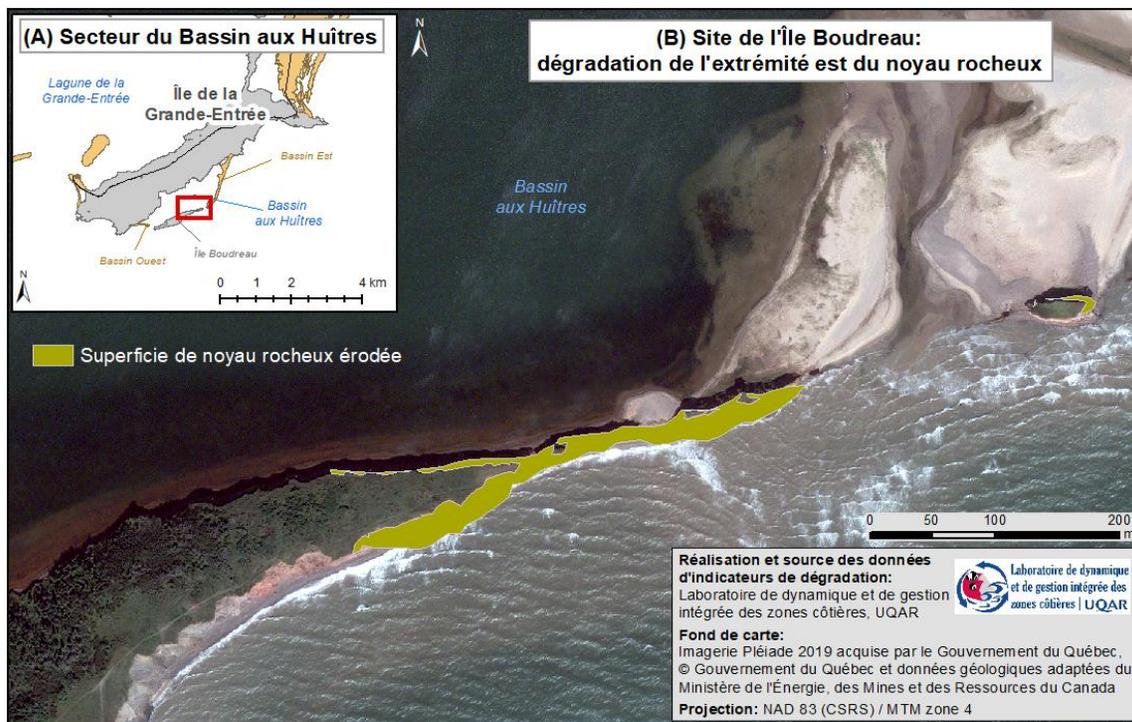


Figure 17: (A) Localisation du site dans le secteur du Bassin aux Huîtres et (B) dégradation de l'extrémité est du noyau rocheux de l'Île Boudreau

Avec son recul, l'extrémité est de l'Île Boudreau est graduellement remplacée par un milieu sableux dunifié. Ce phénomène risque éventuellement d'engendrer la dégradation de l'herbier de zostère présent dans la zone infralittorale peu profonde actuellement abritée par l'Île Boudreau.

³ Les stations de mesure considérées dans le calcul du taux de déplacement moyen sont celles situées du côté de l'île exposé à la mer.

4.2.3.3 Bassin Ouest

Le tombolo/cordon littoral du Bassin Ouest est formé d'un milieu sableux dunifié qui abrite un milieu humide. Entre 2009 et 2019, le milieu sableux dunifié a perdu 5 460 m² de superficie végétalisée (figure 18). De plus, deux milieux humides situés aux extrémités est et ouest ont été affectés par l'érosion au cours de cette période, où est survenue une perte totale de 2 146 m² de superficie.

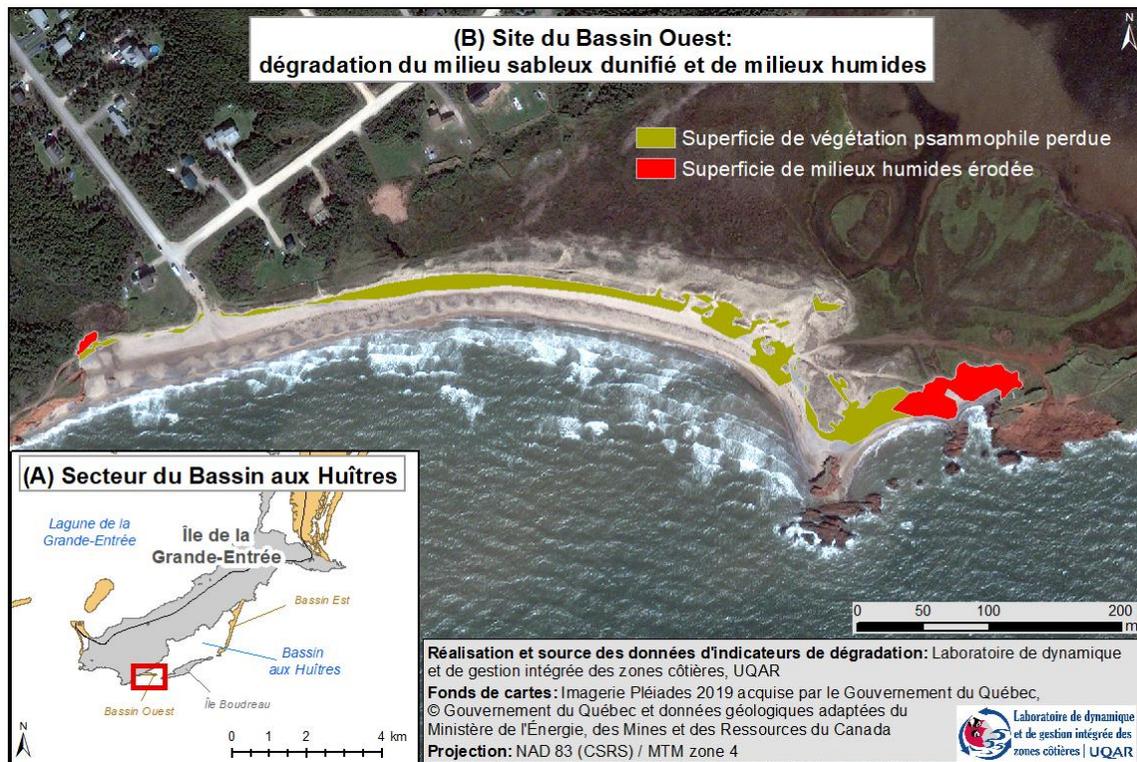


Figure 18 : (A) Localisation du site dans le secteur du Bassin aux Huîtres et (B) dégradation du milieu sableux dunifié et de milieux humides sur le tombolo/cordon littoral du Bassin Ouest

L'érosion observée au cours de la période allant de 2009 à 2019 n'est toutefois pas représentative de la tendance observée entre 1963 et 2008. Pendant cette période, le site a présenté un bilan sédimentaire légèrement positif, avec un taux de déplacement moyen de 0,25 m/an (Drejza et Bernatchez, 2013).

L'érosion du site est liée à la fois au recul du trait de côte par la hausse du niveau moyen relatif de la mer et la diminution de la durée d'englacement l'hiver, ainsi qu'à la circulation en véhicules motorisés qui fragilise le milieu dunaire.

4.3 Lagune de la Grande-Entrée

4.3.1 Présentation du secteur

La Lagune de la Grande-Entrée est le plan d'eau intérieur de plus grande taille des Îles-de-la-Madeleine (environ 73,0 km²). Elle s'étend du Pont du Déroit au sud-ouest jusqu'aux Îles de la Grande-Entrée, de l'Est et de Grosse-Île au nord-est. La Lagune de la Grande-Entrée est formée par les tombolos/cordons littoraux dunifiés de la Dune du Nord et de la Dune du Sud et par les milieux sableux abrités par la flèche littorale de la Pointe de l'Est. Elle est connectée à la mer par une ouverture d'environ 900 m entre l'extrémité est du tombolo/cordon littoral de la Dune du Sud et l'île de Grande-Entrée. Un chenal a été creusé en 1982 pour permettre au transport maritime de rejoindre les infrastructures portuaires de Mines Seleine du côté de Grosse-Île et est dragué depuis (CJB Environnement inc., 2007). Cette lagune est aussi connectée à celle du Havre-aux-Maisons par un chenal reliant les deux plans d'eau sous le Pont du Déroit.

Le pourtour du milieu aquatique est formé majoritairement de battures qui se poursuivent en zones infralittorales peu profondes allant jusqu'à plus de 1 000 m de largeur par endroits. Des bas estrans meubles sont aussi présents au niveau des îles de Grosse-Île et de la Grande-Entrée. Les zones infralittorales de la lagune peuvent atteindre des profondeurs allant de 2 à 7 m (excluant les chenaux). Dans ces zones, la profondeur limite la croissance de la zostère par le manque d'accès à la lumière et la matière organique a tendance à s'accumuler.

La zostère marine est surtout présente au niveau des zones infralittorales peu profondes, ainsi que sur certaines battures. Des marais maritimes et des milieux humides d'eau douce sont présents en bordure des tombolos/cordons littoraux et dans le secteur abrité par la Pointe de l'Est. Les plus étendus sont situés en bordure du tombolo/cordon littoral de la Dune du Sud.

4.3.2 Constats généraux par rapport à la zostère marine

Les cartes du recouvrement végétal de la zostère marine de 2009 et de 2019 dans la Lagune de la Grande-Entrée et de son évolution peuvent être visualisées aux cartes 7 à 30 du document cartographique (Papageorges et Bernatchez, 2021). Voici les principaux constats par rapport à la zostère marine pour ce secteur :

- La majorité des herbiers de zostère de la Lagune de la Grande-Entrée est en dégradation;
- Les herbiers de zostère en croissance sont généralement situés sur les battures et les bas estrans meubles, et ceux qui montrent un niveau de dégradation modéré ou élevé sont généralement situés dans les zones infralittorales peu profondes;
- Les herbiers de zostère situés à proximité de chenaux (dragués ou non) sont généralement en dégradation.

4.3.3 Herbiers de zostère, milieux humides et milieux sableux dunifiés dégradés

Cinq sites d'herbiers de zostère dégradés ont été identifiés dans le secteur de la Lagune de la Grande-Entrée : le littoral de l'île de la Grande-Entrée, le site de l'île Rouge de Grosse-Île, l'embouchure de la Lagune de la Grande-Entrée, le centre de la Lagune de la Grande-Entrée et les battures et infralittoral peu profond face au Pont du Déroit. Des sites de marais maritimes et de milieux sableux dunifiés dégradés ont également été ciblés sur les tombolos/cordons littoraux de la Dune du Nord et de la Dune du Sud, mais ne sont pas présentés dans le portrait des écosystèmes côtiers dégradés en raison de l'origine de la dégradation.

Du côté du tombolo/cordon littoral de la Dune du Nord, les tronçons amincis par le recul du trait de côte du côté de la mer sont fixés par des enrochements mis en place pour protéger la Route 199. Il serait pertinent d'analyser si l'obstruction du transport sédimentaire engendré par la présence d'infrastructures de protection côtière a des impacts sur les écosystèmes côtiers du côté de la lagune. Pour l'instant, la comparaison visuelle de l'imagerie ne permet pas d'effectuer cette analyse.

Le tombolo/cordon littoral de la Dune du Sud, à l'inverse, est parsemé de brèches naturelles qui s'ouvrent et se referment en fonction des événements de tempêtes. Ce phénomène entraîne la dégradation de certains milieux sableux dunifiés et de marais maritimes, mais est aussi essentiel à leur formation. Dans ce secteur, les marais maritimes se forment là où des sédiments ont été transportés dans la lagune par des brèches lors d'événements de tempêtes. Les systèmes dunaires se reforment aussi à partir de ce nouvel apport sédimentaire et reproduisent un milieu intertidal abrité propice à la formation des marais maritimes.

4.3.3.1 Littoral de l'Île de la Grande-Entrée

Mis à part une zone en croissance située à l'ouest de La Longue Pointe, l'herbier de zostère situé sur le littoral de l'Île de la Grande-Entrée est généralement en dégradation légère à modérée (figure 19). Les causes potentielles de cette dégradation sont pour l'instant inconnues.

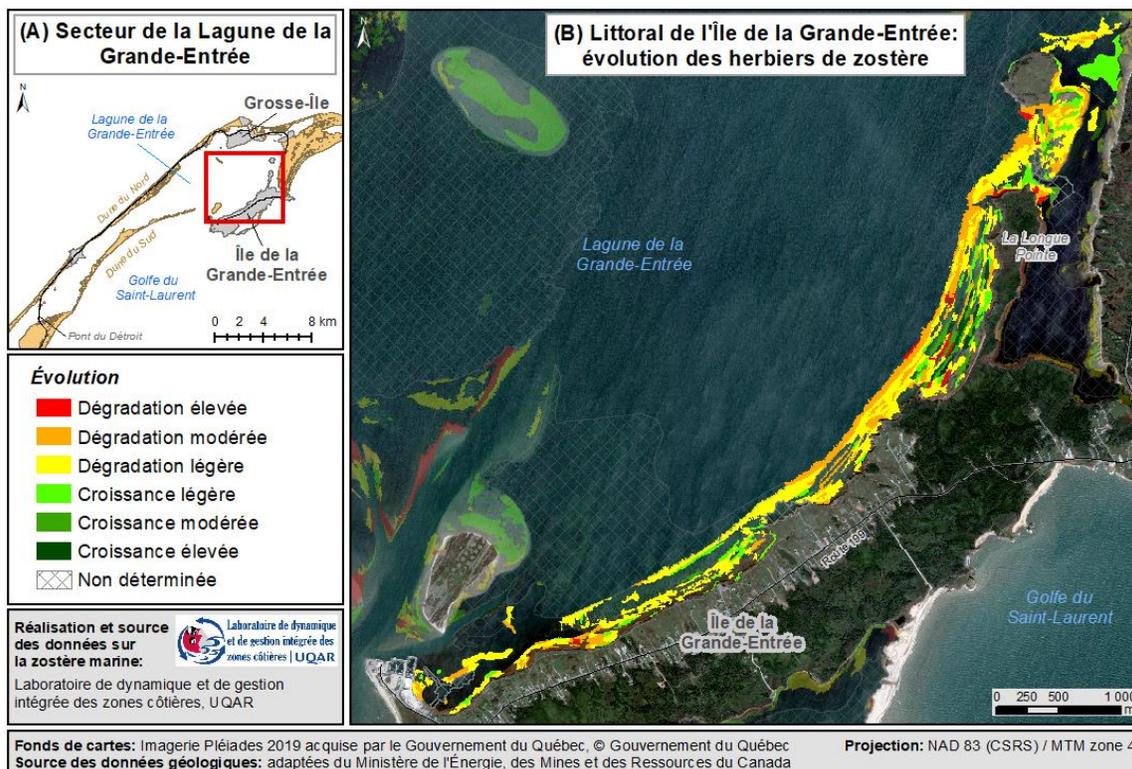


Figure 19 : (A) Localisation du site dans le secteur de la Lagune de la Grande-Entrée et (B) évolution des herbiers de zostère sur le littoral de l'Île de la Grande-Entrée

4.3.3.2 L'Île Rouge de Grosse-Île

Dans la Lagune de la Grande-Entrée, la portion d'herbier de zostère située à proximité de l'Île Rouge semble être en dégradation par rapport à celle située sur la batture de Grosse-Île, plus près de la berge (figure 20). De plus, l'extrémité sud de l'herbier de zostère a disparu entre 2009 et 2019. Cette portion d'herbier de zostère est située à proximité du chenal dragué reliant les infrastructures portuaires de Mines Seleine à l'embouchure de la lagune. Il est probable que le dragage du chenal entraîne de l'érosion en périphérie. La proximité avec le chenal et le transport maritime sont les principales perturbations identifiées. Le site devra être réanalysé au cours des prochaines années afin de valider s'il y a bel et bien une tendance à l'érosion sur les abords du chenal ou si d'autres facteurs sont à l'origine de la dégradation (ex. : arrachement par les glaces ou variations du niveau d'eau ayant activé le chenal davantage qu'à la normale).

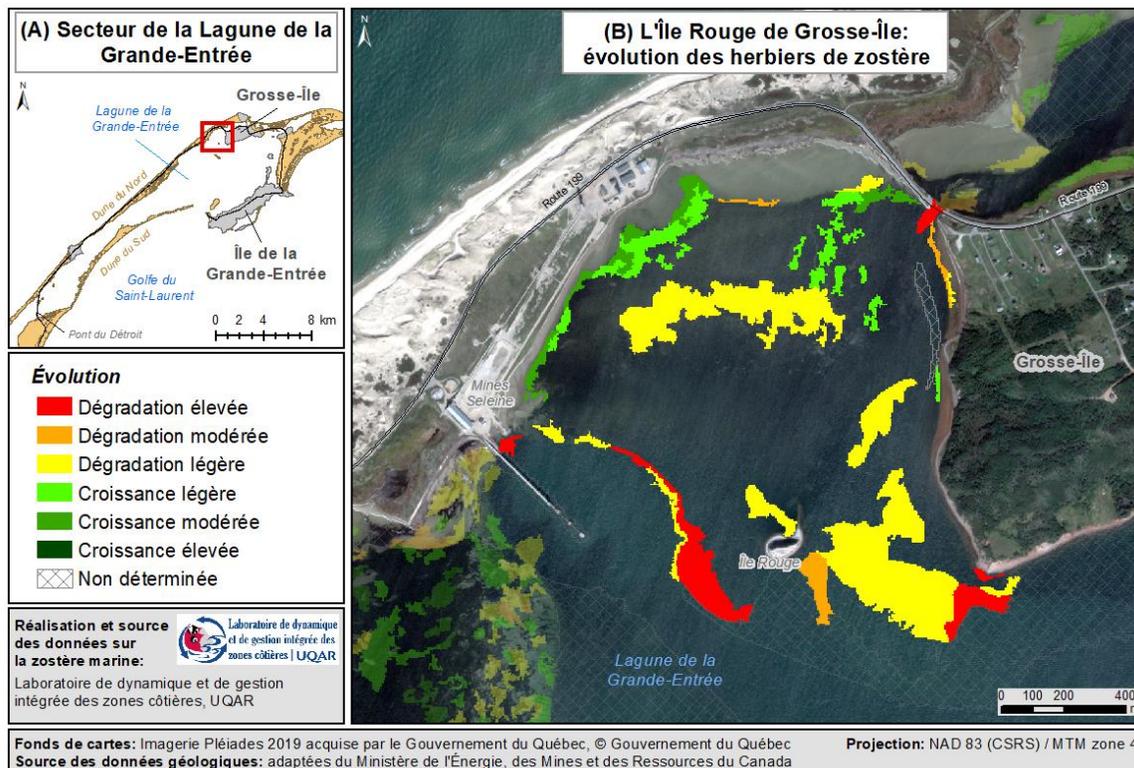


Figure 20 : (A) Localisation du site dans le secteur de la Lagune de la Grande-Entrée et (B) évolution de l'herbier de zostère à proximité de l'Île Rouge de Grosse-Île

4.3.3.3 L'embouchure de la Lagune de la Grande-Entrée

Alors que les herbiers de zostère de petite taille situés sur les battures du tombolo/cordon littoral de la Dune du Sud et de l'Île de Sable sont en croissance, l'herbier principal du site (de plus grande taille, dense et continu) situé plus loin des berges dans la zone infralittorale peu profonde est pour sa part en dégradation (figure 21).

Cet herbier de zostère est situé à proximité du chenal de la Grande-Entrée et des embranchements de chenaux qui y sont connectés. Tout comme pour le site de l'Île Rouge de Grosse-Île, les portions de l'herbier situées en bordure des chenaux sont les plus fortement dégradées, avec la disparition complète de certaines d'entre elles entre 2009 et 2019. Ce secteur du chenal est connu comme étant très actif et sujet à l'érosion (CJB Environnement inc., 2007). Il est probable que l'érosion du chenal ait entraîné l'érosion de l'herbier de zostère situé en périphérie. La proximité avec le chenal et le transport maritime sont les principales perturbations identifiées. L'herbier de zostère devra être analysé de nouveau au cours des prochaines années afin de valider s'il y a bel et bien une tendance à l'érosion ou s'il s'agit plutôt de facteurs naturels événementiels ayant pu causer la dégradation (ex. : arrachement par les glaces ou variations du niveau d'eau ayant activé le chenal davantage qu'à la normale).

