

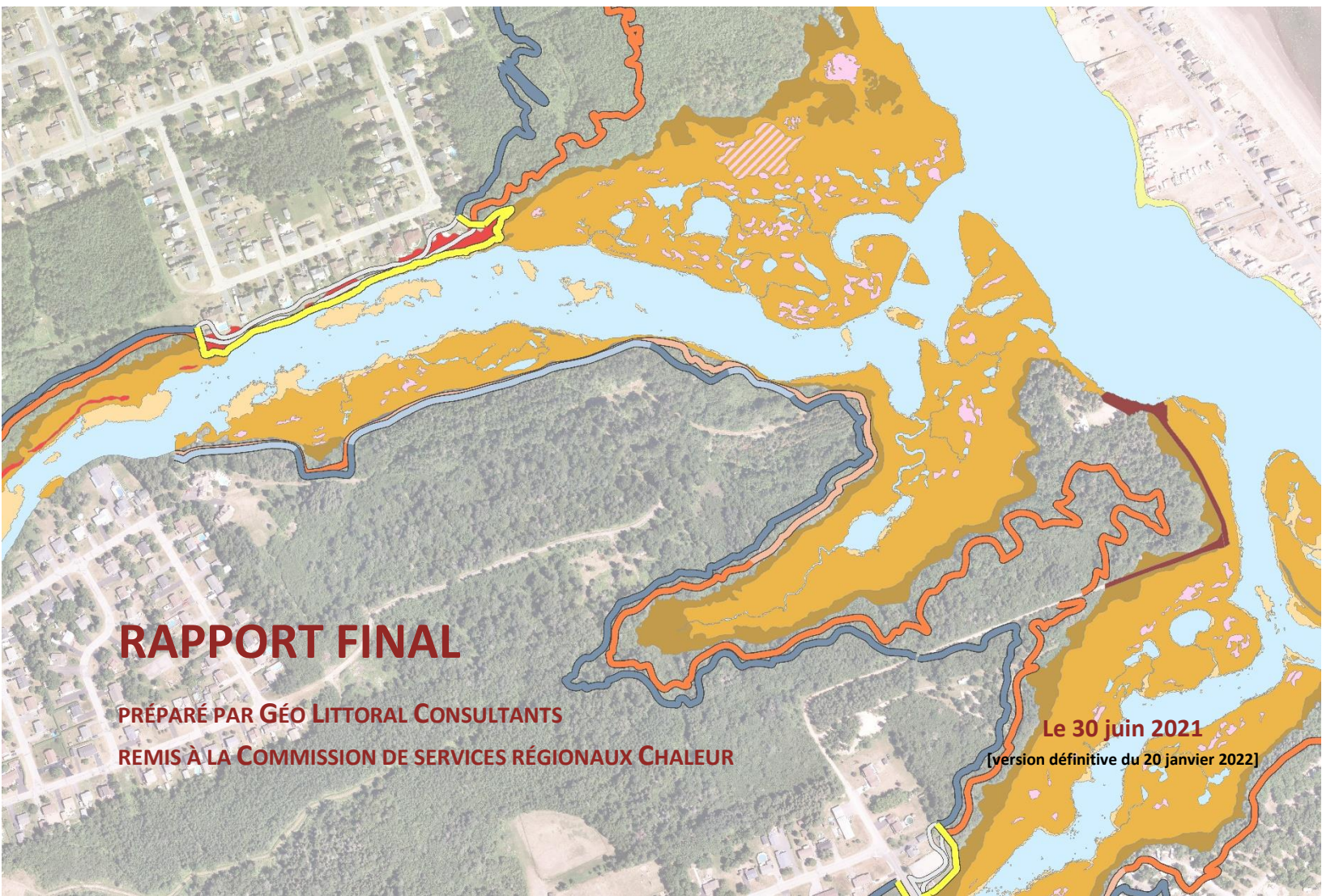


**Géo Littoral
Consultants**

Services de SIG et de cartographie
Études environnementales
Programmes d'interprétation

Identification du contrat : PL2020-01_CSRChaleur

Analyse de risque d'érosion côtière pour une partie du territoire de la Commission de services régionaux Chaleur



RAPPORT FINAL

PRÉPARÉ PAR GÉO LITTORAL CONSULTANTS

REMIS À LA COMMISSION DE SERVICES RÉGIONAUX CHALEUR

Le 30 juin 2021

[version définitive du 20 janvier 2022]

Ce Projet s'insère dans une démarche de la Commission de services régionaux Chaleur vers le développement d'un plan d'adaptation aux changements climatiques à l'échelle régionale permettant notamment d'identifier des objectifs à long terme. La supervision de la réalisation de ce plan relève du comité consultatif régional sur l'adaptation aux changements climatiques de la région Chaleur (CCRACC), qui conseille le CA de la CSR relativement à ce dossier.

Le présent projet visait spécifiquement à produire des données géospatiales afin d'une part d'identifier les infrastructures qui seront à risque, d'ici 2050 et 2100, en raison des processus d'érosion et du déplacement du trait de côte ou de la ligne de rivage, dans les localités de Nigadoo, Salmon Beach et Janeville, et d'autre part de renseigner sur l'évolution récente des marais salés présents le long des côtes de Beresford et d'une partie de Bathurst (associée à l'estuaire de la rivière Peters).

Géo Littoral Consultants tient à souligner la participation de : Marc BOUFFARD (ancien Directeur de l'urbanisme à la CSR Chaleur) et Dominique BÉRUBÉ (Géomorphologue côtier au ministère des Ressources naturelles et Développement de l'énergie, bureau de Bathurst) quant au développement et à l'aiguillage de l'étude ; Mariette HACHEY-BOUDREAU (ancienne Géomaticienne à la CSR Chaleur) pour son appui technique ; et Serge JOLICOEUR (GLC et Université de Moncton) pour son appui en géomorphologie côtière et la révision de textes.

Ce travail a été rendu possible grâce à l'appui financier du Gouvernement provincial via le Fonds en fiducie pour l'environnement du Nouveau-Brunswick (FFENB).

AVIS

TOUTE UTILISATION NON AUTORISÉE D'UNE PARTIE OU DE LA TOTALITÉ DU CONTENU DE CETTE ÉTUDE EST INTERDITE. TOUTE RESPONSABILITÉ EN CE QUI CONCERNE LES ACTIONS PRISES OU NON PRISES SUR LA BASE DU CONTENU DE CETTE ÉTUDE EST EXPRESSÉMENT DÉCLINÉE. AUCUNE REPRÉSENTATION N'EST FAITE QUE LE CONTENU EST SANS ERREUR.

Page couverture
cartographie des habitats côtiers et scénarios
de la limite des marais de Beresford en 2100
(orthophotos 2018 en arrière-plan)

Référence recommandée :

O'CARROLL, S. et DIOUF, S. 2021. *Analyse de risque d'érosion côtière pour une partie du territoire de la Commission de services régionaux Chaleur : Rapport Final*. Étude réalisée par Géo Littoral Consultants et remise à la CSR Chaleur. 124 pages + fichiers SIG.



Table des matières

Liste des figures	4
Liste des tableaux	5
Sommaire exécutif (faits saillants de l'étude)	6
I. Chronologie du projet.....	10
II. Réunions tenues.....	11
III. Géoréférencement des photos aériennes	13
IV. Cartographie de la côte faisant face à la Baie	16
IV.I. Limites-repères : le trait de côte et de la ligne de rivage.....	16
IV.II. Calcul du déplacement du trait de côte.....	19
IV.II.I. Le calcul des taux annuels	19
IV.II.II. Le calcul de la marge d'erreur	19
IV.III. Présentation des résultats	21
IV.III.I. Le sous-secteur de Nigadoo	21
IV.III.II. Le sous-secteur de Salmon Beach	24
IV.III.III. Le sous-secteur de Janeville	27
IV.IV. Scénarios de l'emplacement futur du trait de côte	30
IV.IV.I. Les scénarios « conservateur » et « pessimiste »	30
IV.IV.II. Réserves et avertissements.....	36
IV.V. Identification des infrastructures à risque	37
V. Cartographie des marais de Beresford	40
V.I. Principales caractéristiques des marais	43
V.II. Légende cartographique	47
V.III. Présentation des résultats	47
V.III.I. La partie nord du sous-secteur de Beresford	54
V.III.II. La partie centrale du sous-secteur de Beresford	57
V.III.III. La partie sud du sous-secteur de Beresford	62
V.III.IV. La partie de l'estuaire de la rivière Peters	66
V.IV. Scénarios de déplacement de la limite des terres côtières en 2100	69
V.IV.I. La limite entre le marais côtier et la forêt : facteurs en jeu.....	69
V.IV.II. Méthodologie employée : détermination de l'altitude du contact forêt/marais côtier	71
V.IV.III. Les scénarios utilisés.....	74



V.IV.IV.	La partie nord du sous-secteur de Beresford	76
V.IV.V.	La partie centrale du sous-secteur de Beresford	77
V.IV.VI.	La partie sud du sous-secteur de Beresford	79
V.IV.VII.	La partie de l'estuaire de la rivière Peters	81
VI.	Évolution et aménagement du territoire	85
Références		90
Annexe A – Légende cartographique		96
Annexe B – Liste des interfaces reconnues et cartographiées		106
Annexe C – Présence humaine recensée dans les marais		109
Annexe D – Noms individuels des marais		114
Annexe E – Liste des livrables		123

Liste des figures

Figure 1.	Secteur d'étude et couverture orthophotographique de 2018/2020.	13
Figure 2.	Emplacement des photos aériennes géoréférencées de 1944 et de 1985.	15
Figure 3.	Cartographie du trait de côte et de la ligne de rivage sur l'orthophotographie de 2018.	17
Figure 4.	Exemple de positionnement « approximatif » du trait de côte et la ligne de rivage.	18
Figure 5.	Taux de recul du TC du sous-secteur de Nigadoo : 1944-1985 et 1944-2018.	23
Figure 6.	Taux de recul du TC du sous-secteur de Salmon Beach : 1944-1985 et 1944-2020.	26
Figure 7.	Taux de recul du TC du sous-secteur de Janeville : 1944-1985 et 1944-2020.	29
Figure 8.	Secteurs à évolution homogène à Nigadoo (A), Salmon Beach (B) et Janeville (C).	31
Figure 9.	Exemples de vecteurs de raccordement rectilignes.	36
Figure 10.	Comparaison du rendu du couvert végétal des orthophotographies de 2016 et de 2018.	40
Figure 11.	Léger décalage de l'orthophotographie numérique de 2016 face à 2018.	41
Figure 12.	Utilisation de l'orthophotographie de 2016 pour ajuster les limites du bas marais.	42
Figure 13.	Utilisation d'un MNT à relief ombré pour ajuster la cartographie.	42
Figure 14.	Classification des marais de la zone tempérée.	44
Figure 15.	Principales divisions et habitats du marais côtier.	45
Figure 16.	Positionnement des principaux vecteurs du marais côtier (rivière Peters).	46
Figure 17.	Étendue de la cartographie des marais côtiers (1944, 1985 et 2018/2020).	48
Figure 18.	Pourcentage d'augmentation des surfaces artificialisées dans les marais côtiers.	49
Figure 19.	Cartographie et superficie des habitats côtiers du sous-secteur de Beresford.	51



Figure 20. Diminution (%) de la superficie occupée par les marais en 1944, 1985 et 2018/2020.	53
Figure 21. Augmentation des surfaces artificialisées dans les marais en 1944, 1985 et 2018/2020.	53
Figure 22. Cartographie des habitats côtiers de la partie nord : 1944, 1985 et 2018.	55
Figure 23. Cartographie des habitats côtiers de la partie centrale : 1944, 1985 et 2018.	59
Figure 24. Cartographie de 1944 superposée aux habitats de 2018.	60
Figure 25. Évolution du marais côtier à l'est de la rue Saint-Pierre depuis 1944.	61
Figure 26. Cartographie des habitats côtiers de la partie sud : 1944, 1985 et 2018.	62
Figure 27. Migration du goulet et érosion du front du marais : 1944-1985-2018.	64
Figure 28. Cartographie des habitats côtiers de l'estuaire de la rivière Peters : 1944, 1985 et 2020.	66
Figure 29. Migration de la bordure forestière en réponse à la hausse du niveau marin.	70
Figure 30. Exemple d'isolignes utilisées pour déterminer l'élévation de la bordure forestière.	73
Figure 31. Migrations entravée et bloquée de la bordure forestière.	75
Figure 32. Scénarios de la position du marais de la partie nord en 2100.	76
Figure 33. Illustration d'un déplacement entravé du marais d'ici 2100 (ruisseau Grants).	78
Figure 34. Scénarios du marais de la partie sud en 2100.	80
Figure 35. Scénarios de la position du marais de l'estuaire de la rivière Peters en 2100.	82

Liste des tableaux

Tableau 1. Détails du géoréférencement des photos aériennes de 1944 et 1985.	15
Tableau 2. Évolution historique (1944-2018) du TC de Nigadoo.	22
Tableau 3. Évolution historique (1944-2020) du TC de Salmon Beach.	25
Tableau 4. Évolution historique (1944-2020) du TC de Janeville.	28
Tableau 5. Taux de recul et projection de la distance de déplacement en 2050 et 2100.	34
Tableau 6. Nombre d'infrastructures par indice de risque, Nigadoo.	38
Tableau 7. Nombre d'infrastructures par indice de risque, Salmon Beach.	39
Tableau 8. Nombre d'infrastructures par indice de risque, Janeville.	39
Tableau 9. Linéaire des principaux éléments des marais salés de Beresford, 2018/2020.	48
Tableau 10. Répartition des habitats côtiers dans la partie nord : 1944, 1985 et 2018.	56
Tableau 11. Répartition des habitats côtiers dans la partie centrale : 1944, 1985 et 2018.	58
Tableau 12. Répartition des habitats côtiers dans la partie sud : 1944, 1985 et 2018/2020.	63
Tableau 13. Répartition habitats côtiers dans l'estuaire de la rivière Peters : 1944, 1985 et 2020.	67
Tableau 14. Élévations de la bordure forestière selon le MNT de Beresford.	73
Tableau 15. Longueur (m) des types de déplacements pour les marais de Beresford en 2100.	83



Sommaire exécutif (faits saillants de l'étude)

L'évolution côtière de la zone d'étude (Nigadoo, Beresford, Salmon Beach et Janeville) de 1944 à 2018/2020 met en évidence le caractère dynamique de la zone côtière. Cette étude est en cohérence avec les résultats d'autres études réalisées ailleurs dans le nord, ainsi que dans le sud-est de la province, qui montrent une évolution dominée par l'érosion (incluant quelques sites ponctuels où la côte a avancé). Deux scénarios (jusqu'aux années 2050 et 2100) ont été développés pour modéliser les positions futures de la côte et d'identifier les infrastructures pouvant être à risque : « Conservateur » et « Pessimiste ».

