



projet  
résilience  
côtière



# Cartographie des écosystèmes côtiers du Québec maritime



Laboratoire de dynamique  
et de gestion intégrée  
des zones côtières

Université du Québec  
à Rimouski

Septembre  
2021





# Projet résilience côtière

## Cartographie des écosystèmes côtiers du Québec maritime

### Rapport méthodologique

Présenté au ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques



Sous la direction de  
Pascal Bernatchez, Ph. D.

Septembre 2021



## **ÉQUIPE DE RÉALISATION**

### Direction scientifique

**Pascal Bernatchez**, Ph. D.

Université du Québec à Rimouski

Département de biologie, chimie et géographie

Chaire de recherche en géoscience côtière

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

300, allée des Ursulines, case postale 3300

Rimouski (Québec) G5L 3A1

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

Télécopieur : (418) 724-1847

Courriel : [pascal\\_bernatchez@uqar.ca](mailto:pascal_bernatchez@uqar.ca)

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

### Coordination du projet Résilience côtière (UQAR)

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

**Christian Fraser**, M. Sc. Océanographie, professionnel de recherche, LDGIZC, UQAR

### Coordination de la Planification pour une intervention environnementale intégrée (MPO)

**Christine Desjardins**, M. Sc. Biologie, Chargée d'équipe, Conservation des océans, Pêches et Océans Canada

### Coordination du chantier de cartographie des écosystèmes côtiers

**Ariane Jobin**, M. Sc. Géographie, professionnelle de recherche, LDGIZC, UQAR

### Rédaction

**Ariane Jobin**, M. Sc. Géographie, professionnelle de recherche, LDGIZC, UQAR

**Maryne Drouet**, M.Sc. Environnement, professionnelle de recherche, LDGIZC, UQAR

**Malika Jasmine Gabaj Castrillo**, B. Sc. Géographie, professionnelle de recherche, LDGIZC, UQAR

**Gabrielle Marquis**, B. Sc. Géographie, professionnelle de recherche, LDGIZC, UQAR

**Laurence Provencher-Nolet**, M. Sc. Géographie, Géographe en sciences aquatiques, Direction des sciences démersales et benthiques, Pêches et Océans Canada

**Corinne Trubiano**, B. Sc. Biologie, professionnelle de recherche, LDGIZC, UQAR

### Cartographie et analyse

**Mathieu Bélisle**, M. Sc. Géographie, professionnel de recherche, LDGIZC, UQAR  
**Marcellin Chambu Wani**, M. Sc. Géographie, professionnel de recherche, LDGIZC, UQAR  
**Maryne Drouet**, M.Sc. Environnement, professionnelle de recherche, LDGIZC, UQAR  
**Didier Eustache-Létourneau**, B. Sc. Biologie, professionnelle de recherche, LDGIZC, UQAR  
**Malika Jasmine Gabaj Castrillo**, B. Sc. Géographie, professionnelle de recherche, LDGIZC, UQAR  
**Ariane Jobin**, M. Sc. Géographie, professionnelle de recherche, LDGIZC, UQAR  
**Mathilde Lapointe-Saint-Pierre**, B. Sc. Biologie, professionnelle de recherche, LDGIZC, UQAR  
**Gabrielle Marquis**, B. Sc. Géographie, professionnelle de recherche, LDGIZC, UQAR  
**Sandrine Papageorges**, B. Sc. Géographie, professionnelle de recherche, LDGIZC, UQAR  
**Laurence Paquette**, M. Sc. Biologie, Biologiste en sciences aquatiques, Direction des sciences démersales et benthiques, Pêches et Océans Canada  
**Louis David Pitre**, M. Sc. Biologie., Biologiste en sciences aquatiques, Direction des sciences démersales et benthiques, Pêches et Océans Canada  
**Laurence Provencher-Nolet**, M. Sc. Géographie, Géographe en sciences aquatiques, Direction des sciences démersales et benthiques, Pêches et Océans Canada  
**Marylène Ricard**, M. Sc. Biologie, professionnelle de recherche, LDGIZC  
**Jean Thibault**, Technicien en géomatique, Direction des sciences démersales et benthiques, Pêches et Océans Canada  
**Corinne Trubiano**, B. Sc. Biologie, professionnelle de recherche, LDGIZC, UQAR  
**Vincent Turpin**, B. Sc. Géographie, professionnel de recherche, LDGIZC, UQAR

### Autres collaborateurs

**Pauline Chauvet**, Ph.D. Biologie, postdoctorante, LDGIZC  
**David Coulombe**, M. Sc. Biologie, professionnel de recherche, LDGIZC

### Chargés de projet au ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC)

**Guillaume Jeanmoye-Turcotte**, Géomorphologue, M. Sc. Géogr., M. Sc. Eau, DEH  
**Sarah Aubé-Michaud**, Géomorphologue, M. Sc. Géogr., DEH  
**Francis Bourret**, Biologiste, M. Sc, DAEMH  
**Jean-Denis Bouchard**, Géologue, M. Sc., DEH

## RÉFÉRENCE COMPLÈTE

Jobin, A., Marquis, G., Provencher-Nolet, L., Gabaj Castrillo. M. J., Trubiano C., Drouet, M., Eustache-Létourneau, D., Drejza, S. Fraser, C. Marie, G. et P. Bernatchez (2021) *Cartographie des écosystèmes côtiers du Québec maritime — Rapport méthodologique*. Chaire de recherche en géoscience côtière, Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières, Université du Québec à Rimouski. Rapport remis au ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, septembre 2021, 98 p.

### Photographies de la page de couverture

Baie des Îlets Jérémie, Haute-Côte-Nord, Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières, UQAR, septembre 2017.

## REMERCIEMENTS

Merci à Christine Desjardins de l'Institut Maurice-Lamontagne (IML) du ministère Pêches et Océans Canada (MPO) et son équipe, particulièrement Laurence Provencher-Nolet et Louis-David Pitre. Une collaboration continue a eu lieu tout au long de la réalisation de ce chantier. La cartographie des écosystèmes du Québec maritime est ainsi une réalisation conjointe UQAR-LDGIZC et MPO. Pour le MPO, la cartographie s'inscrit dans le cadre de son volet Planification pour une intervention environnementale intégrée (PIEI) du Plan de Protection des Océans (PPO), ayant pour objectif la mise à jour du Régime de préparation et d'intervention en cas de déversement d'hydrocarbures en milieu marin du Canada.

Nous remercions Serge Proulx, de la Division de la planification et de la conservation marine (DPCM) du ministère Pêches et Océans Canada (MPO) qui a acquis des photographies aériennes infrarouges de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent pour répondre au besoin de la cartographie de la zostère marine et qu'il nous a gracieusement partagées.

Un merci particulier à Jean-Étienne Joubert du comité ZIP du Sud-de-l'Estuaire pour le partage de ses connaissances lors de nombreux échanges et d'une visite sur le terrain.

Nous tenons à remercier toutes les personnes ayant contribué au projet au cours des cinq dernières années ; l'équipe multidisciplinaire a fortement contribué au succès de cette cartographie de grande ampleur.

Nous tenons enfin à remercier le gouvernement du Québec qui a financé ce projet via le PACC 2013-2020 mesure 2.6.



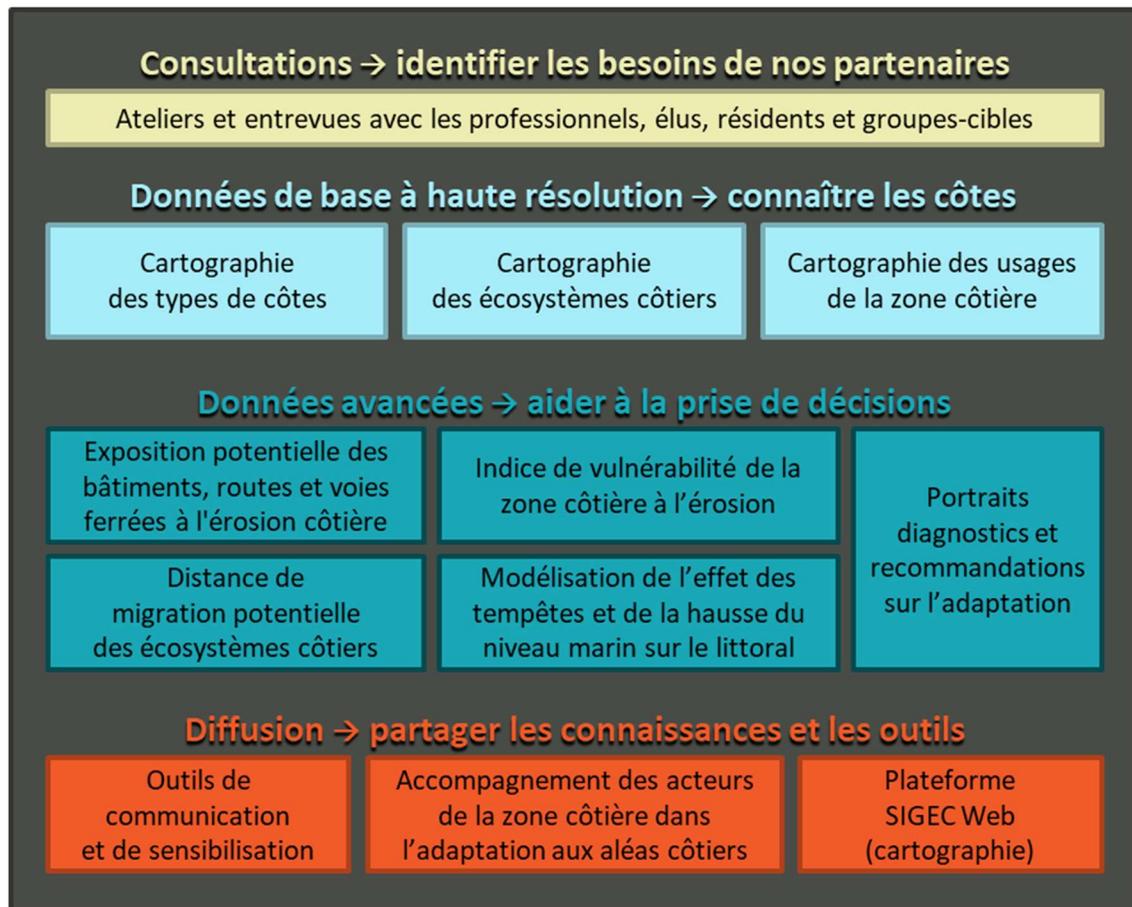
*Environnement  
et Lutte contre  
les changements  
climatiques*

Québec 

## AVANT-PROPOS

Le Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières (LDGIZC) de l'Université du Québec à Rimouski a mis en œuvre un projet de recherche-action intitulé « **Projet Résilience côtière : développement d'outils d'adaptation à l'érosion côtière pour les municipalités du Québec maritime** ». Ce projet, financé par le ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, s'est déroulé de janvier 2017 à décembre 2021. Afin de répondre aux nombreux besoins exprimés lors d'une vaste consultation avec les acteurs de la zone côtière, douze chantiers ont été mis en œuvre dans quatre thématiques : consultations, données de base, données avancées et diffusion.

Les résultats globaux sont présentés dans le rapport synthèse du projet, disponible sur le site Web du LDGIZC (<https://ldgizc.uqar.ca/Web/projets/projet-resilience-cotiere#realisations>).



Pour plus de renseignements, consulter la page Web du projet Résilience côtière (<https://ldgizc.uqar.ca/Web/projets/projet-resilience-cotiere>).

## **AVERTISSEMENT**

La présente étude a été réalisée à la demande du ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC), sous la responsabilité de la Direction de l'expertise hydrique. Elle a été financée par le Fonds vert dans le cadre du Plan d'action sur les changements climatiques (PACC) 2013-2020 du gouvernement du Québec.

Le MELCC n'est pas responsable de l'exactitude, de l'actualité et de la fiabilité du contenu de ce rapport. Les points de vue exprimés dans ce rapport émanent des auteurs et ne coïncident pas nécessairement avec ceux du ministère mentionné ci-haut.

## TABLE DES MATIÈRES

<b>AVANT-PROPOS</b> .....	6
<b>AVERTISSEMENT</b> .....	7
<b>TABLE DES MATIÈRES</b> .....	8
<b>LISTE DES FIGURES</b> .....	10
<b>LISTE DES TABLEAUX</b> .....	11
<b>LISTE DES ANNEXES</b> .....	12
1. Introduction.....	13
1.1 Mise en contexte du projet.....	13
1.2 Objectifs du projet.....	13
1.3 Territoire à l'étude.....	14
2. Revue de littérature.....	16
2.1 Les écosystèmes côtiers : des environnements vulnérables.....	16
2.2 Historique des cartographies existantes sur le territoire côtier québécois.....	16
2.3 Systèmes de classification des écosystèmes côtiers.....	18
2.3.1 Survol des systèmes existants.....	18
2.3.2 Justification de notre classification.....	19
2.4 Méthodes de segmentation par télédétection.....	20
2.4.1 Survol des méthodes existantes.....	20
2.4.2 Justification de notre méthode.....	21
3. Méthodologie de la cartographie des écosystèmes côtiers.....	22
3.1 Données utilisées en intrant.....	24
3.2 Prétraitement de l'imagerie.....	27
3.3 Règles de caractérisation.....	29
3.3.1 Attribution du système géomorphologique, des éléments géomorphologiques et des éléments anthropiques.....	31
3.3.2 Attribution de la couverture végétale, des types de végétaux et des types de substrats.....	33
3.3.3 L'attribution des noms d'espèces et de la morphologie.....	36
3.3.4 Attribution de l'assemblage végétal et de la dominance végétale.....	36
3.4 Écosystèmes côtiers.....	37

3.4.1	Écosystèmes côtiers détaillés .....	38
3.4.2	Grands écosystèmes côtiers .....	39
3.5	Ajustements finaux.....	39
3.6	Biais et limites de la méthode .....	40
4.	Résultats .....	43
4.1	Présentation des grands écosystèmes côtiers .....	43
4.2	Produits cartographiques .....	46
5.	Conclusion .....	48
6.	Références.....	49
7.	Annexes .....	53

## LISTE DES FIGURES

Figure 1. Carte de localisation des 24 MRC cartographiées et des territoires couverts .....	15
Figure 2. Schéma synthèse de la méthodologie de photo-interprétation des écosystèmes côtiers .....	22
Figure 3. Représentation de la ligne de rivage et trait de côte selon différents systèmes géomorphologiques (LDGIZC, 2014).....	23
Figure 4. Exemple de photographies obliques héliportées, Embouchure de la rivière des Petites-Bergeronnes (A) et niveau de détails possible de la végétation, marais du Kamouraska (B) (LDGIZC, 2017).....	25
Figure 5. Exemple de photos de terrain, (A) et (C) : identification d'espèces végétales (B) et (D) localisation de l'étendue des espèces sur le territoire (LDGIZC 2019).....	26
Figure 6. Différence entre une mosaïque avec de la réflectance spéculaire sur l'eau (A) et d'une mosaïque sans (B). Imagerie MPO 2018 .....	27
Figure 7. Exemple de mosaïque segmentée par le logiciel PCI et visualisation de l'imagerie en composé fausse couleur dans ArcGIS, secteur de Maria et Gesgapegiac. Imagerie aérienne infrarouge MPO 2018 .....	28
Figure 8. Exemple de système géomorphologique de schorre supérieur dans un système de delta, MRC de Bonaventure (LDGIZC, 2017) .....	32
Figure 9. Comparaison de la visualisation avec infrarouge seulement (A) et avec l'ajustement dynamique de ré-échantillonnage (DRA) (B) dans l'infralittoral (Source imagerie : MPO 2018) .	33
Figure 10. Présentation des classes de recouvrement végétal avec barème d'identification (A) et exemple de classement de la zostère marine (B) .....	34
Figure 11. Validation terrain des principales espèces identifiables par photo-interprétation en fonction de la texture et de la couleur, (Source de l'imagerie infrarouge : MPO, photos terrain : LDGIZC) .....	35
Figure 12. Exemple de disparité de précision dans les photos obliques selon les secteurs : marais de la rivière Paspébiac vu de loin, Bonaventure (A) et un marais du Kamouraska vu de très proche (B) (Source LDGIZC 2017) .....	41
Figure 13. Exemple de fiche descriptive sur les écosystèmes (Les deltas).....	45
Figure 14 Écosystèmes du marais de la rivière Grandes-Bergeronnes, sur la Côte-Nord.....	46
Figure 15 Exemple des graphiques réalisés à l'aide du tableau de bord pour la municipalité de Franquelin, sur la Côte-Nord (capture d'écran) .....	47

## **LISTE DES TABLEAUX**

Tableau 1 Sources et années de l'imagerie aérienne et satellitaire utilisée par MRC.....	24
Tableau 2. Aperçu des principaux champs de la table d'attribut.....	30
Tableau 3. Nom des grands écosystèmes .....	43
Tableau 4. Fiches sur les écosystèmes .....	44

## **LISTE DES ANNEXES**

Annexe A : Métadonnées .....	53
Annexe B : Clés décisionnelles .....	54
Annexe C : Fiches d'écosystèmes .....	57
Annexe D : Règles générales pour déterminer les noms d'écosystèmes détaillés .....	91
Annexe E : Règles générales pour déterminer les noms d'écosystèmes .....	94
Annexe F : Règles générales pour déterminer l'assemblage végétal.....	94
Annexe G : Règles générales pour déterminer la dominance végétale .....	97

## 1. Introduction

### 1.1 Mise en contexte du projet

Ce rapport présente le chantier de **cartographie des écosystèmes côtiers du Québec maritime** du projet Résilience côtière mené par le Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières (LDGIZC) de l'Université du Québec à Rimouski (UQAR). Il fait partie intégrante de la série de rapports découlant de ce vaste projet ayant pour objectif le développement d'outils d'adaptation à l'érosion côtière répondant aux besoins des communautés côtières du Québec maritime (voir la page Web du projet : <https://ldgizc.uqar.ca/Web/projets/projet-resilience-cotiere>).

La cartographie des écosystèmes côtiers du Québec maritime est une initiative réalisée conjointement par le LDGIZC de l'UQAR dans le cadre du **projet Résilience côtière** financé par le ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC) et par le ministère des Pêches et Océans Canada (MPO) dans le cadre de son volet **Planification pour une intervention environnementale intégrée (PIEI)** du Plan de Protection des Océans (PPO). Ce dernier a pour objectif la mise à jour du Régime de préparation et d'intervention en cas de déversement d'hydrocarbures en milieu marin du Canada. Les données produites serviront à mieux localiser les ressources à risques sous le mandat du MPO ainsi qu'à améliorer la réponse en cas d'incident environnemental comme un déversement pétrolier.

Ainsi, la cartographie dont il est question dans ce rapport méthodologique devrait être référée comme étant de source : UQAR et MPO.

Ce document a pour but d'accompagner les utilisateurs des données de la cartographie numérique surfacique des écosystèmes côtiers afin de les renseigner sur la méthodologie employée, les règles de caractérisation suivies, les décisions utilisées et les définitions retenues. Dans le but de rendre l'information géographique accessible aux résidentes et résidents côtiers ainsi qu'aux organismes locaux qui ne possèdent pas de logiciel de système d'information géographique (SIG), la cartographie et les informations qui y sont associées sont partagées par le Système intégré de gestion de l'environnement côtier (SIGEC Web : <https://sigec.uqar.ca/>).

### 1.2 Objectifs du projet

Une cartographie des écosystèmes côtiers de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent s'avère nécessaire pour assurer la conservation de ces derniers. En plus de dresser le portrait global des écosystèmes côtiers du Québec, la cartographie sera un point de référence pour permettre l'analyse de leur évolution dans le temps et de leur vulnérabilité. Cette cartographie surfacique, à fine échelle, sur le territoire du Québec maritime est une prémisse. Elle pourra servir de base pour plusieurs autres projets d'organismes, d'intervenant.es et de dirigeant.es du milieu et du territoire, dans leurs interventions et leurs plans d'aménagements, entre autres.

L'objectif principal de ce projet est donc de réaliser une cartographie surfacique à haute résolution spatiale sur l'ensemble du territoire du Québec maritime, dont la totalité de la zone intertidale, et une partie de la zone infralittorale sera caractérisée et associée à un écosystème.

Pour y parvenir, les sous-objectifs suivants ont été accomplis :

- Développer une méthodologie de segmentation et de caractérisation adaptée aux besoins ;
- Développer une nomenclature d'écosystèmes adaptée au Québec maritime ;
- Produire une cartographie permettant une utilisation variée et qui présente de l'information simplifiée et détaillée.
- Renseigner les actrices et acteurs régionaux sur les écosystèmes spécifiques de leur territoire ;
- Rendre l'information accessible à l'utilisateur qui ne possède pas de logiciel SIG ;

### 1.3 Territoire à l'étude

La cartographie des écosystèmes côtiers s'est effectuée pour 24 MRC (figure 1) pour lesquelles la majorité de leurs côtes ont été couvertes. Cependant pour la MRC de la Minganie, plus précisément sur l'île d'Anticosti, c'est seulement 36 km de côte près du village de Port-Meunier qui sont caractérisés. De même pour la MRC du Golfe-du-Saint-Laurent, seuls les secteurs de 4 villages et 1 communauté autochtone ont été cartographiés : Kegaska, La Romaine/Unamen Shipu, Chevery et Blanc-Sablon.



Figure 1. Carte de localisation des 24 MRC cartographiées et des territoires couverts

## 2. Revue de littérature

### 2.1 Les écosystèmes côtiers : des environnements vulnérables

Il est observable à l'échelle planétaire que les écosystèmes côtiers se retrouvent coincés entre l'expansion des infrastructures anthropiques et une hausse du niveau de la mer (Smart *et al.*, 2021). La résilience naturelle d'un écosystème système côtier face à la montée du niveau marin est, entre autres, de migrer vers la terre (Davidson-Arnott, 2005 ; Bernatchez et Quintin, 2016). Or, certaines barrières artificielles ou naturelles présentent une contrainte infranchissable pour la migration des écosystèmes côtiers (Bernatchez et Quintin, 2016). La perpétuité de ces écosystèmes dépendra de leur capacité migratoire qui sera déterminée, notamment par la présence ou l'absence de ces barrières (Van Dolah *et coll.*, 2020) et par leur position dans la zone intertidale (Rayner *et coll.*, 2021).

Les études antérieures rapportent que 1 336 km de route se trouve à moins de 500 mètres du trait de côte dans l'Est-du-Québec (Drejza *et coll.*, 2014). Dans cette même bande se trouvent les infrastructures résidentielles de plus de 30 % de la population de ces régions en plus de bâtiments industriels (Bourque et Simonet, 2008). De plus, 43 % des côtes de l'Est-du-Québec sont sujettes à la submersion et environ 47 % des côtes (excluant les côtes de roche ignée) présentent des processus d'érosion (Drejza *et coll.*, 2014). Selon les résultats du chantier de **Cartographie des types de côtes du Québec maritime** du Projet Résilience côtière, le tiers de l'ensemble de la côte de l'Est-du-Québec présente des signes d'érosion tout type de côte confondu (incluant les côtes de roche ignée) (Arsenault *et coll.*, 2021). L'estuaire et le golfe du Saint-Laurent sont dans un contexte postglaciaire complexe qui occasionne dans certaines régions un relèvement isostatique, mais dans d'autres une subsidence comme dans le sud du golfe (Baie-des-Chaleurs, Îles-de-la-Madeleine) (Koozare, 2008, Barnett *et al.*, 2019). Le relèvement isostatique entraînait historiquement une baisse ou une stabilité ou une légère augmentation du niveau marin relatif (NMR) selon les régions (Koozare *et al.*, 2008 ; Han *et al.*, 2015). Or, l'accélération de la hausse du NMR mondiale observée (Chen *et al.* 2017, IPCC, 2019) viendra perturber cette tendance en occasionnant une hausse du niveau marin dans le Québec Maritime dont les prévisions pour 2100 sont de 0,43 à 1,1 m (Oppenheimer *et coll.*, 2019). Afin de pouvoir évaluer le potentiel migratoire des écosystèmes, un inventaire précis des écosystèmes sur le territoire est nécessaire.

### 2.2 Historique des cartographies existantes sur le territoire côtier québécois

L'intérêt pour les écosystèmes côtiers au Québec n'est pas nouveau. Plusieurs projets de cartographie des écosystèmes ont été réalisés à différentes échelles sur diverses composantes du milieu côtier. Cependant, le Québec étant un grand territoire à couvrir, peu d'entre eux couvrent l'entièreté de l'étendue côtière. De plus, la plupart des études ciblent une composante du milieu côtier en particulier ou encore un secteur en particulier. En outre, la plupart des études à grande échelle ont été conduites entre les années 80 et 2000 et commencent à dater.

La première cartographie des milieux humides à grande échelle fut réalisée par le Groupe Dryade en 1980. Elle couvrait les rives du fleuve, l'estuaire et le golfe Saint-Laurent, incluant la péninsule Gaspésienne et les Îles-de-la-Madeleine. Suite à cette cartographie, le Groupe Dryade publia une étude d'analyse de l'évolution des milieux humides des berges du Saint-Laurent de Cornwall à Matane (Groupe Dryade, 1981). Or, cette cartographie datant de plus de 40 ans commence à être désuète et ne cible que les milieux humides. En 1995, Lemieux et Lalumière entreprirent l'inventaire des herbiers de zostère à l'échelle du Québec par survol hélicoptère. La géolocalisation de ces écosystèmes était saisie *in situ* dans l'hélicoptère. Toutefois, cette cartographie date aussi de plus de 25 ans. La taille et l'emplacement des herbiers ont beaucoup évolué depuis, certains ayant disparu, d'autres, gagnés en expansion, ou encore, font l'objet de projet de restauration.

En 2005, Létourneau et Jean répertorièrent les milieux humides de l'estuaire fluvial et de la rive sud de l'estuaire moyen par télédétection sur des images aériennes historiques datant de 1990-1991. En 2005, Long réalisa un portrait côtier plus global incluant la caractérisation des composantes morphologiques, sédimentologiques, géologiques, hydrodynamiques et biologiques, restreinte toutefois à la Baie-des-Chaleurs, dans le but d'évaluer la vulnérabilité au coincidence côtier occasionné par la proximité de la route 132. En 2009, Martel *et al.*, rassemblèrent toutes les informations sur la distribution et la description des herbiers de zostère du Québec découlant des études antérieures telles que celles de Lemieux et Lalumière (1995), des comités de zones d'intervention prioritaire (ZIP), de comités régionaux de l'environnement (CRE), du ministère Pêches et Océans Canada (MPO,) ainsi que d'études scientifiques. Bien que ce travail ait permis de recenser localement certaines données plus récentes par rapport aux données de 1995, certains secteurs nécessitaient encore une mise à jour importante. Plus récemment, l'organisme Canards Illimités a produit des cartes interactives en ligne présentant les milieux humides du Canada sous lesquelles figurent les marais de Chaudière-Appalaches et du Bas-Saint-Laurent (en cours) (Canards illimités Canada, 2021). D'autres études scientifiques à une échelle locale portant sur des sites d'intérêts particuliers ont aussi été publiées. De plus, de nombreux herbiers de zostère et marais maritimes furent très bien documentés localement par les différents comités ZIP. Ainsi, en 2002, Tremblay du comité ZIP de la Baie-des-Chaleurs présenta un inventaire exhaustif des habitats, des groupements végétaux et des descriptions physiques de 42 marais maritimes de la Gaspésie en mettant l'accent sur les espèces d'intérêts particuliers (plantes menacées ou vulnérables). De même, le comité ZIP de la rive nord de l'estuaire a produit une quinzaine de fiches descriptives des habitats littoraux d'intérêt de leur territoire.

Par ailleurs, très peu de données surfaciques existent sur la cartographie des communautés algales en milieu côtier intertidal et infralittoral québécois. Comme pour la zostère et les marais, les données disponibles à l'échelle du Québec datent de plusieurs années et même plusieurs dizaines d'années et sont souvent ponctuelles. Les travaux de Cardinal dans les années 1960 sont probablement parmi les plus importants et ont permis de faire un portrait à l'échelle du Québec des communautés algales en répertoriant et en acquérant de l'information sur la répartition de 240 taxons d'algues dans neuf zones biogéographiques du Québec (Cardinal 1968 ; Cardinal 1990).

En parallèle, Himmelman et Lavergne (1985) ont effectué des observations qualitatives sur 111 sites dans l'estuaire du Saint-Laurent, caractérisant leur distribution sur le profil côtier. Au début des années 2000, un regain de l'intérêt des algues pour leur utilisation commerciale a mené à la création d'un Centre d'étude et de valorisation des algues marines (CEVAM-Québec), restimulant la recherche sur les macroalgues. En 2014, Merzouk dresse une nouvelle compilation des données disponibles sur la répartition des algues au Québec comportant des informations sur les biomasses mesurées à plusieurs sites dans plusieurs régions du Québec. Cependant, son étude met en lumière le manque de données quantitatives sur ces communautés algales et une difficulté concernant l'accessibilité des données, puisqu'elles restent souvent non publiées ou non diffusées.

À la lumière de toutes ces informations, le survol historique des travaux cartographiques du Québec révèle que la saisie des données peut dater de plusieurs décennies dans certains cas et qu'elle ne regroupe jamais l'entièreté des berges du Québec maritime. On constate également que des projets peuvent présenter des données colligées provenant de sources multiples occasionnant une variabilité dans la précision et la localisation des données selon la méthode utilisée. En outre, les études réalisées sur de larges territoires regroupent rarement la totalité des écosystèmes côtiers, se limitant, d'ailleurs, qu'aux lieux ayant une grande diversité biologique, telles que les marais et les herbiers de zostère. Il est également observé que les études présentant une cartographie d'écosystèmes exhaustive et à grande échelle se limitent majoritairement à un site d'étude d'intérêt, par exemple, l'embouchure d'une rivière, un marais, etc.

Il ressort des études antérieures que les cartes des écosystèmes côtiers sont soit géographiquement imprécises et conçues avec des données qui ne sont plus à jour, soit trop spécialisées pour être intégrées à une base de données à l'échelle provinciale. Enfin, les données surfaciques sur la présence des communautés de macroalgues benthiques au Québec sont très limitées.

## 2.3 Systèmes de classification des écosystèmes côtiers

### 2.3.1 Survol des systèmes existants

La classification des habitats de l'EUNIS (European Union Nature Information System) est une classification paneuropéenne visant à harmoniser la description et la prise de données en Europe par l'utilisation de critères permettant l'identification des habitats. Il s'agit d'un système de classification hiérarchique, qui couvre l'ensemble des habitats présents en Europe allant des milieux naturels à ceux artificiels, et ce, tant au niveau terrestre, marin et d'eau douce. Dans cette cartographie, l'habitat côtier découle du premier niveau de classification. Il sera ensuite divisé en type d'écosystèmes côtiers globaux puis subdivisé avec des clés de détermination propre à chaque écosystème permettant de préciser les valeurs biophysiques de l'écosystème (Bajjouk *et coll.*, 2015).

Le système de classification national pour les « habitats benthiques marins » de la Grande-Bretagne et de l'Irlande a été élaboré par le *Joint Nature Conservation Committee* (JNCC). Il a été développé dans une optique de conservation des écosystèmes. Conséquemment, les classes sont principalement axées sur les composantes biologiques. Le système de classification des écosystèmes peu profonds couvre la zone intertidale jusqu'à la zone infralittorale. La classification est divisée selon 6 niveaux hiérarchiques intégrant graduellement l'information d'étagement, du type de substrat (meuble ou rocheux) ainsi que du substrat détaillé, d'hydrodynamisme, des communautés biologiques dominantes, des paramètres océanographiques (salinité, marnage) et des espèces détaillées (Davies *et coll.*, 2004).

Au Québec, un système de classification des milieux humides fut développé par Buteau *et coll.*, en 1994. Le système classe premièrement les milieux humides en 6 types : eau peu profonde, rivages, marais, marécages, bogs et fens. Par la suite, une clé d'identification est proposée pour chaque type de milieux humides intégrant les paramètres d'étagement, de compaction du sol, de couverture végétale et des types de groupement végétal. Cette classification fut utilisée et adaptée dans la cartographie de Létourneau et Jean (2005) qui présentait 65 noms d'écosystèmes de milieux humides.

On constate que ces trois systèmes de classifications hiérarchiques par clé d'identification peuvent mener à une perte de précision puisque l'objectif est de nommer un écosystème cartographié selon une liste de noms préconçus. Certaines situations moins communes peuvent donc être perdues lors de ce type de classification. De plus, les systèmes hiérarchiques permettent d'intégrer différents niveaux de détails tels que les paramètres physico-chimiques de l'océan qui sont détaillés dans la classification JNCC. Un tel niveau de détail n'est pas nécessaire dans ce projet-ci.

Une autre façon de procéder pour la classification est de créer un catalogue de critères tel que réalisé par le gouvernement de la Colombie-Britannique en 1994. Ce projet avait pour but de classer et cartographier les types de zones côtières selon les paramètres physiques du milieu (étagement, substrat, la géomorphologie et les processus géomorphologiques). Les données physiques détaillées de ce projet sont regroupées dans la base de données et une version simplifiée qui résume la morphologie et la texture du milieu est utilisée pour la cartographie. Pour cette version simplifiée, 5 classes de la base de données ont été sélectionnées et la combinaison de ces critères donne le nom du type de côte (Howes *et coll.*, 1994).

### 2.3.2 Justification de notre classification

Dans la présente caractérisation des écosystèmes côtiers, deux classifications ont été produites en s'inspirant des différentes études discutées précédemment. Une première classification s'est basée sur les paramètres physiques du milieu en plus des paramètres biologiques. Ainsi, les noms d'écosystèmes avec le plus grand niveau de détails obtenus sont la somme de plusieurs classes, soit leur étagement, leur substrat, leur recouvrement végétal, leur type végétal dominant, ainsi que leur système géomorphologique. Plus précisément, ce sont 561 écosystèmes détaillés pour l'ensemble du Québec maritime qui sont ainsi obtenus.