De plus, le mouvement du sable au bout du tombolo/cordon littoral de la Dune du Sud a aussi entraîné la disparition d'une portion dense de l'herbier de zostère. Les sources potentielles de dégradation légère observée à l'extrémité nord de cet herbier sont pour leur part inconnues jusqu'à maintenant.

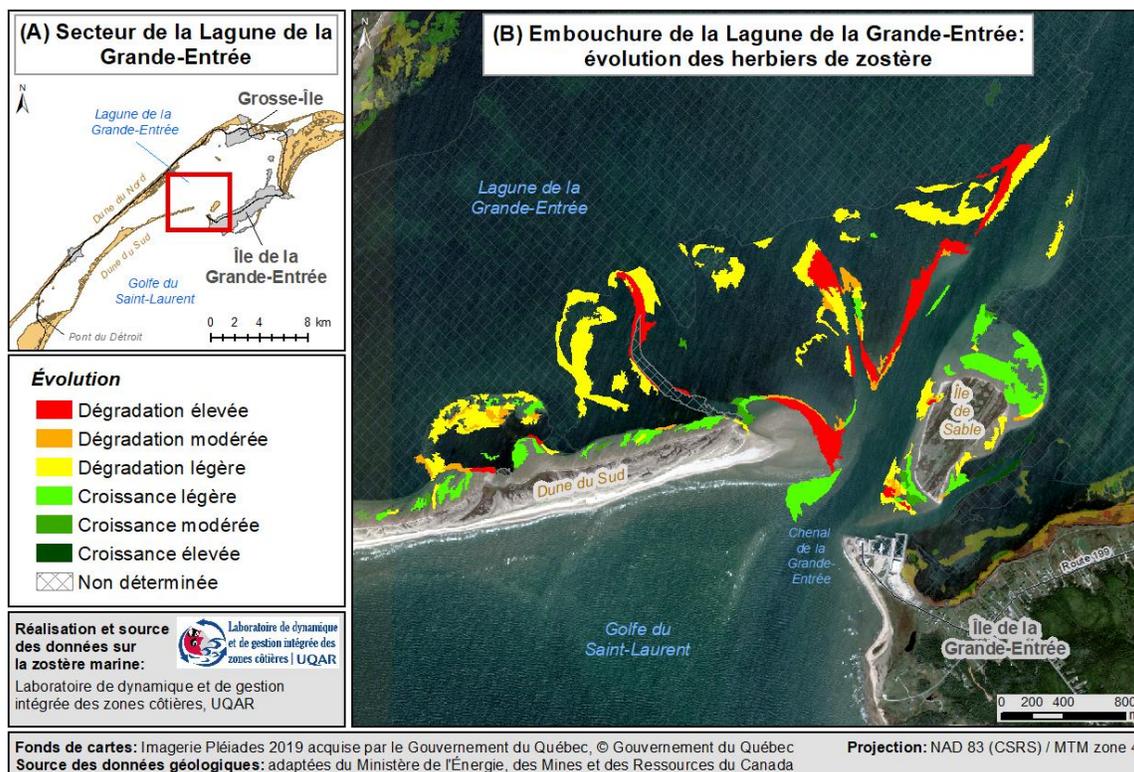


Figure 21 : (A) Localisation du site dans le secteur de la Lagune de la Grande-Entrée et (B) évolution des herbiers de zostère à proximité de l'embouchure de la lagune

4.3.3.4 Centre de la Lagune de la Grande-Entrée

La zone située au centre de la Lagune de la Grande-Entrée présente une étendue élevée d'herbiers de zostère en dégradation (figure 22). Lors de la campagne de validation terrain effectuée en août 2020 pour la cartographie de la zostère marine, de grandes étendues de zostère marine morte ont aussi été observées dans les zones profondes (3-5 m) situées à proximité et pourraient provenir de la dégradation de ces herbiers de zostère.

Les abords des chenaux présentent une dégradation généralement légère, avec de petites superficies de dégradation élevée. Il serait pertinent de valider au cours des prochaines années s'il s'agit d'une tendance à la dégradation par l'érosion des chenaux ou si cette dégradation était plutôt liée à des causes événementielles (ex. : arrachement par les glaces ou variations de niveaux d'eau plus élevées qu'à la normale).

L'évolution de la zostère marine présente aussi des sites de dégradation élevée en périphérie de zones profondes qui peuvent être liés à l'érosion des abords des zones profondes, mais qui pourraient aussi être liés à une erreur d'interprétation de l'imagerie SPOT-5 de 2009 puisque les zones profondes y sont moins bien visibles. Ces sites devraient être analysés de nouveau au cours des prochaines années afin de valider leur évolution.

Les herbiers de zostère présents sur les battures (à proximité des berges) sont généralement en croissance légère. Les superficies de dégradation modérée et élevée présentes sur les battures semblent pour leur part généralement liées au mouvement du sable.

Les herbiers de zostère les plus denses et étendus du site sont localisés dans les zones peu profondes de l'infralittoral. Les herbiers de zostère y sont généralement en dégradation légère. L'arrachement par les glaces est l'un des facteurs à l'origine de la dégradation observée au niveau de ces zones, où des cicatrices d'arrachement par les glaces de plus de 500 m de longueur sont présentes par endroits. D'autres facteurs sont probablement aussi à l'origine de la dégradation mais n'ont pour l'instant pas pu être identifiés.

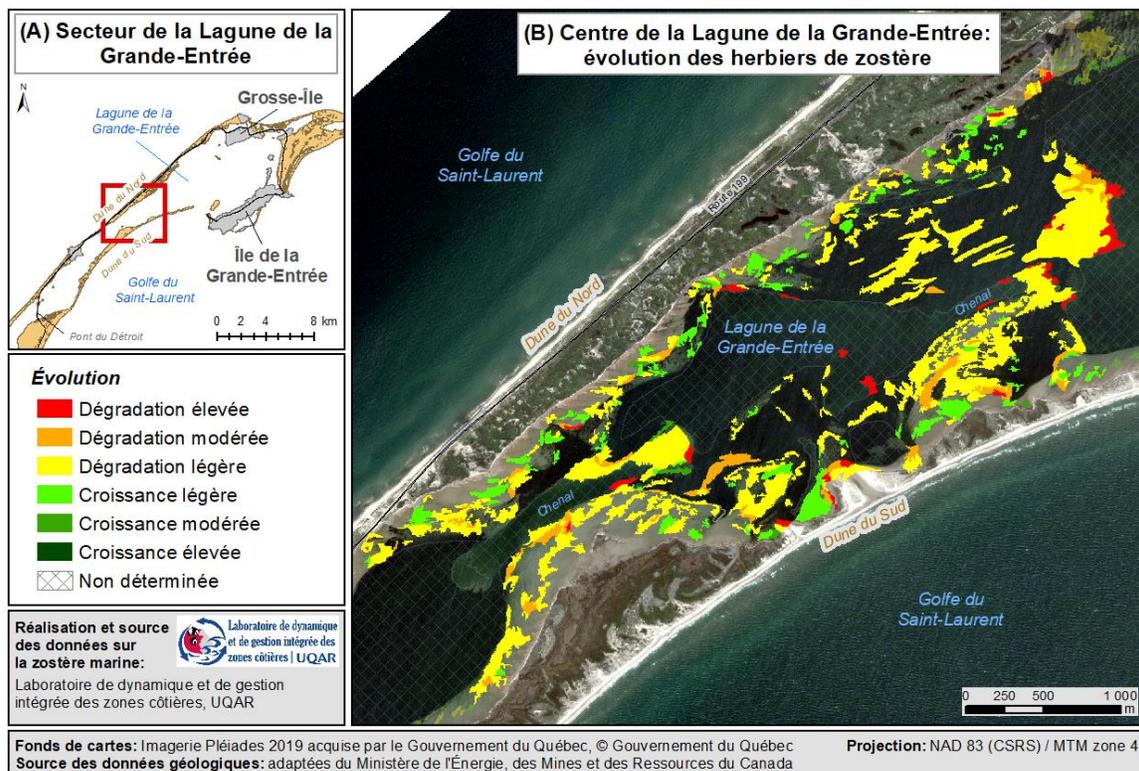


Figure 22 : (A) Localisation du site dans le secteur de la Lagune de la Grande-Entrée et (B) évolution des herbiers de zostère au centre de la lagune

4.3.3.5 Battures et infralittoral peu profond face au Pont du Déroit

Les herbiers de zostère situés sur les battures et l'infralittoral peu profond face au Pont du Déroit du côté de la Lagune de la Grande-Entrée et qui se poursuivent sur le littoral du tombolo/cordon littoral de la Dune du Sud sont en dégradation (figure 23). Elle est plus accentuée à proximité du Pont du Déroit et est plus légère au niveau du tombolo/cordon littoral de la Dune du Sud. Les facteurs ayant pu mener à cette dégradation sont inconnus. Les superficies de dégradation modérée localisées devant les brèches dunaires sur le tombolo de la Dune du Sud ont pour leur part été causées par les apports sédimentaires survenus lors d'événements de tempêtes.

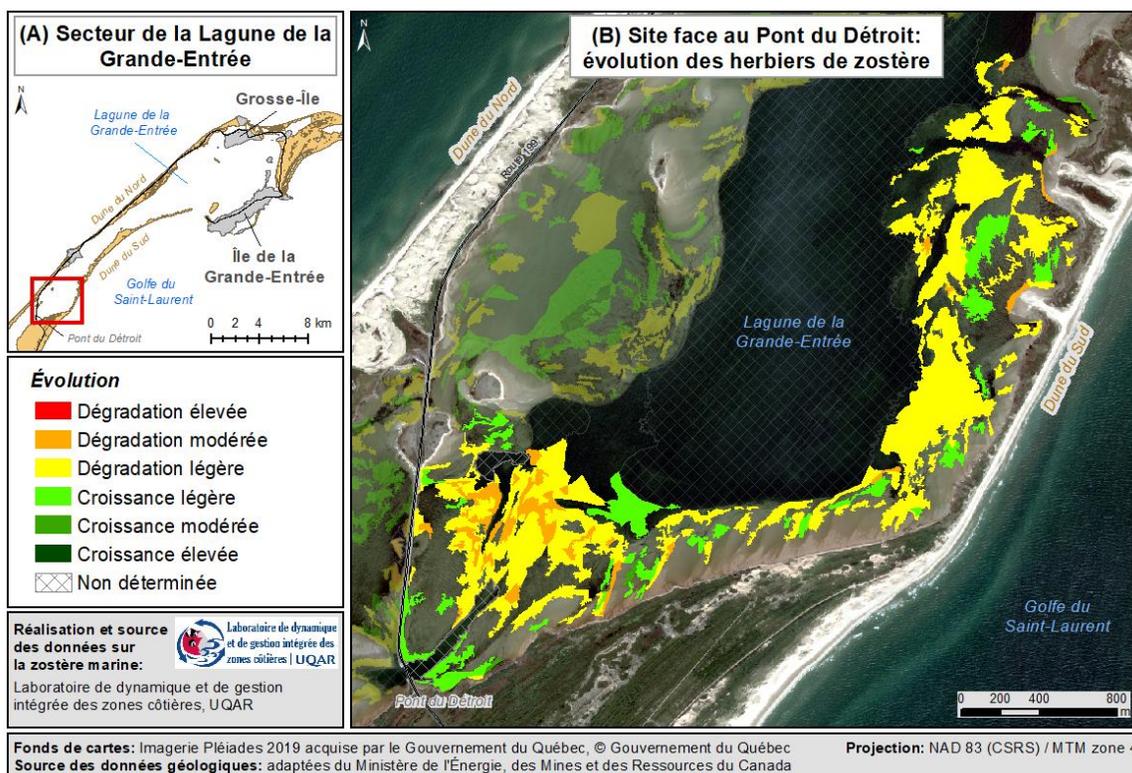


Figure 23 : (A) Localisation du site dans le secteur de la Lagune de la Grande-Entrée et (B) évolution des herbiers de zostère sur les battures et l'infralittoral peu profond face au Pont du Déroit

4.4 Lagune du Havre-aux-Maisons

4.4.1 Présentation du secteur

La Lagune du Havre-aux-Maisons est le 2^e plan d'eau intérieur d'importance de l'archipel en termes de taille (environ 33,5 km²). Elle s'étend des noyaux rocheux des Îles de Cap-aux-Meules et du Havre-aux-Maisons jusqu'au Pont du Déroit. Le tombolo/cordon littoral de la Dune du Nord, le secteur des Sillons et les flèches littorales de La Pointe et de La Digue sont les milieux sableux qui abritent la Lagune du Havre-aux-Maisons. Ce plan d'eau est connecté à la mer par une

ouverture d'environ 80 m présente entre les flèches littorales de La Pointe et de La Digue où se trouve le Chenal du Havre-aux-Maisons. L'extrémité des deux flèches est fixée artificiellement par les infrastructures de l'ancien pont de Havre-aux-Maisons. Le plan d'eau est aussi connecté à la Lagune de la Grande-Entrée par un chenal qui passe sous le Pont du Déroit.

Le pourtour de la Lagune du Havre-aux-Maisons est principalement formé de battures se poursuivant en zones infralittorales peu profondes pouvant atteindre plus de 1 000 m de largeur par endroits. Des bas estrans meubles forment le littoral de l'extrémité sud-ouest de la lagune. Les zones infralittorales de la lagune peuvent atteindre jusqu'à 5 m de profondeur (excluant les chenaux). Dans ces zones, la profondeur limite la croissance de la zostère par le manque d'accès à la lumière et la matière organique a tendance à s'accumuler.

La zostère marine est surtout présente sur les zones infralittorales peu profondes du plan d'eau. Les milieux humides principaux sont situés sur le tombolo/cordon littoral de la Dune du Nord et au niveau du secteur des Sillons.

4.4.2 Constats généraux par rapport à la zostère marine

Les cartes du recouvrement végétal de la zostère marine de 2009 et de 2019 dans la Lagune du Havre-aux-Maisons et de son évolution peuvent être visualisées aux cartes 31 à 42 du document cartographique (Papageorges et Bernatchez, 2021). Voici les principaux constats par rapport à la zostère marine pour ce secteur :

- Les herbiers de zostère situés dans la portion nord de la lagune sont généralement stables dans le temps ou en croissance;
- Les herbiers de zostère situés du côté de l'île du Havre-aux-Maisons et du sud des Sillons sont généralement en dégradation.

4.4.3 Herbiers de zostère, milieux humides et milieux sableux dunifiés dégradés

Quatre sites d'herbiers de zostère, de marais maritimes et de milieux sableux dunifiés en dégradation ont été identifiés dans le secteur de la Lagune du Havre-aux-Maisons : *le littoral de l'île du Havre-aux-Maisons et du sud des Sillons*, *le site des embranchements du chenal du Havre-aux-Maisons*, *le tronçon de tombolo/cordon littoral de la Dune du Nord qui s'étend du Grand Plaquier de Fatima jusqu'à l'épave de la Gabarre* et *le Quai du Cap-Vert*.

4.4.3.1 Littoral de l'Île du Havre-aux-Maisons et du sud des Sillons

Les herbiers de zostère situés sur les battures et sur les zones infralittorales peu profondes situées du côté de l'Île du Havre-aux-Maisons et du sud des Sillons sont en dégradation (figure 24). Les causes potentielles ayant pu mener à la dégradation générale du site n'ont pas pu être identifiées pour l'instant. Toutefois, une barre sableuse s'est formée au bout de la batture de l'Île du Havre-aux-Maisons, ce qui pourrait indiquer une hausse de l'effet des vagues. Cette barre sableuse était aussi présente en mai 2019 et n'a donc pas été formée lors de la tempête Dorian du 8 septembre 2019. Les superficies de dégradation élevée et modérée observées sur cette batture sont généralement liées à la formation de cette barre sableuse et au mouvement du sable.

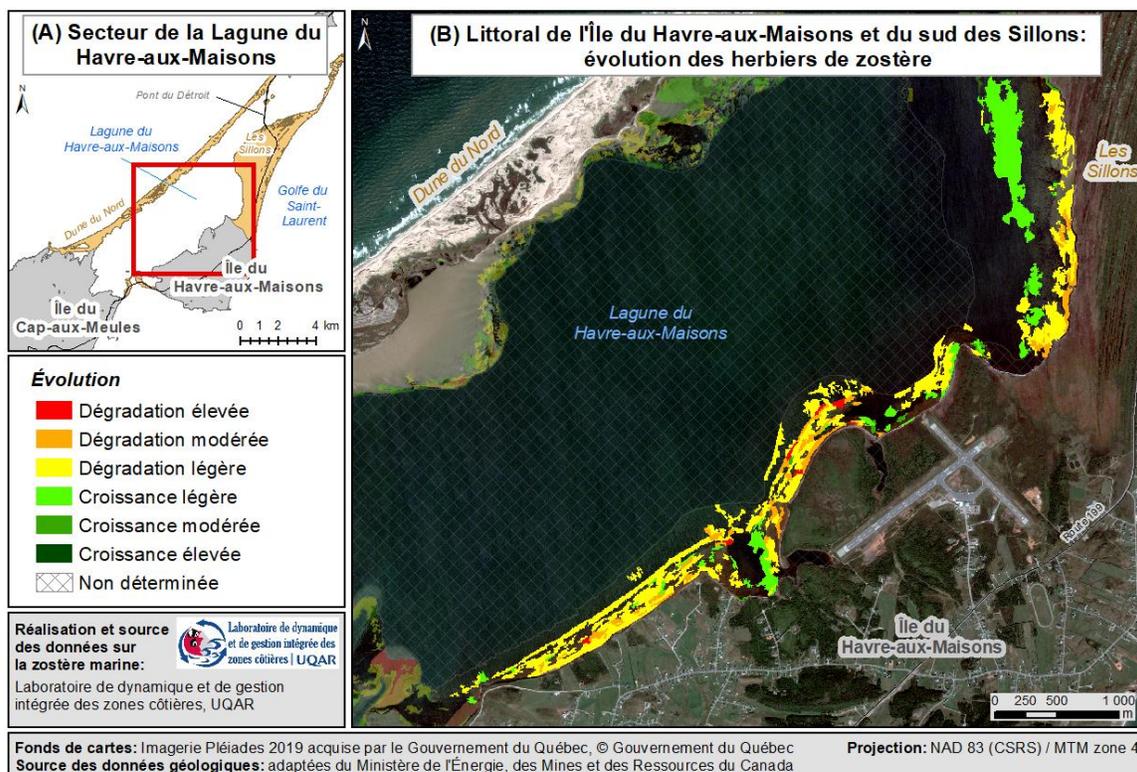


Figure 24 : (A) Localisation du site dans le secteur de la Lagune du Havre-aux-Maisons et (B) évolution des herbiers de zostère sur le littoral de l'Île du Havre-aux-Maisons et du sud des Sillons

4.4.3.2 Embranchements du Chenal du Havre-aux-Maisons

Les herbiers de zostère situés à proximité des embranchements du Chenal du Havre-aux-Maisons sont généralement en dégradation (figure 25). L'évolution semble plus équilibrée à proximité des 3 chenaux situés du côté ouest, et pourrait refléter la cyclicité naturelle d'érosion et de croissance de la zostère marine selon des phases d'activité plus ou moins intenses des chenaux. La dégradation est toutefois accentuée au niveaux des herbiers de zostère situés à proximité des 2 chenaux localisés du côté est, où des portions d'herbiers de zostère ont été érodées et remplacées par des étendues sableuses. L'élargissement du haut estran sous le nouvel emplacement du Pont du Havre-aux-Maisons du côté de la flèche littorale de La Pointe concorde avec la même période de temps (2009-2019) et amène à supposer que cet apport sableux pourrait provenir de l'érosion des abords des chenaux dans la Lagune du Havre-aux-Maisons. Les causes de la hausse de l'érosion des abords de ces chenaux n'ont pour l'instant pas pu être identifiées. Toutefois, les perturbations principales identifiées pour ce site sont la diminution de la durée de l'englacement (et donc de la protection des vagues) et la hausse du trafic maritime de plaisance.