La façade exposée à la baie des Chaleurs

- Le taux de recul des falaises meubles des trois sous-secteurs a été **plus fort durant la période 1944-1985** que durant la période récente 1985-2018/2020 et que l'ensemble de la période 1944-2018/2020 :

Nigadoo : $-0,24 \pm 0,14\text{m/an}$, contre $-0,18$ (1985-2018) et **$-0,15$** (1944-2018)

Salmon Beach : $-0,38 \pm 0,15\text{m/an}$, contre $-0,33$ (1985-2020) et **$-0,34$** (1944-2020)

Janeville : $-0,36 \pm 0,13\text{m/an}$, contre $-0,27$ (1985-2020) et **$-0,26$** (1944-2020)

- L'exposition générale de la côte de Salmon Beach et Janeville (cadres nord et nord-ouest) face aux vents et vagues dominants et l'absence d'une plate-forme rocheuse sur l'estran pour atténuer la force des vagues pourraient expliquer les **taux de recul jusqu'à 35 % plus élevés** que ceux mesurés à Nigadoo durant la période 1944-1985. Cet écart correspond sans doute aux conditions « naturelles » entre ces secteurs car peu ou pas de structures de protection y étaient présentes à ce moment.
- La tendance récente à la **rigidification de la côte** via l'installation d'enrochements et de murs de protection est nette dans les trois sous-secteurs. La généralisation de ces ouvrages a débuté à partir de la fin des années 1990. À Nigadoo, plus de 70 %



de la côte est aujourd'hui (2018) artificialisée : le plus long segment de côte naturel (à l'exception de la flèche littorale de Nigadoo) ne fait guère plus que ~150 mètres de longueur. À Salmon Beach, environ 50 % de la côte est artificialisée (2020) : dans la partie nord-ouest du sous-secteur, des enrochements sont en train d'être érigés au pied de dunes littorales ! À Janeville, c'est environ 90 % de la côte qui est à l'état naturel en 2020 : les structures de protection documentées se retrouvent dans la partie sud-ouest du sous-secteur, au contact avec Salmon Beach.

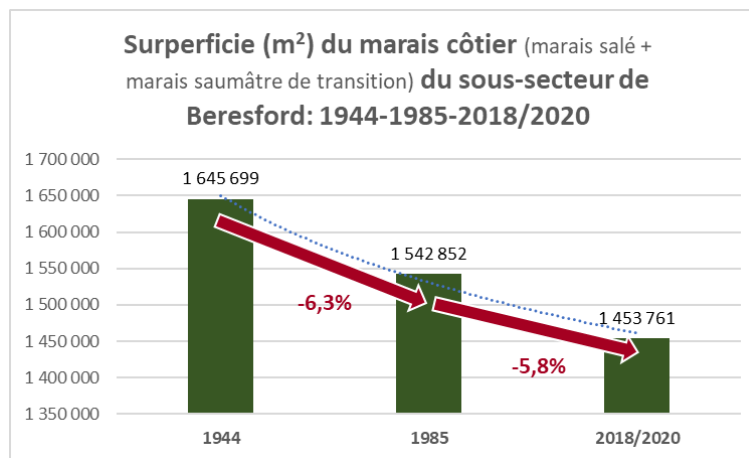
- Le déplacement projeté du trait de côte pour l'année 2050 basé sur un scénario « pessimiste » (qui tient compte de la hausse du niveau marin et des taux d'érosion historiques) est **~2 fois plus important** que le déplacement du trait de côte basé sur un scénario « conservateur » (qui tient compte uniquement des taux d'érosion historiques). Le déplacement projeté du trait de côte pour l'année 2100 basé sur un scénario « pessimiste » est **~6 fois plus important** que le déplacement projeté basé sur un scénario « conservateur ».
- Entre 2018/2020 et 2100, selon les scénarios « conservateur » et « pessimiste », les infrastructures suivantes seraient à risque d'érosion dans les trois (3) sous-secteurs faisant face à la Baie :

Infrastructure	Type de scénario	Sous-secteur			TOTAL
		Nigadoo	Salmon Beach	Janeville	
Bâtiments	Conservateur	20	81	36	137
	Pessimiste	48	174	174	396
Conduits sanitaires	Conservateur	30 m	-	-	30 m
	Pessimiste	195 m	-	-	195 m
Stations de relèvement	Conservateur	-	-	-	-
	Pessimiste	2	-	-	2
Poteaux de communication	Conservateur	2	20	-	22
	Pessimiste	35	94	86	215
Routes	Conservateur	5 m	207 m	106 m	318 m
	Pessimiste	294 m	2 878 m	2 484 m	5 656 m

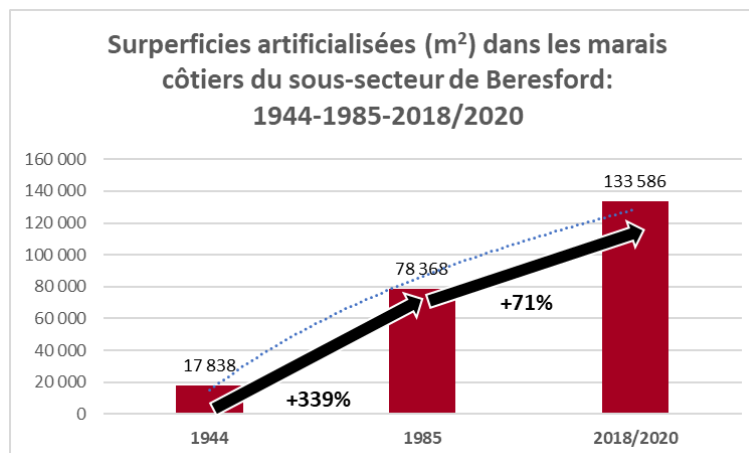


Les marais « salés » du sous-secteur de Beresford

- La superficie occupée par les marais côtiers est en déclin sur la période 1944-2018/2020, passant de 164,6ha à 145,4ha (diminution de 11,7 %). La tendance illustre que le **marais saumâtre de transition est l'habitat subissant la plus forte pression anthropique** (perte de superficie de 28,5 % depuis 1944) ; les pertes sont plus faibles entre 1944 et 1985 (4,2ha ou -12 %) qu'entre 1985 et 2018/2020 (6ha ou -19 %).

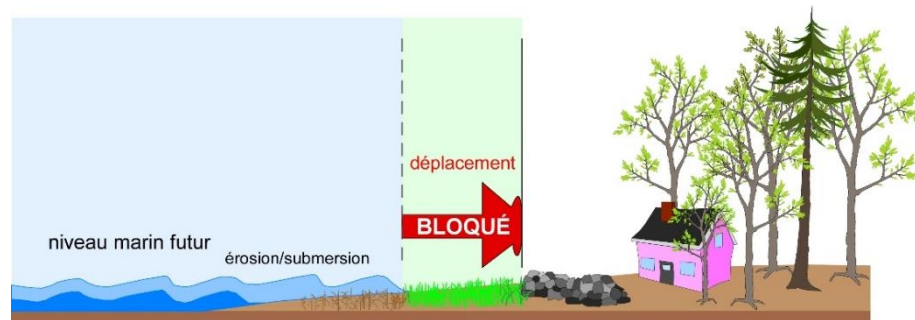


- Depuis 1944, les aménagements sont venus recouvrir 11,6ha de marais, une augmentation de +649 %. L'entrée en vigueur post-1985 de lois, règlements et politiques visant la protection des terres humides semble avoir ralenti l'artificialisation des marais, mais pas un stoppage complet.





- Présentement (2018/2020), les marais côtiers directement adossés (0m) à des surfaces artificialisées représentent une longueur de ~4km : c'est une situation de **télescopage côtier**. Selon le scénario d'évolution future retenu (conservateur ou pessimiste), le linéaire côtier en situation de télescopage côtier augmenterait de 674,2m ou de 2 104,2m d'ici 2100 (+14 % ou +34 %, respectivement).



Type de déplacement du marais d'ici 2100	Longueur totale (m), Scénario "conservateur"		Longueur totale (m), Scénario "pessimiste"	
	m	%	m	%
Progressif (A)	15 346,1	62%	15 742,7	64%
Entravé (C)	4 772,9	19%	2 818,2	11%
Bloqué (B)	4 737,1	19%	6 167,1	25%
Total du scénario 2100	24 856,1	100%	24 728,0	100%
linéaire (m) présentement bloqué (2018/'20)	4 062,9	16%	4 062,9	16%
augmentation (m) du linéaire bloqué en 2100 face au total déjà bloqué en 2018/'20	+674,2	+14%	+2 104,2	+34%

- C'est dans la partie sud et dans l'estuaire de la rivière Peters que le déplacement des marais côtiers en réponse à la hausse du niveau marin relatif d'ici 2100 paraît le moins gêné actuellement. Ici, des **espaces d'accommodation** (portions de terrains suffisamment larges et libres d'aménagements) nécessaires à leur migration sont nombreux.



I. Chronologie du projet

Le 22 octobre 2020, la CSR Chaleur a informé *Géo Littoral Consultants (GLC)* que le contrat de cartographie lui était accordé. Ce projet vise spécifiquement à produire des données géospatiales pour les localités de Nigadoo, Beresford, une partie de Bathurst (associée à la partie aval de la rivière Peters), Salmon Beach et Janeville afin 1) d'identifier les infrastructures qui seront à risque, d'ici 2050 et 2100, en raison des processus d'érosion et du déplacement du trait de côte ou de la ligne de rivage, et 2) de renseigner sur l'évolution récente des marais salés présents le long des côtes de ces mêmes localités.

Le 20 novembre, le contrat élaboré par *GLC* et ajusté et bonifié par la CSR Chaleur a été officialisé par les deux parties.¹

GLC a reçu, le 20 novembre, le disque dur externe et les copies papier des photographies aériennes anciennes (1944 et 1985) couvrant le secteur à l'étude. Le 23 novembre, l'équipe de *GLC* débute officiellement le travail associé à ce contrat.

Le 30 juin 2021, *GLC* remet à la CSR Chaleur, par envoi postal, les copies papier du Rapport final (français et anglais), les versions électroniques de tous les documents, incluant la base de données géospatiale (couches SIG), ainsi que tout support matériel prêté à *GLC* pour la réalisation du projet (disque dur externe content les fichiers numériques pertinents) (voir *Annexe E* pour la liste complète des livrables). *GLC* a remis en main propre à Dominique BÉRUBÉ (MRNDÉ) les copies papier des photographies aériennes des séries de 1944 et 1985 prêtées pour la réalisation du projet.

¹ Le contrat est signé le 17 novembre par le représentant de *GLC* et le 18 novembre par le représentant de la CSR Chaleur. Ce document est nommé : *Contrat_CSR Chaleur et GéoLittoral Consultants_SIGNÉ_20 novembre 2020.pdf*.



II. Réunions tenues

Le 28 octobre, une première réunion (réunion de démarrage) a lieu par vidéoconférence (logiciel *TEAMS*).² Les personnes présentes étaient : Marc BOUFFARD (CSR Chaleur), Dominique BÉRUBÉ (MRNDÉ), Simon DIOUF (*GLC*) et Stéphane O'CARROLL (*GLC*). Parmi les objectifs de cette réunion, on compte³ :

- de permettre aux membres (client et prestataire de services) de faire connaissance ;
- de s'assurer que les deux parties (client et prestataire de services) ont la même compréhension des buts, objectifs et livrables du projet ;
- de s'assurer de la mise à la disposition de *GLC* des documents nécessaires à la réalisation du projet de cartographie ;
- d'identifier les dates des prochaines réunions, des documents à rendre, et de la présentation publique des résultats ;
- de voir à la signature d'un contrat entre la CSR Chaleur et *GLC*.

Le 18 décembre, une deuxième réunion est tenue par vidéoconférence (logiciel *TEAMS*). Les personnes présentes étaient : Marc BOUFFARD (CSR Chaleur), Mariette HACHEY-BOUDREAU (CSR Chaleur), Tania PELLICIER (CSR Chaleur), Dominique BÉRUBÉ (MRNDÉ), Simon DIOUF (*GLC*) et Stéphane O'CARROLL (*GLC*). Les objectifs de cette seconde réunion étaient nombreux et portaient principalement sur des aspects méthodologiques, dont⁴ :

- la délimitation de la zone d'influence de la marée le long de la partie amont d'un estuaire ;
- les cas de cartographie jugés difficiles, où un input des membres du CCRACC est nécessaire pour l'avancement du projet ;

² Dans la Demande de proposition, cette première rencontre était prévue « en personne » (présentiel), mais en raison de la pandémie de la Covid-19, nous avons tenu une vidéoconférence.

³ Le compte rendu de la réunion du 18 décembre correspond au document suivant : *PL2020-01_Réunion 1_Démarrage-question et éclaircissements_28 octobre 2020.pdf*.

⁴ Le compte rendu de la réunion du 18 décembre correspond au document suivant : *PL2020-01_Réunion 2_Compte rendu_18 décembre 2020.pdf*.



- l'identification du niveau altimétrique de la pleine mer supérieure grande marée (PMSGM) et de la pleine mer supérieure marée moyenne (PMSMM) dans les environs des marais salés de Beresford ;
- le positionnement de la ligne de base (ligne de référence) pour l'établissement des transects ;
- la prise en compte des structures de protection privées dans la projection du trait de côte de 2050 et de 2100 ;
- la date de disponibilité des orthophotographies numériques de 2020.

Le 22 janvier 2021, une troisième réunion est tenue par vidéoconférence (logiciel *TEAMS*). Les personnes présentes étaient : Marc BOUFFARD (CSR Chaleur), Tania PELLICIER (CSR Chaleur), Dominique BÉRUBÉ (MRNDÉ), Simon DIOUF (*GLC*) et Stéphane O'CARROLL (*GLC*). Les objectifs de cette réunion étaient⁵ :

- état d'avancement de la cartographie des marais salés de Beresford pour 1985 et premiers résultats pour 2018 ;
- date de disponibilité des orthophotographies numériques de 2020.