Dans un souci de représentation cartographique et d'analyse statistique, une deuxième classification a été effectuée, basée sur 35 noms d'écosystèmes prédéterminés. Ces derniers sont obtenus en regroupant les noms détaillés selon 15 grandes classes basées principalement sur les géosystèmes. Pour chacune des classes une simple distinction est faite entre non végétalisé (0-25 % de recouvrement végétal) et végétalisé (par de la zostère ou par des macroalgues). De plus, une division simple entre les substrats meubles et rocheux permet la simplification des noms d'écosystèmes dans cette deuxième classification. Des exceptions sont faites pour les plages, les îles, les marais maritimes ainsi que les marécages intertidaux.

Ces méthodes seront vues en détail à la section 3.4, en plus d'une présentation détaillée des 35 écosystèmes à la section 4.

## 2.4 Méthodes de segmentation par télédétection

### 2.4.1 Survol des méthodes existantes

L'utilisation de système d'information géographique (SIG) permet l'analyse d'un grand volume de données, de créer des cartes thématiques, d'intégrer et d'analyser des statistiques géographiques et d'homogénéiser des données multidisciplinaires à l'intérieur d'une base de données (Laitinen et Neuvonen, 2001). L'inventaire des écosystèmes côtiers à grande échelle ainsi que leur suivi peuvent être réalisés avec la télédétection, ainsi qu'avec les SIG (Drouet, 2020 ; Smith et Pain, 2009). En plus de permettre de couvrir un grand territoire sans devoir y accéder, la télédétection peut permettre une analyse temporelle selon la fréquence à laquelle les satellites ou les avions saisissent les données.

Ainsi, au courant des dernières décennies, les techniques de photo-interprétation plutôt traditionnelles ont fait place à des techniques de classification d'images semi-automatisées. Permettant de couvrir un plus grand territoire efficacement, cette technique utilise un algorithme classifiant chacun des pixels de l'image sur la base de leurs caractéristiques spectrales. En conséquence, la classification par objet regroupe préalablement les pixels voisins similaires en segments (objets ou polygones), devenant ainsi la nouvelle entité à caractériser. Ces techniques de classification par objet sont d'ailleurs reconnues pour améliorer les résultats grâce aux images à haute et très haute résolution spatiale obtenues (Yu *et al.*, 2006 ; Gao et Mas, 2008 ; Aggarwal *et al.*, 2016 ; Makinde *et al.*, 2016).

Bien que les techniques actuelles de classification semi-automatique aient été réalisées dans le cadre de cartographie des écosystèmes terrestres (Johansen *et al.*, 2007 ; Dissanska *et al.*, 2009 ; Xie *et al.*, 2019), elles restent cependant marginales et représentent un défi, lorsqu'effectuées dans les zones côtières et surtout en zone submergée ou partiellement submergée. L'étude de Wilson *et coll.* (2020) présente malgré tout un succès dans l'identification de la présence et l'absence de la végétation en zone infralittorale, donc complètement submergée, par classification semi-automatisée. Malgré tout, ce dernier ne réussit pas à distinguer les types de végétaux entre eux, tels que la zostère et les bancs de macroalgues.

Le survol des études de photo-interprétation en zone côtière révèle que différentes méthodologies sont utilisées pour chaque cartographie réalisée. Cette analyse mène au constat qu'il n'existe pas de procédure priorisée par les scientifiques et que les méthodes utilisées dépendent principalement du contexte environnemental, de l'accès aux imageries, ainsi que des objectifs de recherche (Drouet, 2020).

#### 2.4.2 Justification de notre méthode

Le présent projet, englobant des milieux côtiers subissant le battement de marées, en plus de zones infralittorales étant totalement submergées ne se prêtait que peu à une classification d'image semi-automatisée. Comme précisé précédemment, malgré une haute résolution des images aériennes utilisées, la présence d'une colonne d'eau au-dessus de la végétation ne permet pas l'identification des types de végétaux par classification semi-automatisée. L'étendue du territoire, ainsi que les besoins cartographiques spécifiques et nombreux du projet (*c.-à-d.* plusieurs attributs à caractériser dans la base de données) nécessitent une analyse complexe du territoire.

Ainsi, pour toutes ces raisons, l'approche plutôt classique de cartographier par photo-interprétation a été retenue au détriment des techniques de classification semi-automatisée. Toutefois, puisque cette méthode reste fastidieuse sur un aussi grand territoire, le principe de segmentation d'images a été mis à profit et inséré comme étape préalable à la caractérisation manuelle. Cette segmentation permet de rapidement avoir des entités de pixels sensiblement homogènes (polygones) prêtes à être caractérisées par l'interprète.

### 3. Méthodologie de la cartographie des écosystèmes côtiers

Les sous-sections suivantes décrivent la méthodologie utilisée pour la cartographie des écosystèmes côtiers du Québec maritime. Le schéma de la figure 2 résume les étapes méthodologiques. Une compréhension de la méthode de travail permettra une meilleure utilisation et interprétation des données présentées. La cartographie a été réalisée principalement à partir de photo-interprétation de l'imagerie aérienne verticale et d'images obliques hélicoptérées. Avant de faire la caractérisation par photo-interprétation, des étapes de prétraitement des images furent nécessaires. La validation terrain a été réalisée afin de valider les données de photo-interprétation et de mieux identifier les espèces végétales présentes dans les écosystèmes côtiers.

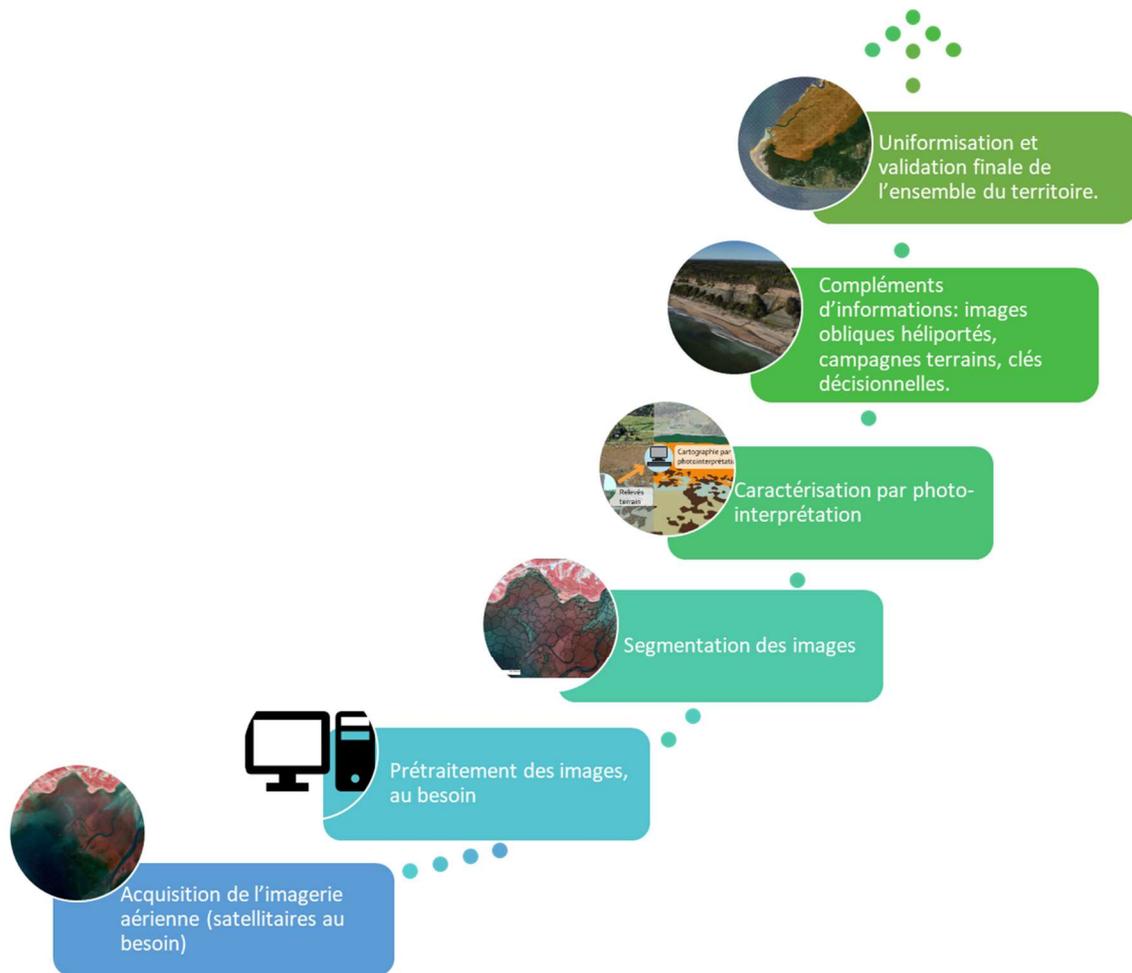


Figure 2. Schéma synthèse de la méthodologie de photo-interprétation des écosystèmes côtiers

La zone côtière cartographiée s'étend à partir du trait de côte (marais maritimes) ou de la ligne de rivage (autres environnements) vers le large sur une distance minimale de 500 mètres. Cette distance peut être augmentée selon l'étirement de zone intertidale ou de la visibilité sous-marine des photos aériennes.

**La ligne de rivage** est une limite géomorphologique qui correspond à la limite de végétation herbacée dense, à la base d'un ouvrage de protection rigide ou à la base d'une falaise. Elle correspond approximativement à la limite des hautes mers maximales. En ce qui concerne les marais maritimes, la ligne de rivage correspond à la limite entre le schorre supérieur et inférieur, soit approximativement à la limite des pleines mers supérieures de marées moyennes.

**Le trait de côte** pour sa part, est une limite géomorphologique correspondant au sommet du talus côtier. C'est la limite de la zone d'influence des processus côtiers, soit la limite entre la côte et l'arrière côte. Dans les marais maritimes, il s'agit de l'arrière du schorre supérieur, c'est-à-dire lorsque la végétation devient terrestre.

Dans ce projet, l'utilisation de la ligne de rivage pour délimiter les écosystèmes côtiers du domaine terrestre prédomine à l'exception des marais où le trait de côte a été utilisé (figure 3).

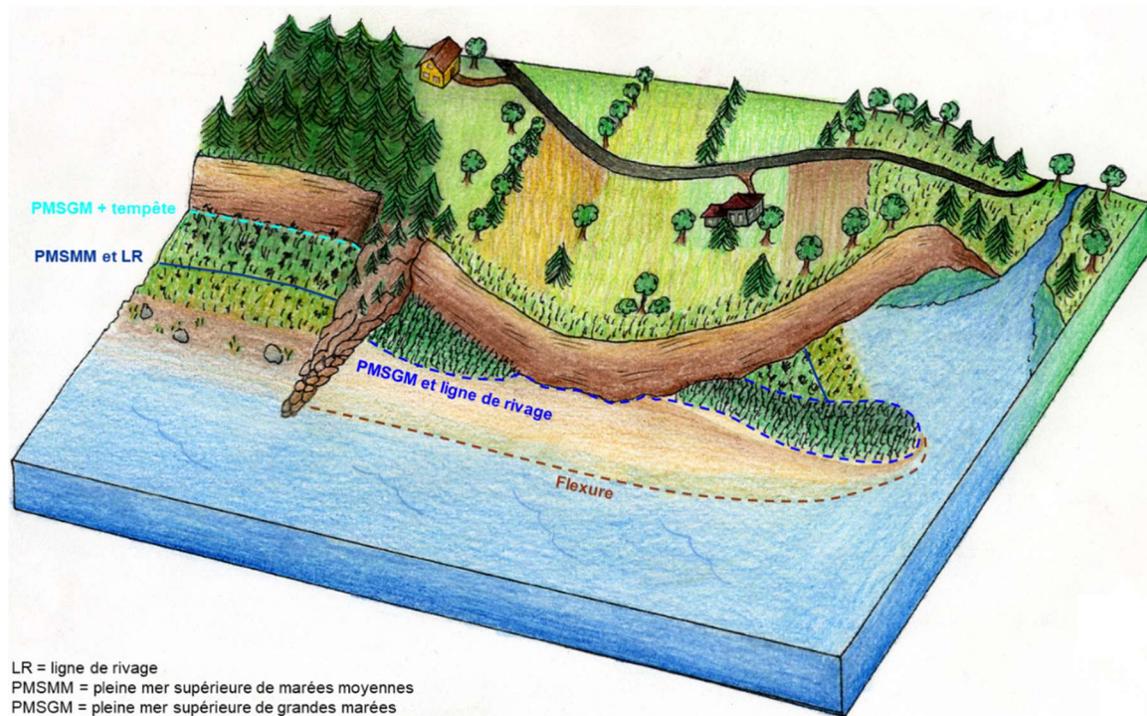


Figure 3. Représentation de la ligne de rivage et trait de côte selon différents systèmes géomorphologiques (LDGIZC, 2014)

### 3.1 Données utilisées en intrant

La cartographie est majoritairement réalisée à partir de l'imagerie aérienne obtenue du ministère Pêches et Océan Canada (MPO), datant entre 2015 et 2019 (tableau 1). Cette imagerie possède 4 bandes : rouge, vert, bleu, infrarouge ainsi qu'une résolution spatiale au sol de 30 centimètres. Cependant, pour les MRC du Golfe-du-Saint-Laurent, Bellechasse, la Côte-de-Beaupré et l'Île-d'Orléans et la Communauté maritimes des Îles-de-la-Madeleine d'autres images ont dû être utilisées (tableau 1). De plus, certains segments de côte n'étant pas couverts en entier avec l'imagerie de base du MPO, des photographies aériennes (sans infrarouge) du gouvernement du Québec (2012-2014 et 2019) à 30 cm de résolution spatiale au sol ainsi que des images satellitaires acquises par le ministère de la Sécurité publique (2017) ont été utilisées pour ces secteurs.

Tableau 1 Sources et années de l'imagerie aérienne et satellitaire utilisée par MRC

MRC	Source de l'imagerie	Images complémentaires
Avignon	MPO 2018	NA
Les Basques	MPO 2015	NA
Bellechasse	Gouv. du Québec 2015	NA
Bonaventure	MPO 2018	NA
Charlevoix	MPO 2018	NA
Charlevoix-Est	MPO 2016 et 2018	Satellitaire 2018
La Côte-de-Beaupré	CMQ 2018 et MPO 2018	NA
La Côte-de-Gaspé	MPO 2019	NA
Le Golfe-du-Saint-Laurent	Satellitaire 2017 et 2018 (sans infrarouge)	NA
La Haute-Côte-Nord	MPO 2016	Aérienne du MRN 2012-2013
La Haute-Gaspésie	MPO 2019-2015	Section à l'ouest de Saint-Anne-des-Monts est caractérisée avec l'aérienne du MPO 2015
Communauté maritime des Îles-de-la-Madeleine	MERN 2019 (sans infrarouge)	Satellitaire MERN 2019 et Aérienne de la municipalité des Îles-de-la-Madeleine 2015
L'Île-d'Orléans	CMQ 2018	NA
L'Islet	MPO 2018	NA
Kamouraska	MPO 2018	NA
Manicouagan	MPO 2016	Aérienne du MRN 2013
La Matanie	MPO 2015	NA
Minganie	MPO 2016 MPO 2019 (Anticosti)	Aérienne du MRN 2014 et satellites du MSP 2017
La Mitis	MPO 2015	NA
Montmagny	MPO 2018	NA
Rimouski-Neigette	MPO 2015	NA
Rivière-du-Loup	MPO 2015	NA
Roché-Percé	MPO 2018 et 2019	NA
Sept-Rivières	MPO 2016	Satellitaire du MSP 2017

La photo-interprétation d'imagerie aérienne à elle seule permet difficilement de caractériser tous les champs de la base de données. L'utilisation de photographies obliques héliportées des berges réalisées par le LDGIZC, couvrant l'entièreté des zones côtières à l'exception des milieux insulaires inhabités, permet de compléter la cartographie. La figure 4 illustre la grande résolution des photos et l'information que nous pouvons y retrouver. Ces photos prises à marée basse sont géolocalisées. La majorité des photos obliques du laboratoire ont été prises en septembre 2017 à l'exception de la MRC du Golfe-du-Saint-Laurent, qui a pour sa part été photographiée en septembre 2019.



Figure 4. Exemple de photographies obliques héliportées, Embouchure de la rivière des Petites-Bergeronnes (A) et niveau de détails possible de la végétation, marais du Kamouraska (B) (LDGIZC, 2017)

De plus, des données complémentaires prises sur le terrain à l'automne 2018 et 2019, couvrant l'ensemble des MRC à l'étude (à l'exception de la MRC du Golfe-du-Saint-Laurent et du secteur d'Anticosti), ont permis de combler des lacunes liées à la photo-interprétation (figure 5). L'accent a été mis sur les secteurs écologiquement complexes tels que les marais, les battures végétalisées et les deltas, en plus des zones densément végétalisées. Les segments ayant été validés par une donnée de terrain sont identifiés dans la base de données.



*Figure 5. Exemple de photos de terrain (A) et (C) : identification d'espèces végétales (B) et (D) localisation de l'étendue des espèces sur le territoire (LDGIZC 2019)*

Également, de nombreuses données ont été générées par le LDGIZC au fil des ans, suite à la réalisation de plusieurs projets et études graduées. De nombreuses photos terrain sont ainsi disponibles au laboratoire, notamment celles issues du projet de suivis annuel de l'érosion des berges qui a débuté sur la Côte-Nord en 2000 et qui s'étend maintenant sur l'ensemble du territoire (Bernatchez et Drejza, 2015). Ce projet consiste en la récolte annuelle de mesure renseignant sur l'évolution positive ou négative de la ligne de rivage ou du trait de côte. Ces données issues de 8 000 stations de suivi permettent un suivi de l'évolution des berges et génèrent une banque de données photographiques annuelles du haut estran. De plus, le projet de caractérisation des marais, en lien avec le projet de recherche sur les reconstitutions des niveaux marins relatifs (en cours), a permis de visiter sur le terrain en 2018 près de 30 marais importants du Québec maritime pour en faire un inventaire floristique.

Par ailleurs, le projet de caractérisation des berges de 2008-2009, issu de données de terrains, informe par une base de données géoréférencées le substrat de toutes les plages du Bas-Saint-Laurent et de la Gaspésie.

Finalement, l'utilisation de données de modèle d'élévation numérique (LIDAR) a permis de déterminer la limite de la pleine mer supérieure de grande marée (PMSGM). Les données LIDAR permettent également d'analyser le profil de plage pour déterminer les limites entre les étagements.

### 3.2 Prétraitement de l'imagerie

Lorsque nécessaire, des mosaïques ont été réalisées avec l'imagerie aérienne dans le logiciel ArcGIS. Il importe de sélectionner les différentes photos dans un ordre de superposition afin de limiter les réflexions spéculaires sur l'eau. Puisque ce sont souvent les mêmes coins ou bordures d'images qui sont affectés, choisir le bon ordre de superposition réduit notablement cet effet une fois la mosaïque construite (figure 6). Cette étape est primordiale pour l'identification des écosystèmes, principalement ceux de l'infralittoral.

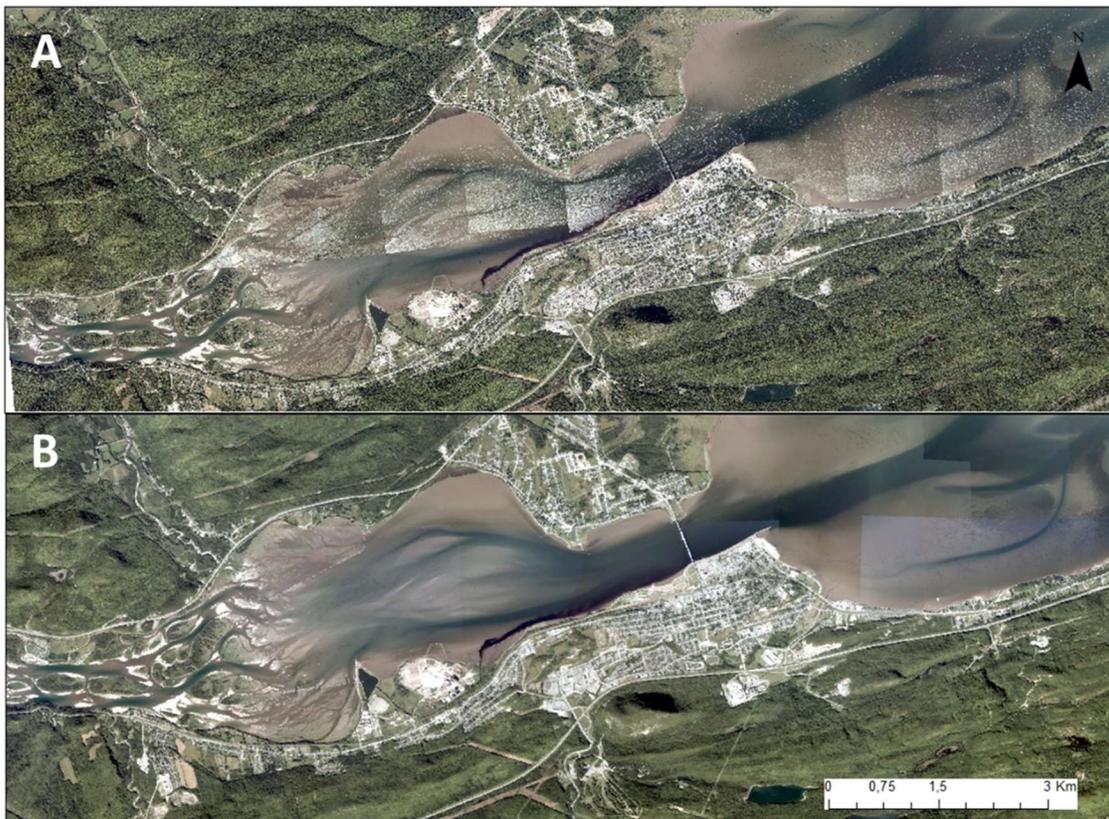


Figure 6. Différence entre une mosaïque avec de la réflectance spéculaire sur l'eau (A) et d'une mosaïque sans (B). Imagerie MPO 2018

Par la suite, une segmentation des images a été réalisée dans la plateforme de télédétection Géomatica (PCI-Geomatics). La segmentation utilise un algorithme classifiant chacun des pixels de l'image sur la base de leurs caractéristiques spectrales communes. Pour y arriver, il importe d'inclure à l'imagerie l'indice de végétation par différence normalisée (NDVI). Ce dernier est un indice compris entre 0 et 1, où 0 représente un faible recouvrement végétal et inversement pour un indice égal à 1 (ArcGIS Desktop, 2016). La bande infrarouge n'a pas été prise en compte dans la segmentation puisqu'elle n'est pas optimale lorsque la végétation est submergée. La bande infrarouge augmente également le nombre de polygones en zone émergée. C'est donc dans un souci d'avoir la meilleure segmentation possible, à la fois en milieu intertidal et infralittoral que le NDVI a été utilisé en compromis à la bande infrarouge.

À l'aide du module *Object Analyst* de PCI Geomatica, la segmentation de l'image a été réalisée avec les bandes 1-2-3-5 (RVB et NDVI). Trois paramètres ont été déterminés dans PCI pour la segmentation, soit l'échelle, la forme et la compacité. Le paramètre d'échelle a été programmé à 80, se traduisant par la production d'une grande quantité d'objets de relativement petites tailles. Le paramètre de forme (valeur 0-1) a été déterminé à 0,1, ce qui accorde plus d'importance à la couleur qu'à la forme de l'objet. Finalement, le paramètre de compacité (valeur 1-0) a été réglé à 0,8 afin d'éviter l'étirement de l'objet. Le fichier résultant de la segmentation est alors exporté en fichier de forme (*shapefile*) et intégré à la base de données géospatiale (figure 7).

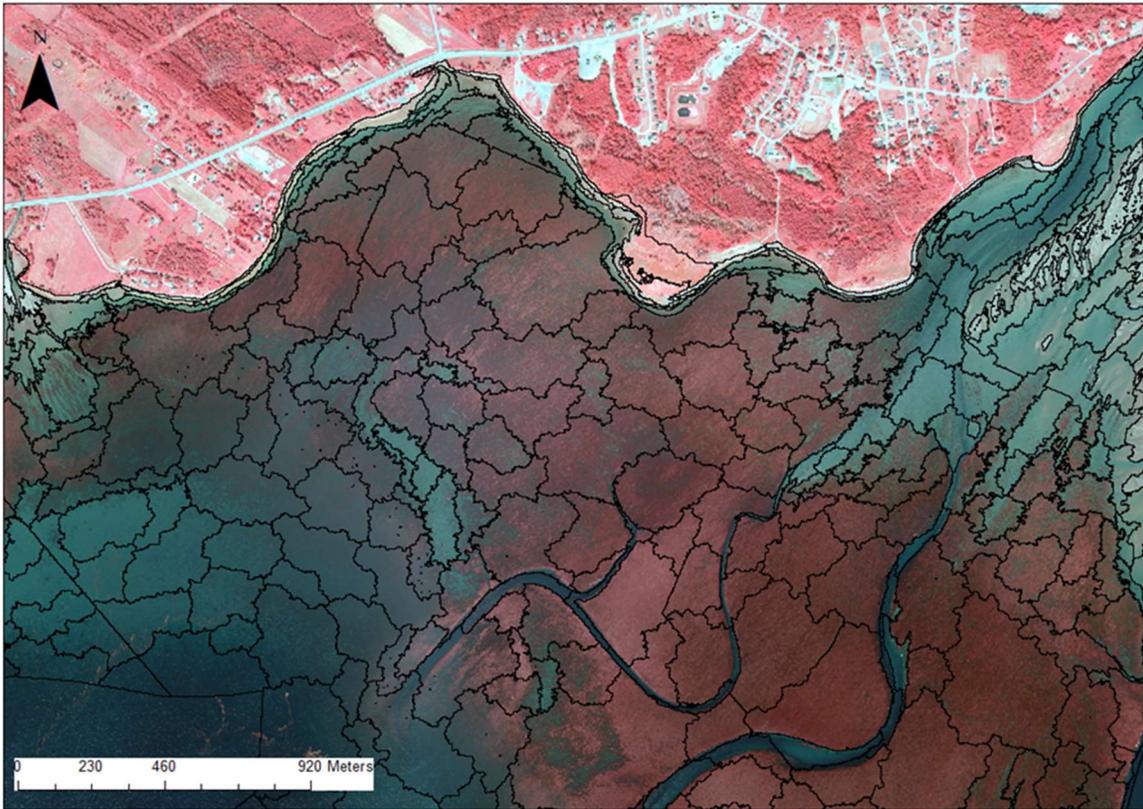


Figure 7. Exemple de mosaïque segmentée par le logiciel PCI et visualisation de l'imagerie en composé fausse couleur dans ArcGIS, secteur de Maria et Gesgapegiac. Imagerie aérienne infrarouge MPO 2018

### 3.3 Règles de caractérisation

Suite à la segmentation, un travail de reconstruction, de découpage et d'assemblage des polygones doit être réalisé manuellement par photo-interprétation. La cartographie des écosystèmes a été réalisée dans le logiciel ArcGIS. L'objectif de la cartographie est, d'une part, de remanier la segmentation dans le but d'obtenir un polygone représentant un milieu dont les caractéristiques physiques et biologiques sont les plus homogènes et, d'autre part, de le caractériser dans la base de données. La cartographie est réalisée pour être visualisée à une échelle de 1 : 4 000. Chaque polygone doit avoir une superficie minimale de 500 m<sup>2</sup> dans le haut estran ou de 1 000 m<sup>2</sup> dans les autres étagements. Quelques exceptions sont toutefois gardées.

La première manipulation consiste à éliminer tous les polygones inférieurs à 200 m<sup>2</sup> en les fusionnant au polygone avoisinant. Chaque polygone sera ensuite décrit par plusieurs attributs saisis dans la table attributaire de la base de données. Les caractéristiques qui doivent obligatoirement être remplies dans la base de données sont :

- L'étagement sur le profil côtier (*ÉTAGEMENT*)
- Le type de substrats selon la dominance (*SUBSTRAT\_1-2-3*)
- La couverture végétale (*Vg\_Cov*)
- Le type de végétaux selon la dominance (*Vg\_TYPE 1-2-3-4*)
- Le système géomorphologique (*Geo\_syst*)
- La présence, la présence potentielle ou l'absence de zostère marine (*Zostère*)
- L'insularité (*île*)

Un menu déroulant est proposé pour la plupart de ces champs (exception de Zostère et île). Seul l'étagement doit être obligatoirement déterminé, les autres champs peuvent être classés non déterminés lorsque l'interprétation n'est pas possible.

D'autres caractéristiques peuvent être ajoutées dans la base de données lorsqu'applicables :

- Le genre ou l'espèce du type végétale (*Vg\_TAXO\_1-2-3-4*)
- La forme et la couleur du type végétale (*Vg\_Morph\_1-2-3-4*)
- Les éléments géomorphologiques (*Geo\_ELEM\_1-2*)
- Les éléments anthropiques (*Anthro\_TYP*)
- Les végétaux marginaux (*Vg\_NOTES*)

Le tableau 2 synthétise les attributs disponibles pour la caractérisation des champs obligatoires. Pour la totalité des informations, consultez les métadonnées en Annexe A.

Tableau 2. Aperçu des principaux champs de la table d'attribut

Nom de l'attribut (nom du champ)	Description	Principaux choix d'attribut
Étagelement	Étagelement sur le profil côtier	Infralittoral, bas estran, haut estran, supralittoral
Substrat	Le type et la granulométrie du substrat, jusqu'à 3 substrats peuvent être saisis avec un minimum de dominance de 25 %	Limon-argile, sablo-vaseux sable, gravier, galets, blocs, sédiments mixtes grossiers, rocheux, matière organique, non déterminé (nd) (16 choix)
Couverture végétale (Vg_COV)	Classe de recouvrement des végétaux érigés	Non végétalisé (0-1 %), peu végétalisé (1-25 %), semi-végétalisé (25-75 %), végétalisé (75-100 %), non déterminé
Type végétal (vg_TYPE 1, 2, 3 et 4)	Type de végétaux érigés selon leur dominance. Jusqu'à 4 types peuvent être saisis avec un minimum de dominance de 25 % du couvert total. Regroupe les types de végétation commune au niveau taxonomique du genre, de la famille de l'ordre ou de l'espèce	Spartine alterniflore, étalée ou pectinée, plantes vasculaires mixtes, scirpes, jonc, carex, zostère marine, fucacées, laminariacées, algues indifférenciée, nd, etc. (63 choix)
Zostère (Vg_Zostere)	Présence de zostère, utilisée indépendamment de sa couverture végétale.	Oui, non, peut-être
Élément anthropique (anthro_TYP)	Identifie les éléments anthropiques présents, pour les étagelements de haut et bas estran, ainsi que l'infralittoral.	Enrochement (et divers ouvrages de protection), quai, chenaux artificiels, pont, etc. (44 possibilités)
Système géomorphologique (Geo_syst)	Les systèmes géomorphologiques sont des entités meubles ou rocheuses qui ont des caractéristiques géomorphologiques semblables.	Bas estran meuble, bas estran rocheux, batture, delta, écueil, haut estran rocheux, schorre supérieur, schorre inférieur, infralittoral meuble, infralittoral rocheux, plage, etc. (19 possibilités)

Nom de l'attribut (nom du champ)	Description	Principaux choix d'attribut
Élément géomorphologique (Geo_ELEM 1 et 2)	Les éléments géomorphologiques sont des formes meubles ou rocheuses qui caractérisent un géosystème. Ils résultent de processus hydrodynamiques et géomorphologiques et ont une influence sur la dynamique du milieu.	Affleurement rocheux, flèche littorale, écueil, chenaux cuvette, cordons, banc d'accumulation, barre sableuse, etc. (21 possibilités)
Île	Indique l'insularité du polygone. Applicable seulement pour les étagements de haut et bas estran.	Oui, non

### 3.3.1 Attribution du système géomorphologique, des éléments géomorphologiques et des éléments anthropiques

L'attribution des systèmes et éléments géomorphologiques est basée sur le contexte géomorphologique du milieu. Le système géomorphologique est le cœur du nom de l'écosystème qui sera attribué au polygone. Dans le cas de système de grande taille tel que des deltas à l'embouchure des rivières, de plus petits systèmes géomorphologiques peuvent se retrouver à l'intérieur de ce plus grand système tel que présenté sur la figure 8. Dans ce cas, les systèmes les plus précis seront priorisés, car l'information écosystémique y est plus importante. C'est le cas par exemple des schorres supérieurs ou inférieurs, des slikkes et/ou des chenaux estuariens. Des clés décisionnelles présentées en Annexe B ont été développées pour faciliter l'homogénéité des décisions prises dans des situations complexes.



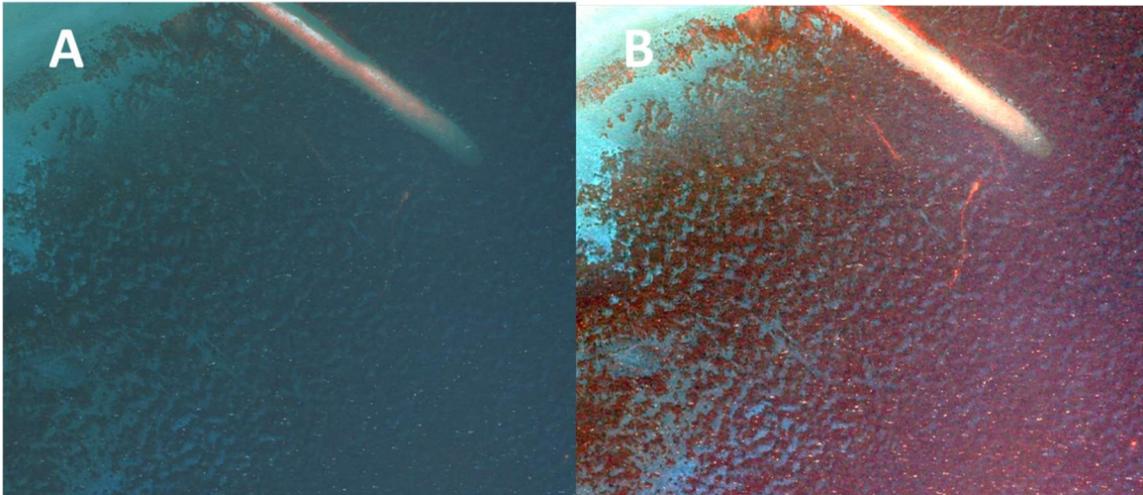
*Figure 8. Exemple de système géomorphologique de schorre supérieur dans un système de delta, MRC de Bonaventure (LDGIZC, 2017)*

Les éléments géomorphologiques sont des formes sédimentaires ou rocheuses caractérisant un système géomorphologique. Ces éléments sont, soit trop petits pour former leur propre écosystème ( $< 1\,000\text{ m}^2$ ), soit sans valeur écologique les distinguant du système géomorphologique. En premier lieu, prenons l'exemple d'une plage qui est entrecoupée d'un petit chenal estuarien ( $< 1\,000\text{ m}^2$ ), le système géomorphologique sera plage et l'élément géomorphologique sera chenal estuarien. En second lieu, une flèche littorale sera un élément géomorphologique du système de plage même si elle fait plus de  $1\,000\text{ m}^2$  puisque la présence d'une flèche influence peu les espèces végétales qui peupleront la plage.