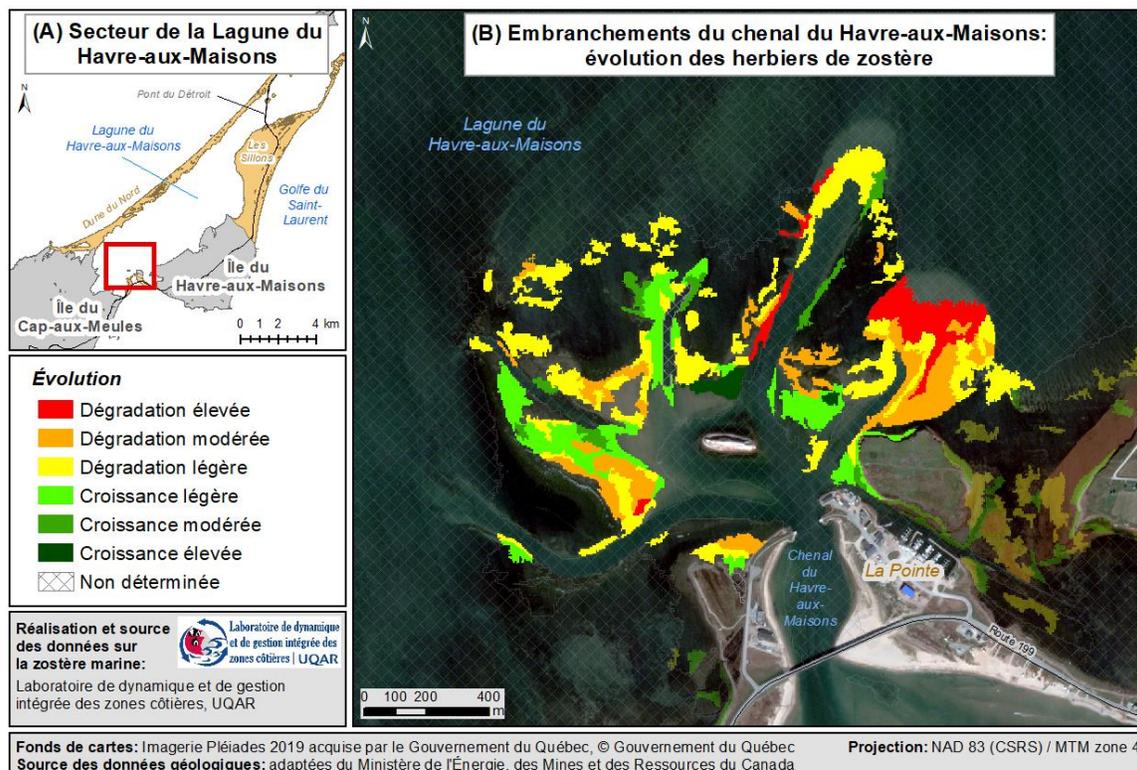


Figure 25 : (A) Localisation du site dans le secteur de la Lagune du Havre-aux-Maisons et (B) évolution des herbiers de zostère à proximité des embranchements du chenal du Havre-aux-Maisons

4.4.3.3 Grand Plaquier de Fatima à l'épave de la Gabarre sur la Dune du Nord

La portion du tombolo/cordon littoral de la Dune du Nord qui relie le noyau rocheux de l'île du Cap-aux-Meules au Pont du Déroit présente une déflation éolienne amenant un recul des caoudeyres et des fronts de dunes. Les reculs observés sont généralement de 3 à 8 m en 10 ans et peuvent atteindre 11-12 m, ce qui semble être la dynamique naturelle du secteur. Toutefois, le tronçon de tombolo/cordon littoral qui s'étend du Grand Plaquier de Fatima à l'épave de la Gabarre présente un recul des caoudeyres et des fronts dunaires plus élevé et engendre un ensablement graduel de marais maritimes à certains endroits. Les reculs observés dans les milieux sableux dunifiés en dégradation sont généralement de 11 à 22 m en 10 ans et peuvent atteindre 25-27 m. Certaines portions de dunes ont même complètement disparu en 10 ans, formant des cavités de grande taille à l'intérieur du milieu dunifié.

Les traces de véhicules motorisés sont plus fréquentes sur ce tronçon de la Dune du Nord, et les reculs les plus élevés se produisent dans les milieux sableux dunifiés les plus fragmentés par le passage des véhicules motorisés. La circulation non encadrée en véhicules motorisés semble être la cause principale de la dégradation du tronçon de tombolo/cordon littoral qui s'étend du Grand Plaquier de Fatima jusqu'à l'épave de la Gabarre.

À certains endroits, la dégradation du milieu dunifié engendre un début d'ensablement de marais maritimes. La figure 26 présente un exemple représentatif du milieu sableux dunifié en dégradation où un ensablement du marais maritime abrité a débuté.

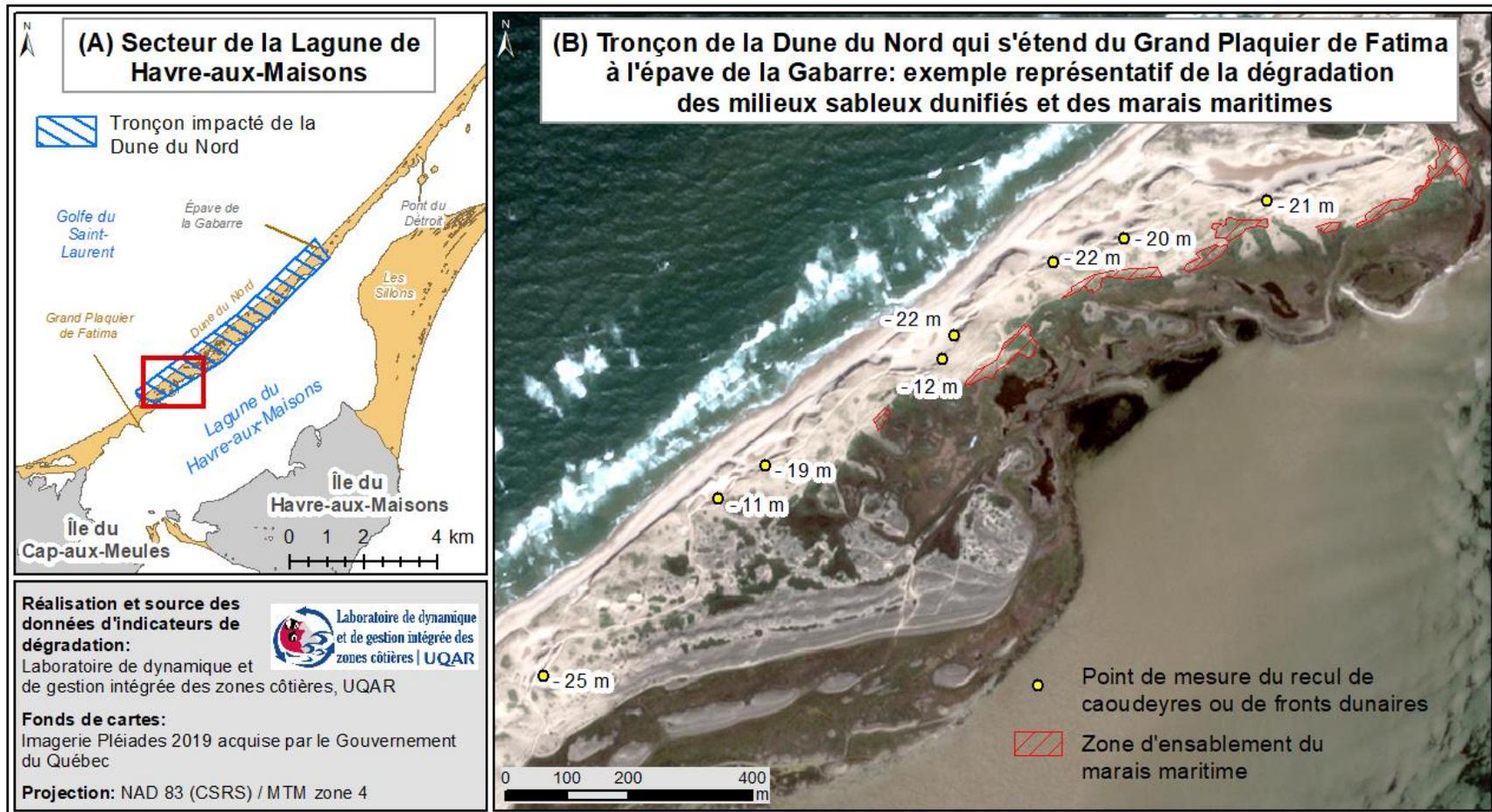


Figure 26 : (A) Localisation du site dans le secteur de la Lagune du Havre-aux-Maisons et (B) exemple représentatif de la dégradation des milieux sableux dunifiés et des marais maritimes sur le tronçon dégradé du tombolo/cordon littoral de la Dune du Nord (du Grand Plaquier de Fatima à l'épave de la Gabarre)

4.4.3.4 Quai du Cap-Vert

La portion de l'herbier de zostère située au niveau du Quai du Cap-Vert, à Fatima, a subi une dégradation entre 2009 et 2019 (figure 27). Cette dégradation a été causée par l'agrandissement du quai en 2013. À noter que des projets de compensation sont normalement prévus dans ce type de travaux pour pallier à la dégradation des écosystèmes affectés.

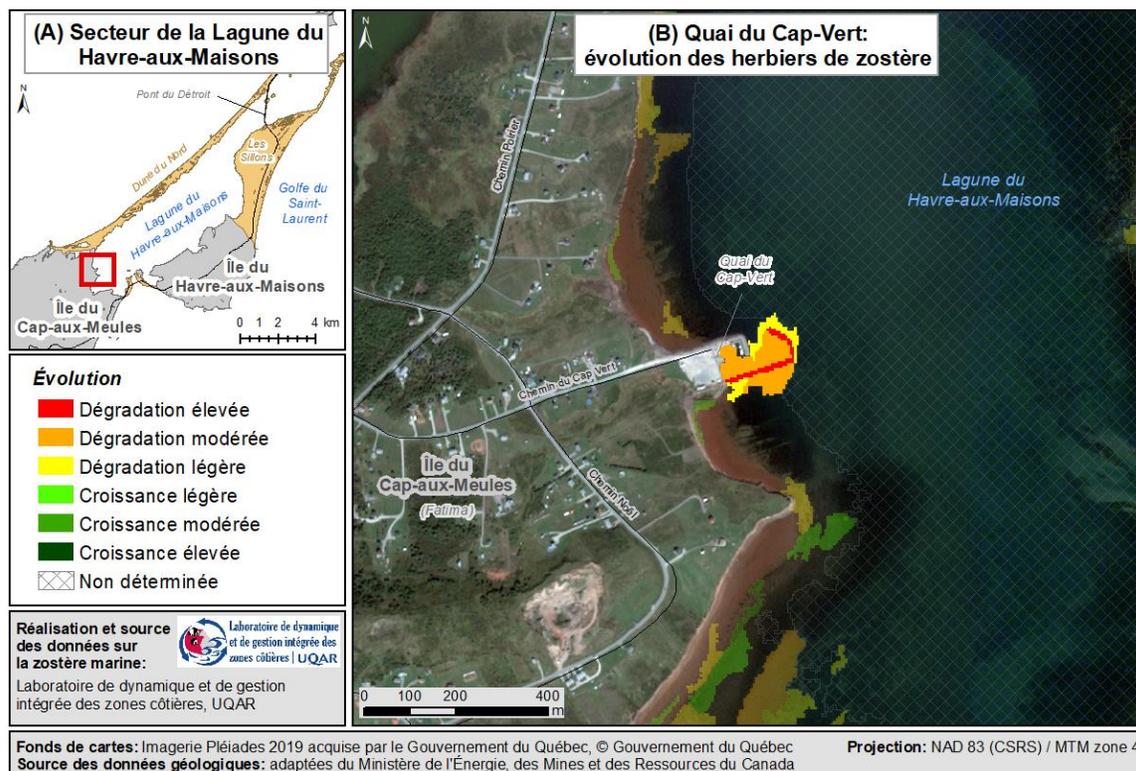


Figure 27 : (A) Localisation du site dans le secteur de la Lagune du Havre-aux-Maisons et (B) évolution des herbiers de zostère au niveau du Quai du Cap-Vert

4.5 Gros-Cap

4.5.1 Présentation du secteur

Le secteur de Gros-Cap est constitué du noyau rocheux de l'Île de Cap-aux-Meules et de milieux humides abrités par des tombolos/cordons littoraux et des terrasses de plage. Les milieux humides de plus grandes tailles sont situés à l'ouest du cap rocheux du Gros-Cap. La zostère marine est présente dans le milieu marin du côté de la Baie de Plaisance, dans une zone abritée par le cap rocheux du Gros-Cap où s'est formée une zone intertidale et infralittorale peu profonde et sableuse d'environ 500 m de largeur.

4.5.2 Constats généraux par rapport à la zostère marine

Les cartes du recouvrement végétal de la zostère marine de 2009 et de 2019 dans le secteur de Gros-Cap et de son évolution peuvent être visualisées aux cartes 43 à 45 du document cartographique (Papageorges et Bernatchez, 2021). Voici le constat principal par rapport à la zostère marine pour ce secteur :

- L'herbier de zostère se déplace sur la batture en fonction du mouvement des barres sableuses, mais sa superficie et son recouvrement végétal semblent stables.

4.5.3 Herbiers de zostère, milieux humides et milieux sableux dunifiés dégradés

Deux sites de milieux humides dégradés ont été identifiés dans le secteur de Gros-Cap. Ces milieux humides montrent une perte de superficie liée à l'érosion côtière ou à l'ensablement résultants de la dégradation du milieu sableux dunifié : le site du *Chemin des Chalets et de l'Étang à Procul*, et celui de *La Veine d'Eau*. Aucun site d'herbier de zostère n'est en dégradation dans ce secteur.

4.5.3.1 Site du Chemin des Chalets et de l'Étang à Procul

Les milieux humides du Chemin des Chalets et de l'Étang à Procul sont abrités par des tombolos/cordons littoraux et sont délimités par des caps rocheux de chaque côté. Les milieux humides situés à proximité du chemin des Chalets ont perdu un total de 4 073 m² de superficie à cause de l'érosion et de l'ensablement causé par des débordements côtiers (figure 28). Le milieu humide de l'Étang à Procul a pour sa part perdu une superficie de 5 224 m² par l'érosion et par la migration du tombolo/cordon littoral dunifié vers le milieu humide entre 2009 et 2019. La hausse du niveau moyen relatif de la mer, la diminution de la durée d'englacement l'hiver ainsi que la présence d'enrochements susceptibles de causer un effet de bout lors d'événements de tempêtes sont les principales perturbations identifiées pour ce site.



Figure 28 : (A) Localisation du site sur l'Île de Cap-aux-Meules et (B) dégradation des milieux humides du site du Chemin des Chalets et de l'Étang à Procul (secteur de Gros-Cap)

4.5.3.2 La Veine d'Eau

Le milieu humide de La Veine d'Eau a perdu une superficie de 992 m² par l'érosion entre 2009 et 2019 (figure 29). En 2019, la terrasse de plage qui abritait ce milieu humide était absente du continuum côtier, le rendant complètement exposé aux aléas côtiers. La hausse du niveau moyen relatif de la mer, la diminution de la durée d'englacement l'hiver et la présence d'un enrochement situé juste au nord susceptible de causer un effet de bout lors d'événements de tempêtes sont les principales perturbations identifiées pour ce site.



Figure 29 : (A) Localisation du site sur l'Île de Cap-aux-Meules et (B) dégradation du milieu humide de La Veine d'Eau (secteur de Gros-Cap)

4.6 L'Étang-du-Nord

4.6.1 Présentation du secteur

Le secteur de L'Étang-du-Nord est situé à l'ouest de l'Île de Cap-aux-Meules. Il est formé de falaises rocheuses, de milieux sableux (terrasses de plage et tombolos/cordon littoraux), de milieux humides et de plans d'eau intérieurs de petite taille : l'Anse de l'Étang du Nord (située à l'intérieur des limites du quai actuel), l'Étang du Nord, le Petit Étang et l'Étang à Ben (Drejza *et al.*, 2014). Hormis l'Anse de l'Étang du Nord qui est protégée par les brise-lames du quai de L'Étang-du-Nord, ces milieux aquatiques sont abrités par des tombolos/cordons littoraux dunifiés.

La zostère marine est présente dans l'Anse de l'Étang du Nord et dans l'Étang du Nord. Ces plans d'eau de petite taille sont connectés entre eux par une passe et l'Anse de l'Étang du Nord a une ouverture sur le milieu marin entre les brise-lames du port. Leur littoral est formé de battures et de bas estrans meubles. Les zones infralittorales atteignent une profondeur de 2 à 3 m. La zostère marine est absente du Petit Étang et de l'Étang à Ben. Des marais sont présents sur le pourtour des plans d'eau intérieurs, et sont davantage étendus et exposés aux aléas côtiers au niveau du Petit Étang et de l'Étang à Ben.

4.6.2 Constats généraux par rapport à la zostère marine

Les cartes du recouvrement végétal de la zostère marine de 2009 et de 2019 dans le secteur de L'Étang-du-Nord et de son évolution peuvent être visualisées aux cartes 46 à 48 du document cartographique (Papageorges et Bernatchez, 2021). Seulement l'Anse de l'Étang du Nord et l'Étang du Nord y sont représentés puisqu'il s'agit des seuls plans d'eau où la zostère marine est présente. Voici les principaux constats par rapport à la zostère marine pour ce secteur :

- L'herbier de zostère de l'Anse de l'Étang du Nord semble stable;
- L'herbier de zostère de l'Étang du Nord est en dégradation;
- Les zones de croissance de la zostère marine sont toutes situées sur le pourtour des plans d'eau.

4.6.3 Herbiers de zostère, milieux humides et milieux sableux dunifiés dégradés

Deux sites en dégradation ont été ciblés dans le secteur de L'Étang-du-Nord. Le site de *l'Étang du Nord* et le site du *Petit Étang et de l'Étang à Ben*.

4.6.3.1 L'Étang du Nord

Le site de l'Étang du Nord est un plan d'eau intérieur de petite taille (moins de 0,1 km²) formé majoritairement par le noyau rocheux de l'île de Cap-aux-Meules et par un tombolo/cordon littoral situé au sud et qui le sépare du milieu marin. Un herbier de zostère est présent dans le plan d'eau.

L'évolution de l'herbier de zostère situé dans l'Étang du Nord indique une dégradation entre 2009 et 2019 (figure 30). La dégradation se situe au centre du plan d'eau, alors que le pourtour de l'herbier de zostère est généralement en croissance légère. Les facteurs ayant pu mener à la dégradation du centre de l'herbier de zostère sont pour l'instant inconnus.

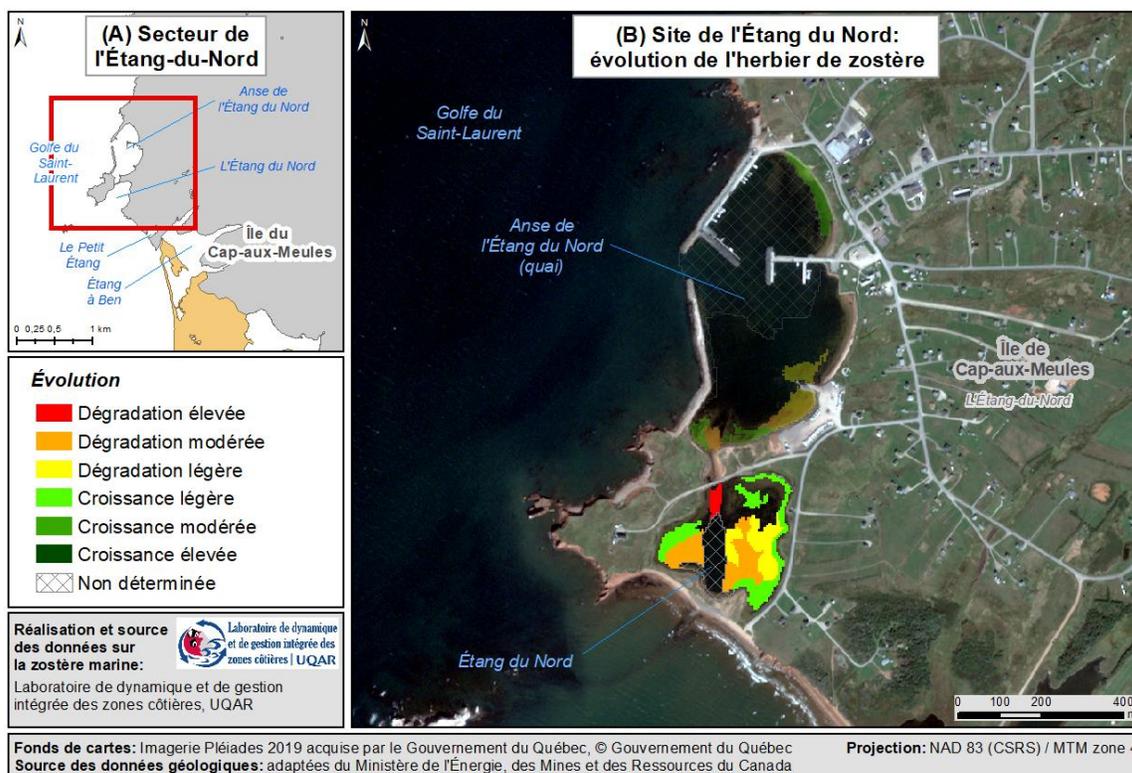


Figure 30 : (A) Localisation du site dans le secteur de L'Étang-du-Nord et (B) évolution des herbiers de zostère dans l'Étang du Nord

De plus, le tombolo/cordon littoral situé au sud de l'Étang du Nord est de faible largeur. Deux emplacements étaient particulièrement minces en 2019, avec des largeurs de 10 et 13 m (figure 31). Les données historiques de l'évolution côtière indiquent que ce tombolo/cordon littoral est en érosion, avec un taux de déplacement moyen de - 1,27 m/an pour la période allant de 1963 à 2008 (Drejza et Bernatchez, 2013). Les deux lobes présents du côté du plan d'eau intérieur proviennent d'événements de tempêtes et indiquent que ce tombolo/cordon littoral se déplace graduellement vers le plan d'eau intérieur au fur et à mesure qu'il est érodé. De plus, le recul

maximum du littoral atteint pour les tombolos/cordons littoraux de l'archipel lors d'un seul événement de tempête est de 16,90 m (Bernatchez *et al.*, 2012). Puisque le recul possible est supérieur à la largeur du tombolo/cordon littoral mesuré aux emplacements les plus minces, il serait possible qu'une seule tempête puisse former des brèches à ces deux emplacements et entraîner la migration du milieu sableux dunifié vers le plan d'eau intérieur.