Le 18 mars 2021, une quatrième réunion est tenue par vidéoconférence (logiciel *TEAMS*). Les personnes présentes étaient : Marc BOUFFARD (CSR Chaleur), Dominique BÉRUBÉ (MRNDÉ), Simon DIOUF (*GLC*) et Stéphane O'CARROLL (*GLC*). Les objectifs de cette réunion étaient⁶ :

- état d'avancement de la cartographie des marais salés de Beresford pour 1944 et premiers résultats pour 2018-20 et 1985 ;
- discussions sur l'échéancier du travail.

⁵ Le compte rendu de la réunion du 18 décembre correspond au document suivant : *PL2020-01_Réunion 3_Compte rendu_25 janvier 2021.pdf*.

⁶ Le compte rendu de la réunion du 18 décembre correspond au document suivant : *PL2020-01_Réunion 4_Compte rendu_18 mars 2021.pdf*.



III. Géoréférencement des photos aériennes

Le 10 février 2021, *Géo Littoral Consultants* a eu accès, via le site *ftp* du ministère des Ressources naturelles et du Développement de l'énergie, aux orthophotographies numériques de 2020 couvrant la partie est du sous-secteur de Beresford et les sous-secteurs de Salmon Beach et de Janeville (Figure 1).

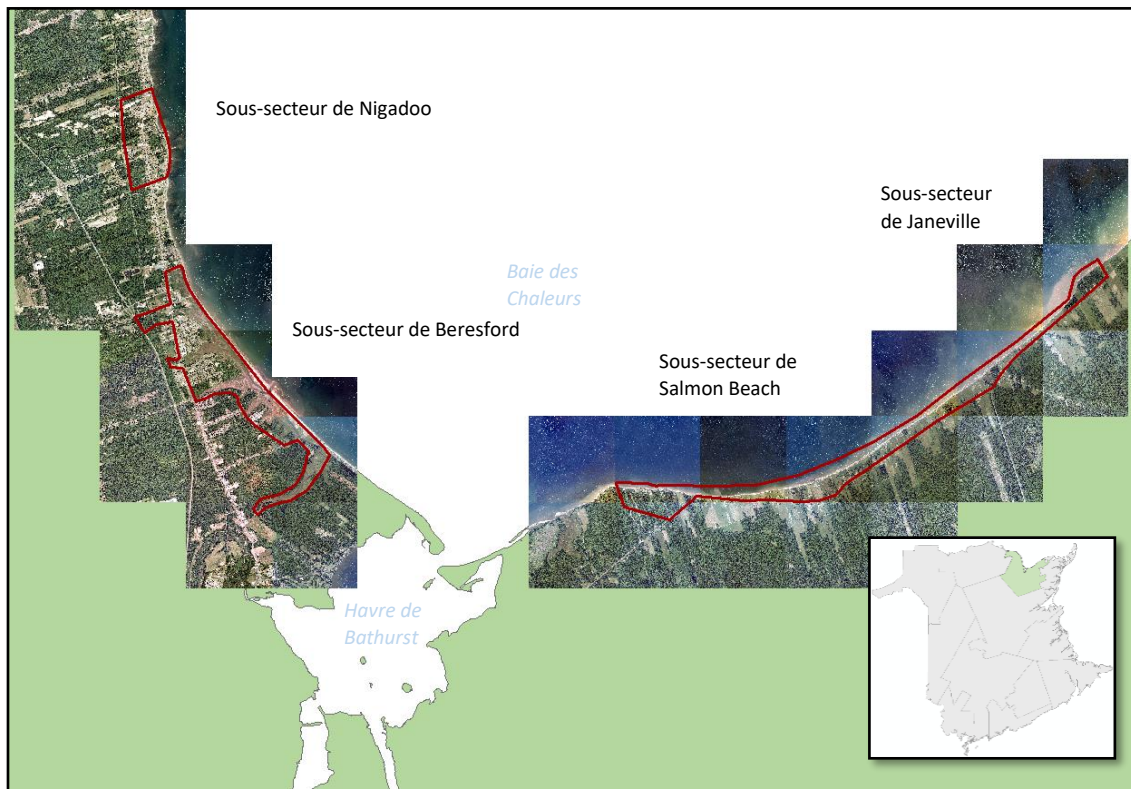


FIGURE 1. SECTEUR D'ÉTUDE ET COUVERTURE ORTHOPHOTOGRAPHIQUE DE 2018/2020 (OUEST DU HAVRE DE BATHURST) ET 2020 (EST DU HAVRE DE BATHURST).



Toutes les photographies aériennes anciennes utilisées dans ce travail (les séries de 1944 et de 1985) ont été numérisées avec l'appareil *ScanMaker Pro 1000XL* (Microtek). Cet appareil possède une surface de numérisation de 12 pouces par 17 pouces, ce qui permet de poser complètement à plat les photos aériennes sur la surface vitrée. La démarche photogrammétrique retenue prévoyait la numérisation des photos aériennes à une résolution commune, soit 1200ppp (pixels par pouce). Cette démarche a dû être modifiée légèrement pour les séries de 1944 et 1985 dans le sous-secteur de Beresford (Tableau 1).⁷

Le nombre de points d'ancrage (éléments du paysage communs aux photos aériennes et à l'orthophotographie de 2018 ou 2020) utilisés pour le géoréférencement des photos varie entre 5 et 14 par photo. C'est la transformation de type « projective » qui a été utilisée lors du géoréférencement des photos aériennes (transformation couramment utilisée dans des projets de cartographie numérique similaires). La marge d'erreur associée au géoréférencement d'une photographie individuelle, exprimée en tant qu'erreur quadratique moyenne (*Root mean square error* ou RMSE en anglais), varie de 0,36m à 1,78m. L'erreur RMS la plus grande pour un seul point d'ancrage est de 2,78m (photo de 1944 A7391-7, environs de la rivière Peters). Ces valeurs de l'erreur RMS (au niveau d'une photographie ou encore au niveau des points d'ancrage individuels) sont jugées très satisfaisantes par GLC. La taille du pixel des photos aériennes géoréférencées de 1944 varie entre 0,24m et 0,46m, tandis que celle des photos de 1985 varie entre 0,27m et 0,30m. Ces valeurs conviennent à la cartographie proposée dans le cadre de ce projet. La figure 2 montre l'affichage des photos de 1944 et 1985 géoréférencées dans le cadre du projet.

⁷ Pour le sous-secteur de Beresford, certaines photos aériennes de 1944 et de 1985 ont été numérisées en plusieurs parties car en dépit d'une bonne marge d'erreur (faible *RMS*), le positionnement de la photo face à l'orthophotographie de référence n'était pas adéquat. De telles situations se produisent lorsque la topographie est irrégulière : relief bas au niveau des marais salés et de la côte, et relief élevé (plus de 6m) au sommet des versants. La numérisation d'une photo en plus petits secteurs a permis d'améliorer le positionnement des séries de 1944 et de 1985, ce qui améliore la fiabilité des vecteurs cartographiés dans ce sous-secteur.



TABEAU 1. DÉTAILS DU GÉORÉFÉRENCEMENT DES PHOTOS AÉRIENNES DE 1944 ET 1985.

Sous-secteur	Nom des images aériennes géoréférencées	# Points d'ancrage	Type de transformation	Erreur RMS	Taille du pixel (m)	Orthophoto utilisée pour géoréférencement
Nigadoo	CSR_1944_Nigadoo_R	10	Projective	1,30	0,37	2018
	CSR_1985_Nigadoo Centre_R	8	Projective	0,91	0,29	2018
	CSR_1985_Nigadoo Sud_R	9	Projective	0,50	0,27	2018
Beresford et rivière Peters	CSR_1944_A7366-32_N-nord_R	6	Projective	0,74	0,24	2018
	CSR_1944_A7366-32_N_R	7	Projective	0,52	0,24	2018
	CSR_1944_A7366-32_C-nord_R	6	Projective	0,36	0,23	2018
	CSR_1944_A7366-32_C-sud_R	7	Projective	0,45	0,24	2018
	CSR_1944_A7366-32_N_R	6	Projective	0,74	0,24	2018
	CSR_1944_A7366-30_S-se_R	13	Projective	0,88	0,40	2018; 2020
	CSR_1944_A7366-32_S-n_R	10	Projective	1,41	0,24	2018
	CSR_1944_A7360-38_N_R	7	Projective	0,78	0,24	2020
	CSR_1944_A7360-37_E_R	5	Projective	1,01	0,30	2020
	CSR_1944_A7360-37_O_R	5	Projective	0,68	0,30	2020
	CSR_1985_BeresfordNord_R	10	Projective	0,73	0,27	2018
	CSR_85511-86_N_R	9	Projective	0,37	0,27	2018
	CSR_85511-64_N_R	12	Projective	0,85	0,27	2018
	CSR_85511-86_S_R	11	Projective	1,40	0,27	2018
	CSR_1985_85511-64_S_R	14	Projective	1,34	0,28	2018
	CSR_1985_85511-43_N_R	8	Projective	0,58	0,28	2018; 2020
	CSR_1985_85511-43_S_R	9	Projective	0,56	0,27	2018; 2020
	CSR_1985_85511-45_N_R	8	Projective	0,53	0,28	2020
	CSR_1985_85511-45_S_R	10	Projective	0,99	0,27	2020
	CSR_1985_85512-231_E_R	11	Projective	1,52	0,28	2020
	CSR_1985_85512-231_O_R	10	Projective	0,86	0,28	2020
	CSR_1944_Salmon Beach Ouest_R	10	Projective	1,58	0,41	2020
	CSR_1944_Salmon Beach Centre_R	7	Projective	1,31	0,42	2020
	CSR_1944_Salmon Beach Est_R	8	Projective	1,16	0,42	2020
	CSR_1985_Salmon Beach Ouest_R	11	Projective	0,98	0,28	2020
Salmon Beach	CSR_1985_Salmon Beach Centre_Ouest_R	7	Projective	0,66	0,27	2020
	CSR_1985_Salmon Beach Centre_Est_R	12	Projective	0,89	0,27	2020
	CSR_1985_Salmon Beach Est_R	10	Projective	1,01	0,27	2020
	CSR_1944_Janeville Ouest_R	6	Projective	0,52	0,38	2020
	CSR_1944_Janeville Centre_R	6	Projective	1,05	0,22	2020
Janeville	CSR_1944_Janeville Est_R	7	Projective	1,11	0,41	2020
	CSR_1985_Janeville Sud-ouest_R	9	Projective	0,78	0,26	2020
	CSR_1985_Janeville Centre-sud_R	7	Projective	1,43	0,26	2020
	CSR_1985_Janeville Centre-nord_R	6	Projective	0,67	0,28	2020
	CSR_1985_Janeville Nord-est_R	8	Projective	0,70	0,28	2020
Moyenne				1944 : 0,92	0,31	
				1985 : 0,87	0,27	

* Les photos aériennes anciennes géoréférencées ont été mises à la disposition de Géo Littoral Consultants par le MRNDÉ (N.-B.)

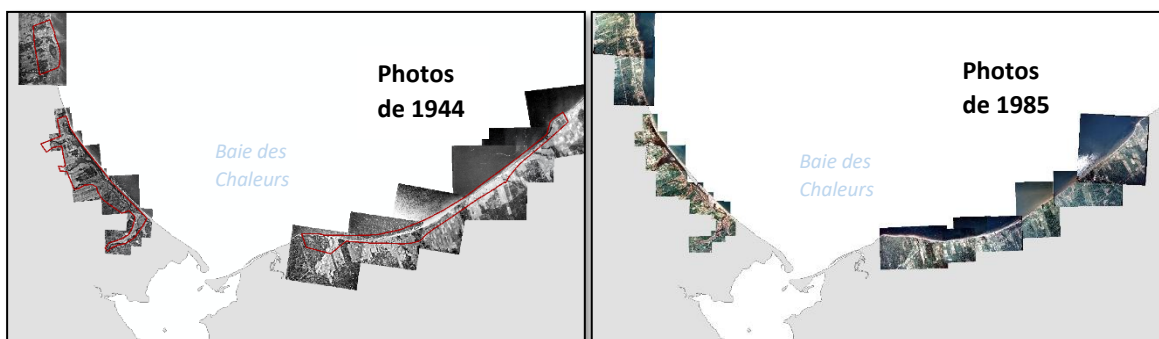


FIGURE 2. EMPLACEMENT DES PHOTOS AÉRIENNES GÉORÉFÉRENCÉES DE 1944 ET DE 1985.



IV. Cartographie de la côte faisant face à la Baie

IV.1. Limites-repères : le trait de côte et de la ligne de rivage

Afin de calculer le déplacement historique de la côte, le trait de côte est le vecteur le plus communément utilisé par le ministère des Ressources naturelles et du Développement de l'énergie du Nouveau-Brunswick, car il correspond à différents éléments du paysage faciles à identifier par photo-interprétation (O'CARROLL et coll., 2006 ; JOLICOEUR et O'CARROLL, 2012 ; CHELBI et coll., 2019 ; WSP, 2020).

Bien qu'il soit souvent mis en relation avec un niveau d'eau (*pleine mer supérieure, grande marée* – PMSGM), sur les photos aériennes, le trait de côte est positionné aux endroits suivants (Figure 3) :

- *Côte sableuse* (présence de dunes littorales) : limite du front de la végétation (ammophile à ligule courte – *Ammophila breviligulata*) lorsque la dune a un profil régulier ; sommet de la falaise dunaire lorsque la dune est taillée en falaise.
- *Côte meuble* (till, sédiments non consolidés) : rupture de pente, souvent le sommet de la falaise ou la limite de la végétation pérenne.
- *Côte à falaise rocheuse* : sommet de la falaise ou limite de la végétation pérenne.
- *Côte artificielle* : en présence d'un enrochement, c'est la base de la structure qui est cartographiée ; en présence d'un mur vertical (en bois ou en béton), c'est le sommet de la structure qui est cartographiée.
- *Côte à marais* : limite externe (côté de la mer) de la partie haute du marais, correspondant à la limite de la distribution de la Spartine pectinée et la Spartine étalée et/ou à une rupture de pente (voir la sous-section V.I. – *Principales caractéristiques des marais*).