Les éléments anthropiques sont également notés lorsque présents dans un polygone. Des règles de caractérisations viennent homogénéiser l'intégration des éléments anthropiques dans les écosystèmes côtiers. Lorsqu'un élément anthropique est inférieur à  $1\,000\text{ m}^2$ , il sera intégré au système géomorphologique environnant même si l'étagement est différent. Si l'élément correspond à plus de 25 % du polygone, le substrat anthropique devra être inscrit dans un attribut de substrat.

### 3.3.2 Attribution de la couverture végétale, des types de végétaux et des types de substrats

Afin de faire de la photo-interprétation d'espèces végétales, l'imagerie est affichée en infrarouge « fausse couleur » (figure 7) ou en couleur naturelle selon les besoins. L'affichage des images aériennes se fait avec l'ajustement dynamique de la plage (DRA). Cet ajustement permet un étirement dynamique en ajustant la plage de valeurs des pixels en fonction de la fenêtre d'affichage. L'étirement permet de mieux visualiser les contrastes entre les différentes valeurs de pixels, notamment dans l'infralittoral, lorsque la fenêtre d'affichage exclut les parties plus émergées de l'estran dont les valeurs de réflectance de pixels sont très élevées. L'utilisation du DRA augmente significativement la visualisation des populations d'algues marines (sans toutefois en permettre l'identification à l'espèce ou au genre) et la visualisation entre les substrats meubles et rocheux (figure 9).



*Figure 9. Comparaison de la visualisation avec infrarouge seulement (A) et avec l'ajustement dynamique de ré-échantillonnage (DRA) (B) dans l'infralittoral (Source imagerie : MPO 2018)*

La clé d'identification présentée à la figure 10, permet de déterminer le pourcentage de la couverture végétale. Avec l'infrarouge, certains groupements de végétaux sont facilement identifiables, puisqu'ils ont une signature spectrale propre. C'est le cas par exemple de la zostère marine, des fucacées et de la spartine alterniflore (figure 11).

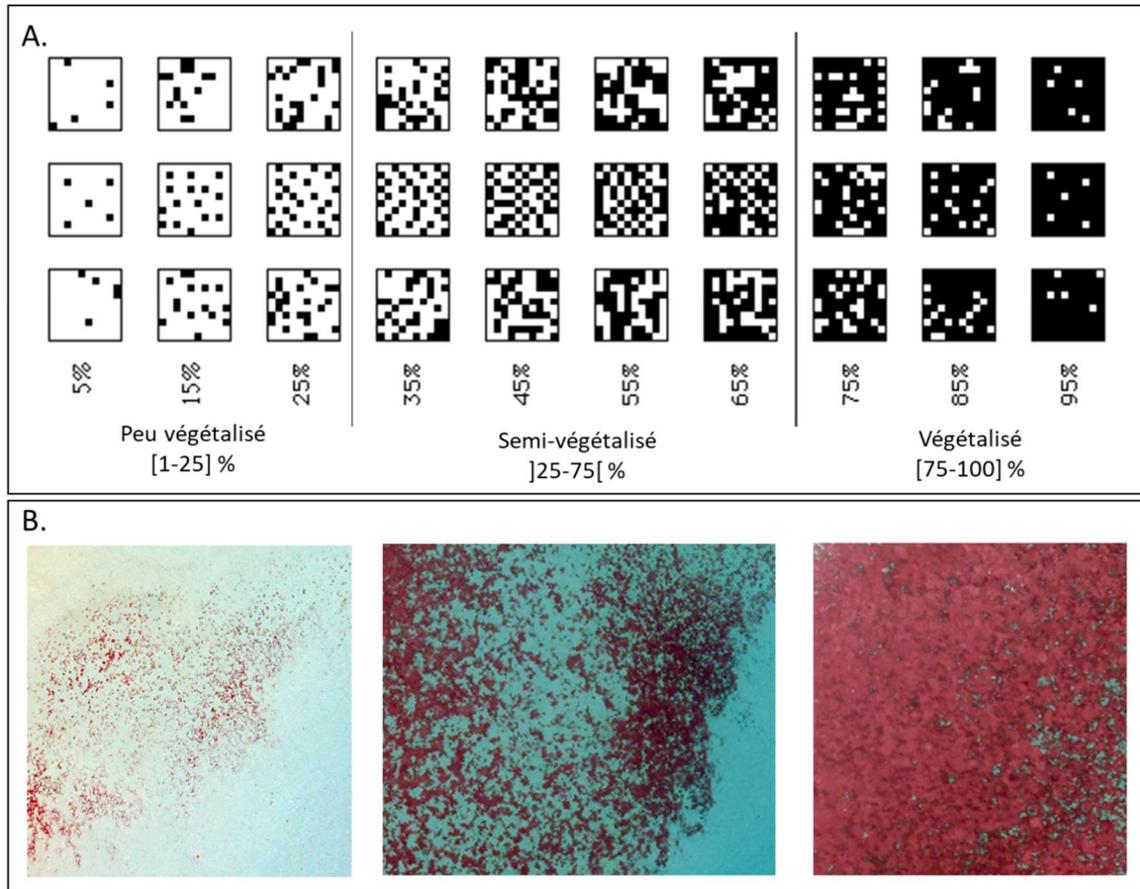


Figure 10. Présentation des classes de recouvrement végétal avec barème d'identification (A) et exemple de classement de la zostère marine (B)  
(Source A : VIMS, 2021, adapté de Paine, 1981 et B : imagerie MPO 2015)

Des règles sont établies pour noter les types de végétaux présents en fonction de leur dominance. Dans la base de données, il y a la possibilité de classer jusqu'à 4 types de végétaux dominants en ordre décroissant d'abondance (*Vg\_TYPE\_(1;2;3;4)*). Cet attribut regroupe des végétaux érigés photo-interprétables seulement. D'autres attributs (*c.-à-d. vg\_taxo* et *vg\_morpho*) viennent apporter plus de précisions, lorsque disponibles.

Lorsqu'il y a seulement 1 type végétal (*c.-à-d.* couvrant minimalement 1 % du polygone) il sera noté dans la colonne *Vg\_TYPE\_1*. Lorsqu'il y a plusieurs types de végétaux, chaque type doit représenter un minimum de 25 % du couvert végétal observé pour être noté dans un attribut de *Vg\_TYPE*. Les végétaux ayant un recouvrement marginal peuvent être inscrits dans l'attribut réservé à cet usage (*Vg\_NOTES*). Par exemple, si un polygone dans l'infralittoral est composé de 60 % de fucacées et 40 % de zostères marines, le premier type végétal sera fucacées et le deuxième type sera zostère marine. Cependant, si les fucacées ont un recouvrement de 90 % par rapport à la végétation totale, la présence de zostère sera inscrite en note dans l'attribut « *Vg\_NOTES* », puisqu'elle ne représente pas 25 % de la couverture.

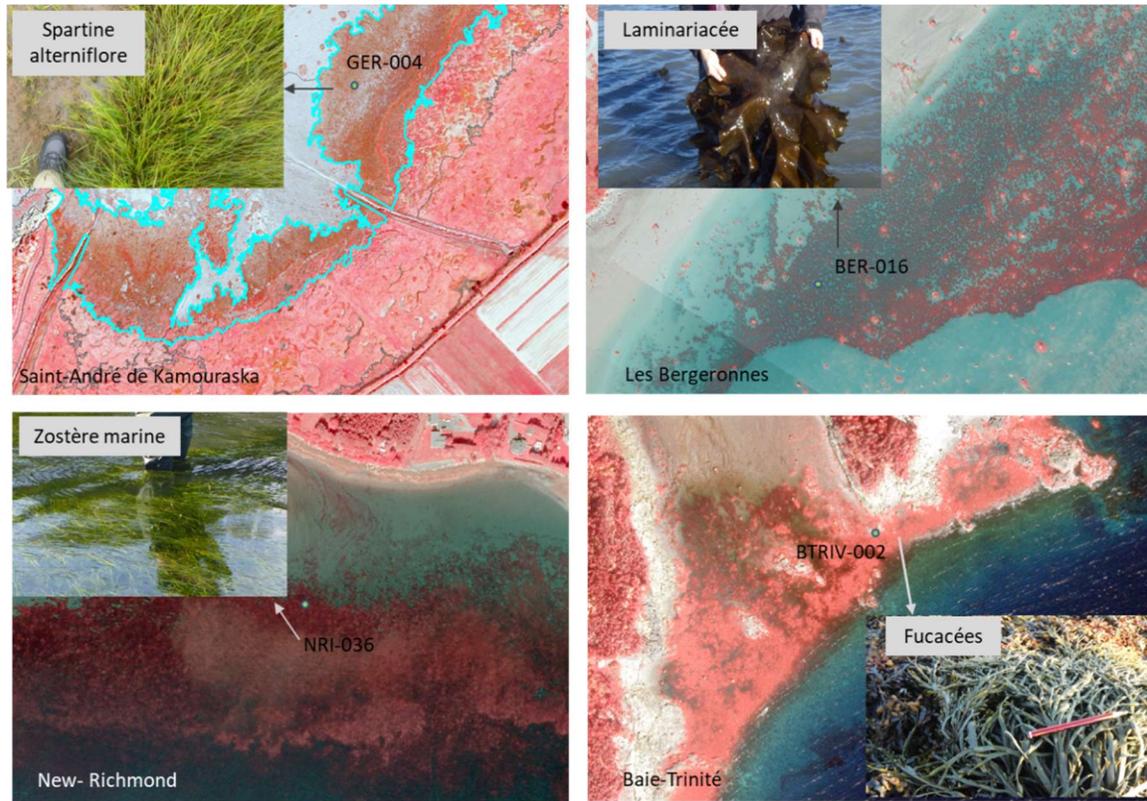


Figure 11. Validation terrain des principales espèces identifiables par photo-interprétation en fonction de la texture et de la couleur (Source de l'imagerie infrarouge : MPO, photos terrain : LDGIZC)

Les schorres supérieurs étant des géosystèmes comprenant souvent une très grande diversité végétale, le type végétal *plantes vasculaires mixtes* a été utilisé par défaut en cas d'absence de données de terrain ou de photographies obliques permettant l'identification d'espèces. En effet, il a été observé sur le terrain que les schorres supérieurs échantillonnés pour la cartographie étaient généralement végétalisés par plus de quatre espèces. Si le schorre est dominé par une espèce identifiée, par exemple la spartine étalée, cette espèce est inscrite en deuxième type végétal, à la suite de *plantes vasculaires mixtes*. Les autres espèces identifiées sont notées dans l'attribut *Vg\_NOTES*.

La même logique s'applique pour l'attribution des types de substrat par ordre de dominance (1 ; 2 ; 3). Lorsqu'il y a plus d'un substrat, chaque type doit représenter un minimum de 25 % du recouvrement total pour être saisi. Un maximum de trois substrats peut être noté. Pour les étagements bas estran et infralittoral, il est fréquent que le substrat soit *non déterminé* par photo-interprétation.

### 3.3.3 L'attribution des noms d'espèces et de la morphologie

Pour quelques types de végétaux, le genre ou l'espèce peut être spécifié dans les attributs *Vg\_TAXO* (1;2;3;4). Le taxon peut, soit préciser le nom de l'espèce ou le genre d'un végétal identifié en français, ou préciser l'espèce ou le genre d'un végétal déjà identifié par une famille ou un ordre dans l'attribut du type végétal. Par exemple, pour le nom vernaculaire *spartine étalée* (*Vg\_TYPE*), le nom d'espèce sera automatiquement spécifié par *Sporobolus pumilus* (*Vg\_TAXO*). Dans un autre exemple, pour la famille d'algue de *fucacées* (*Vg\_TYPE*), 7 choix de taxons (exemple : *fucus distichus distichus*) peuvent être saisis dans la colonne *Vg\_TAXO*, si l'identification le permet (données de terrains). Les types de végétaux sélectionnés dans notre base de données (nom vernaculaire et famille) sont des choix pouvant être identifiés par photo-interprétation sous certaines conditions. La spécification des taxons découle de données et photos de terrain à l'exception des types de végétaux ayant un nom vernaculaire (ex. : Spartine alterniflore, zostère marine, etc.).

Pour les macroalgues, il est également possible de noter la morphologie de ces dernières dans la colonne *Vg\_Morph*. Cette information est saisie de la même manière que les taxons, c'est-à-dire que des morphologies peuvent être ajoutées de manière automatique pour des ordres, familles ou espèces. Par exemple, toutes les fucacées ont une morphologie d'algues brunes en lanières. Également, lorsque l'espèce, l'ordre ou la famille n'est pas identifié et qu'une donnée de terrain permet de décrire la morphologie d'une algue indifférenciée, celle-ci sera notée dans la colonne *Vg\_Morph*. À l'occurrence de tous les types végétaux, chaque macroalgue inscrite dans la colonne *Vg\_type* à une morphologie associée à l'exception des algue(s) indifférenciée(s) sans validation terrain.

### 3.3.4 Attribution de l'assemblage végétal et de la dominance végétale

L'attribut de l'assemblage végétal (*Vg\_ECO*) présente de l'information sur les végétaux dominants sous forme de caractérisation simplifiée. Il peut contenir jusqu'à deux classes de végétaux différents. Il considère les végétaux érigés et les algues encroûtantes (quoique très peu présentes dans notre base de données). Des regroupements (ex. à l'ordre) peuvent être créés pour faire ressortir une dominance suivie d'une sous-dominance. Les valeurs de ce champ sont saisies par un code python qui exécute une concaténation simple des différents attributs du type végétal (\* L'écosystème d'île ne fait pas partie des écosystèmes intertidaux ou infralittoraux, mais a cependant été intégré à la base de données et à la cartographie.

Annexe F).

Le champ de dominance végétale (*Vg\_DOM*) crée une synthèse des végétaux dominants en offrant 19 choix basés sur les types ou regroupements de végétaux les plus fréquents et surtout, photo-interprétables. Contrairement au champ *Vg\_ECO*, celui de *Vg\_DOM* considère seulement les végétaux érigés pour déterminer la dominance végétale et exclut donc les algues encroûtantes. Les dominances végétales seront principalement utilisées pour faire des

statistiques et une représentation graphique des espèces végétales retrouvées sur le territoire. Les valeurs de ce champ sont calculées à l'aide d'un code python qui utilise les colonnes de type végétal et de système géomorphologique (Annexe G).

Cas particuliers :

- Le type végétal *végétation indifférenciée* est attribué à un écosystème lorsque la photo-interprétation ne permet pas de déterminer si la végétation présente est une plante vasculaire (principalement la zostère marine) ou si elle est une algue. Le type *non déterminé* révèle l'impossibilité de distinguer la présence ou non de végétation par photo-interprétation.
- Si le type végétal est *autre plante vasculaire* et que le genre ou l'espèce ne se trouve pas dans notre base de données (*Vg\_TAXO*), le taxon sera nommé dans l'attribut *Vg\_NOTES*.
- Dans les schorres supérieurs, il a été établi que le premier substrat soit *matière organique* et que le deuxième soit *vase* (sauf si présence de données de terrain contraires). Cette information a été confirmée par nos différentes validations sur le terrain.
- Cependant, dans les marais de l'estuaire moyen du Saint-Laurent, le premier substrat est *vase* et le deuxième est *matière organique* (sauf si données de terrain contraires).
- Lorsqu'il est difficile de déterminer l'étagement d'un marais maritime en fonction des espèces qui s'y retrouvent (mélange d'espèces de bas et de haut estran), il sera noté dans la colonne *Transition* que c'est un schorre en transition d'étagement.

### 3.4 Écosystèmes côtiers

La définition d'écosystème utilisée dans ce projet s'inspire de la définition d'habitat du groupe de travail du Conseil international pour l'exploration de la mer (CIEM) : « Un environnement particulier qui peut être distingué par ses caractéristiques abiotiques et ses assemblages biologiques associés, fonctionnant à des échelles spatiales et temporelles spécifiques, mais dynamiques dans un secteur géographique reconnaissable » (CIEM, 2006).

Cependant, l'échelle dynamique des écosystèmes a été exclue de notre cartographie, car elle n'était pas réalisable vu le grand territoire couvert par ce projet.

Suite à la caractérisation, les noms d'écosystème ont été générés à deux niveaux de précision. Les noms d'écosystèmes sont générés à partir d'un code en langage python. Le code permet la concaténation de plusieurs colonnes pour formuler les noms d'écosystèmes de façon systématique et rapide. Cette étape permet aussi de cibler rapidement des erreurs liées à la saisie manuelle des données.

### 3.4.1 Écosystèmes côtiers détaillés

Les attributs utilisés pour définir les écosystèmes sont : l'étagement, le substrat (*SUBSTRAT\_1*), la couverture végétale, le premier type végétal (*Vg\_TYPE\_1*), le système géomorphologique et le premier élément géomorphologique (*Geo\_ELEM\_1*). De manière générale, trois informations font partie du nom dans l'ordre suivant :

- Le géosystème
- Le substrat
- L'espèce végétale ou les espèces végétales ingénieuses

Dans l'infralittoral, lorsque le géosystème est non déterminé en raison de l'impossibilité de distinguer le substrat, l'étagement sera pris pour nommer l'écosystème. Pour les schorres supérieurs et inférieurs, le géosystème sera remplacé par marais (supérieur) ou marais (inférieur).

Pour qu'une espèce végétale soit nommée, elle doit avoir une couverture végétale (*Vg\_COV*) minimale de plus de 25 %, sans quoi la végétation ne figure pas dans le nom de l'écosystème. Cependant, les marais maritimes auront toujours leur type végétal dans le nom d'écosystème, peu importe la couverture végétale. De plus, aucune distinction n'est faite entre une couverture végétale semi-végétalisée (25-75 %) et végétalisée (75-100 %) à l'exception des herbiers de zostère marine. En outre, seul le premier type de substrat est considéré dans la nomenclature. Lorsque l'attribut du substrat ou du type végétal est non déterminé, les informations de « substrat non identifié » et de « végétation non identifiée » apparaîtront dans le nom de l'écosystème. Lorsque l'attribut du *SUBSTRAT\_1* est *anthropique*, le qualificatif *anthropisé(e)* sera ajouté à l'écosystème et il n'aura pas de substrat précisé dans son nom. Néanmoins, les éléments anthropiques présents dans la base de données ne figurent pas dans les noms d'écosystèmes.

La méthode utilisée pour concaténer les données de caractérisation vers un nom d'écosystème côtier mène à une liste de **561 écosystèmes détaillés** pour le territoire d'étude. Des MRC de petite dimension comme Bellechasse et la Côte-de-Beaupré comptent respectivement 34 et 43 différents écosystèmes sur leur territoire. Pour les MRC couvrant plus de côtes telles que Manicouagan ou la Côte-de-Gaspé, on décompte respectivement 147 et 140 différents écosystèmes. Certains écosystèmes se retrouvent dans la plupart des MRC tels que : plage sableuse, marais (supérieur) à plantes vasculaires mixtes, bas estran de gravier, etc. D'autres noms un peu plus spécialisés se retrouvent dans environ la moitié des MRC telles que les battures de sédiments mixtes grossiers à fucacées ou encore chenal estuarien à herbier de zostère semi-végétalisé. Finalement, certains noms sont propres à une ou quelques MRC en fonction des spécifications biophysiques régionales, voire à des cas isolés : infralittoral de galets à laminariales ou encore, delta de marée sablo-vaseux à herbier de zostère semi-végétalisé. Les règles détaillées sont présentées à l'Annexe D, p. 91.

Cas particuliers :

Les **éléments géomorphologiques** ne figurent pas dans les noms d'écosystèmes à l'exception des cordons de bas estran, des cordons de basse mer, des cordons infralittoraux et des cordons transversaux. La présence de ces éléments géomorphologiques mène au remplacement du nom du système géomorphologique (*geo\_syst*) par celui de l'élément géomorphologique (*géo élément*). Cette exception découle du fait que le substrat de ces polygones fait référence à l'élément géomorphologique, plutôt qu'au système géomorphologique et que les cordons occupent, dans 91 % des cas, la totalité du polygone (proportion basée sur un échantillon de neuf MRC).

Les **parties terrestres des îles** sont les seuls polygones se trouvant au-delà des zones d'influence des marées dans notre cartographie. Afin d'éviter les trous au sein de la cartographie, les sections supralittorales des îles seront nommées par l'écosystème « îles ».

Pour éviter les répétitions, pour les géosystèmes de bas estran meuble et d'infralittoral meuble, le substrat remplacera le mot meuble lorsque ce dernier est déterminé. Un ajustement est également fait au substrat rocheux associé à un géosystème rocheux. Des noms de substrat seront remplacés par des adjectifs : sable – sableux. Finalement, les noms des types de végétaux sont adaptés pour créer des noms d'écosystèmes compréhensibles, par exemple les types de végétation arbustive ou arborescente seront inscrits comme dans l'exemple suivant : marécage intertidal à plantes arbustives.

### 3.4.2 Grands écosystèmes côtiers

Les écosystèmes détaillés générés dans la section précédente offrent beaucoup d'informations, mais étant très nombreux, cela ne facilite pas les analyses globales ni un affichage cartographique. C'est ainsi que **35 écosystèmes** synthèses ont été générés à partir des écosystèmes détaillés et les résultats sont présentés dans la section 4. La liste présente un nombre réduit de systèmes géomorphologiques, en regroupant par exemple les deux étagements de marais en « marais maritime » et en regroupant les vasières et les slikkes sous le nom simplifié de « batture ». De plus, une simple distinction entre les substrats rocheux et meubles est faite, donc aucun détail des différents types de substrats meubles n'est donné pour ces écosystèmes plus généraux (sable ou gravier sera identifié comme meuble par exemple). Finalement, la végétation est regroupée selon seulement 3 choix, soit la zostère marine, les macroalgues et la végétation de marais maritime. La végétation indifférenciée est regroupée sous les macroalgues puisqu'elle est plutôt marginale sur le territoire. Les règles détaillées sont présentées à l'Annexe E.

### 3.5 Ajustements finaux

Une fois la caractérisation terminée, des ajustements géomatiques doivent être exécutés sur l'ensemble du territoire. Les ajustements listés ci-dessous sont faits dans le logiciel ArcGIS.

- Valider que tous les polygones qui n’ont pas de frontière commune ne soient pas joints ensemble (*multipart*) dans la base de données grâce à l’outil *explode multipart feature*
- Ajuster les polygones à la ligne de rivage la plus à jour. Certaines MRC ont été cartographiées avec une ligne de rivage datant de plusieurs années ou sans ligne de rivage. Avant de produire la cartographie finale, la ligne de rivage à jour doit être utilisée pour délimiter la zone d’étude. Celle-ci provient du chantier de cartographie des types de côtes du Québec maritime (Arsenault *et coll.*, 2021). Les polygones doivent être ajustés à celle-ci pour qu’il n’y ait pas de polygones allant au-delà de cette ligne et pour qu’il n’y ait pas de trou entre la ligne de rivage et les polygones. Plusieurs outils d’ArcGis ont facilité cette étape en créant un tampon (*buffer*) avec la ligne de rivage pour ensuite éliminer, découper et fusionner des données vectorielles aux polygones existants. Il est à noter que pour certaines MRC la ligne de rivage la plus à jour ne correspond pas aux mêmes images que la cartographie des écosystèmes (photographies arrivées après que la cartographie ait été réalisée dans l’un ou l’autre des chantiers, autres projets...). Dans ces secteurs aucun ajustement n’a pu être réalisé et un trou ou une superposition pourrait être observé entre les polygones et les lignes.
- Fusionner tous les polygones présentant exactement les mêmes informations en étant contigus à l’aide de l’outil *Dissolve*.
- Lancer l’outil *Smooth Polygon* pour enlever l’aspect pixélisé et angulaire des polygones.
- Utiliser l’outil *Topology* pour détecter des sources d’erreurs dans les polygones (trou et chevauchements) à l’aide des fonctions : *Must not overlap* et *Must not have gaps*.

### 3.6 Biais et limites de la méthode

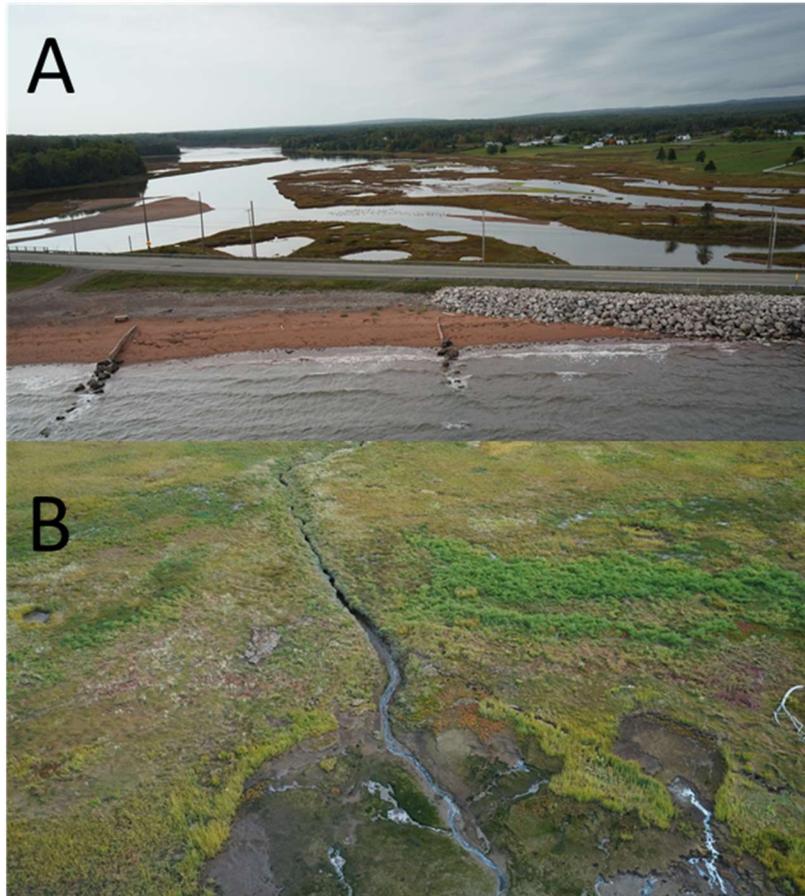
Bien que la photo-interprétation présente de nombreux avantages, les limites de la méthode ainsi que les sources d’erreurs doivent être considérées lors de l’utilisation des données.

Premièrement, la méthode de caractérisation est subjective et elle nécessite le travail d’experts. La variété des régions et de leurs caractéristiques géomorphologiques, géologiques, biologiques et anthropiques demande une adaptation constante des photo-interprètes en fonction de la région à cartographier. Ce sont 16 personnes qui ont participé à la cartographie depuis le début du projet en 2017, ce qui augmente les probabilités d’avoir des disparités au sein des différentes MRC cartographiées. De plus, le caractère pluridisciplinaire de l’équipe composée de géographes, biologistes et géomaticien.nes vient également accentuer le potentiel de disparité en fonction des spécialités de chacun.es. Au fil du projet, la base de données géospatiale a aussi évolué, ce qui a nécessité des mises à jour constantes des secteurs cartographiés au préalable.

Une validation finale fut réalisée sur chaque région administrative par la même personne et plusieurs règles ont été mises en place pour assurer une uniformisation de la caractérisation. Il n’est cependant pas possible de faire une validation spécifique à chacun des polygones caractérisés étant donné leur trop grand nombre (*c.-à-d.* 55 235 polygones).

Deuxièmement, la caractérisation des écosystèmes côtiers présentée dans ce projet découle, en premier lieu, de l'interprétation de formes et de couleurs de réflectance par imagerie aérienne. Bien que des clés d'identification ont été élaborées avec des données de validation terrain, la photo-interprétation présente toujours une incertitude. Pour diminuer cette incertitude, de la validation terrain a été effectuée. Une validation terrain exhaustive aurait un impact considérable sur la diminution de cette incertitude, cependant l'échelle spatiale du projet ainsi que les difficultés d'accès à certaines berges du Québec rendent cela impossible.

D'autres facteurs limitent la photo-interprétation soit, la turbidité de l'eau, la réflectance du soleil sur l'eau, les vagues et la profondeur de l'eau. Ces facteurs limitants occasionnent des données non déterminées dans la caractérisation. De plus, entre les différentes MRC, la qualité des mosaïques et des photographies obliques peut varier (figure 12) occasionnant ainsi une disparité de précision entre les régions.



*Figure 12. Exemple de disparité de précision dans les photos obliques selon les secteurs : marais de la rivière Paspébiac vu de loin, Bonaventure (A) et un marais du Kamouraska vu de très proche (B) (Source LDGIZC 2017)*

Troisièmement, l'accès à l'imagerie aérienne et sa qualité sont un facteur limitant. L'imagerie aérienne infrarouge de ce projet fut principalement fournie par Pêches et Océans Canada (MPO).

Pour certaines régions, une surcote a eu lieu au moment de la prise d'image et conséquemment, les images ne sont pas exactement à marée basse et une variabilité du niveau de marée peut s'ajouter à la surcote d'une région à l'autre, augmentant l'incertitude de la limite entre l'infralittoral et le bas estran. De plus, des images aériennes sans bande infrarouge et de moins bonne qualité ont été utilisées pour combler certains trous au sein de l'imagerie du MPO.

Finalement, comme présentés dans la revue de littérature, ce projet de cartographie ainsi que sa méthodologie innovent dans le milieu géographique. De nombreux apprentissages ont été réalisés au cours du projet et ont mené à des modifications de la méthodologie et de nombreux retours en arrière sur le travail réalisé. Conséquemment, il faut considérer que cette cartographie est la première version officielle de ce projet et que d'autres apprentissages viendront suite à l'utilisation de la cartographie.

## 4. Résultats

### 4.1 Présentation des grands écosystèmes côtiers

Tel que précisé dans la méthodologie, les 561 noms d'écosystèmes identifiés ont été regroupés sous 35 noms d'écosystèmes intertidaux et infralittoraux (Tableau 3).

Tableau 3. Nom des grands écosystèmes

Nom d'écosystème	Complément d'information
Infralittoral meuble	
Infralittoral meuble à zostère	
Infralittoral meuble à macroalgues	
Infralittoral rocheux	
Infralittoral rocheux à macroalgues	
Infralittoral rocheux à zostère	
Infralittoral	Quand le substrat est nd
Infralittoral à macroalgues	Quand le substrat est nd
Infralittoral à zostère	Quand le substrat est nd
Bas estran meuble	
Bas estran meuble à zostère	
Bas estran meuble à macroalgues	
Bas estran rocheux	Incluant platier
Bas estran rocheux à macroalgues	Incluant platier
Bas estran	Quand le substrat est nd
Bas estran à zostère	Quand le substrat est nd
Bas estran à macroalgues	Quand le substrat est nd
Batture	Incluant vasière et slikke
Batture à zostère	Incluant vasière et slikke
Batture à macroalgues	Incluant vasière et slikke
Lagune	
Lagune à zostère	
Lagune à macroalgues	
Chenal estuarien	
Chenal estuarien à zostère	
Chenal estuarien à macroalgues	
Delta	Incluant delta estuarien et de marée
Delta à zostère	Incluant delta estuarien et de marée
Delta à macroalgues	Incluant delta estuarien et de marée
Écueil	
Écueil à macroalgues	
Plage	
Haut estran rocheux	
Marais maritime	Incluant schorre inférieur et supérieur
Marécage intertidal	
Île*	Étage supralittoral seulement

\* L'écosystème d'île ne fait pas partie des écosystèmes intertidaux ou infralittoraux, mais a cependant été intégré à la base de données et à la cartographie.

Afin d’obtenir la définition exacte pour chaque écosystème ainsi que les détails méthodologiques pour la cartographie, des métadonnées ont été produites (annexe A) et peuvent être consultées [ici](#). Toutes les entités et variables utilisées pour la caractérisation y sont détaillées. De plus, 11 fiches ont été produites afin d’offrir une information complète et vulgarisée sur les écosystèmes (Tableau 4. Fiches sur les écosystèmes). Chaque fiche est illustrée par des images et des schémas et comprend la définition, le substrat, la végétation type et les rôles écologiques de l’écosystème ainsi qu’une liste de références pertinentes. La Figure 13. Exemple de fiche descriptive sur les écosystèmes présente un exemple de fiche (Les deltas). Les fiches sont disponibles à l’annexe C et sont aussi téléchargeables individuellement [ici](#).

Tableau 4. Fiches sur les écosystèmes

# de fiche	Nom des écosystèmes
1	Les marais maritimes
2	Les marécages intertidaux
3	Les bas estrans rocheux
4	Les lagunes
5	Les deltas
6	Les plages
7	Les écueils et les îles
8	Les bas estrans meubles
9	Les hauts estrans rocheux
10	Les chenaux estuariens
11	L’infralittoral

## Les deltas

Les écosystèmes côtiers du Québec maritime - Fiche 5/11

Un delta est une accumulation de sédiments, généralement en forme d'éventail, apportés par un cours d'eau à son embouchure. Il existe des petits deltas situés sur le bas estran, des deltas formés dans les estuaires ou de larges accumulations qui s'étendent jusque dans l'infralittoral. Les deltas peuvent être accompagnés d'éléments géomorphologiques de chenal estuarien, de bancs d'accumulation et de barres sableuses, pour les deltas plus vastes. On retrouve aussi des deltas de marée formés par les courants de marée à l'entrée ou à la sortie d'un goulet (passe).