Le recul du tombolo/cordon littoral situé au sud de l'Étang du Nord correspond à la dynamique naturelle du site, puisque les données historiques d'évolution côtière indiquent qu'il était en érosion à la fois pour la période allant de 1963 à 1983 (taux de déplacement moyen de - 1,44 m/an), et celle allant de 1983 à 2008 (taux de déplacement moyen de - 1,13 m/an) (Drejza et Bernatchez, 2013).



Figure 31 : (A) Localisation du site dans le secteur de L'Étang-du-Nord et (B) largeur du tombolo/cordon littoral dunifié au sud de l'Étang du Nord

4.6.3.2 Le Petit Étang et l'Étang à Ben

Le site du Petit Étang et de l'Étang à Ben est formé de deux milieux humides abrités par des tombolos/cordons littoraux dunifiés de faible largeur (figure 32). Devant le milieu humide du Petit Étang, un tronçon de milieu sableux dunifié de 75 m de long présente une largeur allant de 5 à 10 m. Devant le milieu humide de l'Étang à Ben, le tombolo/cordon littoral situé du côté sud du ruisseau à Ben présente une largeur allant de 7 à 17 m.



Figure 32 : (A) Localisation du site dans le secteur de L'Étang-du-Nord et (B) largeur des tombolos/cordons littoraux dunifiés du site du Petit Étang et de l'Étang à Ben

Les données d'évolution côtière historiques indiquent que ces deux tombolos/cordons littoraux sont en érosion. Celui situé devant Le Petit Étang présente un taux de déplacement moyen de -0,76 m/an pour la période allant de 1963 à 2008, et celui situé devant l'Étang à Ben est de -0,65 m/an au cours de cette même période (Drejza et Bernatchez, 2013).

Leur faible largeur actuelle ainsi que le recul du littoral entraînent la migration de ces deux tombolos/cordons littoraux vers les milieux humides du Petit Étang et de l'Étang à Ben qui perdent graduellement de leur superficie.

4.7 Baie du Havre aux Basques

4.7.1 Présentation du secteur

La Baie du Havre aux Basques est le troisième plan d'eau intérieur d'importance de l'archipel en termes de superficie. Elle s'étend du noyau rocheux de l'Île de Cap-aux-Meules (extrémité nord) à celui de l'Île du Havre-Aubert (extrémité sud). Les tombolos/cordons littoraux de la Dune du Havre aux Basques et de la Dune de l'Ouest forment respectivement les côtés est et ouest de la lagune. Un goulet, appelé le Goulet du Nord, se forme de façon périodique près de l'extrémité sud de la Dune de l'Ouest. Le littoral de la Baie du Havre aux Basques est formé de bas estrans meubles et de battures qui se poursuivent en zones infralittorales peu profondes pouvant atteindre 1 500 m de largeur par endroits. La moitié nord-ouest du plan d'eau est peu profonde, alors que la moitié sud-est est formée d'une zone infralittorale pouvant atteindre 2 à 3 m de profondeur.

La zostère marine est principalement présente au niveau des zones infralittorales peu profondes. Elle est peu présente sur les battures. La Baie du Havre aux Basques abrite un des plus grands complexes de marais maritimes de l'archipel. Ils sont localisés principalement dans la moitié nord-ouest de la baie, mais ils se retrouvent aussi sur l'ensemble de la périphérie de la baie.

4.7.2 Constats généraux par rapport à la zostère marine

Les cartes du recouvrement végétal de la zostère marine de 2008-2009 et de 2019 dans le secteur de la Baie du Havre aux Basques et de son évolution peuvent être visualisées aux cartes 49 à 54 du document cartographique (Papageorges et Bernatchez, 2021). À noter qu'une zone au centre de la baie n'a pas pu être cartographiée en 2008-2009 en raison de l'absence d'imagerie disponible. De plus, seule la portion sud-est du plan d'eau y est représentée puisque la zostère est absente de la portion nord-ouest. Voici les principaux constats par rapport à la zostère marine dans ce secteur :

- Les herbiers de zostère présentent un recouvrement végétal généralement peu élevé par rapport aux autres plans d'eau intérieurs de l'archipel;
- En 2019, la zostère marine était surtout présente à l'extrémité sud du plan d'eau, où une algue épiphyte a été observée sur le terrain et était aussi répandue;
- L'herbier de zostère situé sur la batture au sud-ouest du plan d'eau, vis-à-vis le goulet de la Dune-de-l'Ouest, est presque entièrement disparu;
- Hormis le site du goulet, la zostère marine présente dans les zones cartographiées est généralement en croissance.

4.7.3 Herbiers de zostère, milieux humides et milieux sableux dunifiés dégradés

Deux sites dégradés ont été identifiés sur le continuum côtier de la Baie du Havre aux Basques : le site du *Goulet du Nord* et le site du *tombolo/cordon littoral de la Dune de l'Ouest face à l'Île Arnaud*.

4.7.3.1 Site du Goulet du Nord

Le site du Goulet du Nord est formé du tombolo/cordon littoral de la Dune de l'Ouest et de marais maritimes qui en sont abrités. Du côté intérieur, le plan d'eau forme une zone peu profonde où un herbier de zostère marine était présent en 2008. Entre 2008 et 2019, le chenal du Goulet du Nord semble s'être colmaté de sédiments et les marais maritimes ont gagné en superficie, forçant le chenal à se déplacer vers le sud pour que l'écoulement de l'eau se poursuive.

La migration du chenal du Goulet du Nord vers le sud a entraîné l'érosion du tronçon de tombolo/cordon littoral situé du côté sud du goulet et mené à une perte de 9 222 m² de végétation psammophile et de 5 579 m² de marais maritimes entre 2008 et 2019 (figure 33).

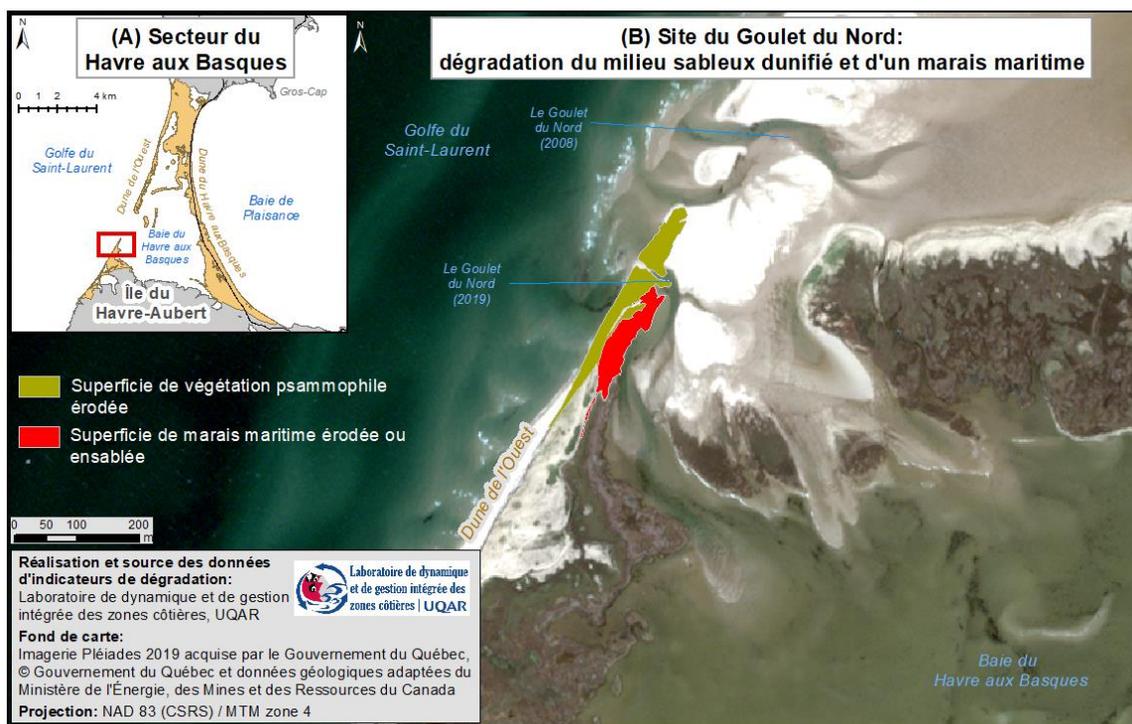


Figure 33 : (A) Localisation du site dans le secteur de la Baie du Havre aux Basques et (B) dégradation du milieu sableux dunifié et d'un marais maritime au sud du Goulet du Nord

De plus, la migration du goulet concorde avec la dégradation de l'herbier de zostère végétalisé et semi-végétalisé qui était situé dans la zone peu profonde dans la portion sud-ouest de la Baie du

Havre-aux-Basques en 2008. En 2019, la portion de l'herbier de zostère qui était située à proximité du Goulet du Nord avait presque entièrement disparu, ce qui correspond à une dégradation élevée et modérée (figure 34). La portion de l'herbier de zostère située plus loin du goulet s'est aussi généralement dégradée mais à plus faible intensité.

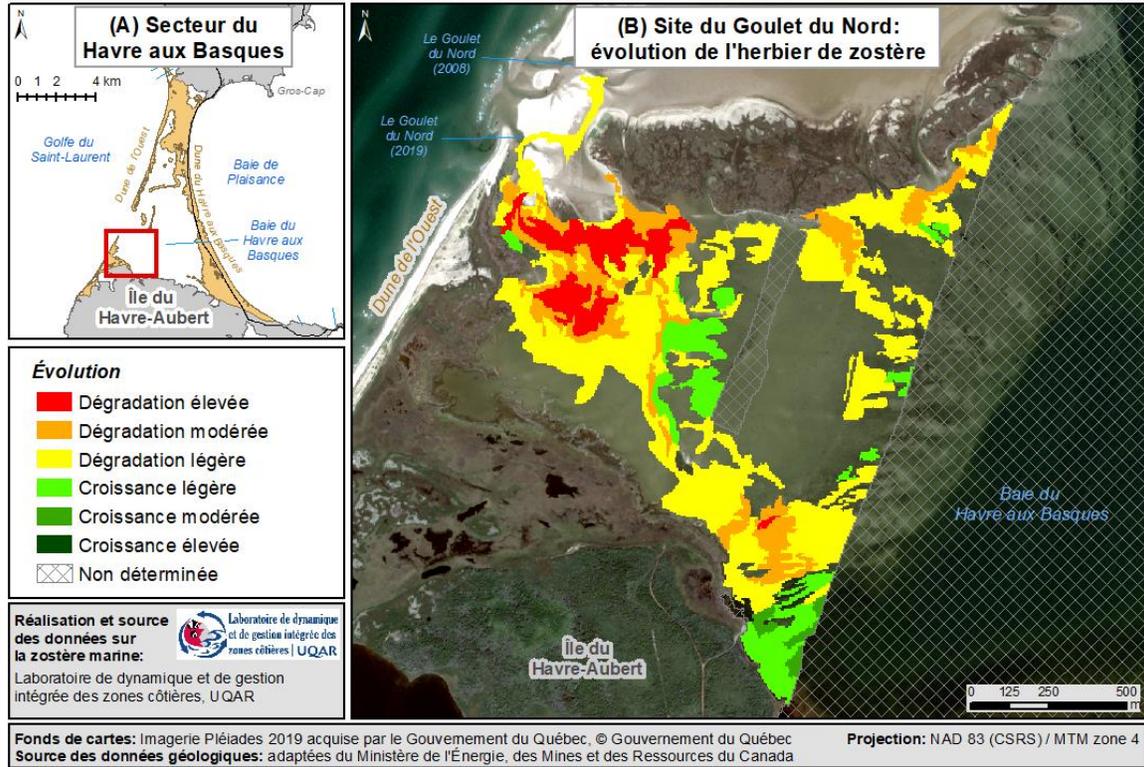


Figure 34 : (A) Localisation du site dans le secteur de la Baie du Havre aux Basques et (B) évolution de l'herbier de zostère situé à proximité du Goulet du Nord

L'ensablement du secteur a recouvert une portion de l'herbier de zostère, ce qui a dû entraîner de la mortalité puisque la plante est sensible à l'ensablement de ses parties foliaires (Mills & Fonseca 2003). De plus, la connexion plus directe avec le milieu marin a changé la dynamique hydrologique de l'endroit à laquelle la zostère marine était adaptée. La sélection génétique qui s'opère dans un herbier de zostère au fil du temps permet à cette espèce de s'adapter aux conditions propres à son lieu de croissance (CREGIM, 2006). Il est donc probable qu'un changement au niveau de la dynamique hydrologique ait pu causer la dégradation de l'herbier de zostère à cet endroit.

L'ensemble des facteurs ayant mené à la dégradation du site, soit le déplacement du goulet ainsi que l'érosion, l'ensablement et les changements de la dynamique hydrologique qui en découlent, correspondent à la dynamique naturelle de ce site.

4.7.3.1 Tombolo/cordon littoral de la Dune de l'Ouest face à l'Île Arnaud

Le site du tombolo/cordon littoral de la Dune de l'Ouest face à l'Île Arnaud est formé d'un milieu sableux dunifié (le tombolo/cordon littoral de la Dune de l'Ouest) et de marais maritimes. À cet endroit, le milieu aquatique est peu profond et est non végétalisé.

En 2009, le tombolo/cordon littoral dunifié de la Dune de l'Ouest était très mince et a mené à l'ouverture d'une brèche d'une largeur d'environ 200 m. Au total, une superficie de 20 787 m² de marais maritime a été perdue à cet endroit entre 2009 et 2019, soit par l'érosion ou par l'ensablement survenu lors des événements de tempête (figure 35).

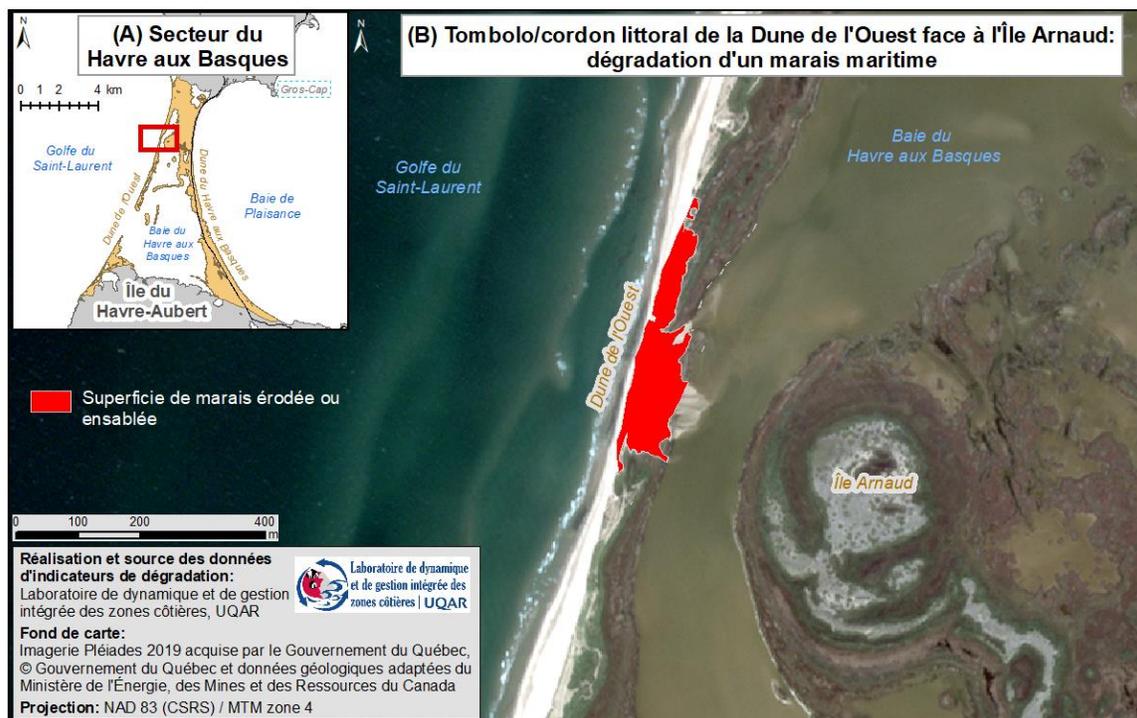


Figure 35 : (A) Localisation du site dans le secteur de la Baie du Havre aux Basques et (B) dégradation d'un marais maritime sur le tombolo/cordon littoral de la Dune de l'Ouest face à l'Île Arnaud

Tout comme sur le tombolo/cordon littoral de la Dune du Sud (voir le paragraphe portant sur le tombolo de la Dune du Sud de la section 4.3.3 à la page 52), l'ouverture de brèches entraîne la dégradation de certains milieux sableux dunifiés et de marais maritimes, mais est aussi essentielle à leur formation lorsque le milieu dunaire s'est aminci par le recul du littoral. Les apports sédimentaires qui surviennent ensuite lors des événements de tempête sont nécessaires pour reformer un milieu dunaire plus large et un milieu intertidal abrité propice à la formation des marais maritimes.

4.8 Baie du Bassin

4.8.1 Présentation du secteur

La Baie du Bassin est un plan d'eau intérieur d'une superficie d'environ 3,3 km² délimité par le noyau rocheux de l'île du Havre-Aubert au nord et à l'ouest. La limite sud du plan d'eau est formée de cordons littoraux dunifiés qui abritent des milieux humides où se retrouve Le Goulet qui connecte la baie au golfe du Saint-Laurent.

Le littoral de la Baie du Bassin est formé de bas estrans meubles et de battures qui se poursuivent généralement en zones infralittorales peu profondes. Au centre du plan d'eau, la zone infralittorale présente une profondeur allant de 2 à environ 4,5 m.

La zostère marine est principalement présente au niveau des zones infralittorales peu profondes qu'on retrouve surtout du côté nord de la baie, ainsi qu'au bout des battures du côté sud. De grands complexes de milieux humides sont présents de chaque côté du goulet. Des milieux humides sont aussi présents de façon éparse du côté nord du plan d'eau.

4.8.2 Constats généraux par rapport à la zostère marine

Les cartes du recouvrement végétal de la zostère marine de 2008 et de 2019 dans le secteur de la Baie du Bassin et de son évolution peuvent être visualisées aux cartes 55 à 57 du document cartographique (Papageorges et Bernatchez, 2021). À noter que le centre de la baie n'a pas pu être cartographié en 2008 à cause de l'absence d'imagerie disponible. Voici les principaux constats par rapport à la zostère marine dans ce secteur :

- Les herbiers de zostère qui ont pu être cartographiés semblent généralement stables;
- Une zone située au sud-est du plan d'eau semble être en dégradation.

4.8.3 Herbiers de zostère, milieux humides et milieux sableux dunifiés dégradés

Deux sites dégradés ont été identifiés dans le secteur de la Baie du Bassin : l'herbier de zostère situé sur la *batture à l'extrémité sud de la baie*, ainsi que le cordon littoral et milieu humide de *La Dune du Bassin*.