La ligne de rivage est elle aussi souvent mise en relation avec un niveau d'eau (*pleine mer supérieure, marée moyenne – PMSMM*), elle est positionnée aux endroits suivants sur les photos aériennes (Figure 3) :

- *Plage sableuse* : c'est le contact sable sec/sable humide qui est cartographié. Ce contact est aussi discernable par la présence de débris marins épars ou de laisses de marée haute moyenne.⁸
- *Côte à marais* : c'est le contact établi par la limite externe du schorre (limite entre la partie végétalisée du marais – *Spartine alterniflore* et/ou *Spartine étalée* – et l'estran nu) (voir la sous-section V.I. – *Principales caractéristiques des marais*).

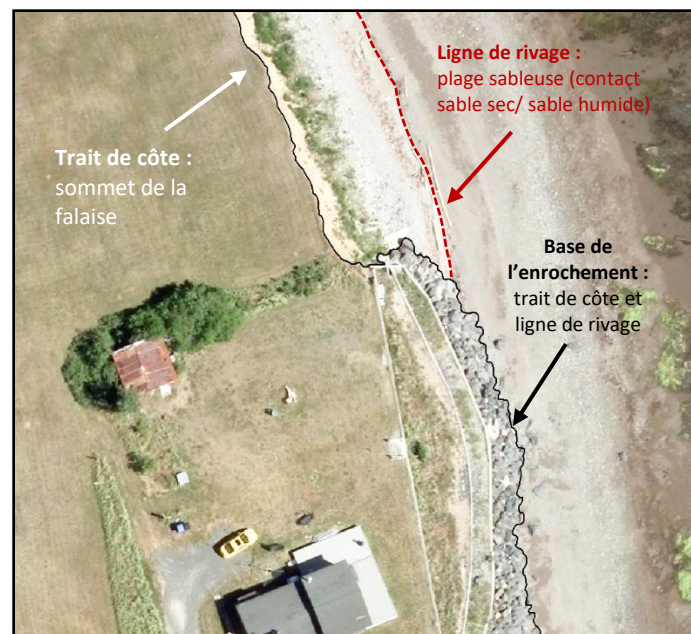


FIGURE 3. CARTOGRAPHIE DU TRAIT DE CÔTE ET DE LA LIGNE DE RIVAGE SUR L'ORTHOPHOTOGRAPHIE DE 2018.

⁸ Dans les cas où la plage sableuse est absente, comme devant une structure de protection, c'est la base de la structure qui fait office de ligne de rivage.



La principale distorsion pour les photos aériennes verticales prend la forme d'un déplacement du relief face au centre de la lentille (c.-à-d. au point nadir) : seul le sommet de l'objet est visible, alors que pour tous les autres objets dans la photo, un côté est visible en plus du sommet, ce qui donne l'impression que ces objets s'allongent vers les bords de l'image (Figure 4). Dans de telles situations, le vecteur a été cartographié en estimant au mieux l'emplacement probable du trait de côte ou de la ligne de rivage.⁹ Il est à noter qu'en raison de la forte réflectance au niveau des plages sableuses de certaines images aériennes de 1944, la ligne de rivage n'a pas été cartographiée sur l'ensemble des sous-secteurs de Nigadoo, Salmon Beach et Janeville, mais seulement aux endroits il a été possible de repérer cette ligne.



FIGURE 4. EXEMPLE DE POSITIONNEMENT « APPROXIMATIF » DU TRAIT DE CÔTE ET LA LIGNE DE RIVAGE.

⁹ Dans la table attributaire, ces vecteurs sont clairement identifiés par le suffixe « *_Approx* » (signifiant que la position du vecteur n'est pas certaine, mais plutôt estimée).



IV.II. Calcul du déplacement du trait de côte

IV.II.I. Le calcul des taux annuels

Les taux de déplacement annuels moyens du trait de côte ont été calculés le long de 653 transects distants de 30m, générés perpendiculairement à une ligne de base placée le long de la façade maritime de la Baie des Chaleurs, le tout via le module *Digital Shoreline Analysis Software - DSAS* – de la Commission géologique des États-Unis (extension *ArcGIS*). Ce module effectue, le long de chacun des transects, la mesure de la distance entre deux positions du trait de côte dans le temps et divise cette distance par le nombre d'années considérées (voir THIELER et coll., 2009 pour une description détaillée du fonctionnement du module *DSAS*).¹⁰ Cette procédure est conforme à la méthode utilisée par le MRNDÉ du Nouveau-Brunswick. La position potentielle du trait de côte en 2050 et 2100 peut alors être projetée (voir sous-section IV.IV. – *Scénarios de l'emplacement futur du trait de côte*).

IV.II.II. Le calcul de la marge d'erreur

La mesure d'une distance entre deux vecteurs dans un système d'information géographique (SIG) comporte une marge d'erreur quantifiable. La somme des trois (3) variables suivantes constitue la marge d'erreur :

- a) L'écart du positionnement (**P**) des photos aériennes géoréférencées face aux orthophotographies récentes (2018 et/ou 2020) : cette erreur est exprimée par la moyenne quadratique (*RMS*, pour *root mean square*), calculée par le SIG à partir des différences de localisation des points d'ancrage.
- b) La taille du pixel (**TP**) des photos aériennes géoréférencées et des orthophotographies récentes (2018 et/ou 2020) : de 0,22m à 0,41m pour les photos de 1944 ou 1985, et de 0,10m pour la série de 2018 et de 0,20m pour la série de

¹⁰ Deux principaux extrants sont générés par *DSAS* et utilisés dans ce travail : le **Net Shoreline Movement (NSM)**, qui correspond à la distance entre deux traits de côte, exprimé en mètres ; le **End Point Rate (EPR)**, qui constitue le rapport entre la distance mesurée et la période de temps considérée, exprimé en m/année.



2020. Elle détermine la taille minimale des détails qui peuvent être identifiés de façon fiable sur les photographies.

- c) La qualité de la cartographie (**QC**) effectuée par le cartographe : 2m pour les photos de 1944, 1m pour les photos de 1985, et 0,50m pour les orthophotographies récentes (2018 et/ou 2020). Elle est influencée par la taille du pixel au sol, mais dépend aussi de l'expertise du cartographe et de la qualité visuelle de la photographie.

$$\mathbf{ME} \text{ (marge d'erreur)} = \mathbf{P} \text{ (RMS)} + \mathbf{TP} \text{ (taille du pixel)} + \mathbf{QC} \text{ (qualité de la cartographie)}$$

Par exemple, au transect no 57 dans le sous-secteur de Nigadoo, la marge d'erreur maximale associée à la mesure de la distance entre la position du TC de 1944 et celle du TC de 2018 représente 4,27m calculée ainsi :

(1) 1,30m (*RMS* du géoréférencement de la photo A7365-1) + (2) 0,37m + 0,10m (taille du pixel de la photo A7365-1 et de l'orthophoto 2018) + (3) 2,0m + 0,50m (travail du photo-interprète) = **4,27m**. Donc, au transect no 57 il s'agit d'un recul total de -20,42 ±4,27m.¹¹

Reportée sur la période 1944 à 2018 (74 ans), cette marge d'erreur est de **±0,06m/an**. Donc, au transect no 57 il s'agit d'un recul moyen annuel de -0,28 ±0,06m/an.

¹¹ Ce résultat rencontre la précision inférieure à 5m indiquée dans la *DDP No : PL2020-01* pour le positionnement des vecteurs de 1944 : 0,92m (*RMS* moyenne, photos 1944) + 0,31m (taille moyenne des pixels, photos 1944) + 0,20m (taille des pixels de l'orthophoto de 2020) + 2,0m (travail de l'interprète photos de 1944) = **3,43m**. Inférieure à 4m pour les vecteurs de 1985 : 0,87m (*RMS* moyenne 1985) + 0,27m (taille moyenne des pixels 1985) + 0,20m (taille des pixels de l'orthophoto de 2020) + 1,0m (travail de l'interprète photos de 1985) = **2,35m**. Inférieure à 3m pour les vecteurs de 2018 ou 2020 : 0,10m ou 0,20m (taille des pixels 2018 ou 2020), 0,5m (travail de l'interprète) = **0,60m** à **0,70m**.



Toute distance (ou taux) supérieure à la marge d'erreur est considérée comme significative (il y a érosion et recul du TC ou il y a avancée et progradation du TC), tandis que toute distance (ou taux) égale ou inférieure à la marge d'erreur est considérée comme une stabilité apparente (déplacement non « significatif »).

IV.III. Présentation des résultats

IV.III.I. *Le sous-secteur de Nigadoo*

La côte du sous-secteur de Nigadoo (~2,2km) correspond généralement à des falaises meubles de faible hauteur (moins de 6 mètres) ; une étroite plage sableuse (généralement moins de 10 mètres de largeur) peut être présente à leur base. L'observation des images aériennes disponibles, notamment la série la plus récente (2018) montre que l'estran est constitué d'une plateforme rocheuse qui est par endroits recouverte d'un placage sableux. De nombreuses structures de protection côtière, principalement des enrochements et des murs de béton, sont aujourd'hui aménagées au pied des falaises meubles. Cette tendance à l'artificialisation de la côte est assez récente, débutant à partir de la fin des années 1990 (DIOUF, 2019).¹² Une basse flèche sableuse dunifiée (~260m de longueur, ~30m de largeur et ~3,5m d'altitude maximale) est présente à l'embouchure de la rivière Nigadoo ; elle referme partiellement un petit estuaire. Ce dernier est marqué de bancs d'alluvions, parfois végétalisés.

Le trait de côte (TC) a été cartographié pour les trois années d'étude (1944, 1985, 2018) dans le sous-secteur de Nigadoo. Au cours des 74 dernières années (1944-2018), les secteurs à falaises meubles non protégées (par des structures) ont reculé de $-11,13 \pm 4,27\text{m/an}$, soit un taux de **$-0,15 \pm 0,06\text{m/an}$** (Tableau 2). Durant la période 1944-1985, marquée par l'absence ou la faible présence de structures de protection à la côte, le TC le long des falaises meubles a reculé en moyenne de $-9,80 \pm 5,80\text{m}$, soit un taux de $-0,24 \pm 0,14\text{m/an}$. Durant la période 1985-2018, marquée par l'aménagement de nombreuses structures de protection au pied des falaises, le TC dans les secteurs restés naturels a reculé

¹² Un article portant sur le sujet vient d'être accepté par la revue *Vertigo* intitulé : « Impacts des structures rigides de protection sur la côte néo-brunswickoise de la baie des Chaleurs au Canada » (DIOUF, BÉRUBÉ et ROBICHAUD – auteurs). Sa parution est prévue en 2022.



en moyenne de $-5,93 \pm 2,73\text{m}$, soit un taux de $-0,18 \pm 0,08\text{m/an}$.¹³ En 2018, ~70 % des côtes à falaises meubles est enroché dans le sous-secteur de Nigadoo (Figure 5).

TABEAU 2. ÉVOLUTION HISTORIQUE (1944-2018) DU TRAIT DE CÔTE DU SOUS-SECTEUR DE NIGADOO (INCLUANT LES TENDANCES DES PÉRIODES INTERMÉDIAIRES DE 1944-1985 ET DE 1985-2018).

Côte à falaise meuble				1944-2018 (74 ans)			1944-1985 (41 ans)			1985-2018 (33 ans)		
Tendance observée	# de transects	Distance (m)	Taux (m/an)	# de transects	Distance (m)	Taux (m/an)	# de transects	Distance (m)	Taux (m/an)	# de transects	Distance (m)	Taux (m/an)
Avancée du trait de côte	0	-	-	0	-	-	0	-	-	0	-	-
Stabilité apparente	3 (5%)	$-3,60 \pm 4,27$	$-0,05 \pm 0,06$	29 (45%)	$-2,99 \pm 5,80$	$-0,07 \pm 0,14$	3 (5%)	$-0,54 \pm 2,73$	$-0,02 \pm 0,08$	3 (5%)	$-0,54 \pm 2,73$	$-0,02 \pm 0,08$
Recul du trait de côte	17 (26%)	$-11,13 \pm 4,27$	$-0,15 \pm 0,06$	36 (55%)	$-9,80 \pm 5,80$	$-0,24 \pm 0,14$	17 (26%)	$-5,93 \pm 2,73$	$-0,18 \pm 0,08$	17 (26%)	$-5,93 \pm 2,73$	$-0,18 \pm 0,08$
Transects avec présence de structures de protection	45 (69%)	$-1,95 \pm 4,27$	n.a.	0	-	-	45 (69%)	$+4,82 \pm 2,73$	n.a.	45 (69%)	$+4,82 \pm 2,73$	n.a.

Côte à flèche littorale				1944-2018 (74 ans)			1944-1985 (41 ans)			1985-2018 (33 ans)		
Exposition	# de transects	Distance (m)	Taux (m/an)	# de transects	Distance (m)	Taux (m/an)	# de transects	Distance (m)	Taux (m/an)	# de transects	Distance (m)	Taux (m/an)
Face à la Baie	10 (59%)	$-1,72 \pm 4,27$	$-0,02 \pm 0,06$	10 (59%)	$+0,32 \pm 5,80$	$+0,01 \pm 0,14$	10 (59%)	$-1,42 \pm 2,73$	$-0,04 \pm 0,08$	10 (59%)	$-1,42 \pm 2,73$	$-0,04 \pm 0,08$
Estuaire	7 (41%)	$-0,85 \pm 4,27$	$-0,01 \pm 0,06$	7 (41%)	$-0,60 \pm 5,80$	$-0,01 \pm 0,14$	7 (41%)	$-0,32 \pm 2,73$	$-0,01 \pm 0,08$	7 (41%)	$-0,32 \pm 2,73$	$-0,01 \pm 0,08$

¹³ Voir les planches 1A, 1B, 1C préparées par DIOUF et coll. (2019a) pour des taux sur la période 1934-2018, disponibles au MRNDÉ (<http://dnr-mrn.gnb.ca/ParisWeb/PublicationSearch.aspx>).