**Le substrat est meuble, allant du sablo-vaseux aux galets.**

Les deltas sont majoritairement non végétalisés. Localement, il peut y avoir de la végétation de zostère marine et des macroalgues.

**Delta à l'embouchure de la rivière Mitis, Grans-Métis**

**Schéma d'une rivière et de ses composantes, incluant le delta à l'embouchure**

## Les deltas

Les écosystèmes côtiers du Québec maritime - Fiche 5/11

### Rôles écologiques

Les écosystèmes deltaïques reçoivent à la fois un apport important d'intrants riverains qui leur fournissent des nutriments, des sédiments et de l'eau douce<sup>1</sup>, ainsi qu'un apport des marées qui lessivent les toxines végétales des sédiments et maintiennent des conditions aérobiques modérées<sup>2</sup>. Cette interaction entre ces apports fluviaux et marins modèlent la forme du delta. L'apport riverain de nutriments stimule la production primaire et secondaire. L'apport d'eau douce permet également de maintenir un gradient de salinité, créant ainsi des conditions estuariennes pouvant supporter une diversité d'habitats<sup>3</sup>. Ces apports fluviaux et marins se produisent par épisodes variant dans le temps et dans l'espace.

Les deltas sont des écosystèmes particulièrement vulnérables aux pressions anthropiques, tant en provenance du bassin versant que des côtes, et aux changements climatiques, notamment par l'augmentation du niveau marin et l'érosion côtière<sup>4</sup>. Ces pressions et changements sont susceptibles de perturber les dynamiques sédimentaires et hydriques nécessaires au maintien de l'intégrité des deltas<sup>5</sup>. Cependant, l'élargissement du bas estran au niveau du delta, contribue localement à l'atténuation des vagues à la côte et donc à réduire l'érosion.

**Delta à l'embouchure de la rivière Jupiter, Ile d'Anticosti**

Source LDGZC, UQAR

**Delta à l'embouchure de la rivière Mingan, Havre-Saint-Pierre**

Source LDGZC, UQAR

## Les deltas

Les écosystèmes côtiers du Québec maritime - Fiche 5/11

Ce document a été produit dans le cadre du projet Résilience côtière. Pour lire le rapport de synthèse, cliquez ici

Pour consulter le rapport méthodologique de la cartographie des écosystèmes côtiers, cliquez ici

Pour visualiser la cartographie, rendez-vous sur le site internet sigec.uqar.ca ou cliquez ici

**Delta de marée, Havre-aux-Maisons, Îles-de-la-Madeleine**

**Références**

- (1) Day, J. W., Boesch, D. F., Clairain, E. J., Kemp, G. P., Laska, S. B., Mitsch, W. J., ... & Whigham, D. F. (2007). Restoration of the Mississippi Delta: lessons from hurricanes Katrina and Rita. *Science*, 315 (5819), 1679-1684.
- (2) Rybczyk J.M. (2005) Deltaic Ecology. In: Schwartz M.L. (eds) Encyclopedia of Coastal Science: Encyclopedia of Earth Science Series. Springer, Dordrecht. [https://doi.org/10.1007/1-4020-3880-1\\_113](https://doi.org/10.1007/1-4020-3880-1_113).
- (3) Day Jr, J. W., Martin, J. F., Cardoch, L., & Temple, P. H. (1997). System functioning as a basis for sustainable management of deltaic ecosystems. *Coastal Management*, 25(2), 115-133.
- (4) Temmerman, S., Meire, P., Bouma, T. J., Herman, P. M., Yeboah, T., & De Vries, H. J. (2013). Ecosystem-based coastal defence in the face of global change. *Nature*, 504(7478), 79-83.
- (5) Tessler, Z. D., Vorismarty, C. J., Grossberg, M., Gladkova, I., Aizenman, H., Syvitski, J. P. M., & Foufoula-Georgiou, E. (2015). Profiling risk and sustainability in coastal deltas of the world. *Science*, 349 (6248), 638-643.
- (6) Day Jr, J. W., Yanez-Arancibia, A., Kemp, W. M., & Crump, B. C. (2013). Introduction to estuarine ecology. *Estuarine ecology*, 2, 1-19.

**Référence du rapport méthodologique de la cartographie des écosystèmes côtiers**

Jobin, A., Marquis, G., Provencher-Nollet, L., Gabaj, Castrillo, M. J., Trubiano, C., Drouet, M., Eustache-Lévesque, D., Drejza, S., Frazer, C., Marie, G. et P. Bernatchez (2021) Cartographie des écosystèmes côtiers du Québec maritime – Rapport méthodologique. Chaire de recherche en géoscience côtière, Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières, Université du Québec à Rimouski. Rapport remis au ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, septembre 2021, 73 p.

Figure 13. Exemple de fiche descriptive sur les écosystèmes (Les deltas)

## 4.2 Produits cartographiques

La cartographie des écosystèmes côtiers du Québec maritime est disponible dans son intégralité pour les partenaires sur la plateforme [SIGEC Web](#). Cette dernière offre 9 cartes thématiques déjà réalisées : les écosystèmes côtiers, les systèmes géomorphologiques, la zostère marine, la couverture végétale, la dominance végétale, la couverture et la dominance végétale, l'étagement du littoral, les marais maritimes ainsi que les principaux substrats. La figure 14 illustre un exemple de cette cartographie.

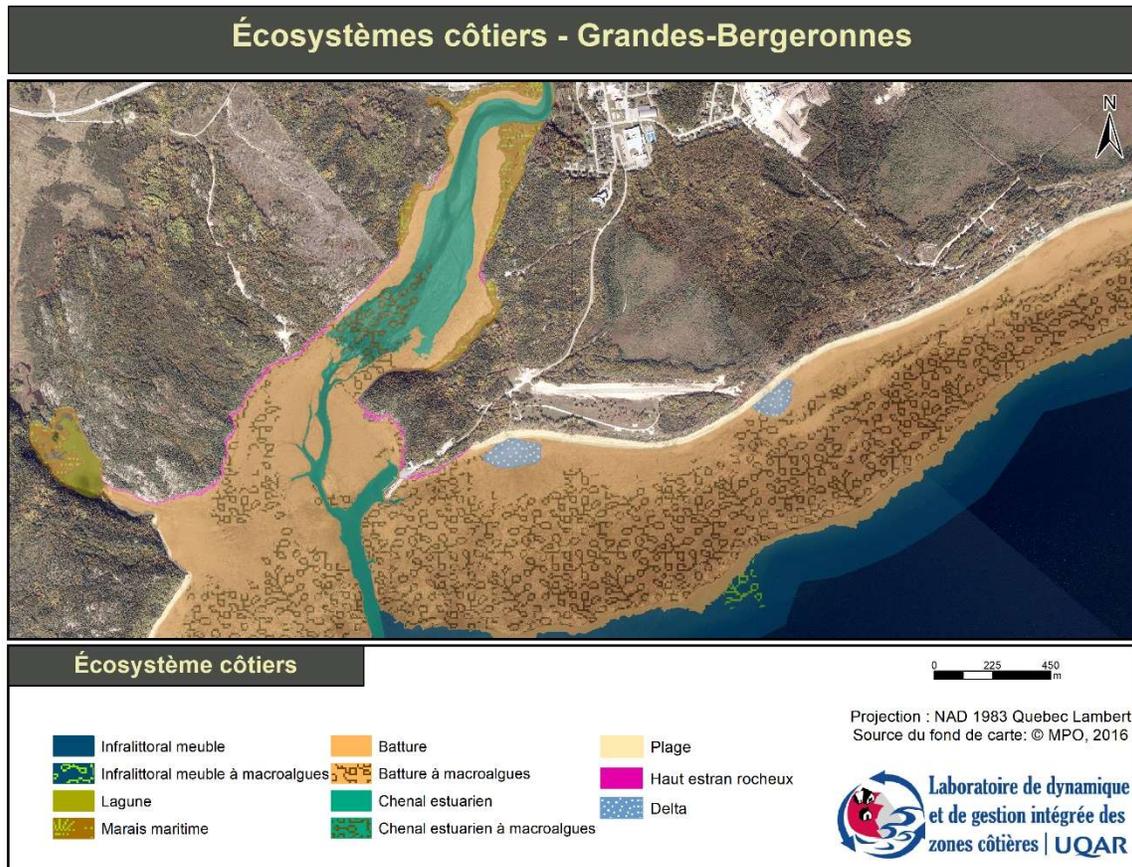


Figure 14 Écosystèmes du marais de la rivière Grandes-Bergeronnes, sur la Côte-Nord

La plateforme en ligne permet aussi l'utilisation d'un tableau de bord, afin de générer des statistiques pour une région, une MRC, une municipalité ou un secteur donné (au choix de l'utilisateur). La figure 15 illustre un exemple de statistiques descriptives des écosystèmes côtiers pour la municipalité de Franquelin, dans la MRC de Manicouagan sur la Côte-Nord.

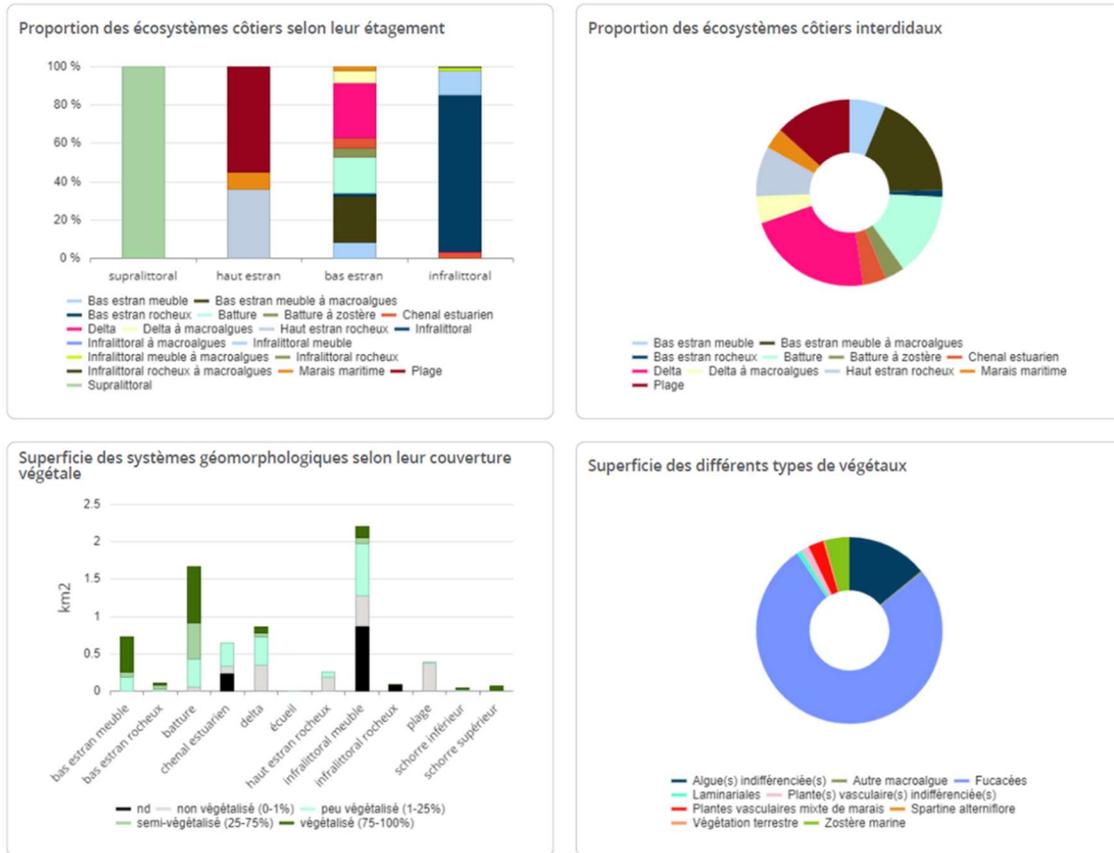


Figure 15 Exemple des graphiques réalisés à l'aide du tableau de bord pour la municipalité de Franquelin, sur la Côte-Nord (capture d'écran)

## 5. Conclusion

La cartographie des écosystèmes côtiers du Québec maritime a permis de faire l'inventaire des différents écosystèmes présents sur les berges de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent, sur une superficie totalisante de 3 588 km<sup>2</sup>. C'est 55 235 polygones qui ont été caractérisés et classés en 35 écosystèmes. Cette cartographie est aussi accompagnée de 11 fiches descriptives des grands types d'écosystèmes.

La cartographie dont il est question dans ce rapport méthodologique doit être référée comme étant de source : « UQAR et MPO ». Une mise à jour des données est prévue au printemps 2022, avec l'ajout des données issues des différentes campagnes terrain du MPO, dans le cadre de leur projet de *Planification pour une intervention environnementale intégrée (PIEI)* du [Plan de protection des océans \(PPO\)](#). Ce sont près de 3 000 points de validation en zone submergée, principalement dans l'infra littoral, qui seront intégrés à la base de données. Cette validation palliera localement les manques d'informations sur les bancs de macroalgues, sur le substrat et sur certaines espèces animales, non identifiables par photo-interprétation.

Cette cartographie est une première dans le domaine, entre autres de par son étendue territoriale, son niveau de détails, la globalité des écosystèmes caractérisés et par sa réalisation sur de l'imagerie récente à haute résolution spatiale (moins de 6 ans). En plus de permettre de dresser un portrait détaillé des zones côtières du Québec, elle pourra servir à évaluer les services écologiques, la sensibilité et la vulnérabilité des écosystèmes aux changements climatiques. Au sein même du projet Résilience côtière, la cartographie des écosystèmes côtiers a contribué à déterminer la distance de migration potentielle des écosystèmes côtiers meubles (Corriveau *et al.*, 2021) et à la modélisation de l'effet de la hausse du niveau de la mer sur les marais maritimes (Savoie-Ferron *et al.*, 2021). Également pour d'autres projets du LDGIZC sur le développement d'indices de vulnérabilités aux déversements d'hydrocarbures.

Finalement, ces données permettront à plusieurs organismes, municipalités, MRC, gouvernements et autres acteurs d'intervenir sur leur territoire et ainsi mieux s'adapter aux changements climatiques affectant les écosystèmes côtiers. La cartographie pourra être incluse dans différentes études d'impacts (par exemple, lors de travaux de recharges sédimentaires) et elle pourra aussi être intégrée pour des plans de conservation d'endroits d'intérêts. Elle pourra supporter ces différents organismes dans la création ou l'amélioration de leurs plans régionaux des milieux humides et hydriques (PRMHH). Ainsi, ce projet est une forme de démocratisation des savoirs en rendant accessible aux résidentes et résidents côtiers la vaste base de données, en ligne ainsi que des outils cartographiques à portée de la main via la plateforme SIGEC Web (<https://sigec.uqar.ca/>).

## 6. Références

Aggarwal, N., Srivastava, M. & Dutta, M. (2016). Comparative Analysis of Pixel-Based and Object-Based Classification of High Resolution Remote Sensing Images—A Review. *International Journal of Engineering Trends and Technology*. 38. 5–11.

ArcGis Desktop (2016). “Fonction NDVI” <https://desktop.arcgis.com/fr/arcmap/10.3/manage-data/raster-and-images/ndvi-function.htm> [Consulté le 6 mars 2021]

Arsenault, E., Drejza, S., Friesinger, S., Blain, M., Savoie-Ferron, F., Houde-Poirier, M., Fraser, C. Marie, G. et P. Bernatchez (2021) *Cartographie des types de côtes du Québec maritime — Rapport méthodologique*. Chaire de recherche en géoscience côtière, Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières, Université du Québec à Rimouski. Rapport remis au ministère de l’Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, septembre 2021, 74 p.

Bajjouk T., Guillaumont B., Michez N., Thouin B., Croguennec C., Populus J., Louvel-Glaser J., Gaudillat V., Chevalier C., Tourolle J., et Hamon, D. (2015). Classification EUNIS, Système d’information européen sur la nature : Traduction française des habitats benthiques des régions Atlantique et Méditerranée. Vol. 1. Habitats littoraux. Réf. IFREMER/DYNECO/AG/15-02/TB1, 231p.

Barnett, R. L., Bernatchez, P., Garneau, M., Brain, M. J., Charman, D. J., Stephenson, D. B., Haley, S., & Sanderson, N., (2019). Late Holocene sea-level changes in eastern Québec and potential drivers. *Quaternary Science Reviews*, 203, 151–169. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2018.10.039>

Bernatchez, P. et Drejza, S., (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.

Bernatchez, P., et Quintin, C. (2016). Potentiel de migration des écosystèmes côtiers meubles québécois de l’estuaire et du golfe du Saint-Laurent dans le contexte de la hausse appréhendée du niveau de la mer. *Le Naturaliste canadien*, 140(2), 91-104.

Bourque, A. et Simonet, G. (2008). « Québec », chapitre 5, p 171-226, dans *Vivre avec les changements climatiques au Canada : édition 2007*, D.S. Lemmen, F.J. Lacroix et E. Bush (éditeurs), Gouvernement du Canada, Ottawa.

Buteau, P., Dignard, N., & Grondin, P. (1994). Système de classification des milieux humides du Québec. Ministère des Ressources naturelles, Secteur des mines, Direction de la recherche géologique, Division des minéraux industriels.

Canards illimités Canada. (2021). « Inventaire canadien milieux humides » [www.canards.ca/cartographie-et-applications-de-la-geomatique](http://www.canards.ca/cartographie-et-applications-de-la-geomatique) [Consulté le 2 mars 2021]

Chen, X., Zhang, X., Church, J. A., Watson, C. S., King, M. A., Monselesan, D. *et coll.* (2017). The increasing rate of global mean sea-level rise during 1993–2014. *Nature Climate Change*, 7(7), 492–495.

CIEM (2006). Report of the ICES Advisory Committee on Fishery Management, Advisory Committee on the Marine Environment and Advisory Committee on Ecosystems, En ligne [[www.ices.dk/sites/pub/Publication%20Reports/ICES%20Advice/2006/ICES%20Advice%202006%20Book%201.pdf](http://www.ices.dk/sites/pub/Publication%20Reports/ICES%20Advice/2006/ICES%20Advice%202006%20Book%201.pdf)] Consulté le 28 mars 2020.

Corriveau, M., Drejza, S., Thérioux, A., Côté, M., Fraser, C., Marie, G. et P. Bernatchez (2021) *Distance de migration potentielle des écosystèmes côtiers — Rapport méthodologique*, Chaire de recherche en géoscience côtière, Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières, Université du Québec à Rimouski. Rapport remis au ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, septembre 2021, 98 p.

Davies, C.E., Moss, D. et Hill, M. O. (2004). EUNIS Habitat Classification Revised. Report to the European Topic Centre on Nature Protection and Biodiversity, European Environment Agency. October 2004, 310p.

Davidson-Arnott, R.G.D., (2005). Conceptual model of the effects of sea level rise on sandy coasts. *Journal of Coastal Research*, 21 :1166–1172.

Dissanska, M., Bernier, M. et Payette, S. (2009). Object-based classification of very high resolution panchromatic images for evaluating recent change in the structure of patterned peatlands. *Canadian Journal of Remote sensing* 35(2): 189–215.

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, septembre 2014, 226 p. + annexes. En ligne : [http://www.bv.transports.gouv.qc.ca/mono/1166760/01\\_Volume\\_1.pdf](http://www.bv.transports.gouv.qc.ca/mono/1166760/01_Volume_1.pdf)

Drouet, M. (2020). The use of geomatics in providing a cross-sectional coastal ecosystems study of the estuary and the Gulf of the St. Lawrence in Québec [Essai]. Université Concordia, 49 p. + 2 annexes.

Dryade (Le Groupe) (1980). Habitat propice aux oiseaux migrateurs le long des rives : de la rivière Richelieu, de la rivière Outaouais, du fleuve Saint-Laurent, de l'estuaire du Saint-Laurent, de la côte nord du golfe du Saint-Laurent, de la péninsule gaspésienne des Îles-de-la-Madeleine. Environnement Canada — Région du Québec, Service canadien de la faune, 66 p.

Dryade (Le Groupe) (1981). Habitats propices aux oiseaux migrateurs : Analyse des pertes de végétation riveraine le long du Saint-Laurent de Cornwall à Matane (1945-1976). Environnement Canada — Région du Québec, Service canadien de la faune, 25 p.

Gao, Y. & Mas, J. (2008). A comparison of the performance of pixel-based and object-based classifications over images with various spatial resolutions. *Online Journal of Earth Science* 2. 27–35.

Han, G., Z. Ma, N. Chen, R. Thomson et A. Slangen, (2015). Changes in mean relative sea level around Canada in the twentieth and twenty-first centuries. *Atmosphere-Ocean*, 53 :452–463.

Himmelman, J. H. et Lavergne, Y. (1985). Organization of rocky subtidal communities in the St. Lawrence Estuary. *Le Naturaliste canadien* 112: 143-15

Howes, D., Harper, J. R. & Owens, E. H. (1994). Physical shore-zone mapping system for British Columbia. Report prepared by Environmental Emergency Services, Ministry of Environment (Victoria, BC), Coastal and Ocean Resources Inc. (Sidney, BC), and Owens Coastal Consultants (Bainbridge, WA).

Intergovernmental Panel on Climate Change (2019). *IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate*, [H.-O. Pörtner, Roberts, D.C., Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Tignor, M., Poloczanska, E., Mintenbeck, K., Alegria, A., Nicolai, M., Okem, Petzold, J., Rama, B., et Weyer, N.M. (eds,)], in press.

Koohzare, A., Vaníček, P. et Santos, M. (2008). "Pattern of recent vertical crustal movements in Canada," *Journal of Geodynamics*, vol. 45, pp. 133–145.

Johansen, K., Coops, NC., Gergel, SE. & Stange, Y. (2007). Application of high spatial resolution satellite imagery for riparian and forest ecosystem classification. *Remote sensing of Environment* 110(1): 29–44.

Laitinen, S., et Neuvonen, A. (2001). BALTICSEAWEB: An information system about the Baltic Sea environment. *International Symposium on Environmental Software Systems (ISESS 2000), Advances in Environmental Research*, 5(4), 377–383.

Lemieux, C. et R. Lalumière, 1995. Répartition de la zostère marine (*Zostera marina*) dans l'estuaire du fleuve Saint-Laurent et dans la Baie-des-Chaleurs (1994). Rapport présenté au Service canadien de la faune, Environnement Canada, préparé par le Groupe-conseil Génivar inc. 58 p.

Létourneau, G., & Jean, M. (2005). *Cartographie par télédétection des milieux humides du Saint-Laurent (1990-1991)*. Environnement Canada-Région du Québec, Conservation de l'environnement, Centre Saint-Laurent.

Long, B. (2005). Étude hydrodynamique, sédimentologique et biologique des sites de Maria, Saint-Siméon, Bonaventure, Newport et Cap-d'Espoir dans la baie des Chaleurs, Québec, Canada.

Makinde, E. O., Salami, A. T., Olaleye, J. B. et Okewusi, O. C. (2016). Object-based and pixel-based classification using rapid-eye satellite imagery og Eti-Osa, Lagos, Nigeria. *Geoinformatics FCE CTU*, 15 (2), 59–70.

Martel, M.-C., Provencher, L., Grant, C. Ellefsen, H.-F. et Pereira, S. (2009). Distribution et description des herbiers de zostère du Québec. Secr. can. de consult. sci. du MPO. Doc. de rech. 2009/050. viii + 37p.

Oppenheimer M, Glavovic B, Hinkel J, van de Wal R, Magnan AK, Abd-Elgawad A, *et al.*, (2019). Sea level rise and implications for low-lying islands, coasts and communities.

Rayner, D., Glamore, W., Grandquist, L., Ruprecht, J., Waddington, K., & Khojasteh, D., (2021). Intertidal wetland vegetation dynamics under rising sea levels. *Science of the Total Environment*, 766, 144237.

Savoie-Ferron, F., Drouet, M., Drejza, S., Fraser, C., Marie, G. et P. Bernatchez (2021) *Modélisation de l'effet de la hausse du niveau de la mer sur les marais maritimes*, Chaire de recherche en géoscience côtière, Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières, Université du Québec à Rimouski. Rapport remis au ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, juillet 2021, 105 p.

Smart, L. S., Vukomanovic, J., Sills, E. O., et Sanchez, G. (2021). Cultural ecosystem services caught in a "coastal squeeze" between sea-level rise and urban expansion. *Global Environmental Change*, 66, 102209.

Smith, M. J. & Pain, C. F. (2009). Applications of remote sensing in geomorphology. *Progress in Physical Geography*, 33(4), 568–582.

Tremblay, B. (2002). *Les milieux humides côtiers du sud de la Gaspésie*. Document présenté à la Société de la faune et des parcs du Québec et au ministère des Pêches et des Océans du Canada par le Comité Zone d'intervention prioritaire (ZIP) Baie-des-Chaleurs, Maria, Québec. xiii + 218 pages + 11 annexes.

Van Dolah, E. R., Hesed, C. D. M., et Paolisso, M. J. (2020). Marsh migration, climate change, and coastal resilience: human dimensions considerations for a fair path forward. *Wetlands*, 40(6), 1751–1764.

VIMS — Virginia Institute of Marine Science (2021). Méthodologie de suivi de la végétation submergée (Monitoring & Restoration of Submerged aquatic vegetation) [www.vims.edu/research/units/programs/sav/methods/crown\\_density.php](http://www.vims.edu/research/units/programs/sav/methods/crown_density.php), consulté en juin 2021.

Wilson KL, Wong MC and Devred E (2020). Branching Algorithm to Identify Bottom Habitat in the optically Complex Coastal Waters of Atlantic Canada Using Sentinel-2 Satellite Imagery. *Frontiers in Environmental Science*. 8:214–232

Yu, Q., Gong, P., Clinton, N., Biging, G., Kelly, M. & Schirokauer, D. (2006). Object-based detailed vegetation classification with airborne high spatial resolution remote sensing imagery. *Photogrammetric Engineering and remote sensing* 72 (7): 799–811.

## 7. Annexes

### *Annexe A : Métadonnées*

Les métadonnées du fichier de forme produit sont présentées dans un classeur Excel présentant 22 feuilles, une générale, puis une feuille détaillant chaque colonne de la table attributaire.

Fichier de cartographie numérique produit :

- Nom de la géodatabase (*geodatabase*) :  
CartographieEcosystemes\_QcMaritime\_juin2021.gdb
- Nom de la classe d'entités (*feature class*) :  
CartographieEcosystemes\_QcMaritime\_juin2021

Nom du fichier de métadonnées :

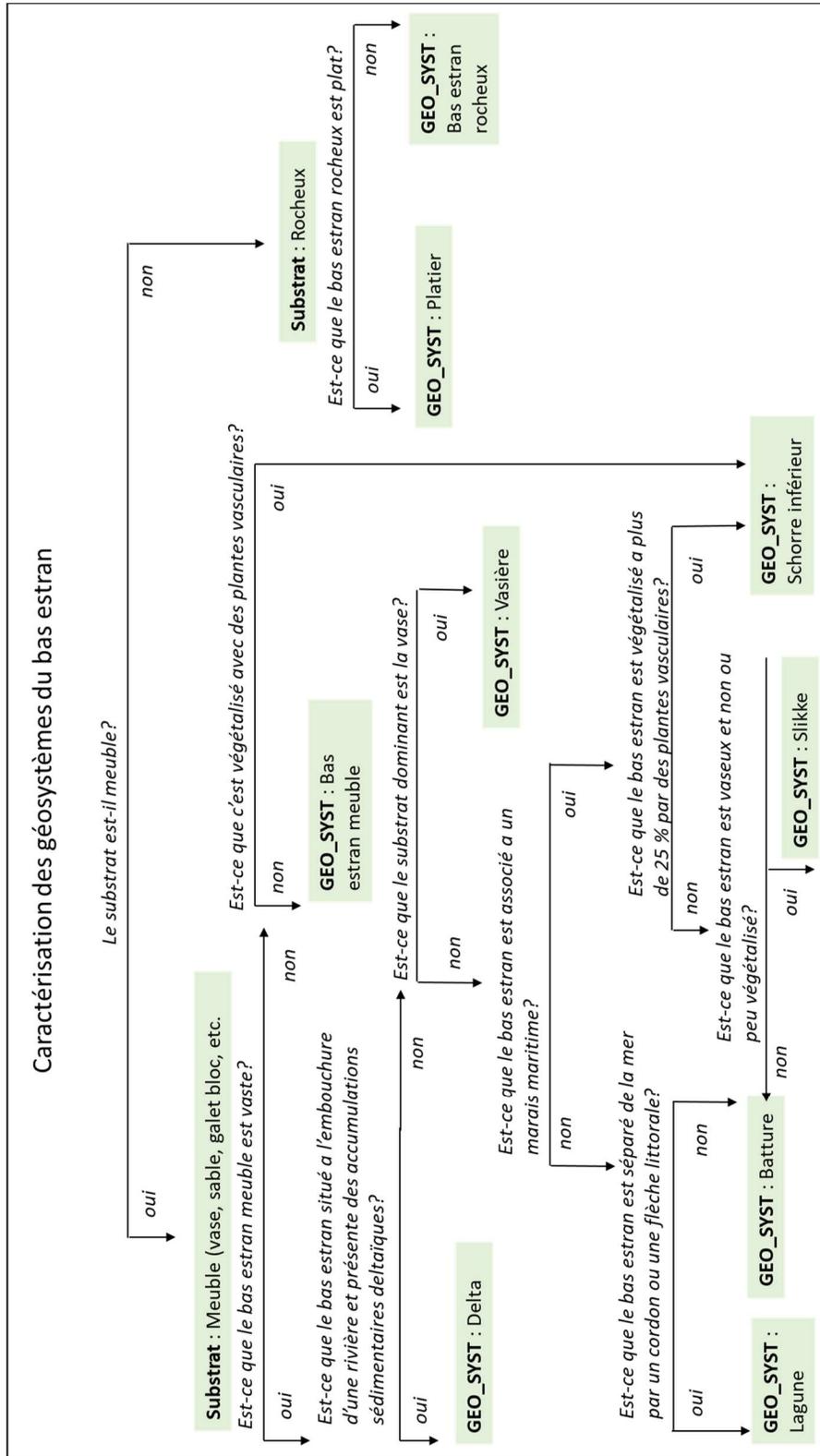
- Metadonnees\_Ecosystemes\_Qcmaritime.xlsx

Lien de téléchargement des métadonnées :

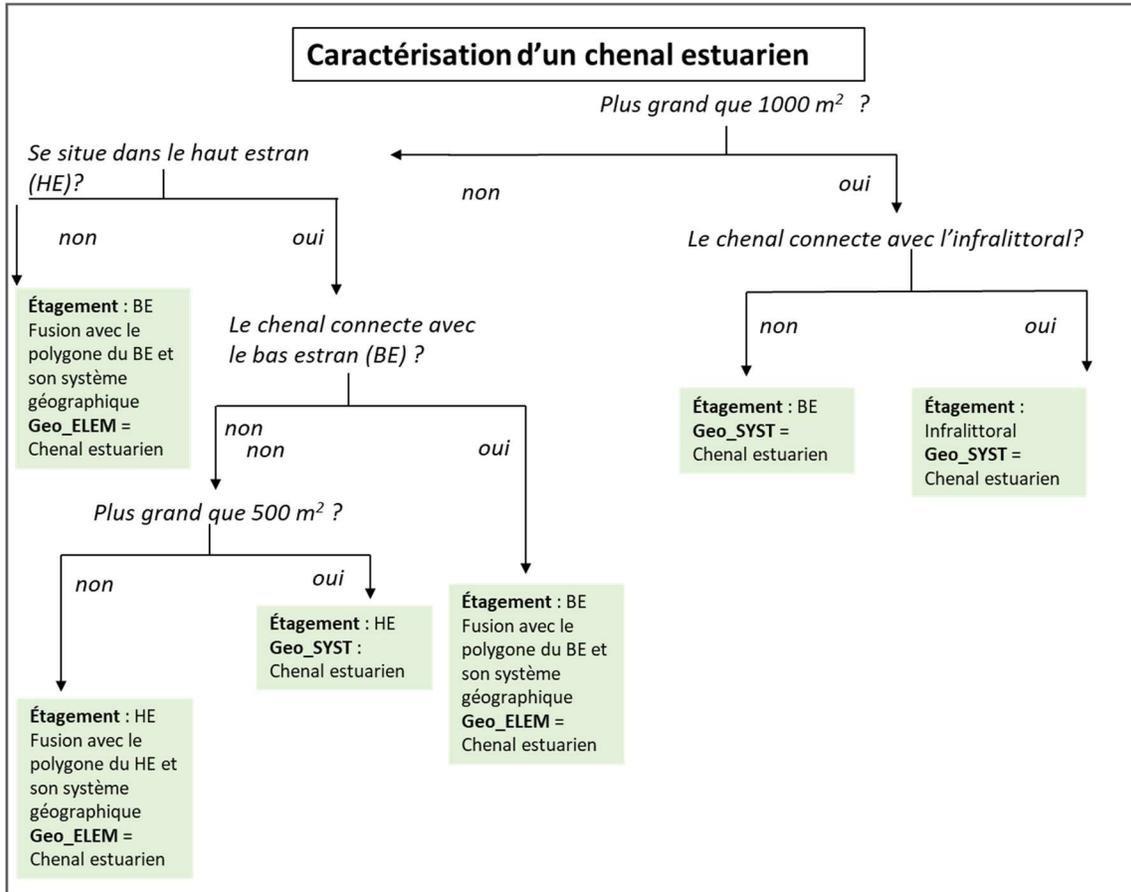
<https://ldgizc.uqar.ca/Web/projets/projet-resilience-cotiere#realisations>

Annexe B : Clés décisionnelles

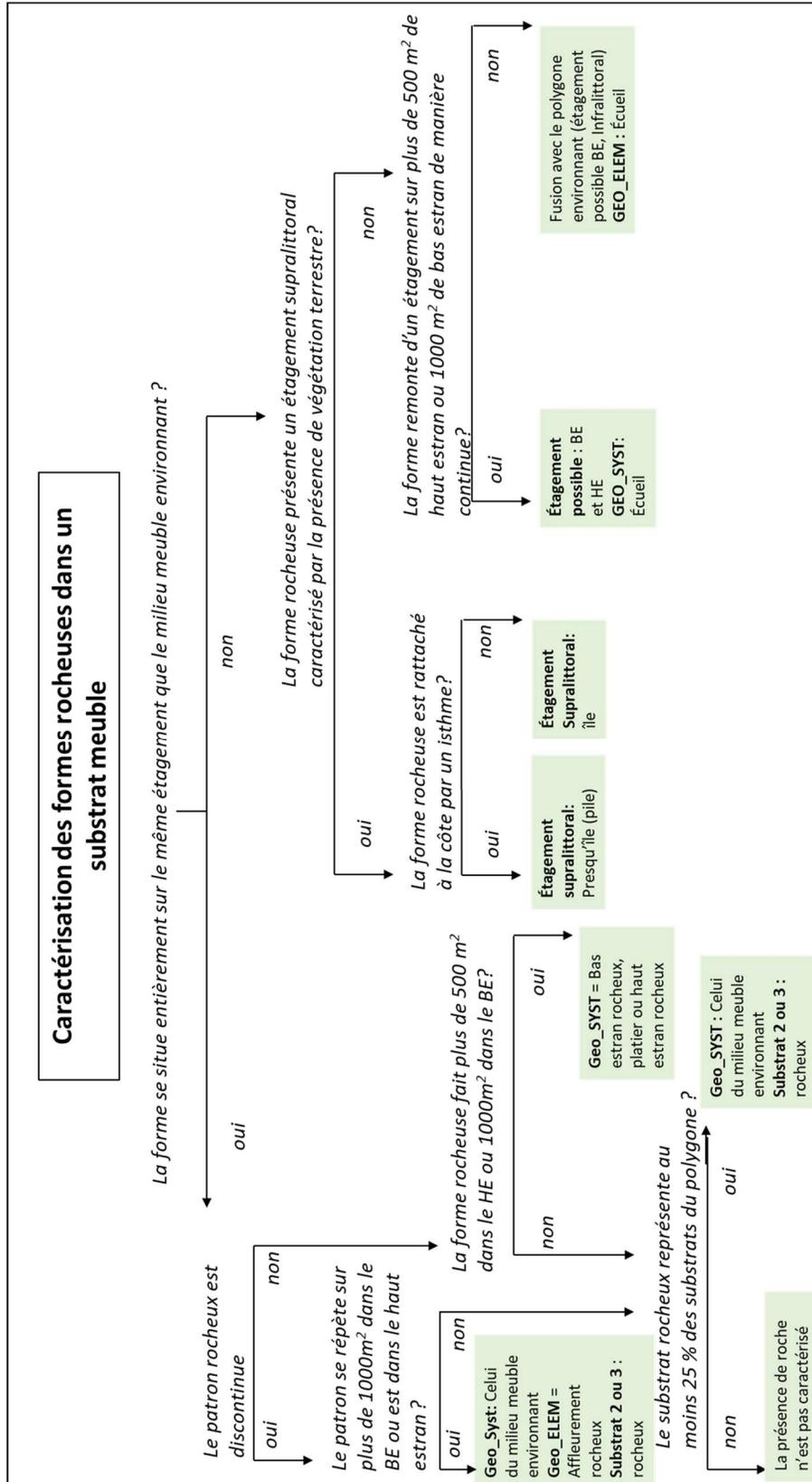
1. Caractérisation des géosystèmes du bas estran



2. Caractérisation d'un chenal estuarien



### 3. Caractérisation des formes rocheuses dans un substrat meuble



*Annexe C : Fiches d'écosystèmes*

Voici les 11 fiches réalisées pour décrire les écosystèmes côtiers du Québec maritime. Elles sont présentées dans les prochaines pages et sont aussi téléchargeables individuellement [ici](#).