4.8.3.1 Batture à l'extrémité sud de la Baie du Bassin

L'extrémité sud de la Baie du Bassin est formée d'une batture qui se poursuit en zone infralittorale peu profonde. Cette portion du plan d'eau est abritée par des cordons littoraux et de milieux humides et où se trouve aussi Le Goulet qui permet la connexion du plan d'eau avec le golfe du Saint-Laurent.

En 2008, la zostère marine était davantage présente sur la batture qu'en 2019, représenté par une dégradation légère, modérée et élevée (figure 36). La dégradation survenue sur le delta du Goulet est liée à l'ensablement causé par la dynamique active de ce type d'environnement. La dégradation survenue sur la batture à l'est du goulet n'est pour l'instant pas expliquée. Il faut toutefois mentionner qu'une petite superficie de la Baie du Bassin a pu être cartographiée seulement, et qu'il est possible que la dégradation observée à proximité de la berge sur cette batture soit compensée par une croissance sur la zone infralittorale peu profonde. Ce site devra donc être analysé à nouveau dans le futur afin de valider son évolution.

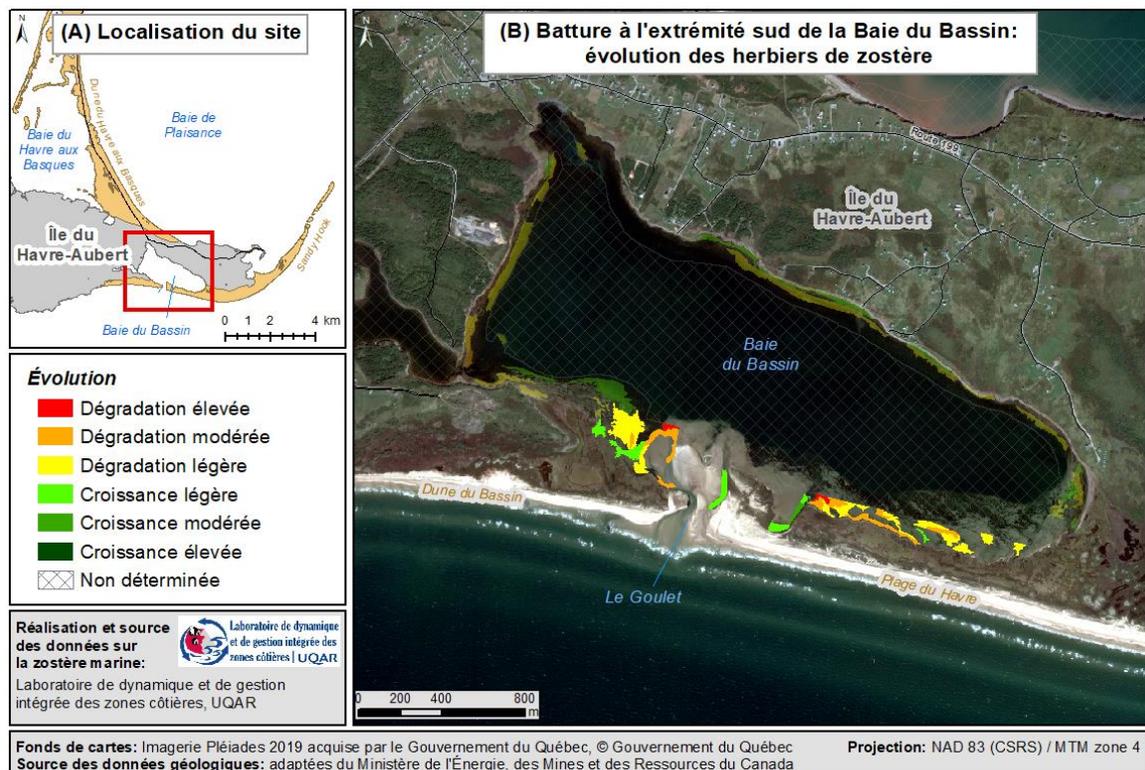


Figure 36 : (A) Localisation du site sur l'Île du Havre-Aubert et (B) évolution des herbiers de zostère sur la batture à l'extrémité sud de la Baie du Bassin (secteur de la Baie du Bassin)

4.8.3.2 La Dune du Bassin

La Dune du Bassin, située du côté ouest du Goulet de la Baie du Bassin, est formée d'un cordon littoral mince qui abrite un milieu humide. En 2019, suite à la tempête Dorian du 8 septembre, la végétation psammophile était même absente du cordon littoral par endroits. L'absence de végétation pour retenir le sable en place a mené au déplacement du sable vers le milieu humide qui perd graduellement de sa superficie. Entre 2008 et 2019, l'érosion et le recul du cordon littoral de la Dune du Bassin a engendré une perte de 56 198 m² de superficie de milieu humide (figure 37).



Figure 37 : (A) Localisation du site sur l'île du Havre-Aubert et (B) dégradation de milieux humides au niveau de la Dune du Bassin (secteur de la Baie du Bassin)

Les données historiques de l'évolution côtière et les données récentes du suivi de l'érosion côtière indiquent que le site de la Dune du Bassin est en érosion depuis plusieurs décennies et qu'elle s'est accélérée au cours de la période récente. Le site présente des taux de déplacement moyens pour la période de 1963 à 2008 d'environ -0,72 m/an (-0,70 m/an pour la période de 1963 à 1983 et -0,74 m/an pour la période de 1983 à 2008) (Drejza et Bernatchez, 2013). Les données récentes du suivi de l'érosion côtière montrent une accélération du recul du littoral, avec un taux de déplacement moyen de - 1,26 m/an pour la période de 2008 à 2019 (LDGIZC, 2019).

L'érosion du cordon littoral mince de la Dune du Bassin le pousse à migrer vers le milieu humide. Ce dernier perd graduellement de sa superficie puisque l'arrière du milieu humide est accoté sur

le roc de la Pointe à Marichite qui fait obstacle à sa migration. Ce milieu humide est donc affecté par le phénomène de coincement côtier.

Le fait que le site de la Dune du Bassin soit en érosion depuis plusieurs décennies indique qu'il s'agit de la dynamique naturelle. Toutefois, la diminution de la durée de l'englacement et la hausse du niveau moyen relatif de la mer sont probablement les principaux facteurs qui expliquent l'accélération récente de l'érosion du site.

4.9 Havre-Aubert / flèche littorale du Sandy Hook

4.9.1 Présentation du secteur

Au sud de la Baie de Plaisance, le noyau rocheux de l'île du Havre-Aubert et la flèche littorale du Sandy Hook forment une zone abritée et des zones semi-abritées propices à la présence de la zostère marine et de marais maritimes. Le littoral est généralement constitué de battures qui se poursuivent en zones infralittorales meubles peu profondes. Toutefois, au nord de La Grave et des Buttes des Demoiselles, le milieu aquatique est pour sa part constitué d'une alternance de substrats meubles et rocheux.

Les herbiers de zostère les plus étendus et denses du secteur se retrouvent dans les zones infralittorales peu profondes du havre abrité formé de La Petite Baie, de l'Anse à Cadet, de l'Étang du Sable et du Havre Amherst. La zostère est aussi présente de façon plus éparse sur la batture et sur la zone infralittorale peu profonde abritées par la flèche littorale du Sandy Hook. La zostère marine a aussi été répertoriée au nord de La Grave et des Buttes des Demoiselles (MPO, 2020), mais elle n'a toutefois pas pu être cartographiée étant donné la turbidité de l'eau et la diversité de la végétation aquatique et du substrat à cet endroit.

La flèche littorale du Sandy Hook abrite les milieux humides les plus étendus du secteur. D'autres milieux humides, de plus petites tailles, se retrouvent aussi sur le pourtour du havre abrité.

4.9.2 Constats généraux par rapport à la zostère marine

Les cartes du recouvrement végétal de la zostère marine de 2008-2009 et de 2019 dans le secteur du Havre-Aubert / flèche littorale du Sandy Hook et de son évolution peuvent être visualisées aux cartes 58 à 63 du document cartographique (Papageorges et Bernatchez, 2021). À noter que le centre du havre abrité n'a pas pu être cartographié en 2008-2009 à cause de l'absence d'imagerie disponible. Voici les principaux constats par rapport à la zostère marine dans ce secteur :

- Les herbiers de zostère présents entre les barres sableuses abritées par la flèche littorale du Sandy Hook se déplacent en fonction du mouvement des barres sableuses dans le temps et semblent stables ou tendre vers une dégradation légère;

- Les herbiers de zostère présents dans La Petite Baie et l'Anse à Cadet sont généralement stables;
- Les herbiers de zostère présents sur les battures du Havre Amherst et de l'Étang du Sable sont en dégradation.

4.9.3 Herbiers de zostère, milieux humides et milieux sableux dunifiés dégradés

Deux sites dégradés ont été identifiés dans le secteur du Havre-Aubert / flèche littorale du Sandy Hook : les herbiers de zostère situés sur les *battures du Havre Amherst et de l'Étang du Sable*, ainsi qu'un milieu humide situé sur la *portion de flèche littorale du Sandy Hook face au Cap Gridley*.

4.9.3.1 Battures du Havre Amherst et de l'Étang du Sable

Les battures du Havre Amherst et de l'Étang du Sable sont abritées par la flèche littorale du Sandy Hook ainsi que par le noyau rocheux de l'île du Havre-Aubert. Elles se poursuivent en zones infralittorales peu profondes.

Les herbiers de zostère présents sur les battures du Havre Amherst et de l'Étang du Sable sont en dégradation légère, faible et élevée (figure 38). Les facteurs ayant mené à cette dégradation n'ont pour l'instant pas pu être identifiés. Les perturbations identifiées au niveau de ce site sont la circulation en véhicules motorisés sur le littoral du Havre Amherst, le trafic maritime, l'augmentation de la pratique du kitesurf, ainsi que l'exposition aux tempêtes en provenance du nord-est.

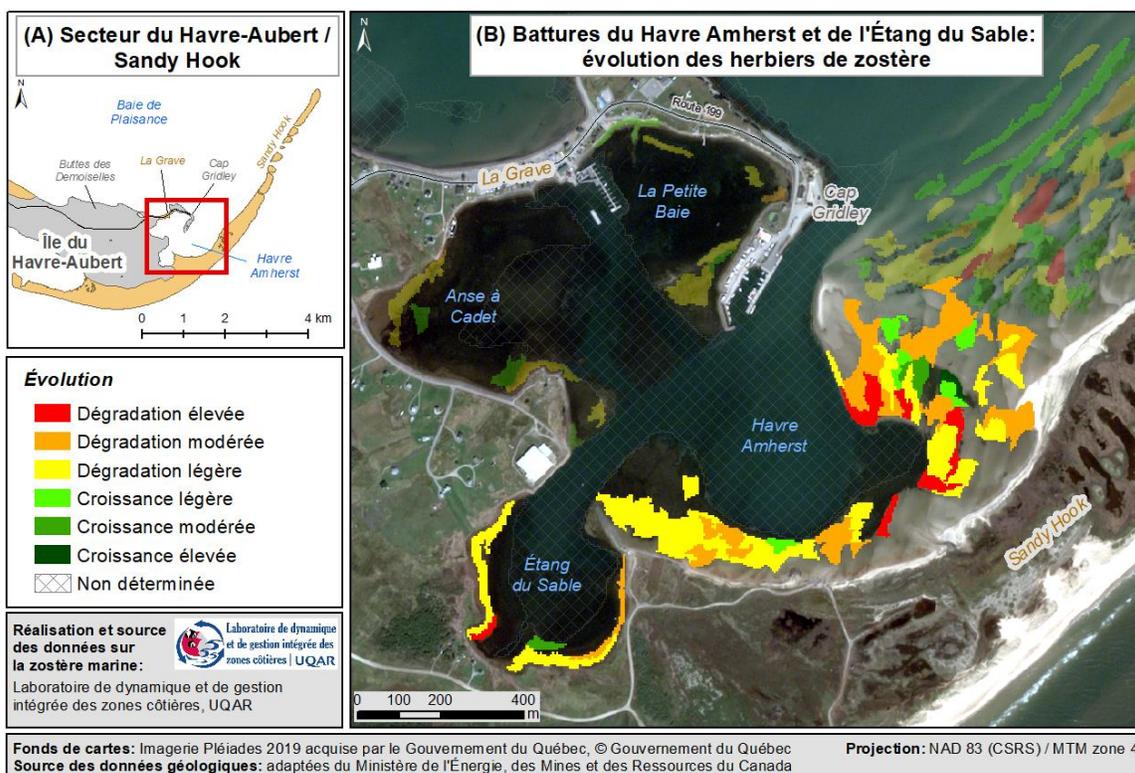


Figure 38 : (A) Localisation du site dans le secteur du Havre-Aubert / Sandy Hook et (B) évolution des herbiers de zostère sur les battures du Havre Amherst et de l'Étang du Sable

4.9.3.2 Portion de la flèche littorale du Sandy Hook face au Cap Gridley

Les flèches littorales sont des systèmes côtiers très dynamiques. Selon les données historiques de l'évolution côtière, entre 1963 et 2008, le côté de la flèche littorale du Sandy Hook situé vers la Baie de Plaisance se sépare en deux bilans sédimentaires distincts : l'extrémité nord-est de la flèche littorale et la moitié sud-ouest. Alors que l'extrémité nord-est de la flèche littorale a eu un bilan sédimentaire positif (taux de déplacement moyen de 0,68 m/an), la moitié sud-ouest plus près de l'Île du Havre-Aubert a eu un bilan sédimentaire négatif pendant cette période (taux de déplacement moyen de - 0,85 m/an) (Drejza et Bernatchez, 2013).

Un milieu humide de grande taille (environ 0,45 km²) est présent sur la moitié sud-ouest de la flèche littorale du Sandy Hook, vis-à-vis du Cap Gridley. Ce milieu humide a eu un bilan sédimentaire négatif au cours de la période allant de 1963 à 2008. Dans la période récente, de 2008 à 2019, il a aussi généralement été en érosion avec un taux de déplacement moyen de - 1,92 m/an (LDGIZC, 2019). Au total, il a perdu une superficie de 31 151 m² entre 2008 et 2019 par l'érosion et l'ensablement (figure 39). Aucun milieu humide n'est présent dans la moitié nord-est de la flèche littorale.

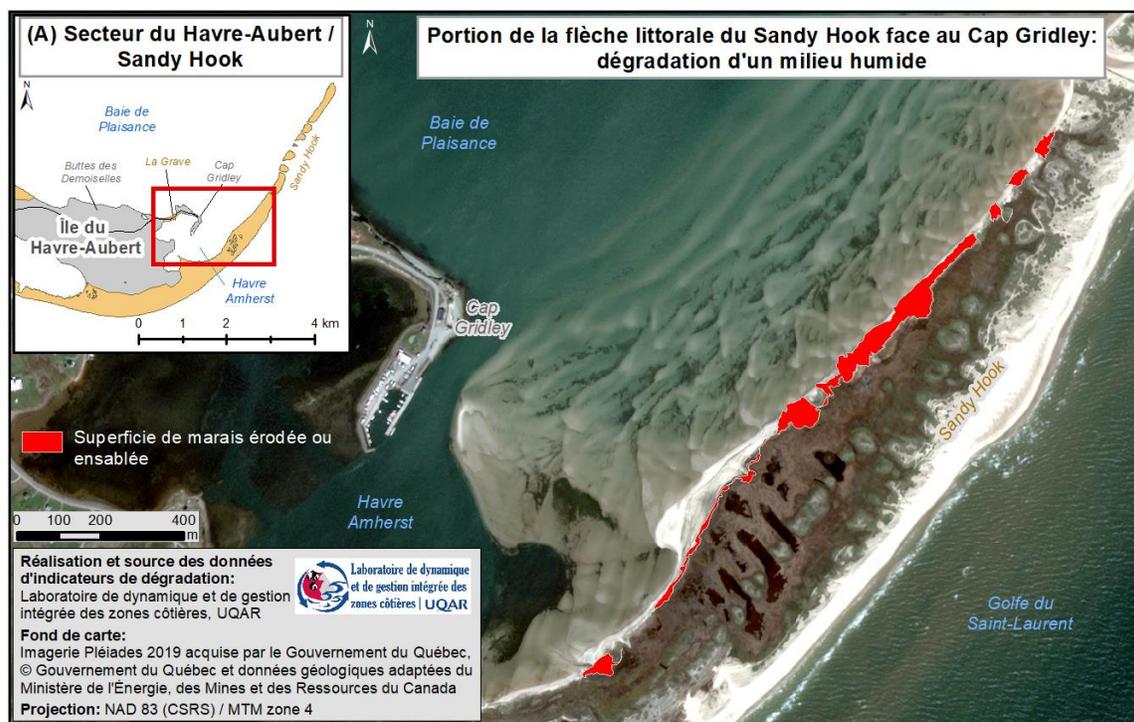


Figure 39 : (A) Localisation du site dans le secteur du Havre-Aubert / Sandy Hook et (B) dégradation d'un milieu humide sur la flèche littorale du Sandy Hook face au Cap Gridley

La perte de superficie de ce milieu humide correspond à la dynamique naturelle de la flèche littorale du Sandy Hook, où certaines portions sont en érosion et d'autres sont en accumulation. De plus, la diminution de la durée de l'englacement et la hausse du niveau moyen relatif de la mer contribuent probablement à accentuer l'érosion du site.

5. Conclusion

Les herbiers de zostère, les milieux humides côtiers et les milieux sableux dunifiés qui les protègent sont des écosystèmes côtiers qui remplissent plusieurs rôles écologiques importants. Leur valeur écologique élevée engendre aussi une forte valeur sociale et économique pour les communautés qui vivent à proximité, qui en bénéficient notamment via la pêche, la chasse, le tourisme, la qualité de vie, la qualité de l'eau potable et la protection côtière naturelle. Les pressions sur ces milieux sont toutefois en croissance par les utilisations qui en sont faites, la mise en place d'infrastructures rigides mal adaptées à la dynamique côtière et par les changements climatiques. Il importe donc d'effectuer le suivi de ces écosystèmes dans le temps et de contribuer à la restauration de sites dégradés lorsque possible.

Le projet d'*Intégration du savoir local et scientifique dans la restauration d'écosystèmes côtiers à forte valeur écologique dans le golfe du Saint-Laurent* s'inscrit dans cette perspective qui vise la restauration d'écosystèmes côtiers dégradés aux Îles-de-la-Madeleine. Les écosystèmes visés par le projet forment un continuum côtier dans lequel ils sont interconnectés, comprenant des milieux sableux dunifiés (flèches littorales, tombolos/cordons littoraux et terrasses de plage), les milieux humides côtiers et les herbiers de zostère.

La *cartographie rétrospective de la zostère marine* aux Îles-de-la-Madeleine réalisée dans le cadre du projet actuel comprend le recouvrement végétal en 2008 ou 2009 et en 2019, de même que l'évolution des herbiers de zostère au cours de cette période. Cette cartographie comble des lacunes importantes au niveau de la répartition et de l'état de ces écosystèmes sur l'archipel et permet de cibler des sites dégradés qui nécessiteraient des interventions de restauration. Entre 2008 ou 2009 et 2019, 12 257 420 m² d'herbiers ont montré une dégradation alors qu'il y a eu 7 988 145 m² où il y a eu une croissance des herbiers. L'ensemble de la cartographie réalisée est disponible dans le *Document cartographique du recouvrement végétal et de l'évolution des herbiers de zostère de l'archipel pour la période 2008-2009 à 2019* (Papageorges et Bernatchez, 2021).

Le *portrait des écosystèmes côtiers dégradés* vise pour sa part à identifier et à présenter des sites dégradés d'herbiers de zostère, de milieux humides côtiers et de milieux sableux dunifiés aux Îles-de-la-Madeleine, ainsi que les causes qui ont pu mener à leur dégradation. Au total, 24 sites dégradés répartis en 9 secteurs y sont présentés. Ce portrait constitue une base de connaissances quant à l'emplacement et à la dynamique de différents écosystèmes côtiers dégradés de l'archipel et pourra être utilisé afin de cibler les endroits propices où effectuer des interventions de restauration côtière dans les années à venir.

Afin que les interventions de restauration côtière réalisées dans le futur soient garantes de succès, il convient de souligner l'importance de cibler les facteurs ayant causé la dégradation d'un écosystème avant d'amorcer des interventions directes sur le terrain. Pour qu'elle soit concluante, une intervention de restauration côtière doit être accompagnée d'actions dirigées envers les causes ayant mené à la détérioration du site, sans quoi la dégradation se poursuivra. Il

sera donc nécessaire d'approfondir les causes de la dégradation pour certains sites présentés dans le *portrait des écosystèmes côtiers dégradés* lorsqu'il n'a pas été possible de le faire.