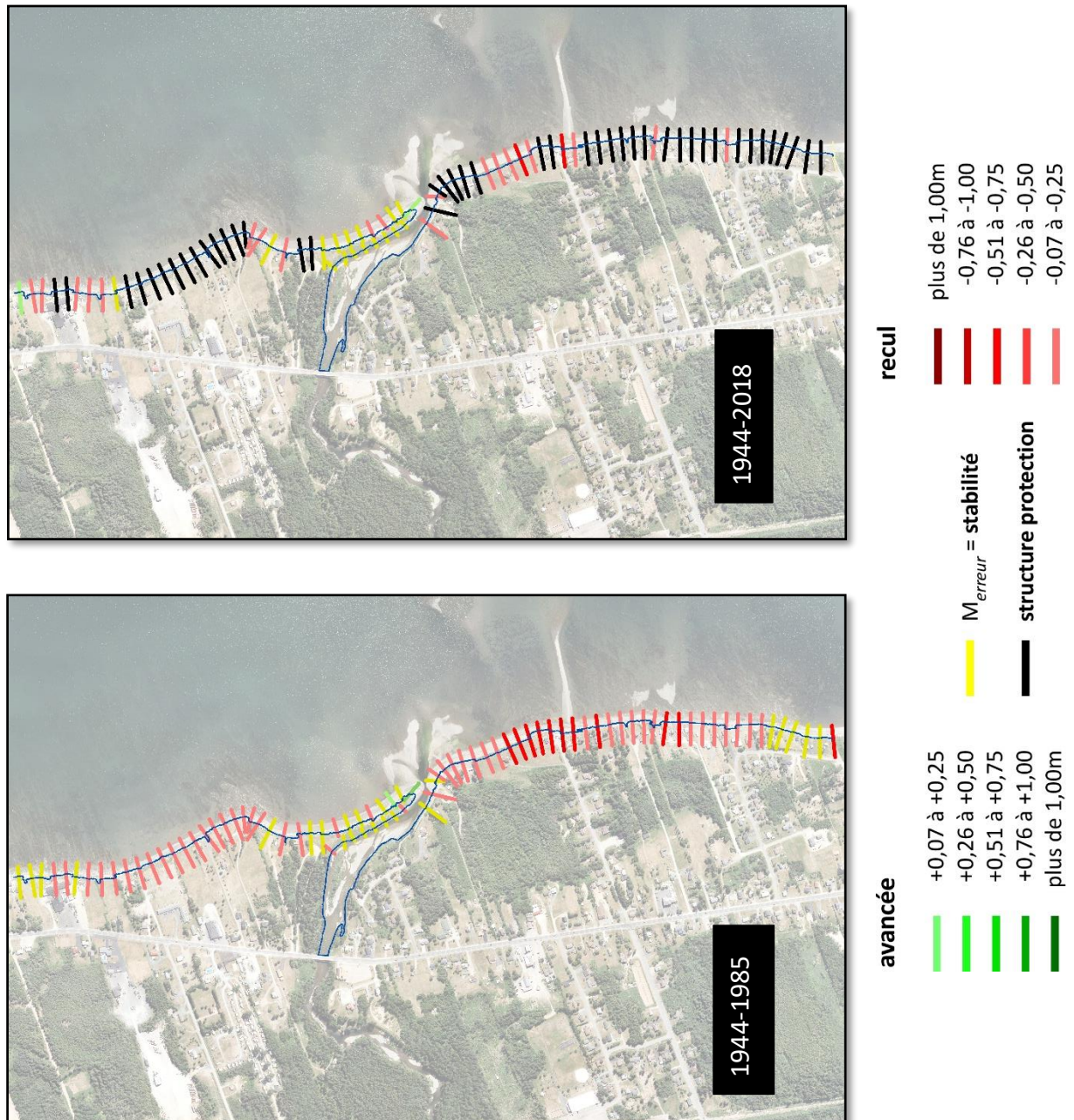


FIGURE 5. TAUX DE REcul DU TC DU SOUS-SECTEUR DE NIGADOO : 1944-1985 ET 1944-2018.



IV.III.II. *Le sous-secteur de Salmon Beach*

La côte du sous-secteur de Salmon Beach (~6,5km) correspond généralement à des falaises meubles de moins de 6 mètres dans sa partie ouest et à de dunes littorales dans sa partie nord-est. Trois courtes et basses flèches d'embouchure sont présentes à la côte et referment partiellement des estuaires, là où se déversent trois cours d'eau du sous-secteur. Sur l'ensemble de la période d'étude, on note la présence d'un enrochement protégeant une partie de la route côtière principale des assauts de la mer. En 1944, cette structure faisait ~780m de longueur, tandis qu'en 2020, l'enrochement a été remblayé et prolongé aux deux extrémités pour totaliser une longueur de ~1,1km. Le linéaire côtier quasi-naturel d'autrefois (période 1944-1985) est caractérisé aujourd'hui par l'aménagement de structures de protection, tant au pied des falaises meubles de la partie ouest que devant les dunes littorales de la partie nord-est.

Le TC a été cartographié pour les trois années d'étude (1944, 1985, 2020) dans le sous-secteur de Salmon Beach. Au cours des 76 dernières années (1944-2020), dans les secteurs à falaises meubles « naturelles » (non protégées par des structures), le TC a reculé de $-25,39 \pm 4,50\text{m/an}$, soit un taux de **$-0,34 \pm 0,06\text{m/an}$** (Tableau 3).

Durant la période 1944-1985, où seule la structure protégeant la route était présente, le TC le long des falaises meubles a reculé en moyenne de $-15,32 \pm 6,02\text{m}$, soit un taux de $-0,38 \pm 0,15\text{m/an}$. Durant la période 1985-2020, marquée par l'aménagement de nombreuses structures de protection au pied des falaises, le TC dans les secteurs restés naturels a reculé en moyenne de $-11,27 \pm 2,92\text{m}$, soit un taux de $-0,33 \pm 0,08\text{m/an}$. Au cours des 76 dernières années (1944-2020), les secteurs à dunes littorales non protégées par des structures étaient majoritairement stables ($-0,23 \pm 4,50\text{m/an}$, soit un taux de $0,0 \pm 0,06\text{m/an}$) (Tableau 3), ce qui était aussi le cas durant la période 1944-1985. Durant la période 1985-2020, le trait de côte dunaire dans les secteurs naturels a reculé en moyenne de $-9,54 \pm 2,92\text{m}$, soit un taux de $-0,28 \pm 0,08\text{m/an}$.¹⁴ En 2020, ~50 % des côtes du sous-secteur de Salmon Beach est désormais enroché (Figure 6).

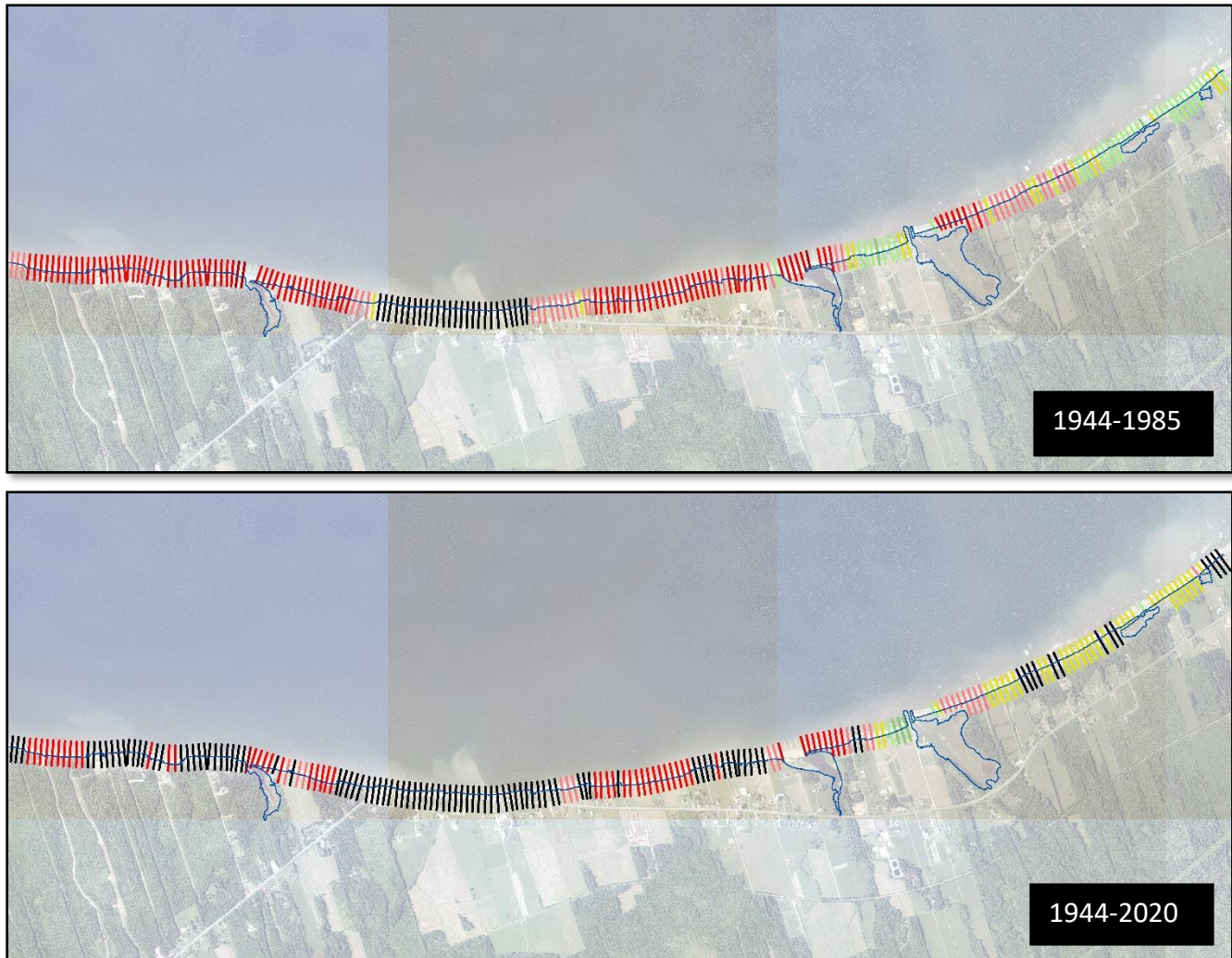
¹⁴ Voir les planches 3A, 3B, 3C, 4A, 4B, 4C préparées par DIOUF et coll. (2019b,c) pour des taux sur la période 1934-2012, disponibles au MRNDÉ (<http://dnr-mrn.gnb.ca/ParisWeb/PublicationSearch.aspx>).



**TABEAU 3. ÉVOLUTION HISTORIQUE (1944-2020) DU TRAIT DE CÔTE DU SOUS-SECTEUR DE SALMON BEACH
(INCLUANT LES TENDANCES DES PÉRIODES INTERMÉDIAIRES DE 1944-1985 ET DE 1985-2020).**

Côte à falaise meuble				1944-2020 (76 ans)			1944-1985 (41 ans)			1985-2020 (35 ans)		
Tendance observée	# de transects	Distance (m)	Taux (m/an)				# de transects	Distance (m)	Taux (m/an)	# de transects	Distance (m)	Taux (m/an)
Avancée du trait de côte	0	-	-				0	-	-	0	-	-
Stabilité apparente	1 (1%)	-1,78 ± 4,50	-0,02 ± 0,06				6 (5%)	-2,58 ± 6,02	-0,06 ± 0,15	0	-	-
Recul du trait de côte	48 (36%)	-25,39 ± 4,50	-0,34 ± 0,06				96 (74%)	-15,32 ± 6,02	-0,38 ± 0,15	45 (35%)	-11,27 ± 2,92	-0,33 ± 0,08
Transects avec présence de structures de protection	85 (63%)	-5,62 ± 4,50	n.a.				28 (21%)	+9,22 ± 6,02	n.a.	85 (65%)	+1,31 ± 2,92	n.a.

Côte à dune littorale				1944-2020 (76 ans)			1944-1985 (41 ans)			1985-2020 (35 ans)		
Tendance observée	# de transects	Distance (m)	Taux (m/an)				# de transects	Distance (m)	Taux (m/an)	# de transects	Distance (m)	Taux (m/an)
Avancée du trait de côte	6 (7%)	+22,83 ± 4,50	+0,30 ± 0,06				21 (24%)	+8,04 ± 6,02	+0,20 ± 0,15	20 (23%)	+9,52 ± 2,92	+0,27 ± 0,08
Stabilité apparente	42 (50%)	-0,23 ± 4,50	-0,0 ± 0,06				43 (48%)	+0,02 ± 6,02	+0,0 ± 0,15	23 (26%)	+0,65 ± 2,92	+0,02 ± 0,08
Recul du trait de côte	22 (26%)	-22,53 ± 4,50	-0,30 ± 0,06				23 (26%)	-18,96 ± 6,02	-0,47 ± 0,15	30 (34%)	-9,54 ± 2,92	-0,28 ± 0,08
Transects avec présence de structures de protection	14 (17%)	-0,98 ± 4,50	n.a.				1 (1%)	+0,44 ± 6,02	n.a.	15 (17%)	+0,18 ± 2,92	n.a.



avancée

—	+0,06 à +0,25
—	+0,26 à +0,50
—	+0,51 à +0,75
—	+0,76 à +1,00
—	plus de 1,00m

— M_{erreur} = stabilité

— structure protection

recul

—	plus de 1,00m
—	-0,76 à -1,00
—	-0,51 à -0,75
—	-0,26 à -0,50
—	-0,06 à -0,25

FIGURE 6. TAUX DE REcul DU TC DU SOUS-SECTEUR DE SALMON BEACH : 1944-1985 ET 1944-2020.



IV.III.III. *Le sous-secteur de Janeville*

La côte du sous-secteur de Janeville (~8,6km) correspond à des falaises meubles de moins de 6 mètres de hauteur dans sa partie sud-ouest, et à de hautes falaises meubles (jusqu'à 23 mètres) dans sa partie nord-est. De courtes et basses flèches d'embouchure sont présentes à la côte et referment partiellement des estuaires, là où se déversent des cours d'eau du sous-secteur. Des observations intéressantes sont à souligner dans ce secteur, la première étant le caractère principalement naturel de la côte sur l'ensemble de la période d'étude (1944-2020), à l'exception de quelques enrochements apparus depuis 1985 dans la partie sud-ouest. La seconde observation, liée à la première, est que les enrochements apparus depuis 1985 ont été aménagés dans la partie du sous-secteur de Janeville, où les taux d'érosion étaient pourtant nettement moins élevés que dans la partie nord-est.

Le TC a été cartographié pour les trois années d'étude (1944, 1985, 2020) dans le sous-secteur de Janeville. Au cours des 76 dernières années (1944-2020), les secteurs à falaises meubles non protégées par des structures ont reculé de $-19,69 \pm 4,08\text{m/an}$, soit un taux de **$-0,26 \pm 0,05\text{m/an}$** (Tableau 4).