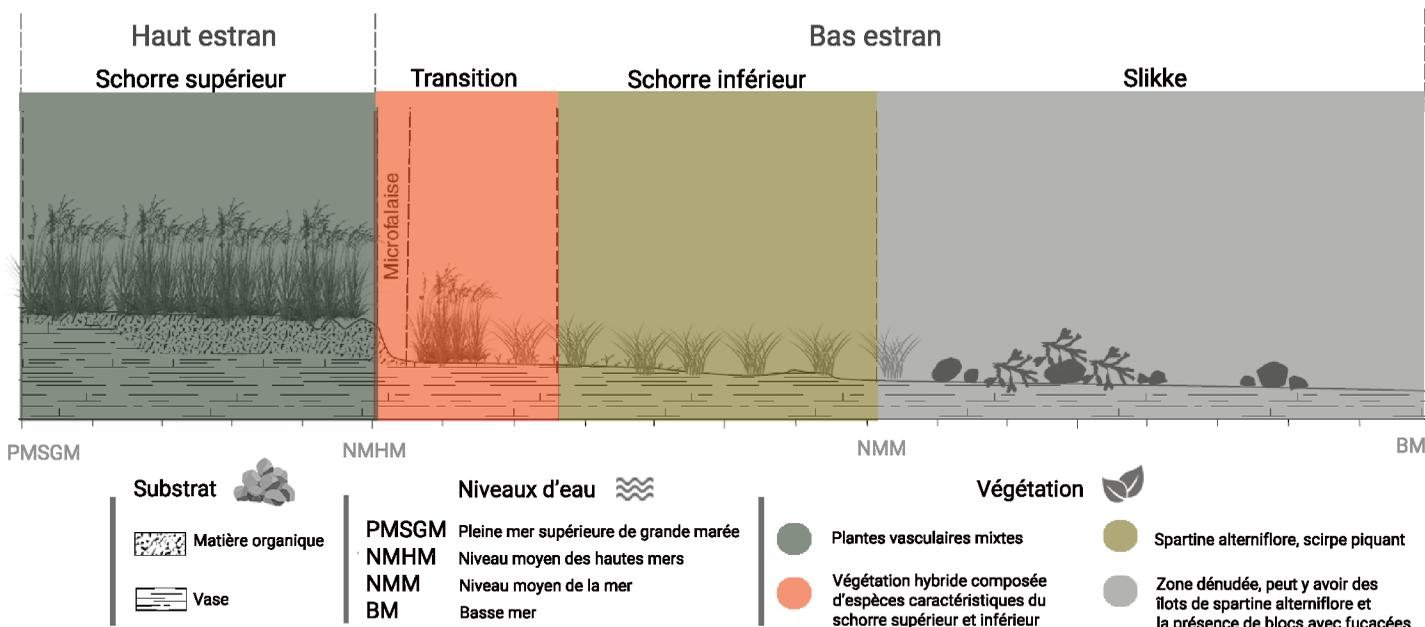
# de fiche	Nom des écosystèmes
1	Les marais maritimes
2	Les marécages intertidaux
3	Les bas estrans rocheux
4	Les lagunes
5	Les deltas
6	Les plages
7	Les écueils et les îles
8	Les bas estrans meubles
9	Les hauts estrans rocheux
10	Les chenaux estuariens
11	L'infralittoral

Les marais maritimes sont des secteurs plats et couverts de végétation halophile, c'est-à-dire tolérante à l'eau salée. Ils se composent de zones d'accumulation de sédiments fins (argile, limon et sable fin) et se divisent en trois zones caractéristiques: le **schorre supérieur**, le **schorre inférieur** et la **slikke**. Située sur le haut estran, la partie supérieure du marais s'appelle le schorre supérieur et correspond à la zone qui n'est submergée que lors des plus hautes mers de grandes marées et lors des tempêtes. Cette submersion occasionnelle permet à diverses espèces végétales de s'y établir et de former un tapis épais et continu.

Une **microfalaise** délimite parfois le schorre inférieur du schorre supérieur. Le schorre inférieur est situé sur le bas estran, entre le niveau moyen des hautes mers et le niveau moyen des mers. Il est aussi constitué d'un tapis végétal continu, dont la composition varie selon le gradient de salinité. Les schorres supérieurs et inférieurs sont souvent parsemés de **marelles** formées par l'arrachement du couvert végétal et des sédiments par les glaces saisonnières.

La dernière zone se nomme la slikke. Elle est située sur le bas estran et jouxte la zone infralittorale. Il s'agit d'une zone vaseuse, dénudée de végétation ou encore très faiblement parsemée d'îlots de végétation éparses. Elle s'étend du niveau moyen de la mer aux plus basses mers<sup>1</sup>.

Coupe transversale d'un marais maritime



Les substrats prédominants sont la matière organique et la vase.

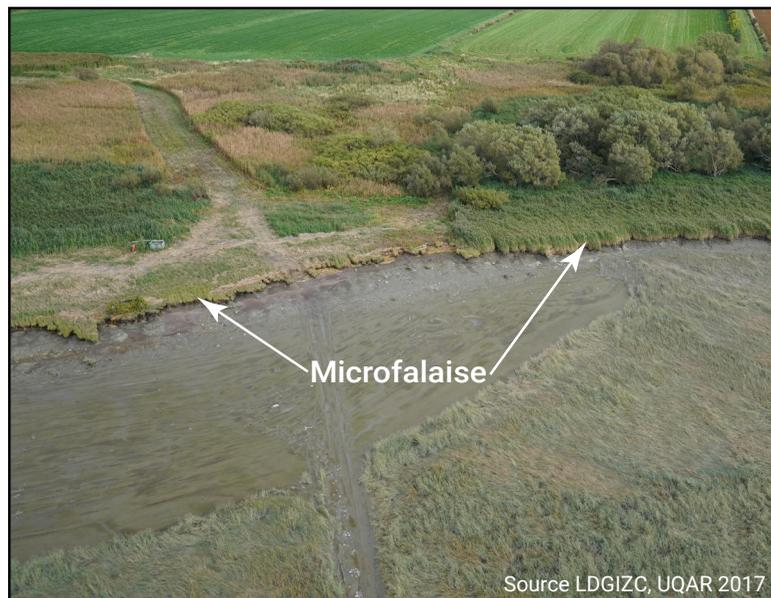
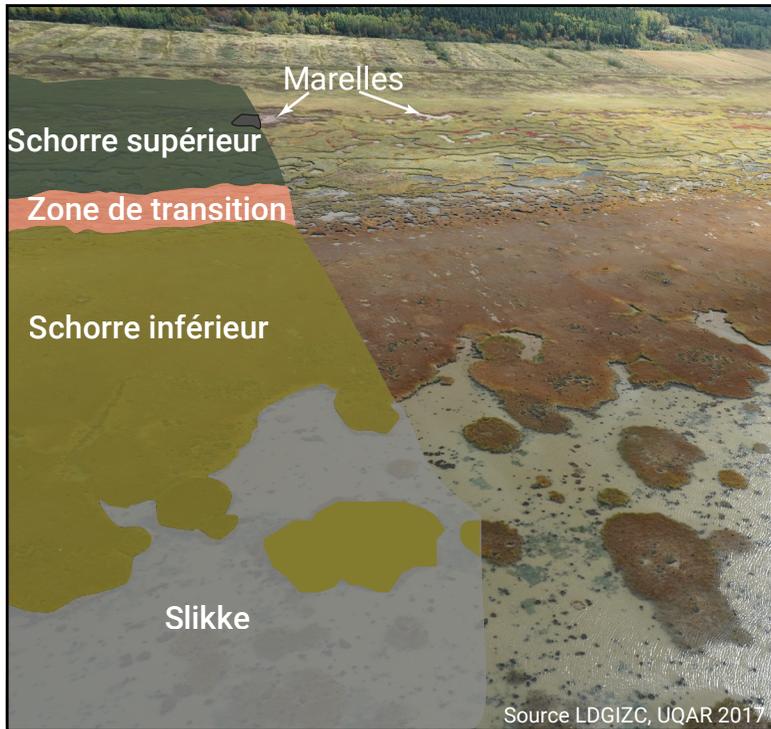


Dans les secteurs du golfe, de l'estuaire maritime et de la portion aval de l'estuaire moyen, c.-à-d. à l'est de Saint-Roch-des-Aulnaies sur la rive sud et de Cap-Tourmente sur la rive nord, les schorres inférieurs sont monospécifiques, c'est-à-dire qu'ils sont entièrement colonisés par une seule espèce, la spartine alterniflore<sup>5</sup>.

Les schorres supérieurs, colonisés par des plantes vasculaires mixtes, se composent fréquemment des espèces suivantes : spartine étalée, spartine pectinée, carex paléacé, salicorne, scirpe maritime, plantain maritime, troscart maritime et glaux maritime<sup>5, 6, 7, 8, 9, 10</sup>.

Dans le secteur amont de l'estuaire moyen, où l'eau est douce ou saumâtre (MRC de L'Islet, Bellechasse, la Côte-de-Beaupré et L'Île-d'Orléans), les schorres inférieurs sont fréquemment dominés par le scirpe piquant et la zizanie aquatique naine. Ils sont aussi souvent accompagnés par des îlots de scirpes des étangs<sup>1, 9, 10</sup>.

La composition végétale du schorre supérieur des marais maritimes en secteur saumâtre est très diversifiée.



## Zone de transition

Dans certains marais, une zone intermédiaire se présente entre les schorres inférieur et supérieur. Cette zone de transition est caractérisée par une végétation hybride, formée d'un assemblage d'espèces typiques des schorres inférieur et supérieur<sup>2,3,4</sup>.

## Rôles écologiques

Les marais maritimes se classent parmi les écosystèmes les plus productifs de la planète<sup>11</sup>. Leur grande étendue végétale favorise la fixation des sédiments<sup>12</sup> et atténue l'énergie des vagues, ce qui contribue à stabiliser la côte en réduisant l'érosion<sup>16, 17</sup>. Certaines espèces végétales emblématiques, telles que le scirpe piquant, contribuent au recyclage des nutriments<sup>13</sup> et des métaux lourds du fleuve<sup>14, 15, 16</sup>, tout en purifiant l'eau et en séquestrant le carbone. Les marais maritimes constituent des habitats privilégiés pour diverses espèces animales autant pour la macrofaune et la microfaune benthique, que pour les mammifères terrestres et les oiseaux<sup>13</sup>.

## Faune aviaire

Les oiseaux dépendent grandement des marais maritimes pour leur alimentation et le repos<sup>13, 18</sup>. Les marais maritimes constituent des zones où on trouve de grandes concentrations de sauvagine, passereaux migrateurs et de limicoles<sup>19</sup>, dont certaines espèces d'oiseaux en péril et à statut particulier, tels que le bécasseau maubèche et le goglu des prés<sup>19</sup>.

## Faune aquatique

Pour de nombreuses espèces de poissons, les marais maritimes constituent des aires cruciales pour l'alevinage et l'alimentation<sup>20</sup>.

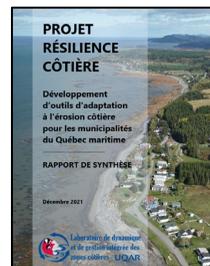
## Schorre inférieur à scirpe piquant, MRC de L'Islet



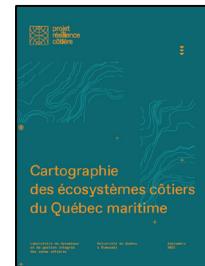
## Usages et services écologiques des marais maritimes

<b>Services de support et habitats</b> Habitat faunique Aire d'alimentation Aire de nidification Espèces fauniques menacées ou vulnérables Aire d'alevinage			<b>Services d'approvisionnement</b> Chasse à la sauvagine Chasse à la bernache Cueillette Piégeage	
<b>Services de régulation</b> Puits de carbone Réduction de l'impact des tempêtes Purification de l'eau Régulation de la qualité de l'air		<b>Services culturels</b> Observation d'oiseaux Recherche et éducation Observation de la flore Marche		

Ce document a été produit dans le cadre du projet Résilience côtière. Pour lire le rapport de synthèse, cliquez ici →



Pour consulter le rapport méthodologique de la cartographie des écosystèmes côtiers, cliquez ici →



Pour visualiser la cartographie, rendez-vous sur le site internet sigec.uqar.ca ou cliquez ici →



## Références

- (1) Dionne, J. C. (2004). Âge et taux moyen d'accrétion verticale des schorres du Saint-Laurent estuarien, en particulier ceux de Montmagny et de Sainte-Anne-de-Beaupré, Québec. *Géographie physique et Quaternaire*, 58(1), 73-108.
- (2) Davis, R. J. (Ed.). (2012). *Coastal sedimentary environments*. Springer Science & Business Media.
- (3) Edwards, J. M. & R. W. Frey (1977). Substrate characteristics within a Holocene salt marsh, Sapelo Island, Georgia. *Senckenbergiana Maritima* 9:215-259.
- (4) Chmura, G. L., Chase, P. & J. Bercovitch (1997). Climatic controls of the middle marsh zone in the Bay of Fundy. *Estuaries*, 20(4), 689-699.
- (5) Gauthier, B. (2000). L'estuaire du Saint-Laurent: synthèse phytogéographique. Gouvernement du Québec, ministère de l'Environnement, Direction du patrimoine écologique et du développement durable, Québec. 33 p.
- (6) Quintin, C., Bernatchez, P. & T. Buffin-Bélanger (2006). Géomorphologie et diversité végétale des marais du Cap Marteau et de l'Isle-Verte, estuaire du Saint-Laurent, Québec. *Géographie physique et Quaternaire*, 60(2), 149-164.
- (7) Joubert, J.-É., Bachand, É. et A. Lelièvre-Mathieu (2012). Rapport de caractérisation du marais de la Réserve nationale de faune de Pointe-au-Père. Les communautés végétales du marais maritime de Pointe-au-Père et caractérisation géomorphologique. Présenté à Environnement Canada. Comité Zone d'Intervention Prioritaire du Sud-de-l'Estuaire, Printemps 2012. 37 p.
- (8) Joubert, J.-É., Cauchon, M.-H., Hubert, C. et É. Bachand (2014). Au fil de l'eau, Caractérisation biophysique de l'Anse des Riou et du bassin versant de la rivière Centrale. Comité ZIP du Sud-de-l'Estuaire et Organisme des bassins versants du Nord-Est du Bas-Saint-Laurent, Rimouski. 151 p.
- (9) Bhiry, N., Cloutier, D., Gervais, A., Couillard, L., Lamarre, P. & M. Normandeau (2013). Impact des changements climatiques sur l'évolution des hauts marais de l'estuaire d'eau douce du Saint-Laurent et stratégies de protection des espèces en situation précaire. Rapport de recherche # 554016-111 remis à Ouranos. 134 p.
- (10) P. Mousseau, M. Gagnon, P. Bergeron, J. Leblanc et R. Siron (1998). Synthèse des connaissances sur les communautés biologiques de l'estuaire moyen du Saint-Laurent. Ministère des Pêches et des Océans – Région Laurentienne, Division de la Gestion de l'habitat et des sciences de l'environnement, Institut Maurice-Lamontagne.
- (11) Mitsch, W. J., Bernal, B. & M. E. Hernandez (2015). Ecosystem services of wetlands.
- (12) Serodes, J. B. & J. P. Troude (1984). Sedimentation cycle of a freshwater tidal flat in the St. Lawrence Estuary. *Estuaries*, 7(2), 119-127.
- (13) Odum, W. E. (1988). Comparative ecology of tidal freshwater and salt marshes. *Annual review of ecology and systematics*, 19(1), 147-176.
- (14) Gilbert, H. (1990). Éléments nutritifs (N et P), métaux lourds (Zn, Cu, Pb et Hg) et productivité végétale dans un marais intertidal d'eau douce, Québec (Québec). *Canadian Journal of Botany*, 68(4), 857-863.
- (15) Deschênes, J. & J. B. Sérodes (1986). Recyclage des métaux et du phosphore par *Scirpus americanus* et *Spartina alterniflora* dans l'estuaire moyen du Saint-Laurent (Québec). *Le Naturaliste canadien*, 113, 143-151.
- (16) Barbier, E. B., Hacker, S. D., Kennedy, C., Koch, E. W., Stier, A. C. & B. R. Silliman (2011). The value of estuarine and coastal ecosystem services. *Ecological monographs*, 81(2), 169-193.
- (17) Spalding, M. D., Ruffo, S., Lacambra, C., Meliane, I., Hale, L. Z., Shepard, C. C. & M. W. Beck (2014). The role of ecosystems in coastal protection: Adapting to climate change and coastal hazards. *Ocean & Coastal Management*, 90, 50-57.
- (18) Gauthier, G., Giroux, J. F. & L. Rochefort (2002). The impact of goose grazing on arctic and temperate wetlands. In *Proceedings of the XXIII<sup>rd</sup> International Ornithological Congress*, Beijing, China.
- (19) Joubert, J.-É. et É. Bachand (2012). Un marais en changement, caractérisation du marais salé de la baie de Kamouraska. Comité ZIP du Sud-de-l'Estuaire, Rimouski, Québec. 123 p. avec annexes.
- (20) Gagnon, M., Y. Ménard et J.-F. La Rue (1993). Caractérisation et évaluation des habitats du poisson dans la zone de transition saline du Saint-Laurent. *Rapp. tech. can. sci. halieut. aquat.* 1920: vili-t- 104 p.

### Projet Résilience côtière - Référence du rapport méthodologique de la cartographie des écosystèmes côtiers

Jobin, A., Marquis, G., Provencher-Nolet, L., Gabaj Castrillo, M. J., Trubiano C., Drouet, M., Eustache-Létoirneau, D., Drejza, S. Fraser, C. Marie, G. et P. Bernatchez (2021). *Cartographie des écosystèmes côtiers du Québec maritime – Rapport méthodologique*. Chaire de recherche en géoscience côtière, Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières, Université du Québec à Rimouski. Rapport remis au ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, septembre 2021, 98 p.

Le marécage intertidal est un milieu humide situé immédiatement derrière un marais maritime, à l'interface des milieux côtier et terrestre. Il s'agit d'une proportion du haut estran qui se trouve submergé lors des pleines mers supérieures de grandes marées (PMSGM), mais qui n'est pas submergé quotidiennement. C'est un milieu humide caractérisé par la présence d'une végétation arbustive et/ou arborescente représentant plus de 25% de la couverture végétale. Cet écosystème se retrouve, entre autres, dans les régions où l'eau du Saint-Laurent est saumâtre ou douce, notamment dans la portion amont de l'estuaire moyen et dans la partie aval de l'estuaire fluvial, où le marnage varie de 4 à 6 mètres (MRC de L'Île-d'Orléans, Côte-de-Beaupré et Bellechasse).



Le substrat prédominant est la matière organique.



Les marécages intertidaux présentent une forte proportion de végétation arbustive et arborescente. Les saules arbustifs (*Salix* sp.), le myrique baumier (*Myrica gale*) et les frênes (*Fraxinus* sp.) constituent des espèces emblématiques de ce milieu<sup>1,2,3</sup>. Une végétation herbacée de plantes vasculaires mixtes peut aussi être présente.

Photointerprétation des portions d'un marais maritime et d'un marécage intertidal

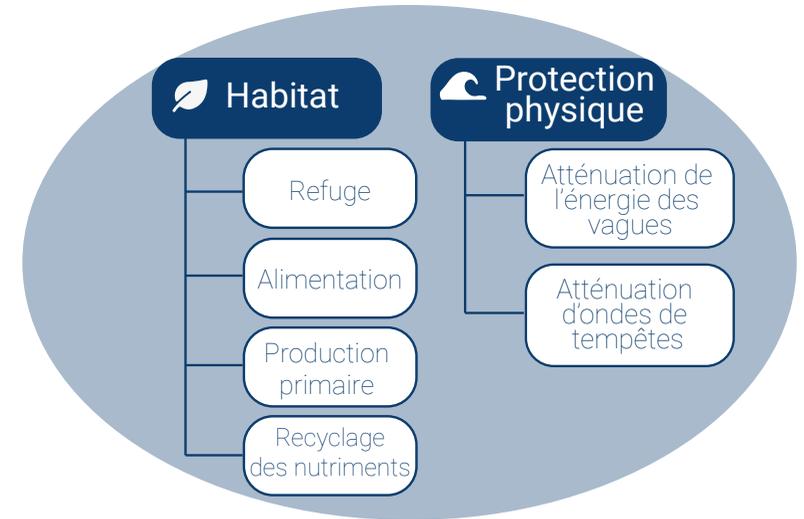


Marécage intertidal situé entre les deux traits rouges, Saint-Joachim (2017)

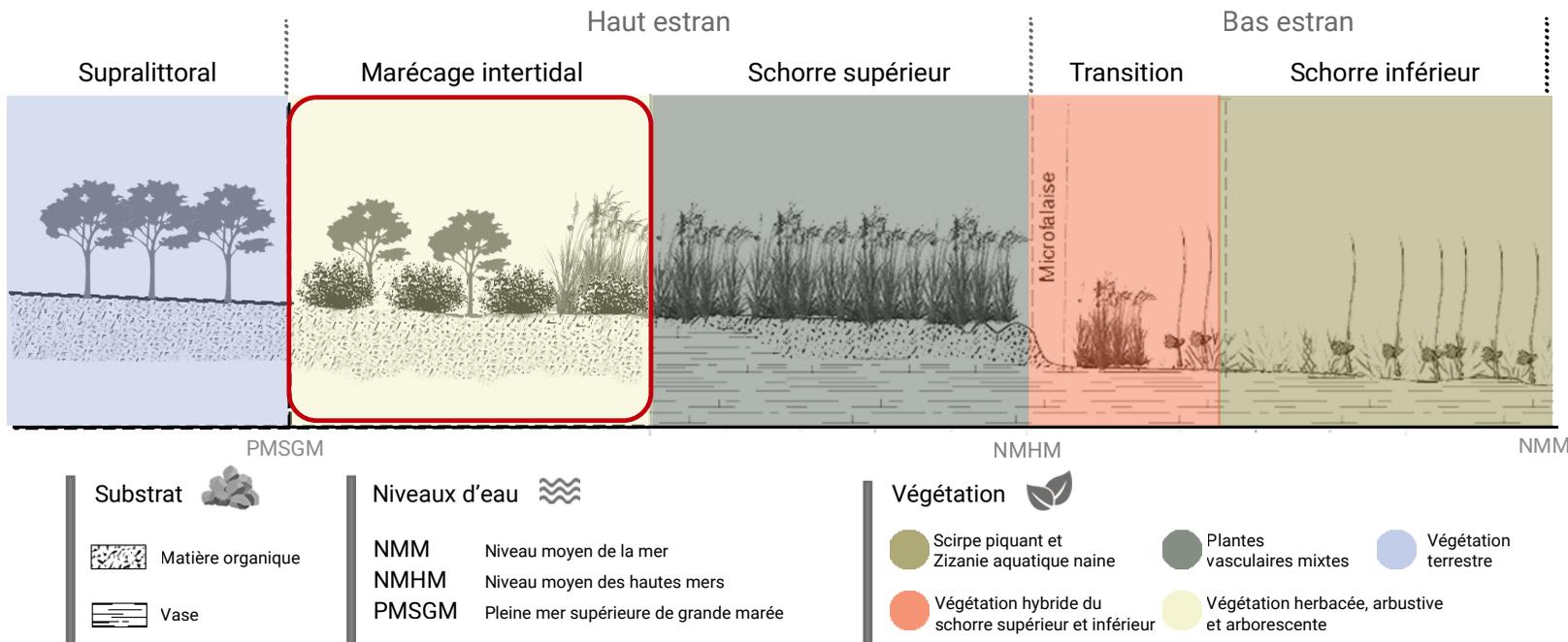


## Rôles écologiques

La végétation des marécages abrite des communautés épiphytiques (organismes qui croissent en se servant d'autres plantes comme support), dont la présence crée et maintient d'importants réseaux alimentaires<sup>4,5</sup>, tant pour la faune aviaire, benthique, terrestre que pour les amphibiens, les reptiles<sup>3,6</sup> et les invertébrés. Ce milieu offre aussi une protection physique pouvant absorber l'énergie des vagues lors des tempêtes<sup>7</sup>.



Coupe transversale d'un marais maritime suivi d'un marécage intertidal derrière



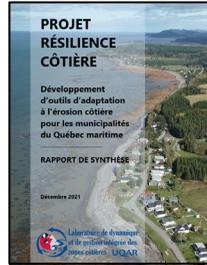
Adapté de Dionne, 2004

Marécage intertidal situé entre les deux traits rouges, MRC de l'Île-d'Orléans (2017)



Source LDGIZC, UQAR

Ce document a été produit dans le cadre du projet Résilience côtière. Pour lire le rapport de synthèse, cliquez ici



Pour consulter le rapport méthodologique de la cartographie des écosystèmes côtiers, cliquez ici



Pour visualiser la cartographie, rendez-vous sur le site internet sigec.uqar.ca ou cliquez ici



Transition entre le schorre supérieur et le marécage intertidal, MRC de la Côte-de-Beaupré (2019)



Transition entre le schorre supérieur et le marécage intertidal, MRC de Bellechase (2019)



## Références

- (1) Joubert, J.-É., É. Bachand et A. Fournier (2017). Caractérisation biophysique du marais à scirpe de Montmagny. Comité ZIP du Sud-de-l'Estuaire, Rimouski. 70 pages + annexes.
- (2) Lacoursiere, E. & M. M. Grandtner (1971). Contribution à l'étude écologique de la végétation riparienne de l'île d'Orléans. Le Naturaliste canadien 98(3):443-460.
- (3) P. Mousseau, M. Gagnon, P. Bergeron, J. Leblanc et R. Siron (1998). Synthèse des connaissances sur les communautés biologiques de l'estuaire moyen du Saint-Laurent. Ministère des Pêches et des Océans – Région Laurentienne, Division de la Gestion de l'habitat et des sciences de l'environnement, Institut Maurice-Lamontagne et Environnement Canada - Région du Québec, Conservation de l'environnement, Centre Saint-Laurent. Rapport technique. Zone d'intervention prioritaire 15, 16 et 17. xxvi + 309 pages.
- (4) Wolanski, E., Brinson, M. M., Cahoon, D. R. & G. M. Perillo (2009). Coastal wetlands: a synthesis. Coastal wetlands an integrated ecosystem approach. Elsevier. Amsterdam, Payses Bajos. p. 1-62.
- (5) Jackson, G., Zingmark, R., Lewitus, A. J., Tymowski, R. G. & J. Stuckey (2006). Spatial and temporal dynamics of epiphytic microalgae on the cordgrass *Spartina alterniflora* in North Inlet Estuary, South Carolina. Estuaries and coasts, 29(6), 1212-1221.
- (6) Desroches, J.-F. et D. Banville. (2002). Inventaire des amphibiens, des reptiles et des micromammifères sur la côte de Beaupré en 1998. Société de la faune et des parcs du Québec, 43 p.
- (7) Gedan, K. B., Kirwan, M. L., Wolanski, E., Barbier, E. B. & B. R. Silliman (2011). The present and future role of coastal wetland vegetation in protecting shorelines: answering recent challenges to the paradigm. Climatic change, 106(1), 7-29.
- (8) Dionne, J. C. (2004). Âge et taux moyen d'accrétion verticale des schorres du Saint-Laurent estuarien, en particulier ceux de Montmagny et de Sainte-Anne-de-Beaupré, Québec. Géographie physique et Quaternaire, 58(1), 73-108.

## Projet Résilience côtière - Référence du rapport méthodologique de la cartographie des écosystèmes côtiers

Jobin, A., Marquis, G., Provencher-Nolet, L., Gabaj Castrillo. M. J., Trubiano C., Drouet, M., Eustache-Létourneau, D., Drejza, S. Fraser, C. Marie, G. et P. Bernatchez (2021) Cartographie des écosystèmes côtiers du Québec maritime – Rapport méthodologique. Chaire de recherche en géoscience côtière, Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières, Université du Québec à Rimouski. Rapport remis au ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, septembre 2021, 98 p.

Dans le cadre de la cartographie des écosystèmes côtiers, les bas estrans rocheux peuvent désigner deux géosystèmes: les bas estrans rocheux et les platiers. On retrouve des bas estrans rocheux au bas des plages, ou en contrebas des hauts estrans rocheux. La présence d'algues sur le substrat est l'indicateur qui permet d'établir la limite entre le haut et le bas estran rocheux.



Le substrat est rocheux et est parfois recouvert d'un mince placage de sédiments meubles (sable, vase, gravier, galets).



Lorsque végétalisés, les bas estrans rocheux sont caractérisés par la présence de macroalgues.

## Bas estran rocheux

Estran rocheux avec une pente relativement prononcée et une surface irrégulière (crêtes et cuvettes).

Bas estran rocheux à macroalgues avec crêtes et cuvettes, Petite-Vallée (2019)



Source LDGIZC, UQAR

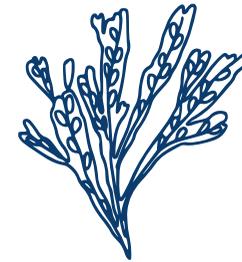
Bas estran rocheux, Kegaska (2017)



Source LDGIZC, UQAR

## Platier

Estran rocheux à très faible pente, dont la surface est relativement plane.



Platier semi-végétalisé à macroalgues, L'Isle-aux-Coudres (2017)



Source LDGIZC, UQAR



Source LDGIZC, UQAR

## Algues et fucacées

Les macroalgues constituent un habitat pour les organismes tels que des bactéries, des algues, des diatomées et des hydrozoaires. Elles abritent également une faune mobile telle que les gastéropodes et les crustacés. Les macroalgues procurent un environnement tridimensionnel complexe qui constitue aussi, pour ces organismes, un refuge contre les prédateurs et contre la dessiccation à marée basse<sup>1,2,3</sup>.

## Rôles écologiques

Les bas estrans, dont les platiers rocheux, abritent de larges communautés bactériennes, fauniques et florales très diversifiées.