Finalement, les connaissances sur la zostère marine et sur les écosystèmes côtiers dégradés présentées dans ce rapport vont de pair avec le savoir local des organismes qui œuvrent à la gestion et à la protection de l'environnement présents aux Îles-de-la-Madeleine. Ces organismes ont développé des expertises propres à la réalité du milieu dans lequel ils œuvrent et font le pont avec les communautés locales. Cette complémentarité d'acteurs au sein d'un même projet facilite l'intégration des connaissances et fait en sortes qu'elles sont mieux adaptées à la réalité du milieu, un élément clé d'une bonne gestion du territoire.

6. Références

Attention Fragîles (2019). Organisme qui œuvre à la protection de l'environnement, informations résultant de campagnes de terrain en préparation au projet *Intégration du savoir local et scientifique dans la restauration d'écosystèmes côtiers à forte valeur écologique dans le golfe du Saint-Laurent*, communication personnelle, octobre 2019.

Bernatchez, P., Drejza, S. et Dugas, S. (2012). Marges de sécurité en érosion côtière : évolution historique et future du littoral des îles de la Madeleine. 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, juillet 2012, 71 p. et annexes

Bernatchez P. et S. Drejza (2015). Réseau de suivi de l'érosion côtière du Québec maritime - Guide pour les utilisateurs. Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières et Chaire de recherche en géoscience côtière. Université du Québec à Rimouski, octobre 2015, 52 p.

CJB Environnement inc. (2007). Étude d'impact sur l'environnement : Programme décennal de dragage d'entretien du chenal maritime de Mines Seleine à Grande-Entrée, Îles-de-la-Madeleine. Présenté au ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec, pour la Société canadienne de Sel Limitée, mars 2007, 34 p.

Comité ZIP des Îles (2021). Inventaire et délimitation des milieux humides des Îles-de-la-Madeleine. Données internes.

CREGIM (2006). Conseil régional de l'environnement Gaspésie – Îles-de-la-Madeleine, Version améliorée pour le « Guide d'activités et de sensibilisation et d'éducation à la zostère marine », 18 p.

Drejza, S., et Bernatchez P. (2013). Géomorphologie, dynamique côtière et vulnérabilité des Îles de la Madeleine, rapport de recherche du Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières, UQAR, document interne, 77 p.

Drejza, S., Friesinger, S. et Bernatchez, P. (2014). Vulnérabilité des infrastructures routières de l'Est du Québec à l'érosion et à la submersion côtière dans un contexte de changements climatiques : Caractérisation des côtes, dynamique hydrosédimentaire et exposition des infrastructures routières à l'érosion et à la submersion, Est du Québec, Volume I, Projet X008.1. Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières, Université du Québec à Rimouski. Remis au ministère des Transports du Québec, mars 2014, 226 p. + annexes.

Gouvernement du Canada (a). En ligne, <https://ouvert.canada.ca/data/fr/dataset/c9ab948f-5009-4dbc-9129-2f6e373f17f6> (page consultée le 19 juin 2020).

Gouvernement du Canada (b). En ligne, <https://www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/services/reserves-nationales-faune/existantes/pointe-est.html> (page consultée le 23 décembre 2020).

Grandtner, M. M. (1968). Quelques observations sur la végétation psammophile des Îles-de-la-Madeleine. *Faculté de foresterie, Université Laval, E Collectanea Botanica*, vol. VII, I - Fascicule I – N° 25, Barcinone, février 1968, 12 p.

Green, A.E., Unsworth, R.K.F., Chadwick, M.A., Jones, P.J.S. (2021) Historical analysis exposes catastrophic seagrass loss for the United Kingdom. *Frontiers in Plant Science*. Vol. 12.

Hétu, B., Rémillard, A.M., Bernatchez, P., St-Onge, G. (2020). Landforms and Landscapes of the Magdalen Islands : the role of geology and climate. In Slaymaker, O. and Catto, N. editors, *Landscapes and Landforms of Eastern Canada*. pp. 431-451. Springer, 596 p.

Jia, M., Wang, Z., Wang, C., Mao, D., et Zhang, Y. (2019). A new vegetation index to detect periodically submerged Mangrove forest using single-tide sentinel-2 imagery. *Remote Sensing*, 11(17), 2043.

LDGIZC (2020). Suivi de l'érosion des berges, données internes.

Leblanc-Jomphe, C., Veyssière, M. et Giroux, M.-È. (2020). Rapport annuel 2019-2020 - Intégration du savoir local et scientifique dans la restauration d'écosystèmes côtiers à grande valeur écologique. Produit par Attention Fragîles en étroite collaboration avec l'équipe du Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières de l'UQAR. Îles-de-la-Madeleine (Québec). 93 p.

Lotze, H.K., Lenihan, H.S., Bourque, B.J., Bradbury, R.H., Cooke, R.G., Kay M.C., Kidwell, S.M., Kirby, M.X., Peterson, C.H., Jackson, J.B.C., (2016). Depletion, degradation, and recovery potential of estuaries and coastal seas. *Science*, vol. 312, issue 5781, pp. 1806-1809.

Ma, Z., et Zhou, G. (2018). Canopy modeling of aquatic vegetation: construction of submerged vegetation index. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*, 42(3).

Martel, M. C., Provencher, L., Grant, C., Ellefsen, H. F., & Pereira, S. (2009). Distribution et description des herbiers de zostère du Québec. Secrétariat canadien de consultation scientifique / Canadian Science Advisory Secretariat.

Mills, K. E., et Fonseca, M. S. (2003). Mortality and productivity of eelgrass *Zostera marina* under conditions of experimental burial with two sediment types. *Marine Ecology Progress Series*, 255, 127-134.

MPO (2020). Monitoring de la déposition benthique du homard aux Îles-de-la-Madeleine. Échanges avec N. Paille, 2020-11-10.

NASA Earth Observatory. En ligne, <https://earthobservatory.nasa.gov/features/FalseColor/page6.php> (page consultée le 28 décembre 2020).

O'Carroll, S. et Jolicoeur, S. (2018). Projet de cartographie numérique (SIG) : Milieux humides et autres habitats côtiers présents sur les terres provinciales de la Pointe de l'Est, Îles-de-la-Madeleine (Qc). Géo Littoral Consultants. Document remis à Attention Fragiles le 26 mars 2018, 24 p.

Papageorges, S. et Bernatchez, P. (2021). Document cartographique du recouvrement végétal et de l'évolution des herbiers de zostère aux Îles-de-la-Madeleine pour la période 2008-2009 à 2019. Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières, Université du Québec à Rimouski. Remis à Pêches et Océans Canada, avril 2021, 63 cartes.

Shepard, C. C., Crain, C. M., & Beck, M. W. (2011). The protective role of coastal marshes: a systematic review and meta-analysis. *PloS one*, 6(11), e27374.

7. Annexes

Annexe 1 : Caractéristiques des sources d'imageries utilisées pour la cartographie de la zostère marine et le portrait des écosystèmes côtiers dégradés

	Année récente (2019)		Période de référence (2008-2009)	
	Pléiade	MERN	SPOT-5	LDGIZC
Date des relevés	22 septembre 2019	13 mai 2019	17 septembre 2009	12 au 26 septembre 2008
Type de relevés	Satellitaire	Aéroporté	Satellitaire	Aéroporté
Résolution	Multispectrale (2,5 x 2,5 m) Affinage panchromatique (0,5 x 0,5 m)	0,48 x 0,85 m	2,5 x 2,5 m	0,16 x 0,16 m
Bandes spectrales	Rouge Vert Bleu PIR	Rouge Vert Bleu PIR non géoréférencé	Rouge Vert PIR	Rouge Vert PIR
Visibilité dans la colonne d'eau	Moyenne (présence de réflexion spéculaire et de turbidité limitant la visibilité dans les zones où la colonne d'eau est plus grande)	Excellente (pas de réflexion spéculaire ni de turbidité)	Limitée (probablement liée au capteur)	Excellente (pas de réflexion spéculaire ni de turbidité)
Critères non rejoints	Visibilité moyenne dans la colonne d'eau.	<ul style="list-style-type: none"> • Relevés effectués trop tôt dans la saison de croissance de la végétation; • PIR non disponible. 	Visibilité limitée dans la colonne d'eau.	
Informations complémentaires	Images prises 2 semaines après la tempête historique Dorian (8 septembre 2019), donc besoin de le prendre en considération lors de l'analyse des résultats.		Ne couvre pas l'ensemble du territoire des Îles-de-la-Madeleine (portion manquante au sud).	<ul style="list-style-type: none"> • L'imagerie est formée d'une multitude de lanières qui ne se chevauchent pas (impossible d'en faire des mosaïques), rendant le traitement par télédétection plus long qu'une cartographie manuelle par photointerprétation; • L'imagerie présente des erreurs de géoréférencement dans les lagunes, entraînant des décalages visibles entre les lanières en milieu aquatique; • Pour le milieu aquatique, le territoire couvert par l'imagerie disponible n'inclus qu'une bordure sur le pourtour des lagunes.

Annexe 2 : Métadonnées des géodatabases de cartographie du recouvrement végétal de la zostère marine aux Îles-de-la-Madeleine en 2008-2009 et en 2019

Noms des géodatabases : *Recouvrement_zos_2019* et *Recouvrement_zos_2008_2009*

Noms des jeux de données : *Zostere_IDLM_2019_VF20201124* et

Zostere_IDLM_2008_2009_VF20210112

Type de géodatabase : géodatabase de type fichier (File Geodatabase)

Projection : NAD 83 (CSRS) / MTM zone 4

Informations sur les champs de la géodatabase *Recouvrement_zos_2019*

Nom de champ	Description	Type de champ	Taille	Méthode de saisie
Zo_COV	Recouvrement végétal occupé par la zostère marine (texte au long).	Texte	25	Menu déroulant (domaine <i>Vg_COV</i>)
COV_rec_t	Recouvrement végétal occupé par la zostère marine pour l'année récente, en format texte simplifié.	Texte	2	Généré à partir de <i>Zo_COV</i>
COV_rec_v	Recouvrement végétal occupé par la zostère marine pour l'année récente, en valeurs numériques.	Entier court	na	Généré à partir de <i>Zo_COV</i>
Vg_COV	Recouvrement végétal total (toutes espèces confondues).	Texte	25	Menu déroulant (domaine <i>Vg_COV</i>)
Vg_TYPE_1/2	Type de végétation en ordre de dominance (1, 2). Pour être considéré, un 2e type de végétation doit occuper plus de 25% du recouvrement végétal total. NB: il aurait été possible d'avoir 4 colonnes de types de végétation, mais un maximum de 2 colonnes ont été utilisées seulement. Deux colonnes de types de végétation ont donc été conservées dans la géodatabase.	Texte	50	Menu déroulant (domaine <i>Vg_TYPE</i>)
Vg_Zostere	Présence de zostère marine (<i>Oui/Non/nd</i>), où nd correspond à une présence non déterminée.	Texte	5	Inscription manuelle
Vg_NOTES	Notes supplémentaires concernant la végétation.	Texte	255	Inscription manuelle
sp_ANIML	Espèces animales observées lors de la validation terrain.	Texte	255	Inscription manuelle
sp_NUIS	Espèces animales ou végétales reconnues potentiellement nuisibles pour la zostère marine ayant été observées au niveau du polygone.	Texte	50	Inscription manuelle
Comm_gen	Commentaires généraux.	Texte	255	Inscription manuelle
Valid_terr	Source de validation terrain effectuée pour ce polygone s'il y a lieu.	Texte	35	Menu déroulant (domaine <i>Valid_terr</i>)
Modif_pers	Nom de la dernière personne ayant modifié ce polygone.	Texte	50	Généré automatiquement à partir du suivi d'éditeur
Modif_date	Date de la dernière modification de ce polygone.	Date	na	Généré automatiquement à partir du suivi d'éditeur
Secteur	Secteur de continuum côtier auquel appartient ce polygone.	Texte	100	Inscription manuelle
Imagerie	Source d'imagerie utilisée pour effectuer la segmentation initiale.	Texte	100	Inscription manuelle

Informations sur les champs de la géodatabase *Recouvrement_zos_2008_2009*

Nom de champ	Description	Type de champ	Taille	Méthode de saisie
Zo_COV	Recouvrement végétal occupé par la zostère marine (texte au long).	Texte	25	Menu déroulant (domaine <i>Vg_COV</i>)
COV_ref_t	Recouvrement végétal occupé par la zostère marine pour l'année récente, en format texte simplifié.	Texte	2	Généré à partir de <i>Zo_COV</i>
COV_ref_v	Recouvrement végétal occupé par la zostère marine pour l'année récente, en valeurs numériques.	Entier court	na	Généré à partir de <i>Zo_COV</i>
Vg_Zostere	Présence de zostère marine (<i>Oui/Non/nd</i>), où nd correspond à une présence non déterminée.	Texte	5	Inscription manuelle
Vg_NOTES	Notes supplémentaires concernant la végétation.	Texte	255	Inscription manuelle
Comm_gen	Commentaires généraux.	Texte	255	Inscription manuelle
Modif_pers	Nom de la dernière personne ayant modifié ce polygone.	Texte	50	Généré automatiquement à partir du suivi d'éditeur
Modif_date	Date de la dernière modification de ce polygone.	Date	na	Généré automatiquement à partir du suivi d'éditeur
Secteur	Secteur de continuum côtier auquel appartient ce polygone.	Texte	100	Inscription manuelle
Imagerie	Source d'imagerie utilisée pour effectuer la segmentation initiale.	Texte	100	Inscription manuelle

Domaine *Vg_COV*

Description : Recouvrement végétal

Utilisation : *Recouvrement_zos_2019* (champ *Zo_COV* et *Vg_COV*) et *Recouvrement_zos_2008_2009* (champ *Zo_COV*)

Vg_COV	
Description	Code
non végétalisé (0-1%)	nv
peu végétalisé (1-25%)	pv
semi-végétalisé (25-75%)	sv
végétalisé (75-100%)	vg
non déterminé	nd

Domaine *Vg_TYPE*

Description : Type de végétation selon la dominance (1, 2, 3, 4)

Utilisation : *Recouvrement_zos_2019* (champs *Vg_TYPE_1* et *Vg_TYPE_2*)

Vg_TYPE	
Description	Code
algue(s) indifférenciée(s)	al
algues mixtes	alm
autre(s) plante(s) vasculaire(s)	apv
fucacées	fuc
non déterminé	nd
non végétalisé	nv
plante(s) vasculaire(s) indifférenciée(s)	pvi
ulvacées	ulv
végétation indifférenciée	vind
zostère marine	zo

Domaine *Valid_terr*

Description : Source de la validation terrain effectuée pour ce polygone, le cas échéant

Utilisation : : *Recouvrement_zos_2019* (champ *Valid_terr*)

Valid_terr	
Description	Code
UQAR FRC 2020	uqf20
UQAR 2020	uq20
UQAR 2019	uq19

UQAR FRC 2020 : Validation terrain effectuée en août 2020 sur le bas estran et dans l'infralittoral par l'UQAR (LDGIZC) dans le cadre des projets *Intégration du savoir local et scientifique dans la restauration d'écosystèmes côtiers à forte valeur écologique dans le golfe du Saint-Laurent et Résilience côtière*.

UQAR 2020 : Validation terrain effectuée en juin 2020 sur le bas estran par l'UQAR (LDGIZC) dans le cadre du projet *Résilience côtière*.

UQAR 2019 : Validation terrain effectuée en juillet et août 2019 sur le bas estran par l'UQAR (LDGIZC) dans le cadre du projet *Résilience côtière*.

Équivalence des champs de recouvrement végétal

Zo_COV	COV_ref_t COV_rec_t	COV_ref_v COV_rec_v
Description (texte)	Simplifié (texte)	Simplifié (valeur numérique)
non végétalisé (0-1%)	nv	0
peu végétalisé (1-25%)	pv	1
semi-végétalisé (25-75%)	sv	2
végétalisé (75-100%)	vg	3
non déterminé	nd	30 ou 50 ¹

1 Les valeurs numériques de recouvrement végétal non déterminé ont été fixées à 50 pour l'année récente et à 30 pour la période de référence afin que, lors du calcul de l'évolution, la différence entre les deux années ne puisse pas être égale à 0 et soit différente des autres valeurs d'évolution.

Annexe 3 : Protocoles de validation terrain aux Îles-de-la-Madeleine (août 2020)

Protocole ROV (zodiac)

À préparer la veille

- Visualiser les secteurs qui seront visités et prendre des notes sur les cartes au besoin
- Matériel
- Préparer le carnet terrain avec les points prévus

Matériel à bord

- 2 ROV (véhicules)
- 2 ROV (reel)
- GPS
- Drybag pour GPS
- Batteries de rechange pour GPS
- Cellulaire chargé
- Drybag pour cellulaire
- Cartons de points déjà nommés + ziploc moyen
- Cartons blancs de spare + ziploc moyen
- Cartes papier des secteurs dans fiches plastique + pad
- Carnet terrain waterproof
- Mousquetons (4)
- Montre
- Ziplocs de spare (2 moyens, 2 gros, 3 extra-large)
- Clips à papier de spare
- Crayons (feutre noir petit et gros + feutre rouge + plomb)
- Flag orange
- Guenilles dans ziploc
- Drybag (grand) pour matériel
- 2 stocks d'apnée au cas (palmes masque tuba plombs)
- GoPro au cas
- Stock perso pour la journée (lunch, collations, linge chaud, crème solaire, lunettes soleil, casquette)

Matériel véhicule

- Boîte d'outils réparation ROV
- Ordinateur portable
- Fil GPS

Avant de partir en zodiac

- Passer au travers de la liste de vérification Deep Trekker
- Vérifier que les points de validation sont bien affichés sur le GPS

Prise de données avec ROV

- Allumer le véhicule
- Confirmer la visibilité (tout fonctionne)
- Débuter l'enregistrement vidéo
- Enregistrer la carte du nom de point avec le ROV
- Mettre le ROV à l'eau
- Descente du ROV
- Faire les 3 enregistrements suivants quand on obtient une bonne visibilité du fond
 - 1) Stabiliser le ROV face au fond pour obtenir une vue claire sur le fond
 - 2) Faire un 360° au niveau du point avec 4 pauses (environ à chaque 90°)
 - 3) Parcourir un carré autour du point à environ 3m du centre en faisant des pauses

NB1 : la vue vers le fond peut avoir été prise à plus d'une reprise et peut avoir été prise après avoir fait le 360°.

NB2 : Parfois certaines conditions ont empêché d'effectuer le protocole de prise de données complet (ex. : courant, risque d'enchevêtrement, houle qui empêche de manœuvrer correctement, etc.)