Durant la période 1944-1985, entièrement « naturelle » (aucune structure de protection observée), le TC le long des falaises meubles a reculé en moyenne de $-14,67 \pm 5,48\text{m}$, soit un taux de $-0,36 \pm 0,13\text{m/an}$. Durant la période 1985-2020, marquée par l'aménagement de quelques structures de protection au pied des falaises de la partie sud-ouest, le TC dans les secteurs naturels a reculé en moyenne de $-9,37 \pm 2,80\text{m}$, soit un taux de $-0,27 \pm 0,08\text{m/an}$. En 2020, plus de ~92 % des côtes du sous-secteur de Janeville évolue encore « naturellement » (Figure 7).



TABEAU 4. ÉVOLUTION HISTORIQUE (1944-2020) DU TRAIT DE CÔTE DU SOUS-SECTEUR DE JANEVILLE (INCLUANT LES TENDANCES DES PÉRIODES INTERMÉDIAIRES DE 1944-1985 ET DE 1985-2020).

Côte à falaise meuble				1944-2020 (76 ans)			1944-1985 (41 ans)			1985-2020 (35 ans)		
Tendance observée	# de transects	Distance (m)	Taux (m/an)				# de transects	Distance (m)	Taux (m/an)	# de transects	Distance (m)	Taux (m/an)
Avancée du trait de côte	1 (0,3%)	+9,28 ± 4,08	+0,12 ± 0,05				0	-	-	4 (1%)	+9,53 ± 2,80	+0,28 ± 0,08
Stabilité apparente	14 (5%)	-1,98 ± 4,08	-0,03 ± 0,05				84 (31%)	-1,79 ± 5,48	-0,04 ± 0,13	45 (17%)	-1,16 ± 2,80	-0,03 ± 0,08
Recul du trait de côte	226 (84%)	-19,69 ± 4,08	-0,26 ± 0,05				185 (69%)	-14,67 ± 5,48	-0,36 ± 0,13	191 (71%)	-9,37 ± 2,80	-0,27 ± 0,08
Transects avec présence de structures de protection	28 (10%)	-3,35 ± 4,08	n.a.				0	-	-	28 (10%)	+7,66 ± 2,80	n.a.

Côte à dune littorale				1944-2020 (76 ans)			1944-1985 (41 ans)			1985-2020 (35 ans)		
Tendance observée	# de transects	Distance (m)	Taux (m/an)				# de transects	Distance (m)	Taux (m/an)	# de transects	Distance (m)	Taux (m/an)
Avancée du trait de côte	1 (6%)	+5,11 ± 4,08	+0,07 ± 0,05				2 (12%)	+9,35 ± 5,48	+0,23 ± 0,13	3 (18%)	+14,75 ± 2,80	+0,43 ± 0,08
Stabilité apparente	0	-	-				3 (19%)	-2,39 ± 5,48	-0,06 ± 0,13	3 (18%)	+0,83 ± 2,80	+0,02 ± 0,08
Recul du trait de côte	14 (87%)	-16,71 ± 4,08	-0,22 ± 0,05				10 (62%)	-10,57 ± 5,48	-0,26 ± 0,13	10 (59%)	-12,65 ± 2,80	-0,37 ± 0,08
Transects avec présence de structures de protection	1 (6%)	-19,52 ± 4,08	n.a.				1 (6%)	+5,07 ± 5,48	n.a.	1 (6%)	-2,96 ± 2,80	n.a.

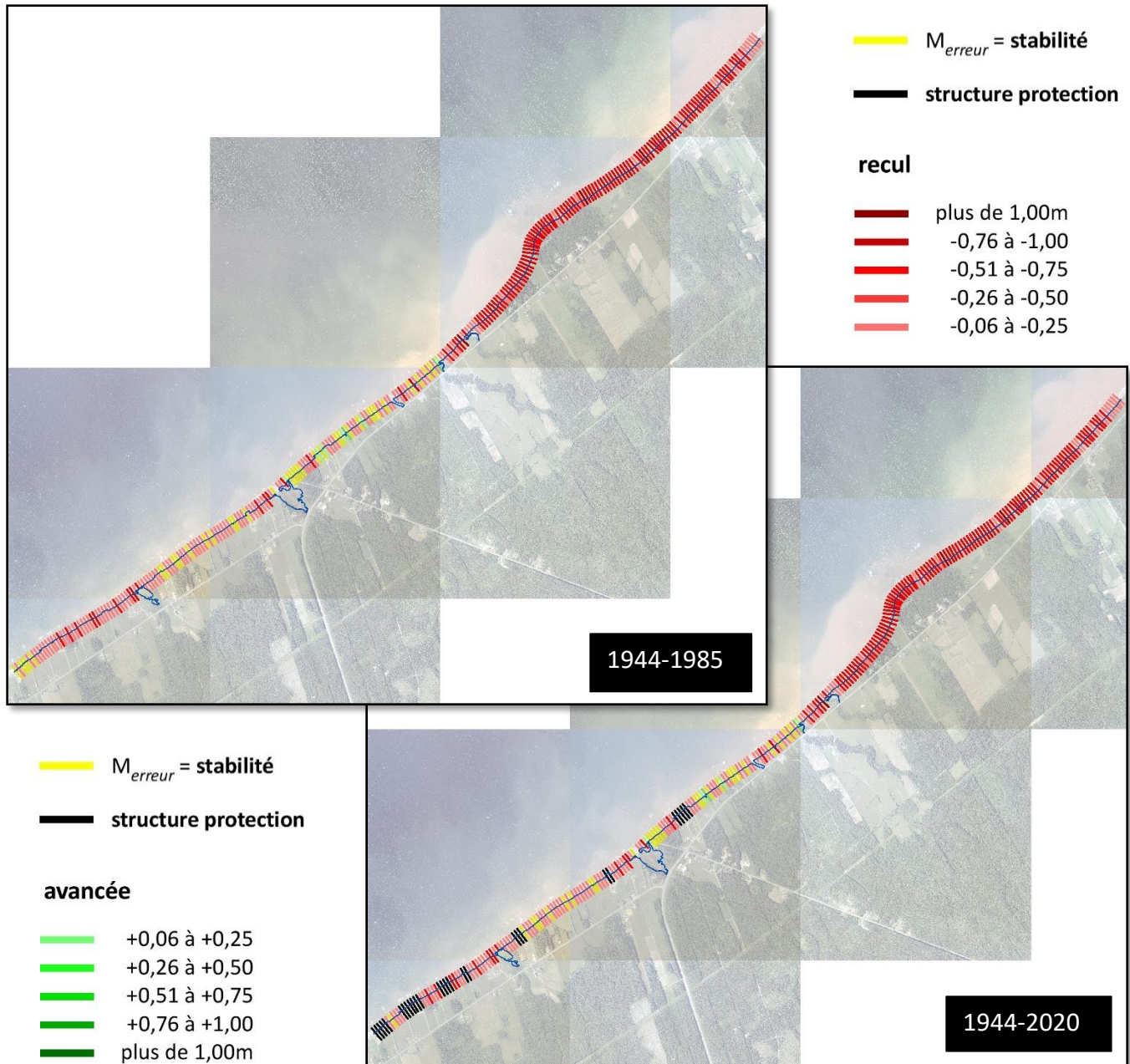


FIGURE 7. TAUX DE REcul DU TC DU SOUS-SECTEUR DE JANEVILLE : 1944-1985 ET 1944-2020.



IV.IV. Scénarios de l'emplacement futur du trait de côte

En raison de l'accélération de la hausse relative du niveau de la mer projetée pour les décennies futures, il faut s'attendre à ce que le taux d'érosion côtière s'accélère lui aussi (WONG et coll., 2014 ; CROWELL, LEATHERMAN et DOUGLAS, 2018 ; MASSELINK et coll., 2020), et ceci est le cas des falaises meubles, sensibles à l'élévation du niveau marin et hautement érodables (BROOKS et SPENCER, 2012).

De façon générale, ce n'est pas une tâche facile de prédire la position future du trait de côte, justement car le futur n'appartient qu'à plus tard (la vérification des prédictions d'aujourd'hui ne pourra se faire que dans plusieurs décennies). L'autre difficulté à prédire les futurs taux de déplacement de la côte réside dans le fait qu'il n'existe pas de comparatifs immédiats, car les taux d'élévation du niveau de la mer prévus au cours du prochain siècle sont sans précédent au cours des périodes historiques (au moins les deux derniers millénaires), ce qui rend difficile l'extrapolation des mesures historiques dans le futur. Par ailleurs, la modélisation du recul de la côte, des falaises notamment, exige de nombreuses données sur les caractéristiques physiques du littoral et les conditions marines (par exemples la composition sédimentaire des falaises ; le volume du transit sableux de la dérive littorale ; la topographie et la profondeur de l'estran ; la hauteur significative et la direction des vagues de tempête ; etc.), dont la disponibilité est souvent limitée ou absente. Néanmoins, des démarches ont été développées pour scénariser la position future du trait de côte, et la présente étude en emprunte deux.

IV.IV.I. Les scénarios « conservateur » et « pessimiste »

Pour établir les scénarios de la position de la côte dans l'avenir, le tracé du trait de côte de 2018/2020 a d'abord été redessiné, de façon à en retirer les irrégularités de détail (l'outil « Lisser des lignes » dans ArcGIS : méthode *PAEK – Polynomial Approximation with Exponential Kernel*, approximation polynomiale avec noyau exponentiel – selon une tolérance de lissage de 80).¹⁵ C'est ce trait de côte « lissé » qui a par la suite été déplacé vers l'avant (progradation) ou l'arrière (recul) selon les taux de déplacement locaux

¹⁵ Les vecteurs TC initialement tracés à la base des structures de protection ont été supprimés puis remplacés par des vecteurs qui passent en arrière des structures. C'est ce nouveau TC ajusté qui a ensuite été lissé de façon à en retirer les irrégularités de détail pour l'étape de la projection.



calculés (voir sous-sections IV.III.I. à III.). Le linéaire côtier des trois sous-secteurs (Nigadoo, Salmon Beach, Janeville) a ensuite été divisé en segments côtiers montrant une évolution homogène pendant la période historique 1944-2018/2020 (ou 1944-1985, si la rigidification de la côte était trop importante) (Figure 8).

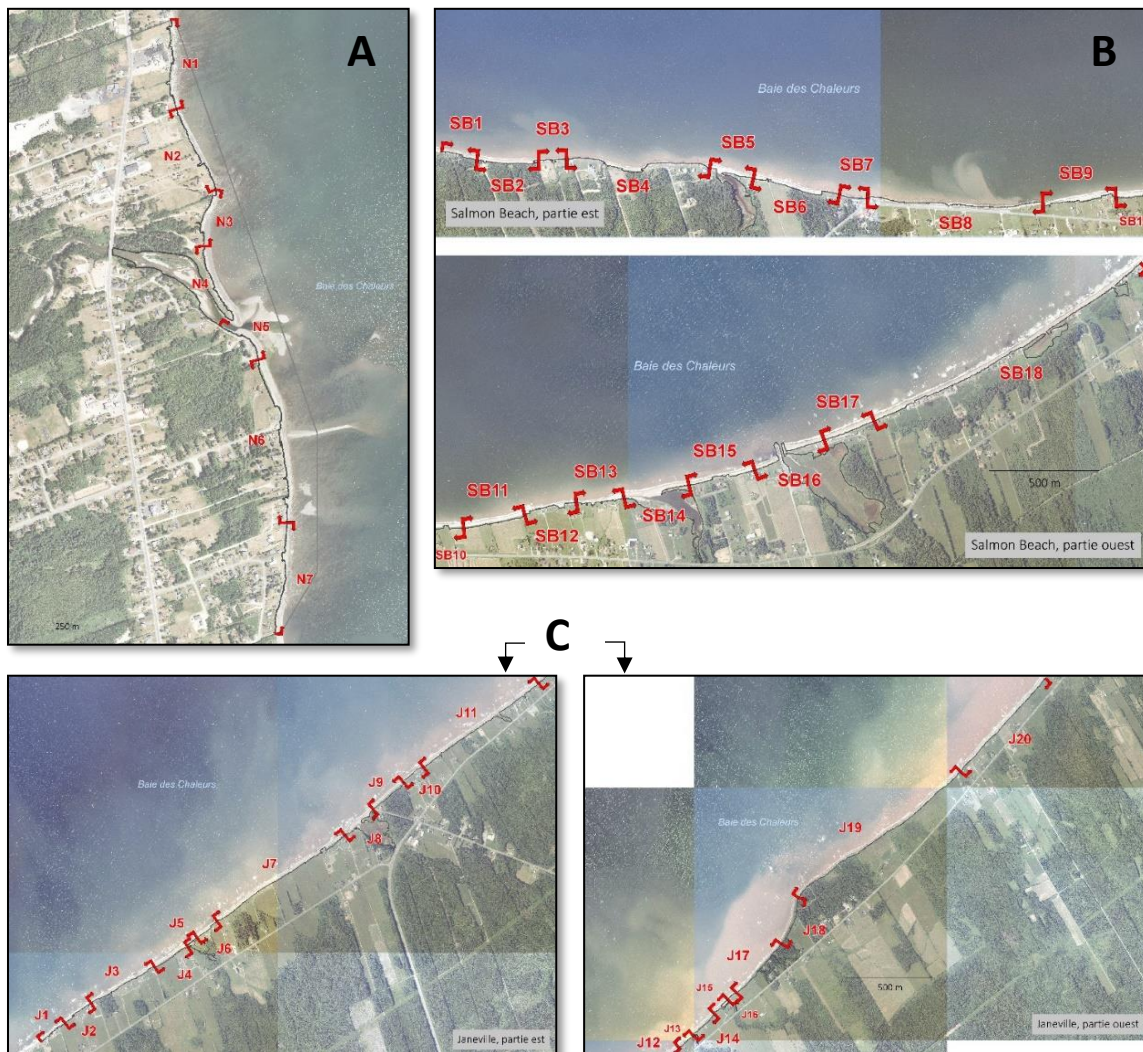


FIGURE 8. SECTEURS À ÉVOLUTION HOMOGÈNE À NIGADOO (A), SALMON BEACH (B) ET JANEVILLE (C).