Les bas estrans rocheux abritent des communautés épibenthiques (qui vivent à la surface du substrat en zone benthique), composées principalement d'algues et d'organismes sessiles, c'est-à-dire fixés directement au substrat. Les gastéropodes, bivalves et crustacés constituent les organismes prédominants de cette zone, incluant notamment la balane commune (*Perforatus perforatus*) et la moule bleue (*Mytilus edulis*)<sup>4, 5</sup>. Les bancs de moules et autres mollusques procurent un habitat et un refuge pour d'autres organismes<sup>6</sup>. Les bas estrans et les platiers rocheux constituent des pouponnières pour de nombreuses espèces de poissons côtiers<sup>7</sup>, ce qui accroît leurs chances de survie et de croissance<sup>8</sup>. De plus, les importantes communautés microbiennes présentes sur les parois rocheuses constituent une source de nourriture considérable pour les brouteurs, notamment les gastéropodes<sup>9</sup>.

D'un point de vue physique, les bas estrans rocheux comportant des crêtes rocheuses ou des écueils contribuent à dissiper l'énergie des vagues. Cette dissipation de l'énergie des vagues, qui varie selon la largeur, la pente et le profil de l'estran, permet de limiter l'érosion sur les côtes meubles situées derrière l'estran rocheux.

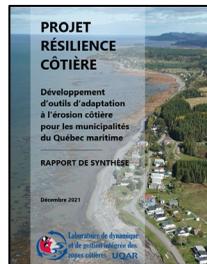
Platier non végétalisé, MRC de L'Islet (2017)



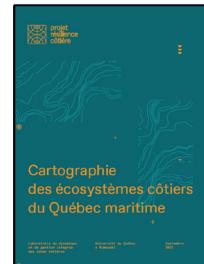
## Cuvettes marines

Les bas estran rocheux sont aussi caractérisés par la présence de cuvettes marines formées par l'abrasion, l'altération et l'affouillement de fractures dans la plateforme rocheuse. Ces cuvettes constituent des microhabitats<sup>10, 11</sup> abritant une très grande biodiversité<sup>7</sup> constituée principalement d'algues et de gastéropodes<sup>9</sup>. On peut aussi y observer des espèces animales typiques de la zone infralittorale, comme l'oursin vert et le buccin commun<sup>5</sup>. La zostère peut également s'établir dans ces cuvettes<sup>11</sup>. Bien que la cartographie réalisée répertorie seulement les plus grandes cuvettes, les bas estrans rocheux sont caractérisés par la présence de nombreuses petites cuvettes.

Ce document a été produit dans le cadre du projet Résilience côtière. Pour lire le rapport de synthèse, cliquez ici →



Pour consulter le rapport méthodologique de la cartographie des écosystèmes côtiers, cliquez ici →



Pour visualiser la cartographie, rendez-vous sur le site internet sigec.uqar.ca ou cliquez ici →



### Platier à macroalgues, Rivière-Ouelle (2017)



### Références

- (1) Inaba, K. & J. M. Hall-Spencer (2020). Japanese Marine Life. Springer Nature, Singapore. 367 p.
- (2) Lalegerie, F., Gager, L., Stiger-Pouvreau, V. & S. Connan (2020). The stressful life of red and brown seaweeds on the temperate intertidal zone: effect of abiotic and biotic parameters on the physiology of macroalgae and content variability of particular metabolites. In *Advances in Botanical Research* (Vol. 95, pp. 247-287). Academic Press.
- (3) Tamigneaux, É. & L. Johnson (2016). Les macroalgues du Saint-Laurent: une composante essentielle d'un écosystème marin unique et une ressource naturelle précieuse dans un contexte de changement global. *Le Naturaliste canadien*, 140(2), 62-73.
- (4) Raffaelli, D. & S. J. Hawkins (2012). *Intertidal ecology*. Springer Science & Business Media. XI, 356 p.
- (5) Chabot, R. et A. Rossignol (2003). *Algues et faune du littoral du Saint-Laurent maritime : Guide d'identification*. Institut des sciences de la mer de Rimouski, Rimouski; Pêches et Océans Canada (Institut Maurice-Lamontagne), Mont-Joli. 113 pages.
- (6) Dayton, P. K. (1972). Toward an understanding of community resilience and the potential effects of enrichments to the benthos at McMurdo Sound, Antarctica. In *Proceedings of the colloquium on conservation problems in Antarctica* (pp. 81-96). Lawrence, Kansas, USA: Allen Press.
- (7) Dias, M., Roma, J., Fonseca, C., Pinto, M., Cabral, H. N., Silva, A. & C. Vinagre (2016). Intertidal pools as alternative nursery habitats for coastal fishes. *Marine Biology Research*, 12(4), 331-344.

- (8) Thompson, R. C., Wilson, B. J., Tobin, M. L., Hill, A. S. & S. J. Hawkins (1996). Biologically generated habitat provision and diversity of rocky shore organisms at a hierarchy of spatial scales. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 202(1), 73-84.
- (9) Knox, G. A. (2000). *The ecology of seashores*. CRC Press, 557 p.
- (10) Ward, G. & G. J. FitzGerald (1983). Macrobenthic abundance and distribution in tidal pools of a Quebec salt marsh. *Canadian Journal of Zoology*, 61(5), 1071-1085.
- (11) Canada. Department of Fisheries and Oceans. (1996). *By the sea - a guide to the coastal zone of Atlantic Canada. Module 7, Rocky shores / main authors, Mark Butler [and six others]*, (pdf), <https://waves-va-gues.dfo-mpo.gc.ca/Library/240630.pdf>.

### Projet Résilience côtière - Référence du rapport méthodologique de la cartographie des écosystèmes côtiers

Jobin, A., Marquis, G., Provencher-Nolet, L., Gabaj Castrillo, M. J., Trubiano C., Drouet, M., Eustache-Létourneau, D., Drejza, S. Fraser, C. Marie, G. et P. Bernatchez (2021) *Cartographie des écosystèmes côtiers du Québec maritime – Rapport méthodologique*. Chaire de recherche en géoscience côtière, Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières, Université du Québec à Rimouski. Rapport remis au ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, septembre 2021, 98 p.

# Les lagunes

Une lagune est une étendue d'eau salée ou saumâtre, peu profonde, séparée de la mer par un cordon ou une flèche littorale et avec laquelle elle communique par un étroit passage, ou goulet<sup>1</sup>. Plusieurs lagunes sont aussi nommées « barachois » dans l'Est du Canada. Dans la cartographie des écosystèmes, les polygones de lagune sont uniquement ceux situés dans la zone infralittorale ou le bas estran.

Les lagunes sont sujettes à une évolution géomorphologique rapide, par exemple, lors de tempêtes durant lesquelles des brèches peuvent se produire dans les cordons et flèches qui les protègent. L'évolution d'une lagune dépendra principalement du taux de sédimentation, des variations du niveau marin relatif et de l'évolution des formes sédimentaires qui les protègent<sup>2</sup>.

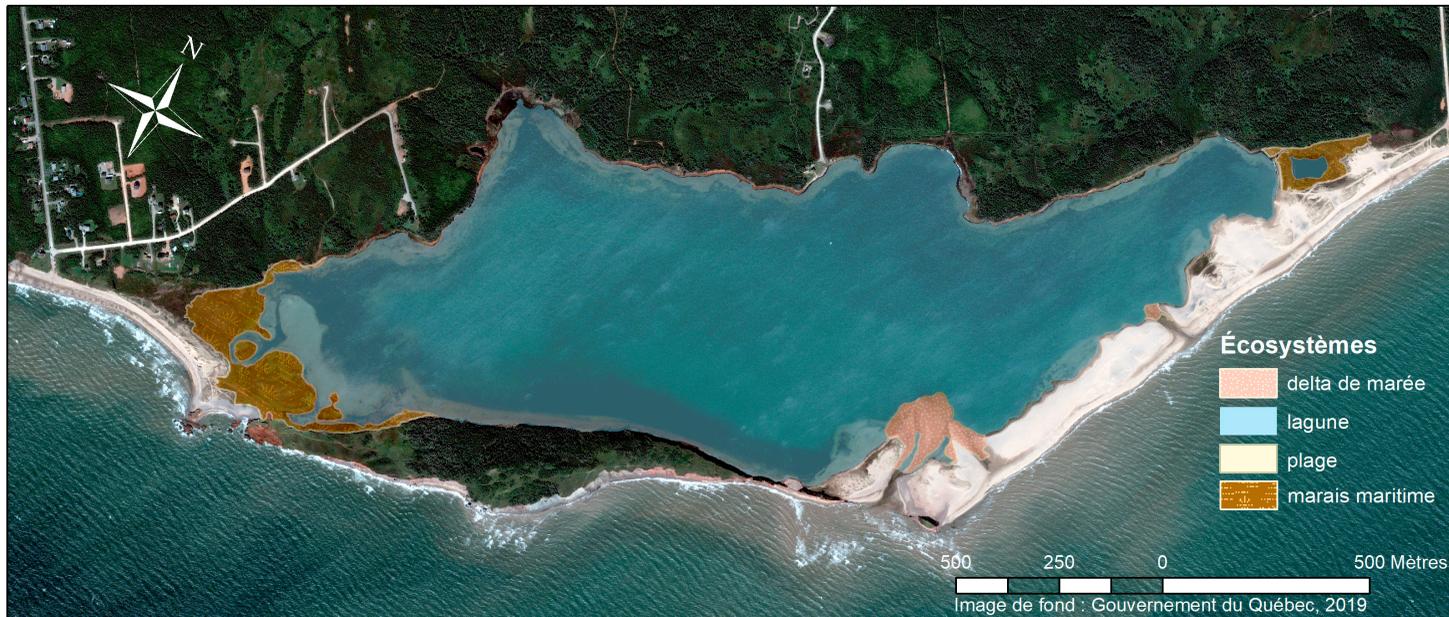


Le substrat est meuble, généralement sablo-vaseux ou vaseux.



Lorsque présente, la végétation prédominante est la zostère marine (*Zostera marina*) et les macroalgues. Le pourtour des lagunes est un milieu abrité propice au développement de marais maritimes.

Lagune du Bassin-aux-Huitres, Iles-de-la-Madeleine



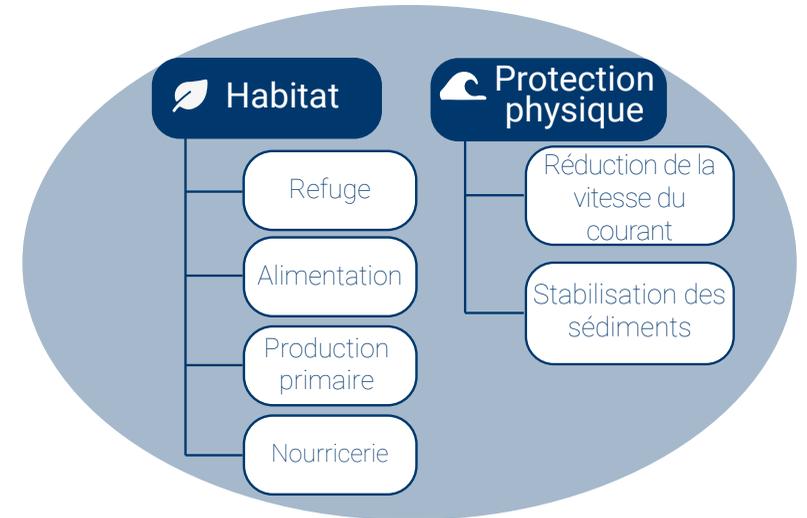
Composantes d'une lagune



## Rôles écologiques

Les lagunes constituent des écosystèmes d'une importance écologique primordiale en contribuant au recyclage des nutriments, à la décomposition de la matière organique<sup>3</sup> et à la régulation de la qualité de l'eau<sup>4</sup>. Les lagunes se classent aussi parmi les écosystèmes ayant une production biologique des plus élevées<sup>4</sup> puisque leur zone photique (où pénètre la lumière) s'étend généralement jusqu'au fond, en raison de leur faible profondeur<sup>5</sup>. Cette production primaire et secondaire très élevée soutient d'importantes communautés fauniques<sup>4,5</sup>, notamment pour de nombreuses espèces d'oiseaux migrateurs qui utilisent l'écosystème sur une base saisonnière<sup>6</sup>. Les lagunes remplissent des rôles de nurricerie<sup>7</sup>, de refuge et de sites d'alimentation pour la faune marine, terrestre et aquatique<sup>4,8,9</sup>.

La présence de **zostère** et de **macroalgues** dans une lagune offre une structure physique et un substrat supplémentaire, ce qui accroît la biodiversité<sup>2,9,10</sup>. Leur présence réduit mécaniquement la vitesse du courant et diminue la remise en suspension des sédiments<sup>11,12,13</sup>.



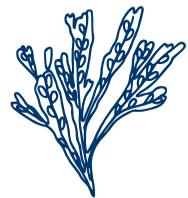
## Zostère marine

Les herbiers de zostère se classent parmi les écosystèmes les plus productifs de la planète. Sa présence crée un habitat tridimensionnel de prédilection pour de nombreuses espèces d'algues, d'invertébrés et de poissons. Elle constitue également un abri contre la prédation pour plusieurs organismes, en plus d'être une composante importante du régime alimentaire de plusieurs oiseaux migrateurs aquatiques.

La zostère contribue à la structure physique des milieux et peut notamment contribuer à limiter l'érosion de la côte. En outre, les herbiers de zostère filtrent la colonne d'eau, stabilisent les sédiments, créent une zone tampon et diminuent l'énergie des vagues<sup>9</sup>.

## Algues et fucacées

Les macroalgues constituent un habitat pour les organismes tels que des bactéries, des algues, des diatomées et des hydrozoaires. Elles abritent également une faune mobile telle que les gastéropodes et les crustacés. Les macroalgues procurent un environnement tridimensionnel complexe qui constitue aussi, pour ces organismes, un refuge contre les prédateurs et contre la dessiccation à marée basse<sup>10,14,15</sup>.

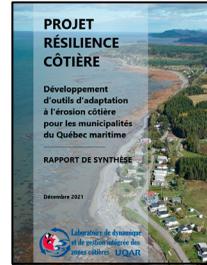


Source LDGIZC, UQAR



Source LDGIZC, UQAR

Ce document a été produit dans le cadre du projet Résilience côtière. Pour lire le rapport de synthèse, cliquez ici →



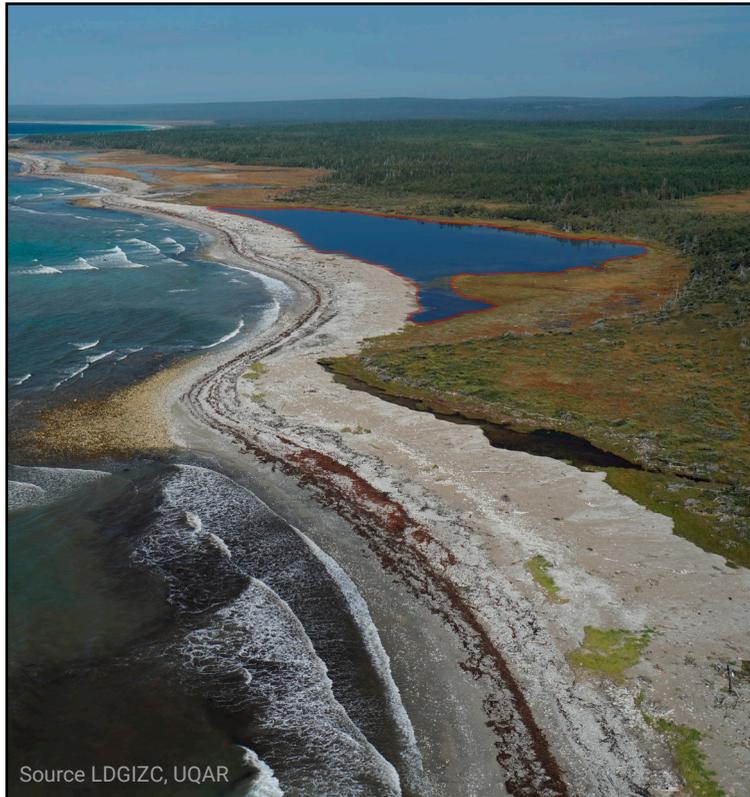
Pour consulter le rapport méthodologique de la cartographie des écosystèmes côtiers, cliquez ici →



Pour visualiser la cartographie, rendez-vous sur le site internet sigec.uqar.ca ou cliquez ici →



### Lagune, Île d'Anticosti (2017)



Source LDGIZC, UQAR

### Références

- (1) Conseil international de la langue française (1979). Vocabulaire de la géomorphologie. Dictionnaires, 230 pages
- (2) Anthony, A., Atwood, J., August, P., Byron, C., Cobb, S., Foster, C. & N. Vinhateiro (2009). Coastal lagoons and climate change: ecological and social ramifications in US Atlantic and Gulf coast ecosystems. *Ecology and Society*, 14(1).
- (3) Brito, A. C., Newton, A., Tett, P. & T. F. Fernandes (2012). How will shallow coastal lagoons respond to climate change? A modelling investigation. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 112, 98-104.
- (4) Pérez-Ruzafa, A., Pérez-Ruzafa, I. M., Newton, A. & C. Marcos (2019). Coastal lagoons: environmental variability, ecosystem complexity, and goods and services uniformity. In *Coasts and Estuaries* (pp. 253-276). Elsevier.
- (5) Kennish, M. J. (2016). Coastal lagoons. *Encyclopedia of Estuaries*; Kennish, MJ, Ed.; Springer: Dordrecht, The Netherlands.
- (6) De Wit, R. (2011). Biodiversity of coastal lagoon ecosystems and their vulnerability to global change. *Ecosystems biodiversity*, 29-40.
- (7) Pêches et Océans Canada (2012). Définitions de détérioration, destruction ou perturbation (DDP) de l'habitat de la Zostère (*Zostera marina*). Secr. can. de consult. sci. du MPO, Avis sci. 2011/058.
- (8) Beer, N. A. & C. B. Joyce (2013). North Atlantic coastal lagoons: conservation, management and research challenges in the twenty-first century. *Hydrobiologia*, 701(1), 1-11.

- (9) Kennish, M. J., & Paerl, H. W. (Eds.). (2010). Coastal lagoons: critical habitats of environmental change. CRC Press.
- (10) Tamigneaux, É. & L. Johnson (2016). Les macroalgues du Saint-Laurent: une composante essentielle d'un écosystème marin unique et une ressource naturelle précieuse dans un contexte de changement global. *Le Naturaliste canadien*, 140(2), 62-73.
- (11) Crowder, L. B. & W. E. Cooper (1982). Habitat structural complexity and the interaction between bluegills and their prey. *Ecology*, 63(6), 1802-1813.
- (12) Fonseca, M. S. & J. S. Fisher (1986). A comparison of canopy friction and sediment movement between four species of seagrass with reference to their ecology and restoration. *Marine Ecology Progress Series*, 29(1), 5-22.
- (13) Madsen, J. D., Chambers, P. A., James, W. F., Koch, E. W. & D. F. Westlake (2001). The interaction between water movement, sediment dynamics and submersed macrophytes. *Hydrobiologia*, 444(1), 71-84
- (14) Inaba, K. & J. M. Hall-Spencer (2020). *Japanese Marine Life*. Springer Singapore. 367 p.
- (15) Lalegerie, F., Gager, L., Stiger-Pouvreau, V. & S. Connan (2020). The stressful life of red and brown seaweeds on the temperate intertidal zone: effect of abiotic and biotic parameters on the physiology of macroalgae and content variability of particular metabolites. In *Advances in Botanical Research* (Vol. 95, pp. 247-287). Academic Press.

### Projet Résilience côtière - Référence du rapport méthodologique de la cartographie des écosystèmes côtiers

Jobin, A., Marquis, G., Provencher-Nolet, L., Gabaj Castrillo, M. J., Trubiano C., Drouet, M., Eustache-Létourneau, D., Drejsza, S., Fraser, C. Marie, G. et P. Bernatchez (2021) Cartographie des écosystèmes côtiers du Québec maritime – Rapport méthodologique. Chaire de recherche en géoscience côtière, Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières, Université du Québec à Rimouski. Rapport remis au ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, septembre 2021, 98 p.

# Les deltas

Un delta est une accumulation de sédiments, généralement en forme d'éventail, apportés par un cours d'eau à son embouchure. Il existe des petits deltas situés sur le bas estran, des deltas formés dans les estuaires et aussi de larges accumulations qui s'étendent jusque dans la zone infralittorale. Les deltas peuvent être accompagnés d'éléments géomorphologiques de chenal estuarien, de bancs d'accumulation et de barres sableuses, pour les deltas plus vastes. On retrouve aussi des deltas de marée, formés par les courants de marée à l'entrée ou à la sortie d'un goulet (passe).



Le substrat est meuble, allant du sablo-vaseux aux galets.

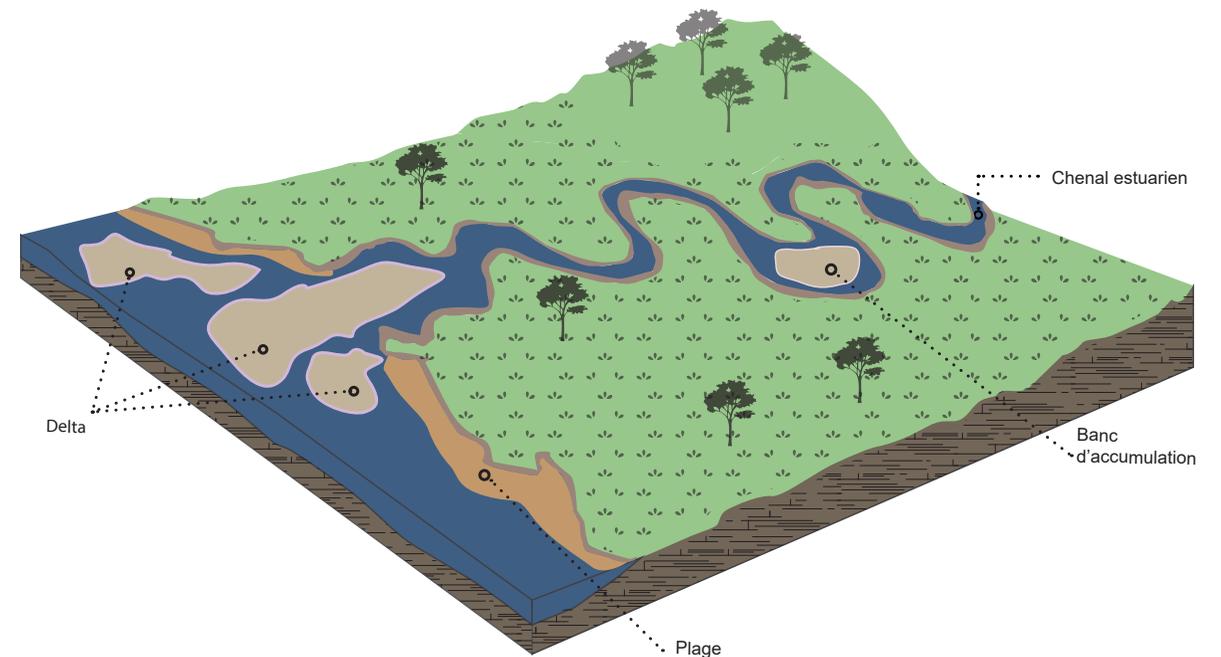


Les deltas sont majoritairement non végétalisés. Il peut y avoir, localement, de la végétation de zostère marine et des macroalgues.

Delta à l'embouchure de la rivière Mitis, Grand-Métis



Schéma d'une rivière et de ses composantes, incluant le delta à l'embouchure



## Rôles écologiques

Les écosystèmes deltaïques reçoivent d'importants apports d'intrants de deux sources à la fois. Les rivières leur fournissent des nutriments, des sédiments et de l'eau douce<sup>1</sup>, tandis que les marées lessivent les toxines végétales des sédiments et maintiennent des conditions aérobiques modérées<sup>2</sup>. Cette interaction entre les apports fluviaux et marins modèle la forme du delta. L'apport fluvial de nutriments stimule la production primaire et secondaire. L'apport d'eau douce maintient également un gradient de salinité, créant ainsi des conditions estuariennes propices à la diversité des habitats<sup>3</sup>. Ces apports fluviaux et marins se produisent par épisodes variant dans le temps et dans l'espace.

Les deltas sont des écosystèmes particulièrement vulnérables, tant aux pressions anthropiques en provenance du bassin versant et des côtes, qu'aux changements climatiques, notamment à l'augmentation du niveau marin et à l'érosion côtière<sup>4</sup>. Ces pressions et changements sont susceptibles de perturber les dynamiques sédimentaires et hydriques nécessaires au maintien de l'intégrité des deltas<sup>5,6</sup>. Cependant, l'élargissement du bas estran au niveau du delta contribue localement à atténuer l'énergie des vagues à la côte et donc à réduire l'érosion.

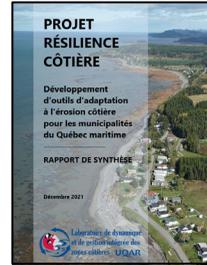
Delta à l'embouchure de la rivière Jupiter, île d'Anticosti (2017)



Delta à l'embouchure de la rivière Mingan, Havre-Saint-Pierre (2017)



Ce document a été produit dans le cadre du projet Résilience côtière. Pour lire le rapport de synthèse, cliquez ici →



Pour consulter le rapport méthodologique de la cartographie des écosystèmes côtiers, cliquez ici →



Pour visualiser la cartographie, rendez-vous sur le site internet sigec.uqar.ca ou cliquez ici →



### Delta de marée, Havre-aux-Maisons, Îles-de-la-Madeleine



### Références

- (1) Day, J. W., Boesch, D. F., Clairain, E. J., Kemp, G. P., Laska, S. B., Mitsch, W. J., ... & D. F. Whigham (2007). Restoration of the Mississippi Delta: lessons from hurricanes Katrina and Rita. *Science*, 315 (5819), 1679-1684.
- (2) Rybczyk J. M. (2005) Deltaic Ecology. In: Schwartz M.L. (eds) *Encyclopedia of Coastal Science. Encyclopedia of Earth Science Series*. Springer, Dordrecht. [https://doi.org/10.1007/1-4020-3880-1\\_113](https://doi.org/10.1007/1-4020-3880-1_113).
- (3) Day Jr, J. W., Martin, J. F., Cardoch, L. & P. H. Templet (1997). System functioning as a basis for sustainable management of deltaic ecosystems. *Coastal Management*, 25(2), 115-153.
- (4) Temmerman, S., Meire, P., Bouma, T. J., Herman, P. M., Ysebaert, T. & H. J. De Vriend (2013). Ecosystem-based coastal defence in the face of global change. *Nature*, 504(7478), 79-83.
- (5) Tessler, Z. D., Vörösmarty, C. J., Grossberg, M., Gladkova, I., Aizenman, H., Syvitski, J. P. M. & E. Foufoula-Georgiou (2015). Profiling risk and sustainability in coastal deltas of the world. *Science*, 349 (6248), 638-643.
- (6) Day Jr, J. W., Yanez-Arancibia, A., Kemp, W. M. & B. C. Crump (2013). Introduction to estuarine ecology. *Estuarine ecology*, 2, 1-19.

### Projet Résilience côtière - Référence du rapport méthodologique de la cartographie des écosystèmes côtiers

Jobin, A., Marquis, G., Provencher-Nolet, L., Gabaj Castrillo, M. J., Trubiano C., Drouet, M., Eustache-Létourneau, D., Drejza, S. Fraser, C. Marie, G. et P. Bernatchez (2021) *Cartographie des écosystèmes côtiers du Québec maritime – Rapport méthodologique*. Chaire de recherche en géoscience côtière, Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières, Université du Québec à Rimouski. Rapport remis au ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, septembre 2021, 98 p.

La plage se forme par une accumulation de sédiments perméables sur le littoral, sous l'action des vagues, des courants littoraux et du vent<sup>1</sup>. Étant des milieux dynamiques et mobiles, les plages sont peu propices à l'établissement d'une végétation. Lorsque leur partie supérieure est semi-végétalisée, on parle de « haut de plage ».

La surface des plages caractérisée dans ce projet est le haut estran, ou plage au sens strict, allant de la flexure jusqu'à la limite de la végétation dense ou à la base du talus côtier. La flexure est la rupture de pente entre le haut et le bas estran. Le profil d'une plage varie selon sa granulométrie, l'hydrodynamique des vagues et aussi selon son milieu environnant<sup>2</sup>. La largeur des plages est très variable, celles-ci pouvant être de très étroites (moins de 10 m) à très larges (plus de 30 m).

Plage, Longue-Pointe-de-Mingan (2017)



Le substrat est meuble (sable, gravier, galets, blocs), il y a aussi parfois des affleurements rocheux. Lorsqu'ils sont présents, les ouvrages construits directement (épis, jetées rocheuses) ou immédiatement en bordure terrestre (mur, enrochement) influencent fortement la composition, le bilan sédimentaire ainsi que le fonctionnement des plages.



Lorsqu'ils sont végétalisés, les hauts de plage sont partiellement recouverts de plantes annuelles et vivaces tolérantes au sel (halophytes). On y retrouve principalement des graminées, dont l'élyme des sables et l'ammophile à ligule courte, ainsi que de nombreuses autres herbacées, comme l'arroche hastée, ainsi que certains arbustes, tel le rosier sauvage. Ces plantes ont un système racinaire dense et large qui contribue à capter les sédiments.

Plage, Cloridorme (2020)



## Rôles écologiques

Bien que les plages soient dépourvues de végétation (sauf sur les hauts de plage), elles offrent un habitat productif pour des microalgues ainsi qu'une faune principalement composée de vers, de crustacés, de mollusques fouisseurs et même de poissons comme le capelan, qui fraie sur les plages de sable ou de gravier fin<sup>3,4,5</sup>. Cette faune à la base du réseau trophique est essentielle pour plusieurs espèces d'oiseaux et de poissons<sup>6</sup>. La production primaire demeure toutefois faible dans cet écosystème<sup>7</sup>.

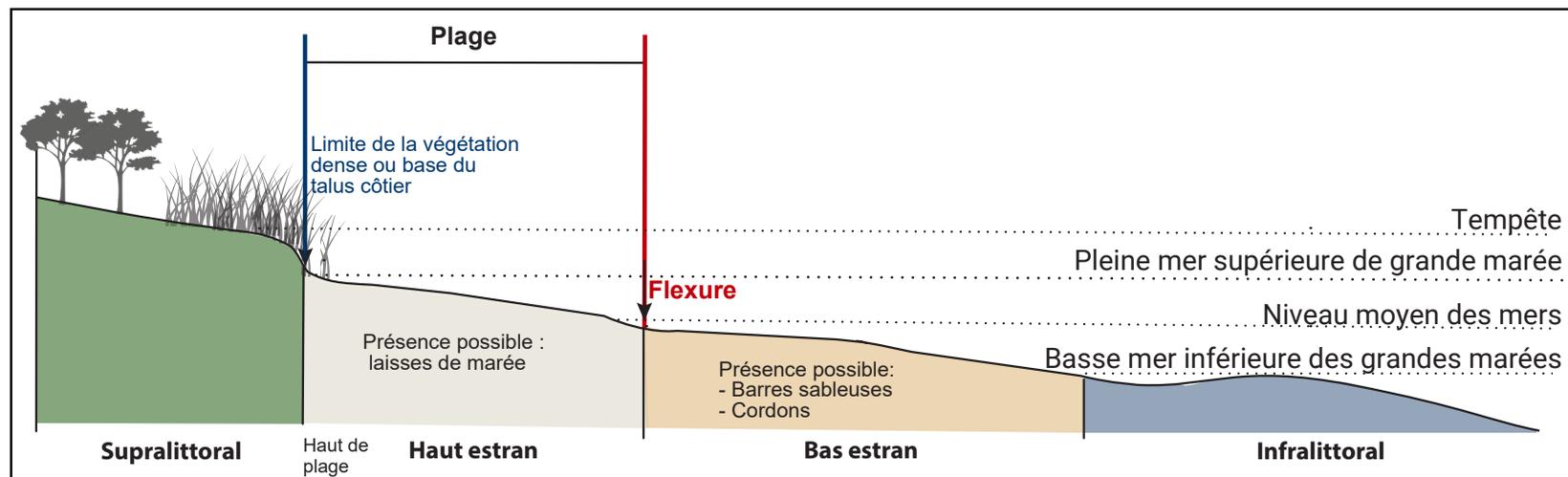
Les laisses de marée jouent un rôle clé dans la fertilisation du haut de plage, ce qui est bénéfique pour la végétation qui s'y trouve<sup>3</sup>. Ce substrat organique procure nourriture, habitat et protection pour la microfaune (bactéries aérobiques et nématodes) et la mésofaune (puces de sable, araignées-loups, mouches d'algues) qui y vivent<sup>6,8,9</sup>.

Les plages dissipent l'énergie des vagues et protègent la côte contre l'érosion et la submersion<sup>10,11</sup>. C'est un environnement où les sédiments s'accumulent et s'érodent; où l'eau est filtrée; où de nombreux oiseaux (limicoles et migrateurs) s'installent pour nidifier et où les phoques viennent mettre bas<sup>6,8</sup>. C'est par ailleurs un habitat essentiel pour le pluvier siffleur, un limicole au statut menacé, qui niche sur les plages des Îles-de-la-Madeleine<sup>12</sup>.