- Remontée du ROV
- Éteindre le véhicule
- Retirer le véhicule de l'eau

Prise de notes (écrit dans carnet terrain ou enregistrement vocal)

Les éléments suivants doivent être notés :

- Nom du point
- Date
- Heure début déploiement
- Heure fin déploiement
- Température
- Profondeur

- Caractéristiques du point (étagement, substrat, couverture de végétation totale, couverture de la zostère lorsque présente, type de végétation, espèces animales observées)
- Préciser si accès à un échantillon de substrat, de végétation ou d'un spécimen animal

Échantillon de végétation ou animal

- Mettre dans un sac ziploc avec le nom du point inscrit dessus

Au retour

- Charger batteries
- Rincer matériel
- Prendre de bonnes photos des échantillons de végétation ou animal
- Mettre échantillons dans l'alcool pour ceux qui nécessitent une identification plus poussée
- Backup données (ROV, GPS si pris nouveaux points ou relocalisé points, enregistreur, photos du carnet de notes, photos terrain et échantillons)
- Édition vidéo
- Entrer données dans GDB

Protocole GoPro (apnée)

À préparer la veille

- Visualiser les secteurs qui seront visités et prendre des notes sur les cartes au besoin
- Matériel

Matériel

- Embarcations appropriées : kayak / paddleboard
- Équipement de sécurité requis pour les embarcations
 - Chacun un VFI
 - Kayak : sifflet, sac à corde, pompe et ballon pagaie
 - Paddleboard : sifflet, sac à corde
- Ancre
- Stocks d'apnée (palmes masque tuba plombs)
- GoPro + lumières
- GPS
- Drybag pour GPS
- Batteries de rechange pour GPS
- Cellulaire chargé
- Drybag pour cellulaire
- Corde + mousquetons + pochette banane pour GPS et cellulaire (tester)
- Montre
- Cartons de points déjà nommés + quelques spare + ziploc grand
- Cartes papier des secteurs dans fiches plastique + ziplocs extra-large
- Carnet terrain waterproof + ziploc grand
- Cartons blancs de spare + ziploc grand
- Ziploc grand pour cartons terminés
- Clips à papier de spare
- Crayons (feutre noir petit et gros + feutre rouge + plomb)
- Flag orange
- Guenilles dans ziploc
- Drybag pour matériel
- Stock perso pour la journée au besoin (lunch, collations, linge chaud, crème solaire, lunettes soleil, casquette)

Matériel véhicule

- Ordinateur portable
- Fil GPS

- Support micro SD

Avant de partir dans l'eau

- Vérifier que les points de validation sont bien affichés sur le GPS

Prise de données avec la GoPro

- L'apnéiste se prépare et se met à l'eau
- Allumer la GoPro
- Débuter l'enregistrement vidéo
- Enregistrer la carte du nom de point avec la GoPro
- Descente au fond de l'eau en apnée en suivant la corde de l'ancre
- Se stabiliser au fond de l'eau et prendre les enregistrements suivants :
 - 4) Prise de vue face au fond, tenir 2 secondes
 - 5) Faire un 360° au niveau du point avec 4 pauses (environ à chaque 90°)
 - 6) Au besoin (si visibilité mauvaise), faire 2 autres points à proximité (à l'intérieur de 10m²)
- Remontée à la surface
- Éteindre la GoPro
- Prendre un échantillon de substrat

Prise de notes (enregistrement vocal ou écrit)

Les éléments suivants doivent être notés :

- Nom du point
- Date
- Heure
- Conditions météo
- Profondeur
- Caractéristiques du point lorsqu'accès à un échantillon : substrat, végétation. Si précise la couverture de végétation et que pas seulement de la zostère, spécifier couverture de végétation seulement zostère et couverture de végétation générale.

Échantillon de végétation

- Mettre dans un sac ziploc avec le nom du point inscrit dessus

Au retour

- Charger batteries
- Rincer matériel
- Prendre de bonnes photos des échantillons de végétation
- Backup données (GoPro, GPS si pris nouveaux points ou relocalisé points, enregistreur, photos)
- PDF + édition vidéo
- Entrer données dans GDB

Protocole À pieds

À préparer la veille

- Visualiser les secteurs qui seront visités et prendre des notes sur les cartes au besoin
- Matériel

Matériel

- Waders / bottes de caoutchouc au besoin
- Appareil photos
- Échelle visuelle (crayon)
- GPS
- Drybag pour GPS
- Batteries de rechange pour GPS
- Cellulaire chargé
- Drybag pour cellulaire
- Cartes papier des secteurs dans fiches plastique + pad
- Carnet terrain waterproof
- Clips à papier de spare
- Crayons (feutre noir petit et gros + feutre rouge + plomb)
- Flag orange
- Guenilles dans ziploc
- Stock perso pour la journée au besoin (lunch, collations, linge chaud, crème solaire, lunettes soleil, casquette)

Matériel véhicule

- Ordinateur portable
- Fil GPS

Prise de données à pieds

- Les éléments suivants doivent être notés (écrit ou vocal) :
 - Nom du point
 - Date
 - Heure
 - Conditions météo
 - Caractéristiques du point : substrat, végétation, autres si pertinent (étagement, système géomorphologique, etc.)
- Prendre les prises de vues suivantes avec l'appareil photo :
 - 7) Vue représentative du site, face au sol avec une échelle visuelle (crayon, carnet)
 - 8) Vue spécifiques au niveau du substrat et de la végétation au besoin, avec une échelle visuelle (crayon, carnet)
 - 9) Prendre 4 photos, soit 1 vue de chaque côté par rapport à la berge, 1 vers la berge et l'autre vers la terre. Une échelle visuelle doit être présente sur les photos (une personne).

Au retour

- Charger batteries
- Rincer matériel
- Backup données (appareil photos, GPS si pris nouveaux points ou relocalisé points, enregistreur)
- Entrer données dans la GDB

Annexe 4 : Géodatabase utilisée pour colliger les informations de la validation terrain aux Îles-de-la-Madeleine (août 2020)

Noms de la géodatabase : ValidationUQAR_BETA7FRC_IDLM_202008

Noms du jeu de données : ValidationUQAR_2020_MTM4_FRC_IDLM

Type de géodatabase : géodatabase de type fichier (File Geodatabase)

Projection : NAD 83 (CSRS) / MTM zone 4

Informations sur les champs de la géodatabase ValidationUQAR_BETA7FRC_IDLM_202008 (adaptée du projet Résilience côtière, 2021) :

Nom de champ	Description	Type de champ	Méthode de saisie
PointGPS	Nom attribué au point de validation terrain	Texte	Inscription manuelle
ETAGEMENT	Étagelement sur le profil côtier	Texte	Menu déroulant (domaine)
ECH_sub	Le substrat a-t-il pu être déterminé sur le terrain à l'aide d'un échantillon? (Oui/Non)	Texte	Inscription manuelle
ECH_sub_tp	Si un échantillon de substrat a pu être prélevé sur le terrain, spécifier le type d'échantillon. (Représentatif / Ponctuel aléatoire (ancre))	Texte	Inscription manuelle
SUBSTRAT_1 / 2 / 3	Type de substrat selon la dominance (1; 2; 3). Pour être noté dans ces colonnes le substrat doit occuper plus de 25% du substrat total.	Texte	Menu déroulant (domaine)
ECH_vg	Est-ce qu'un échantillon de végétation a été pris pour en effectuer l'identification? (Oui/Non)	Texte	Inscription manuelle
ECH_vg_tp	Si un échantillon de végétation a été pris, spécifier le type d'échantillon. (Photos / échantillon conservé dans l'alcool / échantillon séché)	Texte	Inscription manuelle
Vg_COV	Recouvrement végétal (total)	Texte	Menu déroulant (domaine)
Zo_COV	Recouvrement végétal spécifique à la zostère marine	Texte	Menu déroulant (domaine)

(Suite)

Nom de champ	Description	Type de champ	Méthode de saisie
MO_COV	Recouvrement du substrat par de la matière organique. Champ utilisé seulement pour l'étagement infralittoral où la matière organique pourrait être confondue avec de la végétation lors de la photointerprétation.	Texte	Menu déroulant (domaine)
BioF_COV	Recouvrement du substrat par un biofilm. Champ utilisé seulement pour l'étagement infralittoral où un biofilm pourrait être confondu avec de la végétation lors de la photointerprétation.	Texte	Menu déroulant (domaine)
Vg_TYPE_1/2/3/4	Type de végétation selon la dominance (1; 2; 3; 4)	Texte	Menu déroulant (domaine)
Vg_MORPH_1/2/3/4	Précision supplémentaire sur le type de végétation (morphotype)	Texte	Menu déroulant (domaine)
Vg_Zostere	Présence de la zostère marine (<i>Oui/Non</i>)	Texte	Inscription manuelle
FactLim_ZO	Facteur limitant potentiel pouvant avoir un impact sur la densité/répartition de la zostère	Texte	Inscription manuelle
Vg_NOTES	Notes supplémentaires concernant la végétation	Texte	Inscription manuelle
sp_ANIML	Espèces animales présentes	Texte	Inscription manuelle
sp_ANM_to	Type d'observation faite permettant d'identifier les espèces animales	Texte	Inscription manuelle
sp_EnvNuis	Espèces animales ou végétales reconnues potentiellement nuisibles pour la zostère marine observées sur le terrain.	Texte	Inscription manuelle
Comm_valid	Éléments d'incertitude ou notes concernant la validation	Texte	Inscription manuelle
Comm_gen	Commentaires généraux	Texte	Inscription manuelle
Valid_pers	Noms des personnes ayant fait la validation terrain de ce point	Texte	Inscription manuelle
Valid_date	Date de la validation terrain	Date	Inscription manuelle
Secteur	Nom du secteur duquel fait partie le point de validation	Texte	Inscription manuelle

(Suite)

Nom de champ	Description	Type de champ	Méthode de saisie
Metho_DATA	Support visuel utilisé pour la prise de données (<i>Appareil photos / ROV Deep Trekker bleu / ROV Deep Trekker jaune / GoPro HERO5</i>)	Texte	Inscription manuelle
Metho_ACC	Méthode d'accès / déplacement au point (<i>Zodiac / paddleboard et nage / 1 kayak et 2 paddleboards / nage / à pieds / à pieds (waders)</i>)	Texte	Inscription manuelle
Prof_m	Profondeur du substrat si sous l'eau (en mètres)	Flottant	Inscription manuelle
Temp_Eau_C	Température de l'eau si sous l'eau (en degrés Celcius)	Flottant	Inscription manuelle
Heure_D	Heure de début. Pour les point validés avec le ROV et GoPro: heure de la mise à l'eau. Pour ceux validés à pieds (appareil photos): l'heure de début a été notée au premier point effectué dans la journée.	Texte	Inscription manuelle
Heure_F	Heure de fin. Pour les point validés avec le ROV et GoPro: heure de l'eau. Pour ceux validés à pieds (appareil photos): l'heure de fin a été notée au dernier point effectué dans la journée.	Texte	Inscription manuelle
Prob_field	Notes concernant des problèmes rencontrés sur le terrain pendant la prise de données s'il y a lieu.	Texte	Inscription manuelle

Domaines des champs ayant un menu déroulant :

Champ <i>ETAGEMENT</i> (Domaine <i>ETAGEMENT</i>)	
Code	Description
il	infralittoral
be	bas estran
he	haut estran
supl	supralittoral

Champ <i>SUBSTRAT</i> (Domaine <i>SUBSTRAT</i>)	
Code	Description
siag	limon-argile (62 um et moins)
s	sable (62 um à 2 mm)
sf	sable fin (62 um à 0,25 mm)
smg	sable moyen-grossier (0,25 mm à 2 mm)
g	gravier (2 à 64 mm)
ga	galets (64 à 256 mm)
bl	blocs (256 mm et plus)
mig	sédiments mixtes grossiers
sgnd	sédiments grossiers indéterminés
va	vase
sva	sablo-vaseux
mo	matière organique
R	rocheux
rplag	rocheux avec placages
M	meuble
ant	anthropique
nd	nd

Champs <i>Vg_COV</i> et <i>Zo_COV</i> (Domaine <i>Vg_COV</i>)	
Code	Description
nv	non végétalisé (0-1%)
pv	peu végétalisé (1-25%)
sv	semi-végétalisé (25-75%)
vg	végétalisé (75-100%)
nd	non déterminé

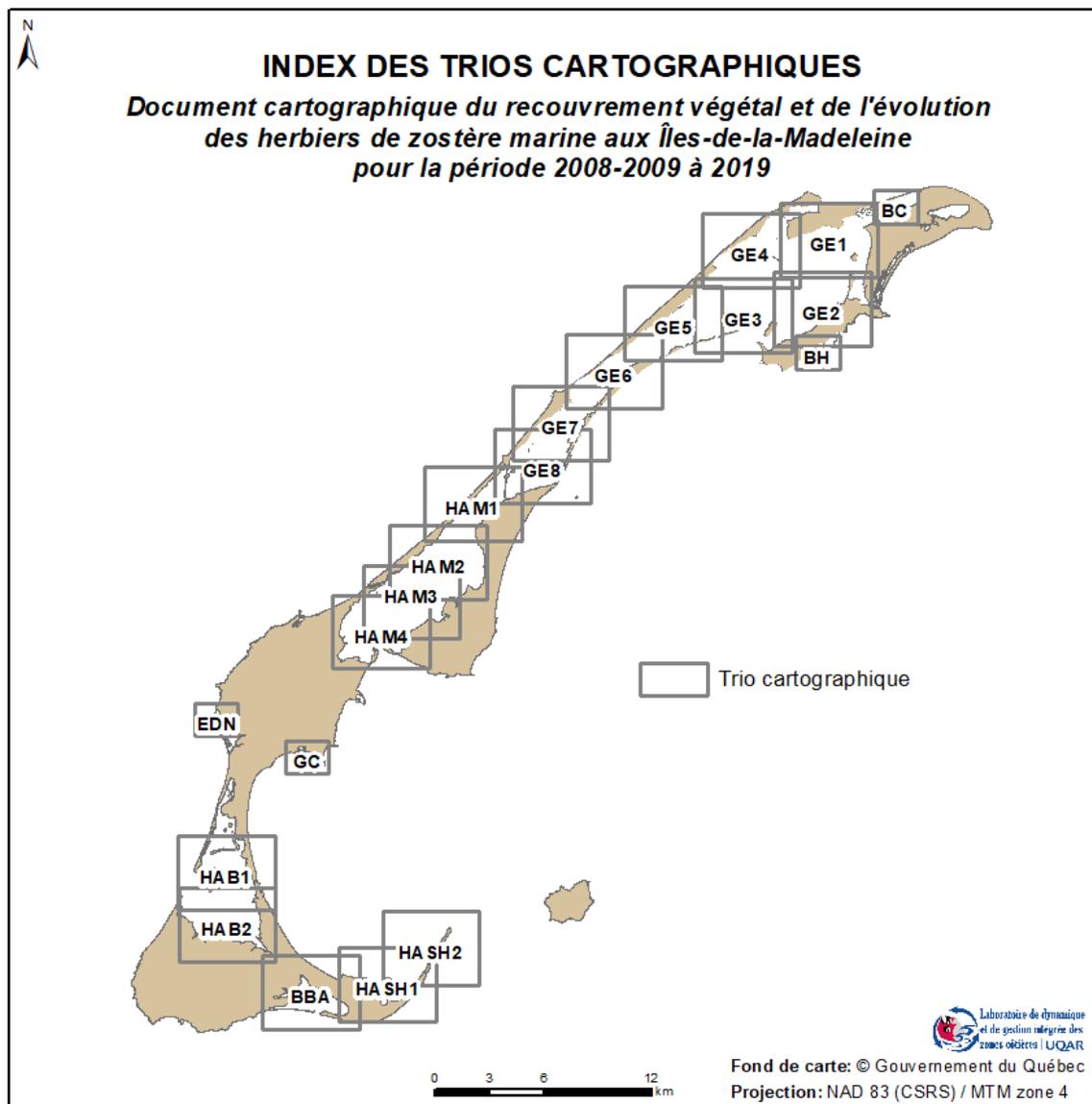
Champs MO_COV et BioF_COV (Domaine Autre_COV)	
Code	Description
nc	non couvert (0-1%)
pc	peu couvert (1-25%)
sc	semi-couvert (25-75%)
co	couvert (75-100%)
nd	non déterminé

Champ Vg_TYPE (Domaine Vg_TYPE)	
Code	Description
al	algue(s) indifférenciée(s)
alm	algues mixtes
vind	végétation indifférenciée
fuc	fucacées
ulv	ulvacées
zo	zostère marine
apv	autre(s) plante(s) vasculaire(s)
pvi	plante(s) vasculaire(s) indifférenciée(s)
pvm	plantes vasculaires mixtes
car	carex
jon	joncs
saleu	salicorne de virginie
sci	scirpes
spaal	spartine alterniflore
spape	spartine pectinée
nv	non végétalisé
nd	nd

Champ Vg_MORPH (Domaine Vg_MORPH)	
Code	Description
aif	algues indifférenciées filamenteuses
avfr	algues vertes filamenteuses ramifiées
avms	algues vertes membraneuses ou en sac
avt	algues vertes tubulaires

Annexe 5 : Index des cartes du *Document cartographique du recouvrement végétal et de l'évolution des herbiers de zostère marine aux Îles-de-la-Madeleine pour la période 2008-2009 à 2019*

L'index des cartes du *Document cartographique du recouvrement végétal et de l'évolution des herbiers de zostère marine aux Îles-de-la-Madeleine pour la période 2008-2009 à 2019* est composé d'un index des trios cartographiques et d'une liste des cartes générées.



Cartographie rétrospective de la zostère marine et portrait des écosystèmes côtiers dégradés aux Îles-de-la-Madeleine

Liste des cartes :

Nom de trio cartographique	N° de carte	Contenu de la carte	Secteur	Échelle
BC	1	Récouvrement végétal de la zostère marine en 2019	Pointe de l'Est (Baie Clarke)	1 : 9 000
	2	Récouvrement végétal de la zostère marine en 2009	Pointe de l'Est (Baie Clarke)	1 : 9 000
	3	Évolution du recouvrement végétal pour la période 2009 à 2019	Pointe de l'Est (Baie Clarke)	1 : 9 000
BH	4	Récouvrement végétal de la zostère marine en 2019	Bassin aux Huîtres	1 : 9 000
	5	Récouvrement végétal de la zostère marine en 2009	Bassin aux Huîtres	1 : 9 000
	6	Évolution du recouvrement végétal pour la période 2009 à 2019	Bassin aux Huîtres	1 : 9 000
GE1	7	Récouvrement végétal de la zostère marine en 2019	Lagune de la Grande-Entrée	1 : 20 000
	8	Récouvrement végétal de la zostère marine en 2009	Lagune de la Grande-Entrée	1 : 20 000
	9	Évolution du recouvrement végétal pour la période 2009 à 2019	Lagune de la Grande-Entrée	1 : 20 000
GE2	10	Récouvrement végétal de la zostère marine en 2019	Lagune de la Grande-Entrée	1 : 20 000
	11	Récouvrement végétal de la zostère marine en 2009	Lagune de la Grande-Entrée	1 : 20 000
	12	Évolution du recouvrement végétal pour la période 2009 à 2019	Lagune de la Grande-Entrée	1 : 20 000
GE3	13	Récouvrement végétal de la zostère marine en 2019	Lagune de la Grande-Entrée	1 : 20 000
	14	Récouvrement végétal de la zostère marine en 2009	Lagune de la Grande-Entrée	1 : 20 000
	15	Évolution du recouvrement végétal pour la période 2009 à 2019	Lagune de la Grande-Entrée	1 : 20 000
GE4	16	Récouvrement végétal de la zostère marine en 2019	Lagune de la Grande-Entrée	1 : 20 000
	17	Récouvrement végétal de la zostère marine en 2009	Lagune de la Grande-Entrée	1 : 20 000
	18	Évolution du recouvrement végétal pour la période 2009 à 2019	Lagune de la Grande-Entrée	1 : 20 000
GE5	19	Récouvrement végétal de la zostère marine en 2019	Lagune de la Grande-Entrée	1 : 20 000
	20	Récouvrement végétal de la zostère marine en 2009	Lagune de la Grande-Entrée	1 : 20 000
	21	Évolution du recouvrement végétal pour la période 2009 à 2019	Lagune de la Grande-Entrée	1 : 20 000
GE6	22	Récouvrement végétal de la zostère marine en 2019	Lagune de la Grande-Entrée	1 : 20 000
	23	Récouvrement végétal de la zostère marine en 2009	Lagune de la Grande-Entrée	1 : 20 000
	24	Évolution du recouvrement végétal pour la période 2009 à 2019	Lagune de la Grande-Entrée	1 : 20 000

(suite)