Deux scénarios furent préparés pour les années 2050 et 2100 dans le cadre de ce projet : « conservateur » et « pessimiste » (exigence stipulée dans la *Demande de propositions No : PL2020-01*). Les scénarios « conservateurs » sont fondés sur les taux annuels moyens calculés à partir du déplacement de la côte entre 1944 et 2018/2020. Ils correspondent donc à la projection future (et linéaire) des taux observés sur la période historique (cette démarche est couramment recommandée par le MRNDÉ dans des projets similaires depuis les années 2010). Une seconde démarche fût adoptée pour préparer les scénarios dits « pessimistes » ; elle fait intervenir les taux annuels moyens calculés et intègre la hausse du niveau marin (récente et future).¹⁶

Calcul du déplacement projeté du trait de côte

Les scénarios « pessimistes » s'appuient sur la mise en relation de la hausse anticipée du niveau marin et de l'érosion historique des côtes. Des recherches récentes en modélisation de l'érosion côtière ont permis l'aboutissement d'une équation simplifiée permettant de prédire ou d'évaluer la réponse de la côte à la hausse du niveau marin et donc le positionnement possible du trait de côte dans le futur (ASHTON et coll., 2011 ; MASSELINK et coll., 2020). Le taux de recul futur de la côte est exprimé ainsi :

$$R_{\text{futur}} = R_{\text{historique}} \times (NM_{\text{futur}} / NM_{\text{historique}})$$

, où R est le taux de recul du trait de côte et NM est la hausse du niveau marin pour la période considérée (futur) et la période la plus longue pour laquelle un taux est connu (dite « période historique »). À partir des données du marégraphe de Charlottetown (dont la période d'opération est de plus de 100 ans) et des données DGPS mesurant le mouvement vers le haut (soulèvement) ou vers le bas (affaissement) de la croûte terrestre contenues

¹⁶ D'autres démarches sont possibles pour développer des scénarios qui suggèrent une accélération des taux de déplacement de la côte en réponse à la hausse du niveau marin anticipée : identification des taux d'érosion maximaux mesurés lors de l'analyse du plus grand nombre de séries d'images aériennes ; projeter le recul maximal mesuré lors d'un événement ponctuel de tempête majeure ; modéliser la réponse de la côte via des modèles hydrodynamiques, tels que *SCAPE*. Ces différentes démarches étaient hors de portée de *GLC* dans le cadre de ce contrat.



dans DAIGLE (2020), il est possible d'estimer la hausse du niveau marin relatif dans la région du secteur d'étude.

Pour la zone 2 (de Belledune à l'ouest jusqu'à Grande-Anse à l'est), il y aurait eu une hausse du niveau marin relatif de **10,6cm** au cours des 76 dernières années (période 1944-2020).¹⁷ Selon les projections contenues dans DAIGLE (2020) (basées sur le scénario RCP8.5 du GIEC), le niveau marin relatif de la zone 2 sera 18cm plus haut en 2050 et 60cm plus haut en 2100, par rapport à 2020.

À titre d'exemple du calcul des distances de projection du trait de côte (2050 et 2100), par rapport à sa position en 2020, selon un scénario « pessimiste », le secteur à évolution homogène SB6 du sous-secteur de Salmon Beach est utilisé. Entre 1944 et 2020, la falaise meuble a reculé de $-25,16 \pm 4,69\text{m}$, soit un taux de recul de **$-0,33 \pm 0,06\text{m/an}$** .

$$\begin{aligned} R_{2050} &= R_{\text{historique}} \times (NM_{2050} / NM_{\text{historique}}) & R_{2100} &= R_{\text{historique}} \times (NM_{2100} / NM_{\text{historique}}) \\ R_{2050} &= -0,33\text{m/an} \times (18\text{cm}^{18} / 10,6\text{cm}) & R_{2100} &= -0,33\text{m/an} \times (60\text{cm}^{18} / 10,6\text{cm}) \\ R_{2050} &= -0,33\text{m/an} \times 1,7 & R_{2100} &= -0,33\text{m/an} \times 5,7 \\ R_{2050} &= -0,56\text{m/an} & R_{2100} &= -1,88\text{m/an} \end{aligned}$$

Distance 2050 : $R_{2050} \times 30$ ans

Distance 2050 : $-0,56\text{m/an} \times 30$ ans

Distance 2100 : $R_{2100} \times 80$ ans

Distance 2100 : $-1,88\text{m/an} \times 80$ ans

Distance 2050 : 16,8m

Distance 2100 : 150,4m

Par comparaison, sous un scénario « conservateur », qui est une transposition linéaire des taux historiques, le trait de côte de 2050 serait à une distance de 9 mètres de sa position en 2020, alors qu'il serait à 24 mètres en 2100. Cet exemple illustre que le scénario « pessimiste » projette des reculs de la côte plus importants que la simple transposition des

¹⁷ Calcul de la hausse du niveau marin relatif (HNMR) pour la zone 2 : Soulèvement isostatique régional = 8cm/100 ans → 6,1cm/76 ans. Hausse du niveau marin = 22cm/100 ans → 16,7cm/76 ans.
HNMR = 16,7cm – 6,1cm = 10,6cm/76 ans.

¹⁸ Projections de la hausse du niveau marin relatif de DAIGLE (2020) d'ici 2050 et 2100.



taux historiques dans le futur. Le tableau 5 montre les distances de déplacement pour les projections calculées dans chacun des secteurs d'évolution homogène des secteurs d'étude.

TABEAU 5. TAUX DE RECU DES SECTEURS HOMOGÈNES ET PROJECTION DE LA DISTANCE DE DÉPLACEMENT DU TRAIT DE CÔTE EN 2050 ET 2100, SELON LES SCÉNARIOS « CONSERVATEUR » ET « PESSIMISTE ».

							Distance déplacement (m) ¹			
							Scénario conservateur		Scénario pessimiste	
							2050	2100	2050	2100
S.-s. de Nigadoo	N1	317,4	5	-0,11	0,06	1944-2018	-4	-9	-6	-51
	N2	304,8	10	-0,19	0,14	1944-1985	-6	-16	-10	-88
	N3	209,2	4	-0,11	0,06	1944-2018	-4	-9	-6	-51
	N4 (dune)	338,4	9	stabilité	0,06	1944-2018	0	0	-3	-28
	N5	174,7	4	stabilité	0,06	1944-2018	0	0	-3	-28
	N6	575,5	7	-0,24	0,06	1944-2018	-8	-20	-13	-111
	N7	381,5	13	stabilité	0,06	1944-2018	0	0	-3	-28
S.-s. de Salmon Beach	SB1	161,1	5	-0,22	0,15	1944-1985	-7	-18	-11	-100
	SB2	278,3	8	-0,43	0,06	1944-2020	-13	-34	-22	-195
	SB3	126,5	4	-0,31	0,15	1944-1985	-9	-25	-16	-140
	SB4	653,6	22	-0,51	0,15	1944-1985	-15	-41	-26	-231
	SB5 (dune)	165,6	5	-0,53	0,06	1944-2020	-16	-42	-27	-240
	SB6	389,3	9	-0,33	0,06	1944-2020	-10	-26	-17	-149
	SB7	132,0	4	-0,16	0,15	1944-1985	-5	-13	-8	-72
	SB8 (mur)	785,7	26	fixe	-	-	-	-	-	-
	SB9	331,8	11	-0,17	0,14	1944-1985	-5	-14	-9	-77
	SB10	184,5	4	-0,32	0,06	1944-2020	-10	-26	-16	-145
	SB11	283,5	8	-0,33	0,06	1944-2020	-10	-26	-17	-149
	SB12	242,8	7	-0,32	0,15	1944-1985	-10	-26	-16	-145
	SB13	215,4	7	-0,44	0,15	1944-1985	-13	-35	-22	-199
	SB14 (dune)	193,1	9	-0,40	0,06	1944-2020	-12	-32	-20	-181
	SB15	284,4	6	-0,21	0,06	1944-2020	-6	-17	-11	-95
	SB16	252,1	5	stabilité	0,06	1944-2020	0	0	-3	-27
	SB17	245,7	8	-0,07	0,06	1944-2020	-2	-6	-4	-32
	SB18	1 428,2	34	stabilité	0,06	1944-2020	0	0	-3	-27
S.-s. de Janeville	J1	213,6	7	stabilité	0,06	1944-2020	0	0	-3	-27
	J2	235,2	8	-0,13	0,12	1944-1985	-4	-10	-7	-59
	J3	541,6	10	-0,15	0,05	1944-2020	-5	-12	-8	-68
	J4	275,0	9	-0,23	0,05	1944-2020	-7	-18	-12	-104
	J5 (dune)	92,6	3	-0,13	0,05	1944-2020	-4	-10	-7	-59
	J6	180,4	4	-0,15	0,05	1944-2020	-5	-12	-8	-68
	J7	1 113,4	34	-0,17	0,05	1944-2020	-5	-14	-9	-77
	J8-9 (dune)	232,6	8	-0,28	0,05	1944-2020	-8	-22	-14	-127
	J10	288,8	10	-0,12	0,05	1944-2020	-4	-10	-6	-54
	J11	186,6	6	stabilité	0,05	1944-2020	0	0	-3	-23
	J12	1 025,6	33	-0,08	0,05	1944-2020	-2	-6	-4	-36
	J13	132,3	5	stabilité	0,05	1944-2020	0	0	-3	-23
	J14	240,3	8	-0,13	0,06	1944-2020	-4	-10	-7	-59
	J15	146,4	4	-0,11	0,06	1944-2020	0	0	-3	-27
	J16	89,4	3	-0,13	0,06	1944-2020	-4	-10	-7	-59
	J17	529,8	16	-0,25	0,06	1944-2020	-8	-20	-13	-113
	J18	395,9	13	-0,36	0,06	1944-2020	-11	-29	-18	-163
	J19	1 645,6	55	-0,46	0,06	1944-2020	-14	-37	-23	-208
	J20	985,4	33	-0,29	0,06	1944-2020	-9	-23	-15	-131

¹La distance de déplacement projetée est arrondie.



Commentaires relativement à la prise en compte des résultats des deux scénarios

Quelques éléments doivent être précisés : d'abord, le scénario « conservateur » suppose que le rythme d'évolution de la côte sera le même dans le futur que ce qu'il a été avant 2020. Cette situation est possible, mais de plus en plus d'experts s'attendent à des conditions différentes au cours du prochain siècle (WONG et coll., 2014). Deuxièmement, le développement d'un scénario « pessimiste » (qui accentue négativement l'évolution mesurée) était une exigence inscrite à la *DDP No : PL2020-01*. Finalement, la hausse du niveau marin relative anticipée pour la zone 2 (et soutenue par le gouvernement provincial via les travaux de DAIGLE, 2020), serait **5,7 fois plus importante** au cours des 80 prochaines années qu'elle ne l'a été au cours des 76 années passées. *Géo Littoral Consultants* estime que la seule prise en compte du scénario conservateur serait sans doute insuffisante dans le contexte d'une démarche d'aménagement durable de la zone côtière.¹⁹ Bien que la modélisation du recul de la réponse de la côte au changement climatique reste à perfectionner, nous croyons que les positions futures de la côte obtenues via le scénario « pessimiste », qui intègre la hausse du niveau marin (observée et projetée), devraient être discutées par les responsables de l'aménagement du territoire à la CSR Chaleur.

L'objectif ultime des scénarios (« conservateur » et « pessimiste ») est d'obtenir un ordre de grandeur du déplacement éventuel de la côte d'ici 2050 et 2100. Dans le cas du scénario « conservateur », il postule que l'évolution future se poursuivrait à un rythme semblable à celui observé entre 1944 et 2018/2020. Toutefois, les conditions qui ont sévit durant la période historique ne seront vraisemblablement pas les mêmes durant les prochaines décennies : on prédit notamment une hausse accélérée du niveau marin, une réduction de la période du couvert de glace saisonnier en raison des températures plus chaudes, un régime des tempêtes modifié (fréquence et intensité différentes) et probablement une hausse du nombre de cycles gel/dégel saisonniers affectant les littoraux rocheux (BERNATCHEZ et coll., 2014). Les processus d'érosion côtière et le recul de la côte devraient logiquement s'en trouver renforcé. Le scénario « pessimiste » a été proposé pour tenter de tenir compte de ces situations futures, différentes de celles du passé récent. Ces deux types de scénarios permettent d'identifier certains endroits dans les sous-secteurs étudiés où des développements actuels ou futurs pourraient se retrouver en situation exposée.

¹⁹ En raison de la prise en compte de la hausse du niveau marin, les secteurs à évolution homogène qui étaient considérés stables dans le scénario « conservateur » ne le sont plus, et ont été par conséquent projetés selon la marge d'erreur historique (0,06m/an) dans le scénario « pessimiste ».



IV.IV.II. Réserves et avertissements

Dans les scénarios, les segments côtiers adjacents qui ont été projetés selon des taux moyens de déplacement différents ont été raccordés les uns aux autres par des lignes au tracé arbitraire (Figure 9). Il est important de noter que tant le tracé des segments côtiers que les vecteurs qui les raccordent ne devraient pas être lus comme une prévision de la position qu'occupera effectivement la côte dans l'avenir.



FIGURE 9. EXEMPLES DE VECTEURS DE RACCORDEMENT RECTILIGNES ENTRE LES SECTEURS À ÉVOLUTION HOMOGÈNE (JANVILLE).



IV.V. Identification des infrastructures à risque

Tel qu'exigé dans la *DDP No : PL2020-01*, *GLC* s'est basée sur la méthodologie utilisée lors de projets similaires le long de la côte nord du Nouveau-Brunswick pour établir le niveau de risque à l'érosion des infrastructures localisées à proximité de la côte.²⁰

L'indice de risque à l'érosion proposé par ROBICHAUD et coll. (2011) permet d'estimer le potentiel qu'une infrastructure soit menacée par le recul de la côte dans le futur (2050 et 2100 dans le cadre de ce projet). Une marge de sécurité de 5 mètres est ajoutée aux projections calculées. La méthode propose trois (3) niveaux de risques à l'érosion : cote 3, cote 2, cote 1.