## Usages et services écologiques des plages

Services de support et habitats	Services d'approvisionnement
 Aire d'alimentation  Aire de nidification  Aire de repos  Aire de fraie du capelan  Concentration d'oiseaux aquatiques  Espèces floristiques menacées	 Cueillette de myes  Collecte de coquillages  Pêche à la truite de mer  Pêche au bar rayé  Pêche au maquereau
Services de régulation	Services culturels
 Réduction de l'impact des tempêtes  Purification de l'eau	 Lieux de rassemblement et de festivités  Observation d'oiseaux  Marche  Vélo à pneus surdimensionnés  Feux de grève  Site à haute valeur socio-culturelle  Planche à pagaie  Détente  Baignade  Plongée/apnée  Jeux à la plage  Site archéologique  Kayak de mer  Kitesurf  Surf  Planche à voile  Épave

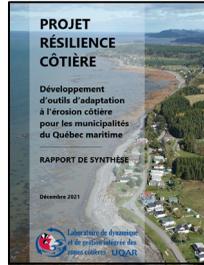
## Profil de plage



## Journée à la plage (baignade, sport, marche), Pessamit



Ce document a été produit dans le cadre du projet Résilience côtière. Pour lire le rapport de synthèse, cliquez ici →



Pour consulter le rapport méthodologique de la cartographie des écosystèmes côtiers, cliquez ici →



Pour visualiser la cartographie, rendez-vous sur le site internet sigec.uqar.ca ou cliquez ici →



Plage et mur de protection, Saint-Maxime-du-Mont-Louis (2017)



Plage très large, Îles-de-la-Madeleine (2017)



### Références

- (1) Ruessink, G. & R. Ranasinghe (2015). Beaches. Coastal Environments and Global Change, 149-177.
- (2) McCann, S. B. et R. B. Taylor (2015). Formes littorales. Encyclopédie canadienne. <https://www.thecanadianencyclopedia.ca/fr/article/formes-littorales>
- (3) Bergerard, J. (1989). Écologie des laisses de marée. Ann Biol, 28, 39-54.
- (4) Gagnon, F. et J. Luciano (2019) Portrait des frayères de capelan de la Côte-Nord et sélection des sites de restauration et de suivi. Comité ZIP Côte-Nord du Golfe, iii + 85 p. + annexes
- (5) Butler, M., Chiasson, R. D., Daury, R. W., Dean, S., Dietz, S. B., MacKinnon, N. et J. Steel (n.d.) Canada Department of Fisheries and Oceans. & Corvus Consultants. By the sea - A guide to the coastal zone of Atlantic Canada. Module 06, Sandy Beaches and Dunes.
- (6) Barbier, E. B., Hacker, S. D., Kennedy, C., Koch, E. W., Stier, A. C. & B. R. Silliman (2011). The value of estuarine and coastal ecosystem services. Ecological Monographs, 81(2), 169-193. doi:10.1890/10-1510.1
- (7) Branch, G. M. (2001). Rocky Shores. Encyclopedia of Ocean Sciences, (1992), 2427-2434. doi.org/10.1006/rwos.2001.0086
- (8) Conseil du Saint-Laurent (2017). Ses habitats côtiers. Fiche du portrait | Plan de Gestion Intégrée Régional du Conseil du Saint-Laurent.
- (9) Heppell M., Picard, I., Belisle, F. et C. Théberge (2000). Guide d'intervention en matière de protection et de mise en valeur des habitats littoraux d'intérêt de la rive nord de l'estuaire maritime. Version finale présentée au Comité ZIP de la Rive Nord de l'Estuaire. 7 p. + 13 fiches + annexes.

(10) Bernatchez, P., Fraser, C., Lefavre, D. & S. Dugas (2011). Integrating anthropogenic factors, geomorphological indicators and local knowledge in the analysis of coastal flooding and erosion hazards. Ocean & Coastal Management, 54(8): 621-632.

(11) Bernatchez, P. et C. Fraser (2012). Evolution of Coastal Defence Structures and Consequences for Beach Width Trends, Québec, Canada. Journal of Coastal Research, 28(6): 1550-1566.

(12) Environnement Canada (2009). Programme de rétablissement du pluvier siffleur (*Charadrius melodus melodus*) au Canada [Proposition], Série de Programmes de rétablissement de la Loi sur les espèces en péril. Environnement Canada, Ottawa. 54 p.

### Projet Résilience côtière - Référence du rapport méthodologique de la cartographie des écosystèmes côtiers

Jobin, A., Marquis, G., Provencher-Nolet, L., Gabaj Castrillo. M. J., Trubiano C., Drouet, M., Eustache-Létourneau, D., Drejza, S. Fraser, C. Marie, G. et P. Bernatchez (2021) Cartographie des écosystèmes côtiers du Québec maritime – Rapport méthodologique. Chaire de recherche en géoscience côtière, Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières, Université du Québec à Rimouski. Rapport remis au ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, septembre 2021, 98 p.

Un écueil est un rocher, ou un amoncellement de roches, à fleur d'eau ou faiblement émergé, sur le bas estran ou dans la zone infralittorale. Ce relief se présente parfois sous la forme d'une crête allongée, notamment dans un contexte appalachien. Un écueil peut aussi être composé de blocs glaciels ou erratiques. Dans ce projet, les surfaces caractérisées en tant qu'écueils se trouvent dans l'étagement du haut et du bas estran.

Une île est un fragment de zone supralittorale entourée d'eau, avec une présence de végétation terrestre, peu importe le taux de recouvrement végétal et la taille de cette végétation. La forme des îles varie selon leurs caractéristiques géologiques<sup>1</sup>. Les presqu'îles ressemblent aux îles mais sont rattachées au continent par une mince bande de terre recouverte par une végétation terrestre (isthme). Les surfaces caractérisées comme des îles ou des presqu'îles se trouvent dans l'étagement de la zone supralittorale. Les différents types d'écosystèmes terrestres pouvant être présents (forêt, herbaçaille, tourbière, etc.) n'ont pas été caractérisés.

Écueils à macroalgues, Baie-Johan-Beetz (2017)



Les écueils sont essentiellement rocheux, mais peuvent aussi être constitués d'un amas de blocs. La porosité de la roche influence les communautés fauniques et floristiques qui s'y établissent<sup>2</sup>.

Les îles ont très souvent un substrat rocheux et peuvent être entourées de substrat meuble.



Contrairement aux îles, les écueils sont dénués de plantes vasculaires, mais peuvent être tapissés de lichens et de macroalgues qui tolèrent le dessèchement<sup>3</sup>. Dans le bas estran, on retrouve aussi des macroalgues.

Les îles sont recouvertes d'une végétation qui varie selon l'étagement. Les hauts estrans sont pratiquement dépourvus de plantes vasculaires et la partie terrestre a été caractérisée selon la strate de végétation, soit les strates herbacée, arbustive ou arborescente.



## Algues et fucacées



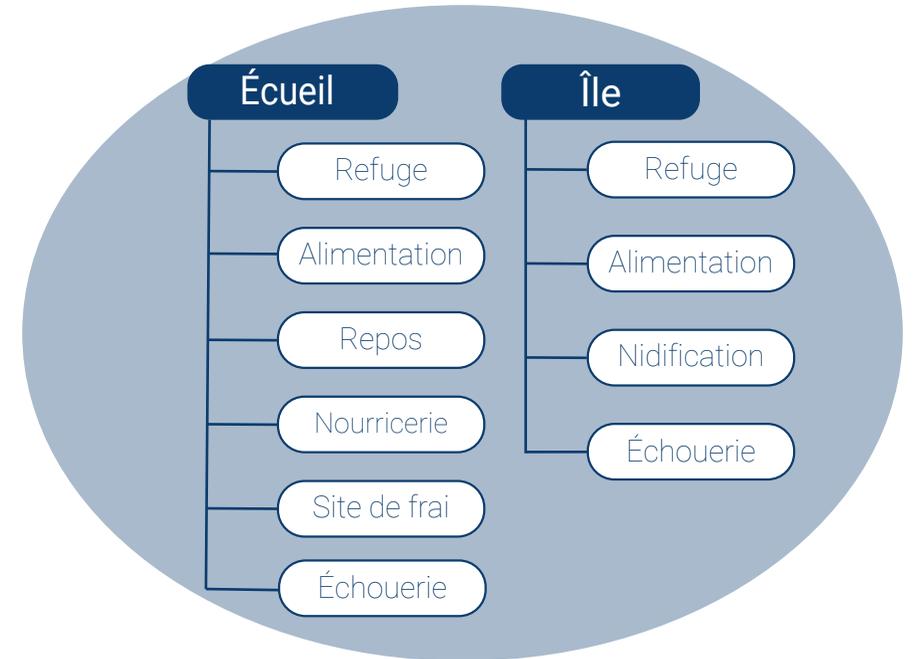
Les macroalgues constituent un habitat pour les organismes tels que des bactéries, des algues, des diatomées et des hydrozoaires. Elles abritent également une faune mobile telle que les gastéropodes et les crustacés. Les macroalgues procurent un environnement tridimensionnel complexe qui constitue aussi, pour ces organismes, un refuge contre les prédateurs et contre la dessiccation à marée basse<sup>4, 5, 6</sup>.

## Rôles écologiques

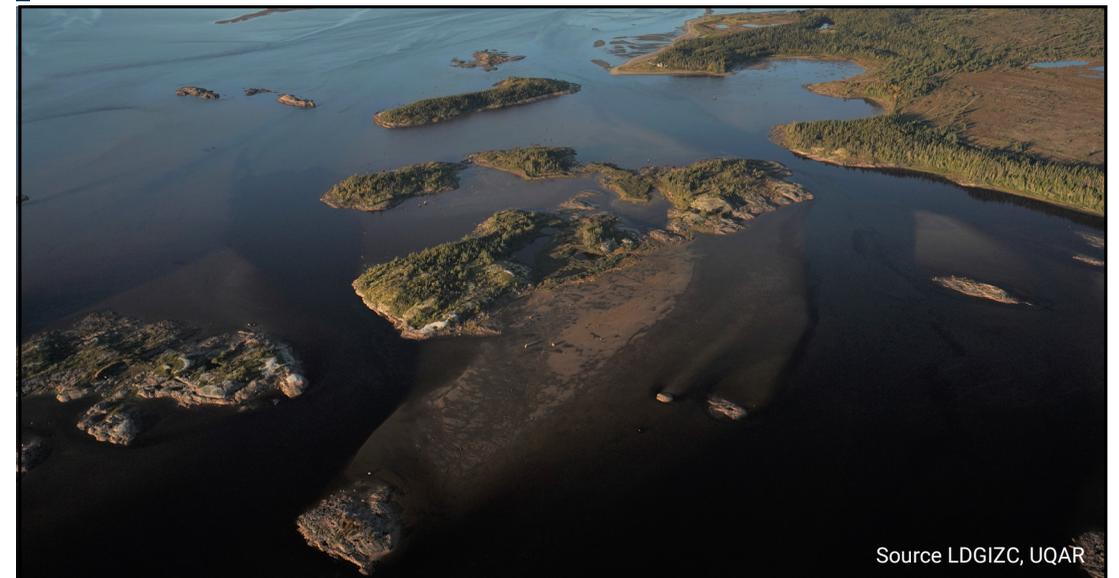
Le changement d'étagement que créent les écueils par rapport à leur environnement favorise un brassage de l'eau entre le fond et la surface, ce qui apporte de riches nutriments aux nourriceries de poissons, de moules et d'autres organismes<sup>2</sup>. En plus des rôles écologiques typiques des hauts et bas estrans rocheux, les écueils offrent un site d'alimentation, une aire de repos et de refuge, un site de frai et une nourricerie importante pour les animaux marins, tels que les phoques et les oiseaux<sup>2</sup>. Les écueils augmentent ainsi la biodiversité d'un secteur par leur complexité tridimensionnelle.

Isolées du continent, les îles favorisent la présence d'espèces spécialisées, acclimatées aux conditions environnementales rudes et changeantes qui y prévalent<sup>7</sup>. Par exemple, les Îles-de-la-Madeleine et l'Archipel-de-Mingan sont des sites de biodiversité qui font l'objet d'une reconnaissance internationale en raison de la rareté des espèces qu'on y retrouve<sup>7</sup>. En outre, les milieux insulaires sont quasi exempts de prédateurs terrestres et constituent un refuge idéal pour les espèces qui doivent parcourir de longues distances afin de se nourrir dans le vaste golfe du Saint-Laurent. On y retrouve d'importantes échoueries de phoques<sup>8</sup> et les sites de nidification de plusieurs espèces d'oiseaux coloniaux emblématiques, dont les fous de Bassan, les eiders, les sternes pierregarin et les macareux moine<sup>9,10</sup>.

## Rôles écologiques des écueils et des îles

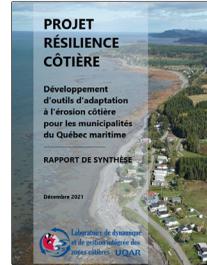


Îles avec végétation arbustive et arborescente, Havre-Saint-Pierre (2017)



Source LDGIZC, UQAR

Ce document a été produit dans le cadre du projet Résilience côtière. Pour lire le rapport de synthèse, cliquez ici →



Pour consulter le rapport méthodologique de la cartographie des écosystèmes côtiers, cliquez ici →



Pour visualiser la cartographie, rendez-vous sur le site internet sigec.uqar.ca ou cliquez ici →



### Écueil sans végétation, Baie-Johan-Beetz (2017)



Source LDGIZC, UQAR

### Références

- (1) Whittaker, R. J. (2002). *Island Biogeography*. Oxford University Press, 285 p.
- (2) Msangameno, D. J. (2016). Intertidal and Nearshore Rocky Reefs. *Regional State of the Coast Report: Western Indian Ocean*, 85–102. [https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/11349/r-socr\\_printedition.compressed\\_Part7.pdf?sequence=8&isAllowed=y](https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/11349/r-socr_printedition.compressed_Part7.pdf?sequence=8&isAllowed=y).
- (3) Satyam, K., & Thiruchitrabalam, G. (2018). *Habitat Ecology and Diversity. Biodiversity and Climate Change Adaptation in Tropical Islands*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813064-3/00007-7>.
- (4) Inaba, K. & J. M. Hall-Spencer (2020). *Japanese Marine Life*. Springer, Singapore.
- (5) Lalegerie, F., Gager, L., Stiger-Pouvreau, V. & S. Connan (2020). The stressful life of red and brown seaweeds on the temperate intertidal zone: effect of abiotic and biotic parameters on the physiology of macroalgae and content variability of particular metabolites. In *Advances in Botanical Research*, Vol. 95, pp. 247-287. Academic Press.
- (6) Tamigneaux, É. & L. E. Johnson (2016). Les macroalgues du Saint-Laurent: une composante essentielle d'un écosystème marin unique et une ressource naturelle précieuse dans un contexte de changement global. *Le Naturaliste canadien*, 140(2), 62-73.
- (7) Tardif, B., Lavoie, G. & Y. Lachance (2005). *Atlas de la biodiversité du Québec. Les espèces menacées ou vulnérables*, 60 p. <http://www.cdpnq.gouv.qc.ca/pdf/Atlas-biodiversite.pdf>

(8) Comité ZIP de la Rive Nord de l'Estuaire (N/A)

(9) Observatoire global du Saint-Laurent (2021). Banque informatisée des oiseaux marins du Québec - Espèces. <https://ogsl.ca/fr/biodiversite-oiseaux-eccc-biomq-especes/>

(10) Parcs Canada. (2017). Réserve de parc national de l'archipel-de-Mingan. [https://www.pc.gc.ca/fr/pn-np/qc/mingan/decouvrir-discover/Naturel/1-Faune\\_Wildlife](https://www.pc.gc.ca/fr/pn-np/qc/mingan/decouvrir-discover/Naturel/1-Faune_Wildlife)

### Référence du rapport méthodologique de la cartographie des écosystèmes côtiers

Jobin, A., Marquis, G., Provencher-Nolet, L., Gabaj Castrillo, M. J., Trubiano C., Drouet, M., Eustache-Létourneau, D., Drejza, S. Fraser, C. Marie, G. et P. Bernatchez (2021) *Cartographie des écosystèmes côtiers du Québec maritime – Rapport méthodologique*. Chaire de recherche en géoscience côtière, Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières, Université du Québec à Rimouski. Rapport remis au ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, septembre 2021, 73 p.

Le bas estran meuble correspond à la portion de l'estran s'étirant généralement de la flexure jusqu'à la limite inférieure des basses mers. La flexure est la rupture de pente entre le haut et le bas estran. Lorsque le bas estran meuble est vaste et présente une pente très faible, on parle plutôt d'une batture. Les battures représentent souvent une surface d'érosion<sup>1</sup> sur des dépôts anciens (argile, limon, sable), mais certaines sont des surfaces d'accumulation formées par l'action des vagues et de la dérive littorale. Une vasière est un type de batture non végétalisée ou peu végétalisée constituée majoritairement de vase<sup>2</sup>. Lorsqu'elle est contiguë à un marais, on parle plutôt d'une slikke. Ces environnements sont exposés à marée basse et submergés à marée haute<sup>3</sup>.



Le substrat du bas estran meuble et de la batture peut être composé d'argile, de limon, de sable, de gravier, de galets et de blocs. Pour la vasière et la slikke, le substrat dominant est la vase (sable fin, limon et matière organique).



Lorsqu'ils sont végétalisés, les bas estrans meubles et les battures comportent deux principaux types de végétation : la zostère marine et les macroalgues.

Batture de blocs à fucacées, La Malbaie (2017)



Bas estran meuble à zostère, Cap-Chat (2017)



## Algues et fucacées



Les macroalgues constituent un habitat pour les organismes tels que des bactéries, des algues, des diatomées et des hydrozoaires. Elles abritent également une faune mobile telle que les gastéropodes et les crustacés. Les macroalgues procurent un environnement tridimensionnel complexe qui constitue aussi, pour ces organismes, un refuge contre les prédateurs et contre la dessiccation à marée basse<sup>4, 5, 6</sup>.

## Zostère marine



Les herbiers de zostère se classent parmi les écosystèmes les plus productifs de la planète. Sa présence crée un habitat tridimensionnel de prédilection pour de nombreuses espèces d'algues, d'invertébrés et de poissons. Elle constitue également un abri contre la prédation pour plusieurs organismes, en plus d'être une composante importante du régime alimentaire de plusieurs oiseaux migrateurs aquatiques.

La zostère contribue à la structure physique des milieux et peut notamment contribuer à limiter l'érosion de la côte. En outre, les herbiers de zostère filtrent la colonne d'eau, stabilisent les sédiments, créent une zone tampon et diminuent l'énergie des vagues<sup>7</sup>.

## Rôles écologiques

Les bas estrans meubles et les battures, particulièrement avec un substrat sableux, se classent parmi les types de côtes les plus résilients en raison de leur capacité à absorber l'énergie des vagues<sup>8</sup>. Ces deux écosystèmes sont caractérisés principalement par une végétation de microalgues benthiques et de phytoplancton<sup>8</sup>. La production primaire de ces organismes représente une importante source de nourriture stable pour une grande variété d'organismes. La macrofaune benthique s'y compose majoritairement de crustacés, de mollusques et de polychètes (vers)<sup>9</sup>. Celle-ci constitue une alimentation de prédilection pour les vertébrés supérieurs<sup>10</sup> tels que certaines espèces de poissons et particulièrement les oiseaux résidents ou en migration.

D'un point de vue physique, les sédiments poreux jouent un rôle de filtration de l'eau. Ils contribuent à la minéralisation de la matière organique et favorisent le recyclage des nutriments<sup>10</sup>. En permettant une rétention d'eau, ces sédiments génèrent une zone tampon qui permet d'atténuer les variations de température et de salinité<sup>11</sup>.

## Vasière

Les vasières sont des écosystèmes très productifs dus à la combinaison des microalgues et bactéries<sup>2,12</sup>. Les microalgues (biofilm) génèrent une forte activité photosynthétique (production primaire), alors que les bactéries benthiques jouent un rôle clef dans la minéralisation de la matière organique en nutriments inorganiques essentiels à la vie (carbone, azote, phosphore)<sup>2,13</sup>.

Les vasières servent de nourricerie pour les mollusques, les poissons, les gastéropodes, les crustacés et les vers, ce qui attire les oiseaux de rivage et migrateurs<sup>12</sup>. Elles captent le carbone, produisent de l'oxygène et protègent la côte en atténuant l'énergie des vagues et des courants<sup>14</sup>.

Des chenaux de marées présents dans ces écosystèmes constituent des passages pour les échanges de sédiments et de nutriments, pour différents organismes, ainsi que la matière détritique.

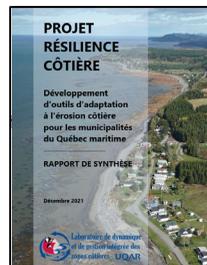
Schéma d'un milieu côtier avec une batture



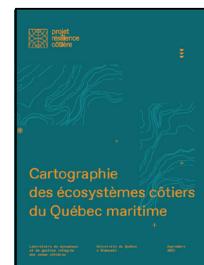
Vasière, Escuminac (2017)



Ce document a été produit dans le cadre du projet Résilience côtière. Pour lire le rapport de synthèse, cliquez ici →



Pour consulter le rapport méthodologique de la cartographie des écosystèmes côtiers, cliquez ici →



Pour visualiser la cartographie, rendez-vous sur le site internet sigec.uqar.ca ou cliquez ici →



Batture sablo-vaseuse non végétalisée, Pointe-Lebel (2017)



Source LDGIZC, UQAR

### Références

- (1) Dionne, J. C. (2007). La batture de l'anse au Sable à Rimouski: un estran typique de la rive sud de l'estuaire maritime du Saint-Laurent, Québec. *Géographie Physique et Quaternaire*, 61(2-3), 195-210. doi.org/10.7202/038992ar
- (2) Howard, J., Hoyt, S., Isensee, K., Pidgeon, E., Telszewski, M., Newsletter, N. W. et P. G. B. Editor (2014). Mud at ecology. *Conservation International* (Vol. 36).
- (3) Rogers, K. et C. D. Woodroffe (2015). Tidal flats and salt marshes. *Coastal Environments and Global Changes*, 227-250.
- (4) Inaba, K. et J. M. Hall-Spencer (2020). *Japanese Marine Life*. Springer Nature, Singapore. 367 p.
- (5) Lalegerie, F., Gager, L., Stiger-Pouvreau, V. et S. Connan (2020). The stressful life of red and brown seaweeds on the temperate intertidal zone: effect of abiotic and biotic parameters on the physiology of macroalgae and content variability of particular metabolites. In *Advances in Botanical Research* (Vol. 95, pp. 247-287). Academic Press.
- (6) Tamigneaux, É. & L. Johnson (2016). Les macroalgues du Saint-Laurent: une composante essentielle d'un écosystème marin unique et une ressource naturelle précieuse dans un contexte de changement global. *Le Naturaliste canadien*, 140(2), 62-73.
- (7) MPO. 2012. Définitions de détérioration, destruction ou perturbation (DDP) de l'habitat de la zostère (*Zostera marina*). Secr. can. de consult. sci. du MPO, Avis sci. 2011/058.
- (8) Brown, A. C. et A. McLachlan (2010). *The ecology of sandy shores*. Elsevier. Academic Press 2006. eBook ISBN: 9780080465098, 392 p.
- (9) Defeo, O. et A. McLachlan (2005). Patterns, processes and regulatory mechanisms in sandy beach macrofauna: a multi-scale analysis. *Marine Ecology Progress Series*, 295, 1-20.
- (10) Schlacher, T. A., Schoeman, D. S., Dugan, J., Lastra, M., Jones, A., Scapini, F. et A. McLachlan (2008). Sandy beach ecosystems: key features, sampling issues, management challenges and climate change impacts. *Marine ecology*, 29, 70-90
- (11) Chabot, R. et A. Rossignol (2003). Algues et faune du littoral du Saint-Laurent maritime: guide d'identification. Institut des sciences de la mer (Université du Québec à Rimouski) et Institut Maurice-Lamontagne (Pêches et Océans Canada), Mont-Joli, 113 p.
- (12) Dame, R.F. (2008). Estuaries. In: B.D. Fath & S.E. Jorgensen (Eds) *Encyclopedia of ecology*, pp 1407-1413.
- (13) Lavaud, J. (2011). Les vasières littorales charentaises : du photo-système à l'écosystème. *Microscop*, Journal du CNRS. 62: 12.
- (14) Littoral ENvironnement et Sociétés (LIENSS) (2021, 08 juin). La vasière intertidale. [lienss.univ-larochelle.fr/publications-lienss](https://lienss.univ-larochelle.fr/publications-lienss).

### Projet Résilience côtière - Référence du rapport méthodologique de la cartographie des écosystèmes côtiers

Jobin, A., Marquis, G., Provencher-Nolet, L., Gabaj Castrillo, M. J., Trubiano C., Drouet, M., Eustache-Létourneau, D., Drejza, S. Fraser, C. Marie, G. et P. Bernatchez (2021) Cartographie des écosystèmes côtiers du Québec maritime – Rapport méthodologique. Chaire de recherche en géoscience côtière, Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières, Université du Québec à Rimouski. Rapport remis au ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, septembre 2021, 98 p.

Par définition, les hauts estrans rocheux ont un substrat dur et stable<sup>1</sup>. Ce sont des vestiges d'ères géologiques précédentes, dont le profil a été façonné par les anciens niveaux de la mer et qui continuent d'être façonnés par le niveau marin actuel<sup>1</sup>. Les hauts estrans rocheux peuvent prendre plusieurs formes (escalier, pente, etc.).

D'apparence immuable, les hauts estrans rocheux sont tout de même sujets à une érosion dont l'intensité varie selon le type de roche, de sorte qu'ils contribuent eux aussi à l'apport sédimentaire des plages et des autres écosystèmes avoisinants<sup>2</sup>.

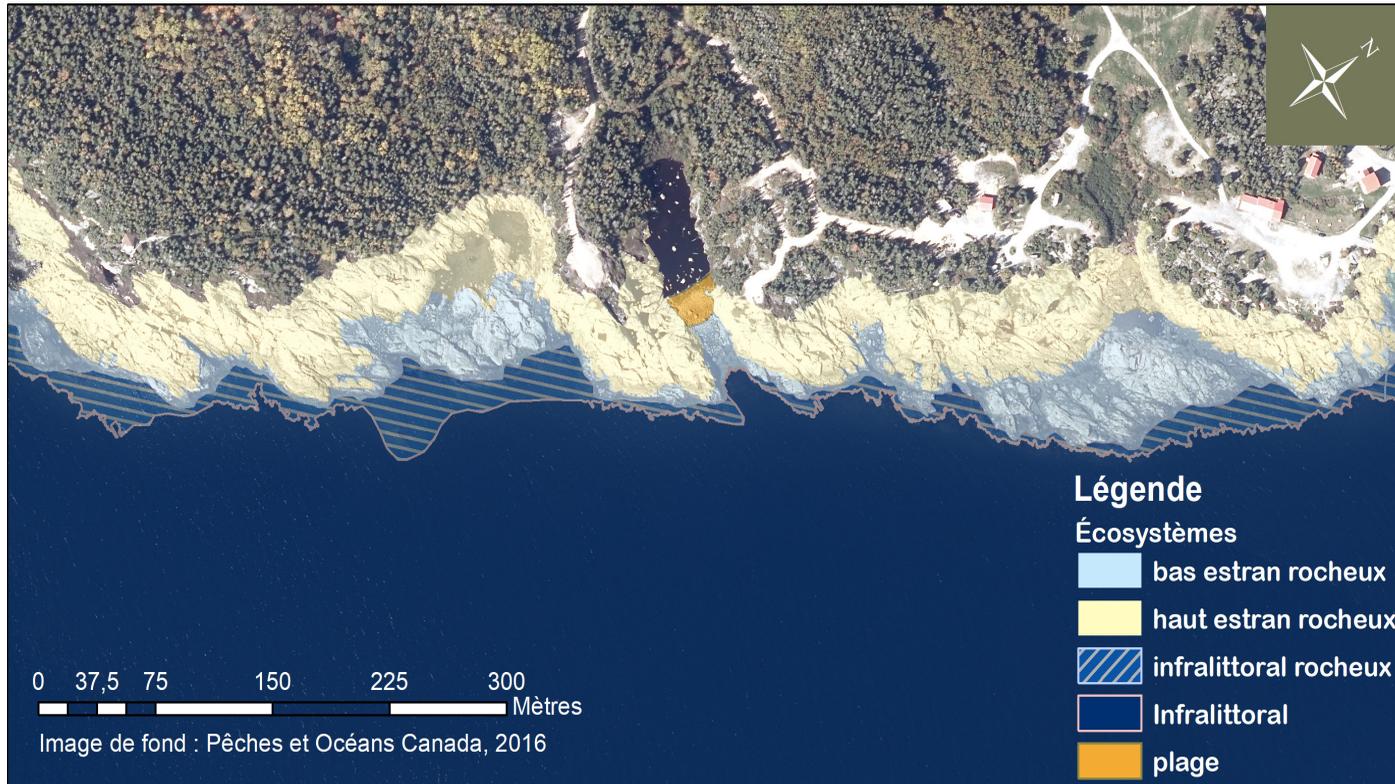


Leur substrat est principalement rocheux, mais il peut comporter des placages de sédiments meubles. Le type de roche influence les communautés de végétaux et la faune qui s'y installent, ainsi que sa résistance aux processus d'érosion<sup>2,3</sup>.



Les hauts estrans rocheux sont peu propices à l'installation d'une flore vasculaire, qu'on ne retrouve que dans les endroits où la matière organique a pu s'accumuler. On y retrouve surtout des lichens et quelques macroalgues. La limite entre le haut et le bas estran étant difficile à déterminer pour les estrans rocheux, c'est la densité des macroalgues qui a servi à établir la limite entre les deux étagements aux fins de ce projet, celles-ci étant plus abondantes dans les milieux plus longuement submergés associés au bas estran.

Cartographie d'un haut estran rocheux, Les Bergeronnes



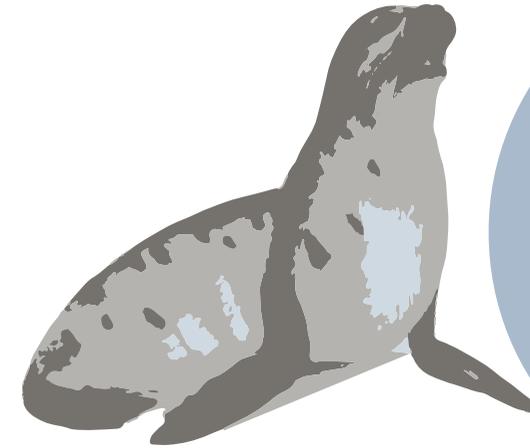
Haut estran rocheux, Les Bergeronnes



## Rôles écologiques

Les estrans rocheux sont des milieux de grande biodiversité, car ils accueillent de nombreuses variétés d'espèces et de fortes densités de population<sup>4</sup>. L'hétérogénéité du substrat rocheux crée un large éventail d'habitats où vivent des organismes relativement petits, sessiles ou sédentaires et facilement visibles en bandes<sup>1,4,5</sup>. Les cuvettes, dépressions présentes dans la roche, retiennent l'eau de marée et avec elle plusieurs organismes qui ne seraient autrement pas présents à cette hauteur de l'estran.

Comme dans la plupart des écosystèmes côtiers, la disposition des communautés fauniques et floristiques suit les zones d'exposition aux marées. Les organismes situés dans la partie supérieure de l'estran sont plus sujets à des stress environnementaux tels que le dessèchement, le changement de salinité et la prédation par les oiseaux ou autres prédateurs terrestres<sup>4</sup>. Le haut estran est particulièrement dominé par les balanes, les patelles et certaines algues tolérantes au dessèchement<sup>1,4</sup>. Les hauts estrans rocheux sont aussi une aire de repos, d'alevinage et de refuge pour les oiseaux et les pinnipèdes (phoques)<sup>6</sup>.



### Habitat

Refuge

Alimentation

Repos

Alevinage

Haut estran rocheux, Port-Cartier



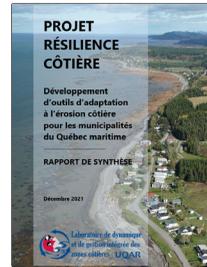
Balanes implantées sur un haut estran rocheux



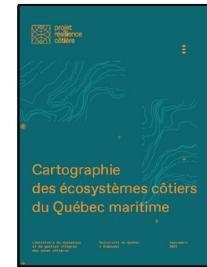
Deux hauts estrans rocheux abritant une plage sableuse, Les Escoumins



Ce document a été produit dans le cadre du projet Résilience côtière. Pour lire le rapport de synthèse, cliquez ici →



Pour consulter le rapport méthodologique de la cartographie des écosystèmes côtiers, cliquez ici →



Pour visualiser la cartographie, rendez-vous sur le site internet sigec.uqar.ca ou cliquez ici →



## Haut estran rocheux, Port-Cartier



Source LDGIZC, UQAR

## Références

- (1) Branch, G. M. (2001). Rocky Shores. Encyclopedia of Ocean Sciences, (1992), 2427–2434. doi.org/10.1006/rwos.2001.0086.
- (2) Stephenson, W. (2015). Rock Coasts. Coastal Environments and Global Change, 356-378.
- (3) Brehaut, R. N. (1982). Ecology of Rocky Shores, Studies in Biology (139), 58 p.
- (4) Satyam, K. & G. Thiruchitrambalam (2018). Habitat Ecology and Diversity. Biodiversity and Climate Change Adaptation in Tropical Islands. Elsevier Inc. doi.org/10.1016/B978-0-12-813064-3/00007-7.
- (5) de la Huz, R., Lastra, M. & J. López (2011). Oil Spills. Encyclopedia of Environmental Health, 251–255. doi.org/10.1016/B978-0-444-52272-6.00568-7.
- (6) Msangameno, D. J. (2016). Intertidal and Nearshore Rocky Reefs. Regional State of the Coast Report: Western Indian Ocean, 85–102. Retrieved from wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/11349/r-socr\_printedition.compressed\_Part7.pdf

## Référence du rapport méthodologique de la cartographie des écosystèmes côtiers

Jobin, A., Marquis, G., Provencher-Nolet, L., Gabaj Castrillo, M. J., Trubiano C., Drouet, M., Eustache-Létoir, D., Drejza, S. Fraser, C. Marie, G. et P. Bernatchez (2021) Cartographie des écosystèmes côtiers du Québec maritime – Rapport méthodologique. Chaire de recherche en géoscience côtière, Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières, Université du Québec à Rimouski. Rapport remis au ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, septembre 2021, 98 p.