Nom de trio cartographique	N° de carte	Contenu de la carte	Secteur	Échelle
GE8	28	Récouvrement végétal de la zostère marine en 2019	Lagune de la Grande-Entrée	1 : 20 000
	29	Récouvrement végétal de la zostère marine en 2009	Lagune de la Grande-Entrée	1 : 20 000
	30	Évolution du recouvrement végétal pour la période 2009 à 2019	Lagune de la Grande-Entrée	1 : 20 000
HAM1	31	Récouvrement végétal de la zostère marine en 2019	Lagune du Havre-aux-Maisons	1 : 20 000
	32	Récouvrement végétal de la zostère marine en 2009	Lagune du Havre-aux-Maisons	1 : 20 000
	33	Évolution du recouvrement végétal pour la période 2009 à 2019	Lagune du Havre-aux-Maisons	1 : 20 000
HAM2	34	Récouvrement végétal de la zostère marine en 2019	Lagune du Havre-aux-Maisons	1 : 20 000
	35	Récouvrement végétal de la zostère marine en 2009	Lagune du Havre-aux-Maisons	1 : 20 000
	36	Évolution du recouvrement végétal pour la période 2009 à 2019	Lagune du Havre-aux-Maisons	1 : 20 000
HAM3	37	Récouvrement végétal de la zostère marine en 2019	Lagune du Havre-aux-Maisons	1 : 20 000
	38	Récouvrement végétal de la zostère marine en 2009	Lagune du Havre-aux-Maisons	1 : 20 000
	39	Évolution du recouvrement végétal pour la période 2009 à 2019	Lagune du Havre-aux-Maisons	1 : 20 000
HAM4	40	Récouvrement végétal de la zostère marine en 2019	Lagune du Havre-aux-Maisons	1 : 20 000
	41	Récouvrement végétal de la zostère marine en 2009	Lagune du Havre-aux-Maisons	1 : 20 000
	42	Évolution du recouvrement végétal pour la période 2009 à 2019	Lagune du Havre-aux-Maisons	1 : 20 000
GC	43	Récouvrement végétal de la zostère marine en 2019	Gros-Cap	1 : 9 000
	44	Récouvrement végétal de la zostère marine en 2009	Gros-Cap	1 : 9 000
	45	Évolution du recouvrement végétal pour la période 2009 à 2019	Gros-Cap	1 : 9 000
EDN	46	Récouvrement végétal de la zostère marine en 2019	L'Étang-du-Nord	1 : 9 000
	47	Récouvrement végétal de la zostère marine en 2009	L'Étang-du-Nord	1 : 9 000
	48	Évolution du recouvrement végétal pour la période 2009 à 2019	L'Étang-du-Nord	1 : 9 000
HAB1	49	Récouvrement végétal de la zostère marine en 2019	Baie du Havre aux Basques	1 : 20 000
	50	Recouvrement végétal de la zostère marine en 2008-2009	Baie du Havre aux Basques	1 : 20 000
	51	Évolution du recouvrement végétal pour la période 2008-2009 à 2019	Baie du Havre aux Basques	1 : 20 000

(suite)

Nom de trio cartographique	N° de carte	Contenu de la carte	Secteur	Échelle
HAB2	52	Récouvrement végétal de la zostère marine en 2019	Baie du Havre aux Basques	1 : 20 000
	53	Récouvrement végétal de la zostère marine en 2008-2009	Baie du Havre aux Basques	1 : 20 000
	54	Évolution du recouvrement végétal pour la période 2008-2009 à 2019	Baie du Havre aux Basques	1 : 20 000
BBA	55	Récouvrement végétal de la zostère marine en 2019	Baie du Bassin	1 : 20 000
	56	Récouvrement végétal de la zostère marine en 2008	Baie du Bassin	1 : 20 000
	57	Évolution du recouvrement végétal pour la période 2008 à 2019	Baie du Bassin	1 : 20 000
HA/SH1	58	Récouvrement végétal de la zostère marine en 2019	Havre-Aubert / Sandy Hook	1 : 20 000
	59	Récouvrement végétal de la zostère marine en 2008	Havre-Aubert / Sandy Hook	1 : 20 000
	60	Évolution du recouvrement végétal pour la période 2008 à 2019	Havre-Aubert / Sandy Hook	1 : 20 000
HA/SH2	61	Récouvrement végétal de la zostère marine en 2019	Havre-Aubert / Sandy Hook	1 : 20 000
	62	Récouvrement végétal de la zostère marine en 2008-2009	Havre-Aubert / Sandy Hook	1 : 20 000
	63	Évolution du recouvrement végétal pour la période 2008 à 2019	Havre-Aubert / Sandy Hook	1 : 20 000

Annexe 6 : Métadonnées de la géodatabase d'évolution de la zostère marine aux Îles-de-la-Madeleine pour la période de 2008-2009 à 2019

Noms de la géodatabase : *Evolution_ZOSTERE*

Noms du jeu de données : *EVOLUTION_ZOS_IDLM_VF20210113*

Type de géodatabase : géodatabase de type fichier (File Geodatabase)

Projection : NAD 83 (CSRS) / MTM zone 4

Informations sur les champs de la géodatabase *Evolution_ZOSTERE* :

Nom de champ	Description	Type de champ	Taille	Méthode de saisie
Evolution	Valeur numérique de l'évolution du recouvrement végétal de la zostère marine aux Îles-de-la-Madeleine entre 2008-2009 et 2019	Entier court	na	Généré avec l'outil <i>Field Calculator</i> par le calcul [COV_rec_v] - [COV_ref_v]
Int_chang	Intensité du changement correspondant à la valeur numérique de l'évolution du recouvrement végétal de la zostère marine	Texte	30	Généré à partir du champ <i>Evolution</i> avec l'outil <i>Field calculator</i>

Annexe 7 : Liste des jeux de données générés pour l'analyse des milieux sableux et des milieux humides dégradés

Nom du jeu de données	Site	Indicateur mesuré	Informations supplémentaires
Pointe de l'Est			
BCdpa_Dune_recul	Dune parabolique de la Baie Clarke	Recul de fronts dunaires et de caoudeyres	
BCdpa_Mh_ensablement	Dune parabolique de la Baie Clarke	Superficie de végétation érodée ou ensablée (milieux humides)	Début d'ensablement entre 2009 et 2019 (numérisation manuelle)
BCfl_Dune_largeur	Portion de flèche littorale au nord-est de la Baie Clarke	Largeur du milieu sableux dunifié	
EtangEst_Maqua_2009	L'Étang-de-l'Est	Superficie de l'empiètement du milieu sableux dans le milieu aquatique	Superficie du milieu aquatique en 2009
EtangEst_Maqua_2019	L'Étang-de-l'Est	Superficie de l'empiètement du milieu sableux dans le milieu aquatique	Superficie du milieu aquatique en 2019
EtangEst_Maqua_Symdiff	L'Étang-de-l'Est	Superficie de l'empiètement du milieu sableux dans le milieu aquatique	Changements de superficie du milieu aquatique 2009-2019 (<i>symmetrical difference</i>)
EtangEst_Mh_2009	L'Étang-de-l'Est	Superficie de végétation érodée ou ensablée (milieux humides)	Superficie des milieux humides en 2009
EtangEst_Mh_2019	L'Étang-de-l'Est	Superficie de végétation érodée ou ensablée (milieux humides)	Superficie des milieux humides en 2019
EtangEst_Mh_Symdiff	L'Étang-de-l'Est	Superficie de végétation érodée ou ensablée (milieux humides)	Changements de superficie des milieux humides entre 2009 et 2019 (<i>symmetrical difference</i>)
Bassin aux Huîtres			
BEst_Dune_2009	Flèche littorale du Bassin Est	Superficie de végétation érodée ou ensablée (milieux sableux)	Superficie de la végétation psammophile en 2009
BEst_Dune_2019	Flèche littorale du Bassin Est	Superficie de végétation érodée ou ensablée (milieux sableux)	Superficie de la végétation psammophile en 2019

Nom du jeu de données	Site	Indicateur mesuré	Informations supplémentaires
Bassin aux Huîtres (suite)			
BEst_Dune_Symdiff	Bassin Est	Superficie de végétation érodée ou ensablée (milieux sableux)	Changements de superficie de la végétation psammophile entre 2009 et 2019 (<i>symmetrical difference</i>)
BEst_Maqua_2009	Bassin Est	Superficie de l'empiètement du milieu sableux dans le milieu aquatique	Superficie du milieu aquatique en 2009
BEst_Maqua_2019	Bassin Est	Superficie de l'empiètement du milieu sableux dans le milieu aquatique	Superficie du milieu aquatique en 2019
BEst_Maqua_Symdiff	Bassin Est	Superficie de l'empiètement du milieu sableux dans le milieu aquatique	Changements de superficie du milieu aquatique entre 2009 et 2019 (<i>symmetrical difference</i>)
BEst_Mh_2009	Bassin Est	Superficie de végétation érodée ou ensablée (milieux humides)	Superficie des milieux humides en 2009
BEst_Mh_2019	Bassin Est	Superficie de végétation érodée ou ensablée (milieux humides)	Superficie des milieux humides en 2019
BEst_Mh_Symdiff	Bassin Est	Superficie de végétation érodée ou ensablée (milieux humides)	Changements de superficie des milieux humides entre 2009 et 2019 (<i>symmetrical difference</i>)
BOuest_Dune_2009	Bassin Ouest	Superficie de végétation érodée ou ensablée (milieux sableux)	Superficie de la végétation psammophile en 2009
BOuest_Dune_2019	Bassin Ouest	Superficie de végétation érodée ou ensablée (milieux sableux)	Superficie de la végétation psammophile en 2019
BOuest_Dune_Symdiff	Bassin Ouest	Superficie de végétation érodée ou ensablée (milieux sableux)	Changements de superficie de la végétation psammophile entre 2009 et 2019 (<i>symmetrical difference</i>)
BOuest_Mh_2009	Bassin Ouest	Superficie de végétation érodée ou ensablée (milieux humides)	Superficie des milieux humides en 2009
BOuest_Mh_2019	Bassin Ouest	Superficie de végétation érodée ou ensablée (milieux humides)	Superficie des milieux humides en 2019

Nom du jeu de données	Site	Indicateur mesuré	Informations supplémentaires
Bassin aux Huîtres (suite)			
BOuest_Mh_Symdiff	Bassin Ouest	Superficie de végétation érodée ou ensablée (milieux humides)	Changements de superficie des milieux humides entre 2009 et 2019 (<i>symmetrical difference</i>)
IleBoudreau_vg_2009	Extrémité Est du noyau rocheux de l'Île Boudreau	Superficie de végétation érodée ou ensablée (noyau rocheux)	Superficie du noyau rocheux végétalisé en 2009
IleBoudreau_vg_2019	Extrémité Est du noyau rocheux de l'Île Boudreau	Superficie de végétation érodée ou ensablée (noyau rocheux)	Superficie du noyau rocheux végétalisé en 2019
IleBoudreau_vg_Symdiff	Extrémité Est du noyau rocheux de l'Île Boudreau	Superficie de végétation érodée ou ensablée (noyau rocheux)	Changements de superficie du noyau rocheux végétalisé entre 2009 et 2019 (<i>symmetrical difference</i>)
Lagune de la Grande-Entrée			
Aucun jeu de données			
Lagune du Havre-aux-Maisons			
DDN_Dune_recul	Grand plaquier de Fatima à l'épave de la Gabarre sur la Dune du Nord	Recul de fronts dunaires et de caoudeyres	
DDN_mh_ensablement	Grand plaquier de Fatima à l'épave de la Gabarre sur la Dune du Nord	Superficie de végétation érodée ou ensablée (milieux humides)	Début d'ensablement entre 2009 et 2019 (numérisation manuelle)
Gros-Cap			
ProChalets_mh_2009	Chemin des Chalets et Étang à Procul	Superficie de végétation érodée ou ensablée (milieux humides)	Superficie des milieux humides en 2009
ProChalets_mh_2019	Chemin des Chalets et Étang à Procul	Superficie de végétation érodée ou ensablée (milieux humides)	Superficie des milieux humides en 2019
ProChalets_mh_Symdiff	Chemin des Chalets et Étang à Procul	Superficie de végétation érodée ou ensablée (milieux humides)	Changements de superficie des milieux humides entre 2009 et 2019 (<i>symmetrical difference</i>)

Nom du jeu de données	Site	Indicateur mesuré	Informations supplémentaires
Gros-Cap (suite)			
VeineDeau_mh_2009	La Veine d'Eau	Superficie de végétation érodée ou ensablée (milieux humides)	Superficie des milieux humides en 2009
VeineDeau_mh_2019	La Veine d'Eau	Superficie de végétation érodée ou ensablée (milieux humides)	Superficie des milieux humides en 2019
VeineDeau_mh_Symdiff	La Veine d'Eau	Superficie de végétation érodée ou ensablée (milieux humides)	Changement de superficie des milieux humides entre 2009 et 2019 (<i>symmetrical difference</i>)
L'Étang-du-Nord			
EDN_Dune_largeur	Le Petit Étang et l'Étang à Ben	Largeur du milieu sableux dunifié	
Baie du Havre aux Basques			
Arnaud_mh_2009	Tombolo de la Dune de l'Ouest face à l'Île Arnaud	Superficie de végétation érodée ou ensablée (milieux humides)	Superficie des milieux humides en 2009
Arnaud_mh_2019	Tombolo de la Dune de l'Ouest face à l'Île Arnaud	Superficie de végétation érodée ou ensablée (milieux humides)	Superficie des milieux humides en 2019
Arnaud_mh_Symdiff	Tombolo de la Dune de l'Ouest face à l'Île Arnaud	Superficie de végétation érodée ou ensablée (milieux humides)	Changements de superficie des milieux humides entre 2009 et 2019 (<i>symmetrical difference</i>)
Goulet_Dune_2008	Site du Goulet du Nord	Superficie de végétation érodée ou ensablée (milieux sableux)	Superficie de la végétation psammophile en 2008
Goulet_Dune_2019	Site du Goulet du Nord	Superficie de végétation érodée ou ensablée (milieux sableux)	Superficie de la végétation psammophile en 2019
Goulet_Dune_Symdiff	Site du Goulet du Nord	Superficie de végétation érodée ou ensablée (milieux sableux)	Changements de superficie de la végétation psammophile entre 2008 et 2019 (<i>symmetrical difference</i>)
Goulet_mh_2008	Site du Goulet du Nord	Superficie de végétation érodée ou ensablée (milieux humides)	Superficie des milieux humides en 2008
Goulet_mh_2019	Site du Goulet du Nord	Superficie de végétation érodée ou ensablée (milieux humides)	Superficie des milieux humides en 2019

Nom du jeu de données	Site	Indicateur mesuré	Informations supplémentaires
Baie du Havre aux Basques (suite)			
Goulet_mh_Symdiff	Site du Goulet du Nord	Superficie de végétation érodée ou ensablée (milieux humides)	Changements de superficie des milieux humides entre 2008 et 2019 (<i>symmetrical difference</i>)
Baie du Bassin			
BBA_mh_2008	Le Dune du Bassin	Superficie de végétation érodée ou ensablée (milieux humides)	Superficie des milieux humides en 2008
BBA_mh_2019	Le Dune du Bassin	Superficie de végétation érodée ou ensablée (milieux humides)	Superficie des milieux humides en 2019
BBA_mh_Symdiff	Le Dune du Bassin	Superficie de végétation érodée ou ensablée (milieux humides)	Changements de superficie des milieux humides entre 2008 et 2019 (<i>symmetrical difference</i>)
Havre-Aubert / flèche littorale du Sandy Hook			
SDH_mh_2008	Portion de la flèche littorale du Sandy Hook face au Cap Gridley	Superficie de végétation érodée ou ensablée (milieux humides)	Superficie des milieux humides en 2008
SDH_mh_2019	Portion de la flèche littorale du Sandy Hook face au Cap Gridley	Superficie de végétation érodée ou ensablée (milieux humides)	Superficie des milieux humides en 2019
SDH_mh_Symdiff	Portion de la flèche littorale du Sandy Hook face au Cap Gridley	Superficie de végétation érodée ou ensablée (milieux humides)	Changements de superficie des milieux humides entre 2008 et 2019 (<i>symmetrical difference</i>)

Annexe 8 : Métadonnées des jeux de données des 4 indicateurs utilisés pour l'analyse des milieux sableux et des milieux humides dégradés

Indicateurs *Superficie de végétation érodée ou ensablée et superficie de l'empiètement du milieu sableux dans le milieu aquatique*

Géométrie : polygones

Projection : NAD 83 (CSRS) / MTM zone 4

Métadonnées de la table d'attributs des jeux de données de *superficie de l'année de référence, superficie de l'année récente* et de *superficie du début d'ensablement numérisé manuellement* :

Nom de champ	Description	Type de données	Taille	Méthode de saisie
Area	Superficie	Réel double	Précision: 12 Échelle: 6	Généré automatiquement à partir de l'outil <i>Calculate geometry</i>
Descriptio	Description des éléments numérisés	Texte	50	Manuellement

Métadonnées de la table d'attributs des jeux de données qui présentent les résultats de l'outil *Symmetrical difference* (gains et pertes entre les 2 années comparées) :

Nom de champ	Description	Type de données	Taille	Méthode de saisie
Area	Superficie	Réel double	Précision: 12 Échelle: 6	Généré automatiquement à partir de l'outil <i>Calculate geometry</i>
Changement	Changement survenu entre 2008-2009 et 2019 (<i>Gain</i> ou <i>Perte</i>)	Texte	10	Manuellement à partir des résultats de l'outil <i>Symmetrical difference</i>

Indicateur *Largeur du milieu sableux dunifié*

Géométrie : point

Projection : NAD 83 (CSRS) / MTM zone 4

Nom de champ	Description	Type de données	Taille	Méthode de saisie
Nom	Nom du point constitué d'une lettre et d'un chiffre (ex.: C2). La lettre correspond au nom du transect et le chiffre désigne le point de mesure côté mer (1) ou du côté abrité (2).	Texte	5	Manuellement
Largeur_m	Largeur mesurée du milieu dunaire entre les deux points de mesure. La largeur est inscrite pour le point situé du côté abrité.	Entier long	Précision: 5	Manuellement

Indicateur *Recul de fronts dunaires et de caoudeyres*

Géométrie : point

Projection : NAD 83 (CSRS) / MTM zone 4

Nom de champ	Description	Type de données	Taille	Méthode de saisie
Nom_tr	Nom du transect. La lettre A correspond aux transects du secteur affecté, et la lettre B correspond aux transects du secteur non ou moins affecté. Un chiffre est ensuite attribué pour distinguer chacun des transect.	Texte	5	Manuellement
Annee	Année où le front dunaire était localisé à cet endroit	Texte	15	Manuellement
Recul_m	Recul mesuré du front dunaire entre l'année de référence et l'année récente (inscrit seulement sur le point correspondant à l'année récente)	Entier long	10	Manuellement

Annexe 9 : Tableau de superficie de chaque classe d'évolution de la zostère marine pour chaque secteur de continuum côtier

Évolution de la zostère marine	Superficie (m ²)	Évolution de la zostère marine	Superficie (m ²)	Évolution de la zostère marine	Superficie (m ²)
Pointe de l'Est (Baie Clarke)		Lagune du Havre-aux-Maisons		Baie du Havre aux Basques	
Dégradation élevée	5 225	Dégradation élevée	83 275	Dégradation élevée	83 150
Dégradation modérée	10 825	Dégradation modérée	411 330	Dégradation modérée	172 450
Dégradation légère	36 025	Dégradation légère	2 016 350	Dégradation légère	728 075
Aucun changement observé ¹	1 000 825	Aucun changement observé ¹	10 398 018	Aucun changement observé ¹	2 211 250
Croissance légère	91 625	Croissance légère	1 770 060	Croissance légère	1 370 400
Croissance modérée	37 600	Croissance modérée	119 425	Croissance modérée	434 800
Croissance élevée	7 450	Croissance élevée	16 925	Croissance élevée	119 750
Non déterminée	349 000	Non déterminée	18 732 180	Non déterminée	9 190 350
Bassin aux Huîtres		Gros-Cap		Baie du Bassin	
Dégradation élevée	16 525	Dégradation élevée		Dégradation élevée	3 500
Dégradation modérée	17 450	Dégradation modérée	2 925	Dégradation modérée	31 400
Dégradation légère	104 150	Dégradation légère	82 400	Dégradation légère	139 725
Aucun changement observé ¹	646 550	Aucun changement observé ¹	465 550	Aucun changement observé ¹	634 200
Croissance légère	78 675	Croissance légère	78 150	Croissance légère	71 025
Croissance modérée	9 050	Croissance modérée	6 800	Croissance modérée	2 325
Croissance élevée	0	Croissance élevée	3 475	Croissance élevée	0
Non déterminée	500 550	Non déterminée	28 550	Non déterminée	2 358 700
Lagune de la Grande-Entrée		L'Étang-du-Nord		Havre-Aubert / Sandy Hook	
Dégradation élevée	473 360	Dégradation élevée	1 875	Dégradation élevée	58 425
Dégradation modérée	964 755	Dégradation modérée	16 575	Dégradation modérée	147 800
Dégradation légère	6 333 500	Dégradation légère	18 375	Dégradation légère	297 975
Aucun changement observé ¹	36 234 557	Aucun changement observé ¹	93 300	Aucun changement observé ¹	2 685 125
Croissance légère	3 025 865	Croissance légère	24 200	Croissance légère	201 225
Croissance modérée	398 245	Croissance modérée	1 725	Croissance modérée	47 600
Croissance élevée	65 550	Croissance élevée	0	Croissance élevée	6 200
Non déterminée	25 476 350	Non déterminée	117 050	Non déterminée	1 550 250

¹ La classe « Aucun changement observé » regroupe l'ensemble des superficies cartographiées où il n'y a eu aucun changement du recouvrement végétal, incluant les superficies où la zostère était absente (recouvrement végétal non végétalisé) en 2019 et en 2008-2009.