Au Québec, un chenal estuarien est la portion aval d'une rivière qui se jette dans l'estuaire ou dans le golfe du Saint-Laurent. Les marées y font varier le niveau d'eau et la marée haute fait remonter de l'eau salée dans une portion du chenal. Il s'agit donc d'un environnement dynamique qui évolue rapidement selon le débit de la rivière, le volume d'eau, ainsi que la pente. Un chenal est généralement plus étroit en amont et s'élargit en aval<sup>1</sup>. Des bancs d'accumulation sont parfois présents dans le chenal et, selon la dynamique sédimentaire de la rivière, on retrouve parfois un delta à son embouchure.



Le substrat varie selon le milieu dans lequel le chenal se creuse, mais le lit de la rivière est majoritairement meuble.

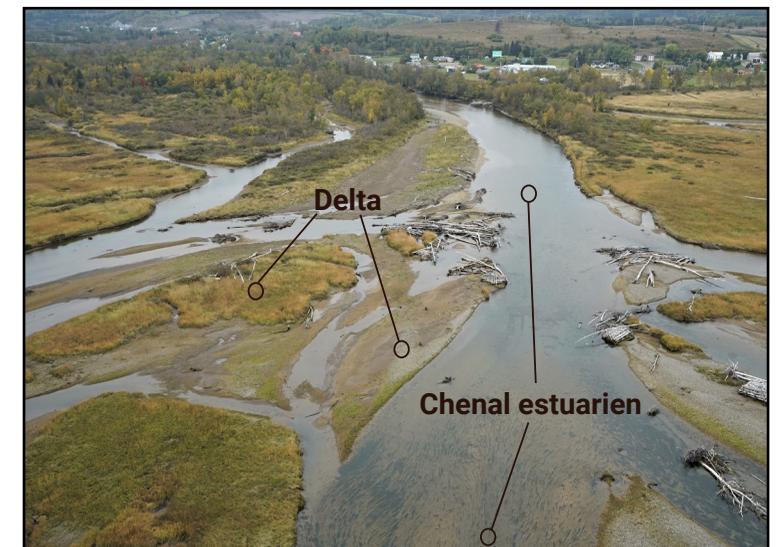


Étant donné que ce milieu est dynamique et parfois profond, la végétation des chenaux est peu abondante. En présence de végétation de zostère ou de macroalgues, le recouvrement demeure faible. Dans les zones de plus faible salinité, les herbiers sont plutôt constitués de ruppie maritime et d'autres plantes vasculaires, en particulier de la famille des potamogetonacées.

Estuaire de la rivière Betsiamites, Pessamit



Chenal estuarien et delta de la rivière Nouvelle, Nouvelle

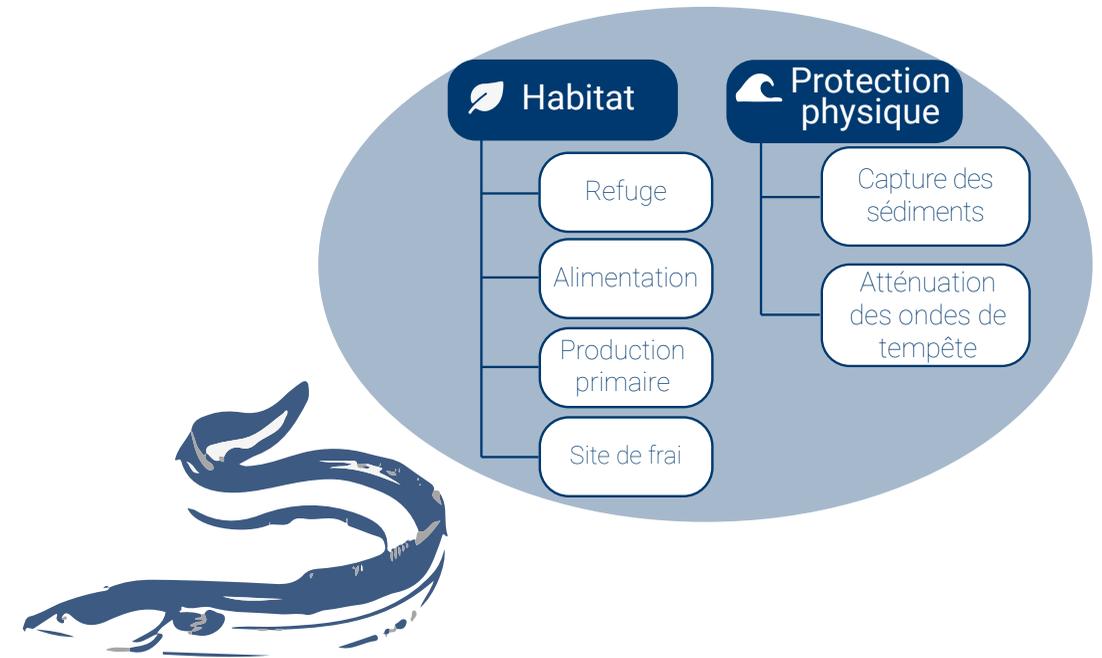


## Rôles écologiques

Dans un chenal estuarien, la rencontre de l'eau douce et de l'eau salée entraîne des échanges de nutriments (carbone, azote, phosphore), d'organismes et de sédiments qui créent des conditions physico-chimiques et des propriétés biologiques qui varient en fonction d'un gradient de salinité<sup>1, 2, 3</sup>. La productivité primaire assurée par le phytoplancton, la zostère, les macroalgues et les algues benthiques est influencée par la turbidité de l'eau, ainsi que par la profondeur à laquelle pénètre la lumière. La végétation peut s'établir dans des zones peu profondes où les courants sont moins forts<sup>1</sup>. La faible profondeur d'eau et la forte concentration de sédiments en suspension favorisent une chaîne alimentaire principalement détritivore, où les invertébrés benthiques jouent un rôle crucial dans le cycle d'énergie<sup>1</sup>. Ces organismes constituent à leur tour une importante source d'alimentation pour divers réseaux trophiques supérieurs, dont les poissons et les oiseaux, ainsi que pour des espèces migratrices telles que l'anguille d'Amérique et le saumon de l'Atlantique<sup>4, 5</sup>. Ce sont des sites d'alimentation, de refuge ou de frai pour de nombreuses espèces<sup>1</sup>.

En fonction de sa charge sédimentaire, le chenal peut comprendre des bancs d'accumulation qui sont généralement mobiles, mais dont certains peuvent devenir végétalisés suite à l'implantation de plantes herbacées, voire d'arbustes ou d'arbres. Cette végétation capte des sédiments fins qui contribuent à les consolider encore davantage<sup>6</sup>. Les chenaux estuariens, selon leur largeur et leur profondeur, peuvent aussi jouer un rôle clé dans l'atténuation des ondes de tempêtes<sup>7</sup>.

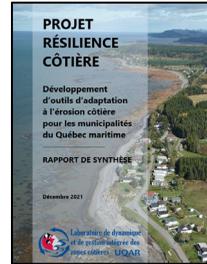
La modification anthropique des chenaux estuariens par le dragage ou l'artificialisation des berges peut entraîner des conséquences écomorphologiques qui se répercutent dans d'autres écosystèmes côtiers, en plus de modifier les régimes hydriques et sédimentaires des chenaux<sup>8</sup>.



Chenal estuarien de la rivière des Petites Bergeronnes, Les Bergeronnes



Ce document a été produit dans le cadre du projet Résilience côtière. Pour lire le rapport de synthèse, cliquez ici →



Pour consulter le rapport méthodologique de la cartographie des écosystèmes côtiers, cliquez ici →



Pour visualiser la cartographie, rendez-vous sur le site internet sigec.uqar.ca ou cliquez ici →



Chenal estuarien de la rivière Dartmouth, Gaspé



## Références

- (1) Day, J. W. Jr., Yanez-Arancibia, A., Kemp, W. M. and B. C. Crump, Eds. (2012). Estuarine Ecology, 2nd Edition, Wiley-Blackwell, 568 p.
- (2) Pérès, J.-M. (1974). Considérations sur l'écologie des estuaires. La Houille Blanche, 60(1-2), 107-111. doi.org/10.1051/lhb/1974010.
- (3) Ducrotoy, J. P., Michael, E., Cutts, N. D., Franco, A., Little, S., Mazik, K. et M. Wilkinson (2019). Temperate Estuaries: Their Ecology Under Future Environmental Changes. Coasts and Estuaries: The Future. Elsevier Inc. doi.org/10.1016/B978-0-12-814003-1.00033-2.
- (4) Winkler, G., Cabrol, J. et J. B. Favier (2016). La diversité, la répartition et l'écologie du complexe d'espèces cryptiques *Eurytemora affinis*, dans la zone d'alevinage de l'estuaire moyen du Saint-Laurent. Le Naturaliste Canadien, 140(2), 7-18. doi.org/10.7202/1036498ar.
- (5) Fédération canadienne de la faune (2021, 10 juin). Languille d'Amérique. www.hww.ca/fr/faune/poissons-amphibiens-reptiles/languille-damerique.html
- (6) Degoutte, G. (2007). Formes naturelles des rivières; ripisylve; évolution des berges. Notes de cours, 1-22.
- (7) Stark, J., Plancke, Y., Ides, S., Meire, P. et S. Temmerman (2016). Coastal flood protection by a combined nature-based and engineering approach: Modeling the effects of marsh geometry and surrounding dikes. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 175, 34-45.
- (8) de Vet, P. L. M., van Prooijen, B. C., Colosimo, I., Ysebaert, T., Herman, P. M. J. et Z. B. Wang (2020). Sediment Disposals in Estuarine Channels Alter the Ecomorphology of Intertidal Flats. Journal of Geophysical Research: Earth Surface, 125(2). doi.org/10.1029/2019JF005432.

## Projet Résilience côtière - Référence du rapport méthodologique de la cartographie des écosystèmes côtiers

Jobin, A., Marquis, G., Provencher-Nolet, L., Gabaj Castrillo, M. J., Trubiano C., Drouet, M., Eustache-Létourneau, D., Drejza, S. Fraser, C. Marie, G. et P. Bernatchez (2021). Cartographie des écosystèmes côtiers du Québec maritime – Rapport méthodologique. Chaire de recherche en géoscience côtière, Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières, Université du Québec à Rimouski. Rapport remis au ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, septembre 2021, 98 p.

La zone infralittorale est située sous la limite des plus basses marées. Constamment submergée, cette zone dont la profondeur varie entre 0 et 30 m (hydrographique) est difficile à caractériser puisque, même à profondeur égale, la pénétration de la lumière n'y est pas homogène. Le substrat de la zone infralittorale peut être meuble ou rocheux, mais souvent il n'est pas possible de l'identifier. Cette zone se poursuit en s'éloignant des côtes et n'a pas été cartographiée dans son entièreté (minimum de 500 m de la côte ou jusqu'à la zone visible).

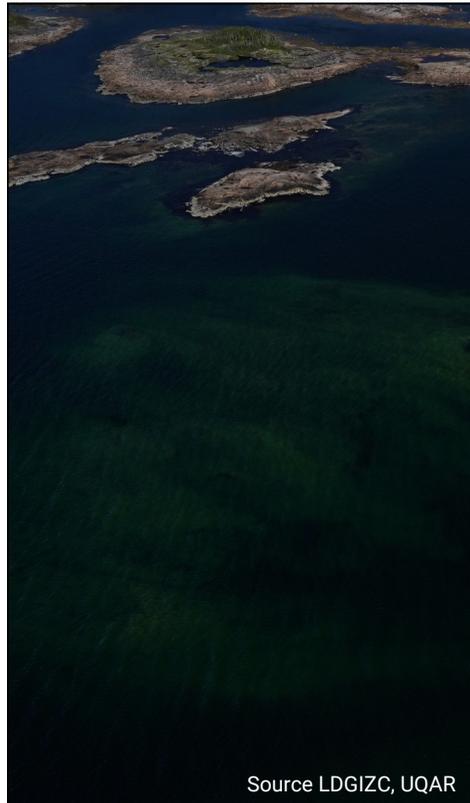


Le substrat de la zone infralittorale peut être rocheux, rocheux avec placages, ou meuble. Le type de substrat influence les communautés floristiques et fauniques qui s'établissent dans cet écosystème.



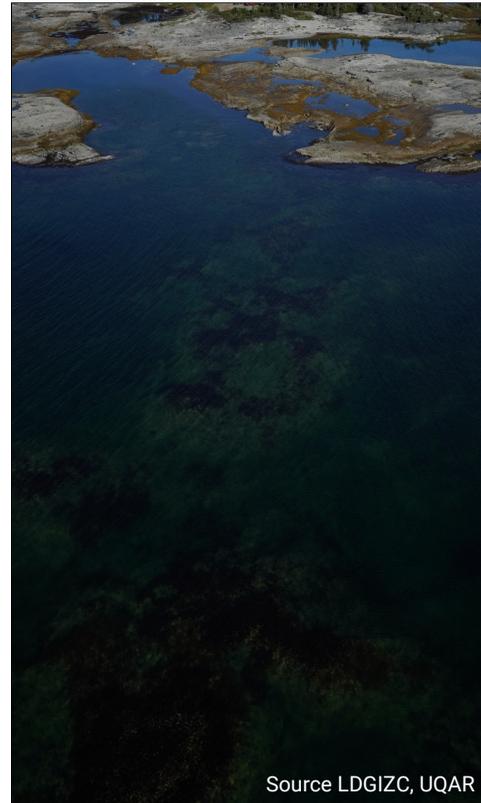
On y retrouve des macroalgues en abondance. La zostère marine est aussi parfois présente dans les milieux sableux, à proximité du bas estran.

Infralittoral rocheux,  
Havre-Saint-Pierre (2017)



Source LDGIZC, UQAR

Infralittoral rocheux à macroalgues,  
Havre-Saint-Pierre (2017)



Source LDGIZC, UQAR

Positionnement de l'infralittoral meuble dans un système côtier,  
Sainte-Anne-des-Monts (2017)



Source LDGIZC, UQAR

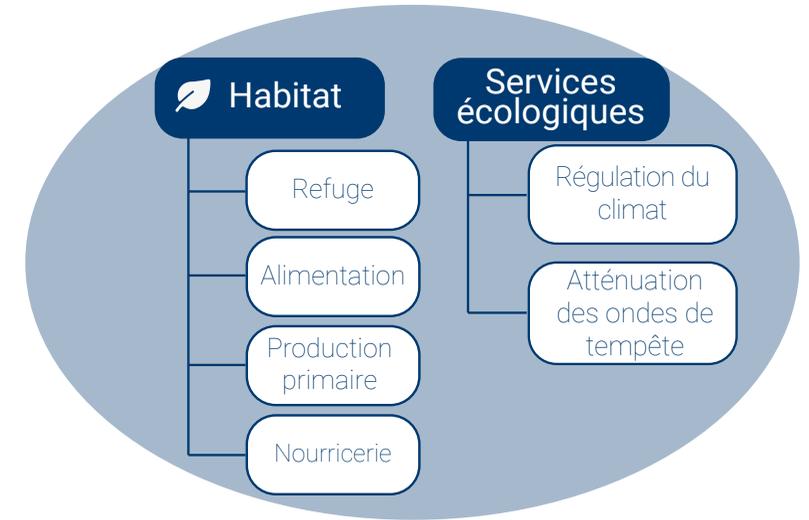
## Rôles écologiques

La zone infralittorale est un écosystème essentiel sur le plan écologique puisqu'elle constitue la transition entre la mer et la côte et contribue à la séquestration du carbone et à la production d'oxygène<sup>1</sup>. Ses conditions abiotiques, comme la disponibilité de la lumière, de l'oxygène et la température, y varient en fonction de la profondeur<sup>2</sup> et les organismes y vivent soit dans la colonne d'eau (pélagique), soit au fond, sur ou dans le sédiment (benthique)<sup>3</sup>. Sa forte concentration en substances nutritives dissoutes permet une importante production primaire<sup>3</sup>. Cette zone de couplage pélogo-benthique est un important site d'alevinage, d'alimentation et de croissance pour divers poissons et invertébrés, ainsi que pour les oiseaux qui s'en nourrissent<sup>3</sup>. Sa proximité avec la côte la rend particulièrement sensible aux perturbations anthropiques (pollution, infrastructures, exploitation des ressources). Les eaux côtières peu profondes sont aussi de plus en plus exposées à des extrêmes hydrologiques, par exemple, des décharges d'eau douce élevées, des inondations soudaines et des vagues de chaleur<sup>4</sup>. Paradoxalement, la zone côtière peu profonde est très peu documentée.



## Algues et fucacées

Les macroalgues constituent un habitat pour les organismes tels que des bactéries, des algues, des diatomées et des hydrozoaires. Elles abritent également une faune mobile telle que les gastéropodes et les crustacés. Les macroalgues procurent un environnement tridimensionnel complexe qui constitue aussi, pour ces organismes, un refuge contre les prédateurs et contre la dessiccation à marée basse<sup>5,6,7</sup>.

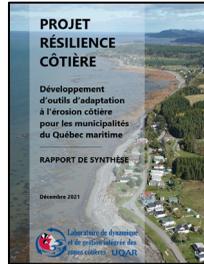


## Zostère marine

Les herbiers de zostère se classent parmi les écosystèmes les plus productifs de la planète. Sa présence crée un habitat tridimensionnel de prédilection pour de nombreuses espèces d'algues, d'invertébrés et de poissons. Elle constitue également un abri contre la prédation pour plusieurs organismes, en plus d'être une composante importante du régime alimentaire de plusieurs oiseaux migrateurs aquatiques.

La zostère contribue à la structure physique des milieux et peut notamment contribuer à limiter l'érosion de la côte. En outre, les herbiers de zostère filtrent la colonne d'eau, stabilisent les sédiments, créent une zone tampon et diminuent l'énergie des vagues<sup>8</sup>.

Ce document a été produit dans le cadre du projet Résilience côtière. Pour lire le rapport de synthèse, cliquez ici →



Pour consulter le rapport méthodologique de la cartographie des écosystèmes côtiers, cliquez ici →



Pour visualiser la cartographie, rendez-vous sur le site internet sigec.uqar.ca ou cliquez ici →



Infralittoral meuble à zostère, Gaspé (2017)



Source LDGIZC, UQAR

### Références

- (1) Barbier, E. B. (2017). Marine Ecosystem Services. *Current Biology*, 27(11), R507–R510. doi.org/10.1016/j.cub.2017.03.020
- (2) Biosphere, O. O. (n.d.). Lesson II : The Ocean Biosphere : From Microbes to Mammals. [www.marine.usf.edu/pjoccean/packets/f98/f98u1le2.pdf](http://www.marine.usf.edu/pjoccean/packets/f98/f98u1le2.pdf)
- (3) Canada Department of Fisheries and Oceans (1996). By the sea - a guide to the coastal zone of Atlantic Canada. Module 2, To the horizon - the nearshore. Butler M. et al. (pdf), [https://publications.gc.ca/collections/collection\\_2019/mpo-dfo/Fs23-289-1996-2-eng.pdf](https://publications.gc.ca/collections/collection_2019/mpo-dfo/Fs23-289-1996-2-eng.pdf)
- (4) Gasiunaite, Z., Margonski, P. & J. Gilibert, Eds. (2021). Plankton Ecology in Shallow Coastal Waters. Special Issue, *Water*. [www.mdpi.com/journal/water/special\\_issues/Plankton\\_Ecology\\_Waters](http://www.mdpi.com/journal/water/special_issues/Plankton_Ecology_Waters)
- (5) Tamigneaux, É. & L. Johnson (2016). Les macroalgues du Saint-Laurent: une composante essentielle d'un écosystème marin unique et une ressource naturelle précieuse dans un contexte de changement global. *Le Naturaliste canadien*, 140(2), 62-73.
- (6) Inaba, K. & J. M. Hall-Spencer (2020). *Japanese Marine Life*. Springer Singapore. 367 p.
- (7) Lalegerie, F., Gager, L., Stiger-Pouvreau, V. & S. Connan (2020). The stressful life of red and brown seaweeds on the temperate intertidal zone: effect of abiotic and biotic parameters on the physiology of macroalgae and content variability of particular metabolites. In *Advances in Botanical Research* (Vol. 95, pp. 247-287). Academic Press.
- (8) Kennish, M. J., & Paerl, H. W. (Eds.). (2010). *Coastal lagoons: critical habitats of environmental change*. CRC Press. 377–387. <https://doi.org/10.1139/f98-181>.

### Projet Résilience côtière - Référence du rapport méthodologique de la cartographie des écosystèmes côtiers

Jobin, A., Marquis, G., Provencher-Nolet, L., Gabaj Castrillo, M. J., Trubiano C., Drouet, M., Eustache-Létourneau, D., Drejza, S. Fraser, C. Marie, G. et P. Bernatchez (2021). Cartographie des écosystèmes côtiers du Québec maritime – Rapport méthodologique. Chaire de recherche en géoscience côtière, Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières, Université du Québec à Rimouski. Rapport remis au ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, septembre 2021, 98 p.

*Annexe D : Règles générales pour déterminer les noms d'écosystèmes détaillés*

Trois étapes sont nécessaires pour arriver à un nom d'écosystèmes détaillés. Premièrement voici les règles de base et les cas spéciaux de la 1re étape.

Règles générales :

- Les noms détaillés prennent normalement la forme :  
géosystème + « de » +substrat 1
  - Plage de gravier
- La végétation d'un polygone sera nommée que si le pourcentage de couverture végétale est supérieur à 25 %. Alors on ajoutera le « à » et le *vg\_type* à la fin du nom. En cas contraire, aucune végétation n'est indiquée
  - Plage de gravier à plante(s) vasculaire(s) indifférenciée(s)
- Lorsque le substrat 1 est « anthropique », la mention *anthropisé (e)* à la fin du nom sera indiquée :
  - Plage de gravier à plante(s) vasculaire(s) indifférenciée(s) anthropisé (e)
- Lorsqu'un élément géomorphologique de cordon de bas estran, cordon de basse mer, cordon infralittoral ou cordon transversal est présent, le nom sera ce dernier avec son substrat et sa végétation si applicable.
  - Cordon de bas estran de bloc à fucacées

Par la suite, plusieurs cas spéciaux sont à voir. Puisque certains systèmes géomorphologiques ont déjà leur substrat d'inscrit, il faut aller les nommer à l'aide d'autres attributs, pour éviter une redondance (*c.-à-d.* haut estran rocheux de rocheux). D'autres particularités doivent être notées.

Haut estran rocheux, bas estran rocheux, platier, infralittoral rocheux, vasière, slikke :

Les règles générales s'appliquent, cependant, le substrat ne sera pas ajouté au nom. Seulement le géosystème sera indiqué.

Le substrat sera indiqué dans le nom seulement en présence d'un élément géomorphologique de cordons. La règle générale s'appliquera alors.

- Cordon de bas estran à blocs...

Schorre supérieur et inférieur :

La végétation est toujours inscrite dans le nom d'écosystème en présence d'un marais, peu importe le pourcentage de couverture végétale. Cependant, le nom s'exprimera plutôt ainsi :

- Marais (sup) à plantes vasculaires mixtes
- Marais (inf) à spartine alterniflore

Les mêmes règles générales s'appliquent en présence d'un substrat anthropisé

- Marais (sup) à plantes vasculaires mixtes anthropisé (e)

Marécage :

La végétation sera toujours inscrite aussi dans le nom et les règles générales s'appliquent.

Dans l'infralittoral :

Puisqu'il est difficile par photo-interprétation de déterminer le substrat précisément, il est toutefois possible de faire une discrimination entre un substrat meuble et rocheux.

- Lorsque le substrat est *nd*, mais qu'un géosystème est déterminé, le nom prendra que le géosystème. Les mêmes règles de bases s'appliquent tout de même pour le reste.
  - Infralittoral meuble ou infralittoral rocheux à algues indifférenciées.

Géosystème de chenal estuarien ou delta

Le substrat n'est pas indiqué dans le nom. Cependant toutes les règles générales s'appliquent.

Système géomorphologique *non déterminé* :

- Avec un étage de supralittoral et un « oui » dans l'attribut *île*, l'écosystème sera :
  - île
- Dans un étage de bas estran, les règles générales s'appliquent, on remplacera seulement l'attribut du *geo\_syst* par l'*étagement*. Cependant, en cas d'un substrat *nd* celui-ci ne sera pas inscrit
  - Bas estran ou bas estran de végétation indifférenciée

Deuxièmement, la 2<sup>e</sup> étape permet d'enlever des redondances et de changer certains termes.

- Sable fin, moyen grossier et sable seront remplacés par
  - sableux
- De rocheux deviendra
  - rocheux
- De vase deviendra
  - vaseux
- De sablo-vaseux deviendra
  - sablo-vaseux
- Un substrat *nd* s'exprime de *nd*, sera remplacé par
  - De substrat indéterminé
- Une végétation *nd* s'exprime à *ND*, sera remplacé par
  - À végétation non identifiée
- Les *vg\_types arborescent, arbustive, herbacée* seront remplacés par :
  - À plantes arborescentes, à plantes arbustives ou à plantes herbacées

- Le vg\_type *autres plantes vasculaires* sera remplacé par :
  - Plante vasculaire
- Le vgtype *laminariacées* sera remplacé par :
  - Laminariales
- Le vgtype *zostère marine* prendra plutôt la forme de :
  - Herbier de zostère marine semi-végétalisé (si vgcov 25-75 %)
  - Herbier de zostère marine (si vgcov 75-100 %)

La 3<sup>e</sup> et dernière étape permet surtout de féminiser certains substrats pour s'accorder à son système géomorphologique

- Dans le cas d'une plage, d'une batture, d'une lagune, d'une slikke ou d'une vasière, on changera alors :
  - Sableux pour sableuse
  - Sablo-vaseux pour sablo-vaseuse
  - Vaseux pour vaseuse

L'ajout de majuscule en début de nom se fait aussi à cette étape. Un dernier nettoyage de coquille se fait aussi, comme pour les doubles espaces.

*Annexe E : Règles générales pour déterminer les noms d'écosystèmes*

Pour caractériser les 35 écosystèmes, les noms détaillés doivent préalablement être déterminés, puisque nous réalisons une simplification de ces derniers. Seulement 2 catégories de végétation sont possibles soit : à zostère ou à macroalgues.

Voici la liste des 35 possibilités :

Nom d'écosystème	Complément d'information
Infralittoral meuble	
Infralittoral meuble à zostère	
Infralittoral meuble à macroalgues	
Infralittoral rocheux	
Infralittoral rocheux à macroalgues	
Infralittoral rocheux à zostère	
Infralittoral	Quand le substrat est nd
Infralittoral à macroalgues	Quand le substrat est nd
Infralittoral à zostère	Quand le substrat est nd
Bas estran meuble	
Bas estran meuble à zostère	
Bas estran meuble à macroalgues	
Bas estran rocheux	Incluant platier
Bas estran rocheux à macroalgues	Incluant platier
Bas estran	Quand le substrat est nd
Bas estran à zostère	Quand le substrat est nd
Bas estran à macroalgues	Quand le substrat est nd
Batture	Incluant vasière et slikke
Batture à zostère	Incluant vasière et slikke
Batture à macroalgues	Incluant vasière et slikke
Lagune	
Lagune à zostère	
Lagune à macroalgues	
Chenal estuarien	
Chenal estuarien à zostère	
Chenal estuarien à macroalgues	
Delta	Incluant delta estuarien et de marée
Delta à zostère	Incluant delta estuarien et de marée
Delta à macroalgues	Incluant delta estuarien et de marée
Écueil	
Écueil à macroalgues	
Plage	
Haut estran rocheux	
Marais maritime	Incluant schorre inférieur et supérieur
Marécage intertidal	
Île*	Étagement supralittoral seulement

\* L'écosystème d'île ne fait pas partie des écosystèmes intertidaux ou infralittoraux, mais a cependant été intégré à la base de données et à la cartographie.

*Annexe F : Règles générales pour déterminer l'assemblage végétal*

Voici les règles pour déterminer l'assemblage végétal (*vg\_eco*). Cet attribut se veut une simplification des quatre attributs de types de végétaux afin de voir rapidement ce qui caractérise les différents polygones.

Les assemblages sont créés avec les 4 colonnes *vg\_type* et la colonne de *geo\_syst*.

Règles générales :

- Lorsqu'un *vg\_type* = nd, celui-ci s'exprimera plutôt :
  - non déterminé
- Lorsqu'un *vg\_type* = autre(s) plante(s) vasculaire(s) il s'exprimera :
  - Plante vasculaire
- Si 1 seul *vg\_type* est rempli, le *vg\_eco* sera ce dernier
- Si 2 *vg\_type* sont remplis, ils s'exprimeront :
  - *vg\_eco*= *vg\_type*1+ « et »+*vg\_type*2
  - Fucacées et laminariales

Par la suite, quelques cas spéciaux doivent être expliqués.

Lorsqu'il y a 2 *vg\_type* :

- Que le *vg\_type* 1 est pareil au *vg\_type* 2, seulement le premier sera inscrit
- Lorsque l'on retrouve le choix plantes vasculaires mixtes en *vg\_type* 1 ou 2 on inscrira alors :
  - Plantes vasculaires mixtes à (avec l'autre *vg\_type*)
  - Exemple : *vgtype*1=plantes vasculaires mixtes et *vgtype*2=spartine étalée
    - Plantes vasculaires mixtes à spartine étalée

Lorsqu'il y a 3 types de végétaux :

- Si 2 *vgtypes* sont pareils, ils s'écriront alors en premier et le *vgtype* restant viendra compléter.
  - Exemple : *vgtype*1=fucacées, *vgtype*2=laminariales, *vgtype*3=fucacées :
    - Fucacées et laminariales
- Ensuite, lorsque les 3 *vgtype* sont différents, des regroupements seront faits sous :
  - Plantes vasculaires mixtes (si seulement des plantes vasculaires, principalement dans le cas de marais)
  - Végétation mixte (si présence de zostère ou de plantes vasculaires et d'algues)
  - Algues mixtes (lorsque 3 espèces d'algues)

Lorsqu'il y a 4 types de végétaux d'inscrits, 3 regroupements sont possibles :

- Plantes vasculaires mixtes (si seulement des plantes vasculaires, principalement dans le cas de marais)
- Végétation mixte (si présence de zostère ou de plantes vasculaires et d'algues)
- Algues mixtes (lorsque ce sont seulement des espèces d'algues)

*Annexe G : Règles générales pour déterminer la dominance végétale*

Liste des noms de végétation dominante	Note méthodologique
Fucacées	Regroupe tous les types de fucus
Laminariales	laminariales, laminariacées, alariacées, phyllariacées, agaracées
Macroalgues (autres)	Regroupe toutes les macroalgues qui ne sont pas des fucacées ni des laminariales. Les algues indifférenciées avec une morphologie identifiée deviennent des macroalgues (autres).
Algues indifférenciées	Lorsque le vg_type1 est Algue(s) non identifiée(s)
Macroalgues mixtes	Si le vg_type est algues mixtes ou les 4 colonnes de vg_type sont des macroalgues
Spartine alterniflore	Lorsque le premier vg_type est spartine alterniflore
Scirpes	Regroupe les scirpes
Zostère marine	Lorsque le vg_type1 est zostère marine
Roseau commun	Lorsque le vg_type1 est roseau commun ou lorsque le vg_type1 est plantes vasculaires mixtes et que le vg_type2 est roseau commun
Plantes vasculaires (autres)	Lorsqu'il y a une seule plante vasculaire dans les vg_type et qu'elle ne correspond pas à un autre choix de dominance
Plantes vasculaires indifférenciées	Lorsque le vg_type est plante(s) vasculaire(s) indifférenciée(s)
Plantes vasculaires mixtes	Lorsque le vg_type plantes vasculaires mixtes est utilisé et que le géosystème n'est pas un schorre supérieur
Plantes vasculaires de marais	Lorsque le géosystème est un schorre supérieur
Végétation terrestre	Lorsque le vg_type est soit herbacée, arbustive ou arborescente et que le géosystème n'est pas un schorre supérieur ni un marécage
Végétation de marécage	Lorsque le géosystème est un marécage
Végétation indifférenciée	Lorsque le vg_type1 est végétation indifférenciée
Végétation mixte	Lorsque le vg_type1 est végétation mixte ou lorsqu'au sein des 4 colonnes de vg_type il y a le vg_type zostère marine
Non végétalisé	Lorsque le vg_type1 est non végétalisé
Non déterminé	Lorsque le vg_type1 est non déterminé

Pour générer les valeurs de dominance végétale (Vg\_DOM), un code en langage python a été créé. Ce code utilise les quatre colonnes de vg\_type (type végétal), vg\_morph (morphologie algale) et de geo\_syst (géosystème).

Les règles décisionnelles trient ou cumulent les valeurs lorsqu'il y a plus qu'une colonne de remplie.

Lorsqu'il n'y a que le vg\_type1 de rempli, la dominance végétale est le premier vg\_type.

Lorsque le vg\_type1 et le vg\_type2 sont remplis, la dominance végétale demeure le premier vg\_type, car on assume que le premier vg\_type domine sur le vg\_type2.

Lorsque le vg\_type1, vg\_type2 et le vg\_type3 sont remplis, la dominance végétale est le premier vg\_type, car on assume que le premier vg\_type domine sur le vg\_type2 et le vg\_type3.

Si le vg\_type2 équivaut au vg\_type3, la dominance est le vg\_type2

Lorsqu'il y a 4 colonnes de remplies

- Si les 4 vg\_types ne s'équivalent pas, la dominance végétale est le vg\_type1
- Si la zostère est parmi les 4 colonnes, la dominance végétale est végétation mixte
- Si les 4 colonnes sont remplies par 4 macroalgues différentes, la dominance végétale est macroalgues mixtes
- S'il y a une dominance au sein des 4 colonnes remplies
  - o si vgtype1 = vgtype 2 et que vgtype 3 != vgtype4, le vgdome = vgtype 1
  - o si vgtype 1 = vgtype 3, vgdome = vgtype 1
  - o si vgtype1 = vgtype4, vgdome = vgtype1
  - o si vgtype 2=vgtype3, vgdome = vgtype 2
  - o si vgtype2=vgtype4, vgdome= vgtype2
  - o si vgtype3=vgtype4, vgdome = vgtype3