La **cote 3**, qui traduit un risque d'érosion imminent, est définie ainsi :

« ... toute infrastructure se trouvant à 5 m ou moins du trait de côte ou de la ligne de rivage de 2018 [ou 2020]... »
(CHELBI et coll., 2019, p. 16)

La **cote 2**, qui traduit un risque d'érosion à l'horizon de 2050, est définie ainsi :

« ... les infrastructures se trouvant à l'intérieur d'une zone débutant à 5m derrière le trait de côte de 2018 [ou 2020] et se terminant à 5m derrière le trait de côte projeté de 2050, se verront attribuer une cote 2. Ces infrastructures pourraient donc être en danger d'érosion d'ici 2050 et sont à surveiller prioritairement... » (*ibid*, p. 16)

La **cote 1**, qui traduit un risque d'érosion à l'horizon de 2100, est définie ainsi :

« ... une infrastructure à risque de cote 1 se trouvera dans une zone définie par une ligne située à 5m derrière le trait de côte ou de la ligne de rivage de 2050 et une ligne située à 5m

²⁰ Lors des réunions de travail tenues dans le cadre de ce projet, la comparabilité des résultats d'études effectuées par les différentes firmes-conseil pour déterminer les infrastructures à risque d'érosion a été un souci mentionné par le représentant de la CSR Chaleur. *GLC* a donc utilisé la même approche que CHELBI et coll. (2019) et WSP (2020). Pour le détail de cette méthodologie, le lecteur est renvoyé à ROBICHAUD et coll. (2011).



derrière le trait de côte ou la ligne de rivage de 2100, et sera donc considérée à risque d'érosion entre 2050 et 2100. »
(*ibid*, p. 16)

Toutes les infrastructures qui se situent au-delà du vecteur projeté de 2100 (+5 mètres de marge de sécurité) sont considérées comme n'étant pas à risque d'érosion avant 2100 et sont attribuées la **cote 0** :

« Les infrastructures étant situées à plus de 5m du trait de côte projeté en 2100 sont considérées comme sans risque (risque nul). » (WSP, 2020, p. 11)

Les tableaux 6, 7 et 8 rassemblent les informations sur les infrastructures à risque d'érosion dans les trois sous-secteurs étudiés. À noter que l'utilisation de la géodatabase qui fait partie des livrables permettra de mieux apprécier les infrastructures à risque d'érosion en fonction des différents scénarios préparés (« conservateur » 2050 et 2100 ; « pessimiste » 2050 et 2100).

TABLEAU 6. NOMBRE D'INFRASTRUCTURES PAR INDICE DE RISQUE SELON LE TYPE DE SCÉNARIO UTILISÉ, SOUS-SECTEUR DE NIGADOO.

Infrastructure	Total actuel (2018)	Type de scénario	Indice 3 (risque actuel)	Indice 2 (risque d'ici 2050)	Indice 1 (risque entre 2050-2100)	Indice 0 (aucun risque d'ici 2100)	À risque
Bâtiments ¹	712	Conservateur	8	6	6	692	20
		Pessimiste	8	10	30	664	48
Conduits sanitaires (m)	10 058,0	Conservateur	5,5	10,7	13,5	10 028,3	29,7
		Pessimiste	5,5	16,9	172,4	9 863,2	194,7
Stations de relèvement	4	Conservateur	0	0	0	4	0
		Pessimiste	0	0	2	2	2
Poteaux de communication ²	336	Conservateur	0	0	2	334	2
		Pessimiste	0	4	31	301	35
Routes (m)	21 572,0	Conservateur	0	0	4,6	21 567,4	4,6
		Pessimiste	0	0	293,6	21 278,3	293,6
Sentiers récréatifs (m)	631,9	Conservateur	0	0	0	631,9	0
		Pessimiste	0	0	0	631,9	0



TABEAU 7. NOMBRE D'INFRASTRUCTURES PAR INDICE DE RISQUE SELON LE TYPE DE SCÉNARIO UTILISÉ, SOUS-SECTEUR DE SALMON BEACH.

Infrastructure	Total actuel (2020)	Type de scénario	Indice 3 (risque actuel)	Indice 2 (risque d'ici 2050)	Indice 1 (risque entre 2050-2100)	Indice 0 (aucun risque d'ici 2100)	À risque
Bâtiments ¹	558	Conservateur	37	20	24	477	81
		Pessimiste	37	38	99	384	174
Conduits sanitaires (m)	0	Conservateur	0	0	0	0	0
		Pessimiste	0	0	0	0	0
Stations de relèvement	0	Conservateur	0	0	0	0	0
		Pessimiste	0	0	0	0	0
Poteaux de communication ²	375	Conservateur	0	3	17	355	20
		Pessimiste	0	11	83	281	94
Routes (m)	35 463,8	Conservateur	17,5	89,5	100,4	35 135,5	207,4
		Pessimiste	17,5	216,8	2 643,5	32 586,0	2 877,8
Sentiers récréatifs (m)	56 156,7	Conservateur	0	0	0	56 156,7	0
		Pessimiste	0	0	0	56 156,7	0

TABEAU 8. NOMBRE D'INFRASTRUCTURES PAR INDICE DE RISQUE SELON LE TYPE DE SCÉNARIO UTILISÉ, SOUS-SECTEUR DE JANEVILLE.

Infrastructure	Total actuel (2020)	Type de scénario	Indice 3 (risque actuel)	Indice 2 (risque d'ici 2050)	Indice 1 (risque entre 2050-2100)	Indice 0 (aucun risque d'ici 2100)	À risque
Bâtiments ¹	659	Conservateur	5	12	19	623	36
		Pessimiste	5	18	151	485	174
Conduits sanitaires (m)	0	Conservateur	0	0	0	0	0
		Pessimiste	0	0	0	0	0
Stations de relèvement	0	Conservateur	0	0	0	0	0
		Pessimiste	0	0	0	0	0
Poteaux de communication ²	378	Conservateur	0	0	0	378	0
		Pessimiste	0	0	86	292	86
Routes (m)	47 448,9	Conservateur	61,6	17,0	27,4	47 343,0	106,0
		Pessimiste	61,6	28,5	2 393,9	44 965,0	2 484,0
Sentiers récréatifs (m)	52 855,8	Conservateur	0	0	0	52 855,8	0
		Pessimiste	0	0	0	52 855,8	0



V. Cartographie des marais de Beresford

Géo Littoral Consultants a choisi de retenir les séries orthophotographiques de 2018 et de 2020, par opposition à la série orthophotographique de 2016, pour la cartographie « récente » des marais de Beresford pour les raisons suivantes :

- Les séries de 2018 et de 2020 ont été commandées pour des besoins d'inventaire des ressources forestières, tandis que la série de 2016 a été commandée pour des besoins d'évaluation foncière. La qualité pictographique des séries de 2018 et 2020 place le milieu naturel au cœur des objectifs (ce qui est aussi le cas pour cette étude).
- Les orthophotographies de 2018 ont été prises entre le 11 juillet et le 11 août, et celles de 2020 le 21 juillet²¹, en pleine période de croissance végétale. Les principales espèces végétales des marais (*Spartine alterniflore*, *Spartine étalée*, *Spartine pectinée*) sont plus clairement identifiables en raison de leurs couleurs et de leurs teintes respectives. Sur les orthophotographies de 2016 (prises en deux temps, le 7 juin et le 4 octobre²¹), la couleur beige de la végétation est prédominante (périodes de dormance ou hors de la période de croissance végétale) (Figure 10).



FIGURE 10. COMPARAISON DU RENDU DU COUVERT VÉGÉTAL DES ORTHOPHOTOGRAPHIES DE 2016 ET DE 2018.

²¹ Mariette HACHEY-BOUDREAU, anciennement Géomaticienne à la CSR Chaleur (communication personnelle).



- Le géomorphologue côtier provincial et membre du CCRACC, Dominique BÉRUBÉ, a émis des réserves quant au positionnement adéquat des images de la série de 2016 ; un léger décalage semble inhérent à cette série lorsque comparée aux autres orthophotographies numériques couvrant cette région, à savoir celles de 2007, 2012 et celles de 2018 (Figure 11).



FIGURE 11. LÉGER DÉCALAGE DE L'ORTHOPHOTOGRAPHIE NUMÉRIQUE DE 2016 FACE À 2018.

Les orthophotographies de 2016 sont néanmoins utiles dans le travail de cartographie. Plusieurs tuiles de cette série ont été prises à marée haute, ce qui permet de confirmer, par exemple, la présence d'espèces végétales dominantes (teinte de couleur monospécifique) ou la connexion de mares semi-ouvertes à l'estuaire, là où la série de 2018 est moins catégorique à ce niveau (Figure 12). D'autres produits ont été utilisés pour effectuer la cartographie des marais, entre autres les photos aériennes de 1985 et de 1944 (ainsi que celles d'années intermédiaires, lorsque disponibles), mais aussi des produits dérivés des données LiDAR de 2016 et 2018 (un MNT et un MNT à relief ombré, en CGVD2013) (Figure 13).²² L'utilisation simultanée de plusieurs documents permet d'améliorer

²² Ces produits ont été préparés par Mariette HACHEY-BOUDREAU, anciennement Géomaticienne à la CSR Chaleur.

l'interprétation du paysage et des habitats d'un milieu où il existe très peu de dénivelée, comme c'est le cas des marais côtiers.

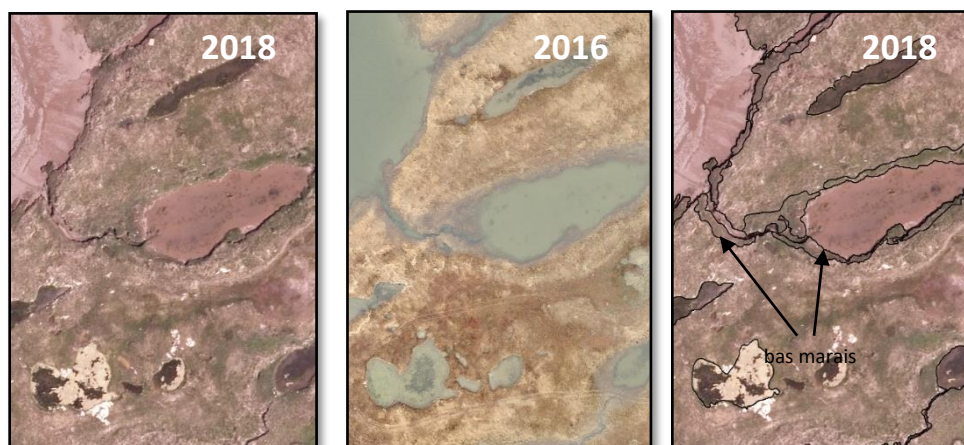


FIGURE 12. UTILISATION DE L'ORTHOPHOTOGRAPHIE NUMÉRIQUE DE 2016 POUR AJUSTER LES LIMITES DU BAS MARAIS OBSERVÉ SUR L'ORTHOPHOTOGRAPHIE DE 2018.

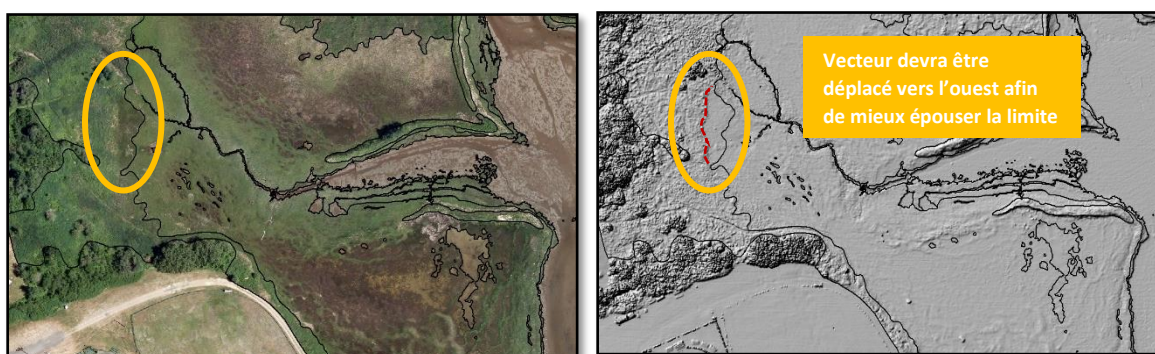


FIGURE 13. UTILISATION D'UN MNT À RELIEF OMBRÉ POUR AJUSTER LA CARTOGRAPHIE DU TRAIT DE CÔTE (LIMITES DU HAUT MARAIS ET DU MARAIS SAUMÂTRE DE TRANSITION) OBSERVÉ SUR L'ORTHOPHOTOGRAPHIE DE 2018.



V.I. Principales caractéristiques des marais

À l'échelle du paysage (plus grand que le site et plus petit que la région), les marais côtiers se développent et se retrouvent souvent dans des endroits où l'action des tempêtes et des vagues énergétiques est atténuée, principalement le long de côtes à faible énergie, dans des estuaires et baies peu profondes ou encore derrière des flèches sableuses ou îles barrières, où ces dernières offrent une protection contre les conditions énergétiques. Le développement des marais côtiers est accru lorsque les conditions de vent et de vagues favorisent l'accumulation de sédiments fins et que le substrat (la géologie sous-jacente) est propice au développement de surfaces planes à l'intérieur de la zone intertidale.

Dans leur article de 2014, ROGERS et WOODROFFE proposent une classification des marais côtiers de la zone tempérée basée sur leur contexte physique. Bien que les marais de Beresford ne s'étendent que sur ~6 kilomètres de linéaire côtier, il est possible d'en reconnaître trois : le type « deltaïque » (b), le type « estuarien » (c) et le type « d'arrière-flèche » (d) (Figure 14). Le type deltaïque comprend des marais qui se développent sur de petits îlots d'alluvions déposés au contact entre la partie fluviale et la partie estuarienne d'un cours d'eau. Les marais de la rivière Millstream et du ruisseau Grants sont des exemples de marais deltaïques (voir sous-section V.III.II.). Le type estuarien inclut des marais qui se développent en bordure d'estuaires grâce à des apports en sédiments fins ou le long des rives de lagunes, dont l'embouchure est fermée partiellement ou de façon intermittente par des flèches sableuses. La portion centrale (qui représente la plus grande partie des marais de Beresford) correspond à des marais estuariens. Le type d'arrière-flèche correspond à des marais développés dans la partie concave située entre le milieu terrestre et le milieu côtier, portion de territoire protégée des assauts de la mer par une flèche sableuse ou une île barrière. La partie nord (derrière la plage publique de Beresford et au sud de la rue des Chalets) et la partie sud-est (à l'ouest de la rue Jacques-Cartier, vers la plage Youghall) sont des exemples de marais d'arrière-flèche. La sous-section V.III. – *Présentation des résultats*, plus bas, permettra de reconnaître les différents types de marais côtiers présents dans le sous-secteur de Beresford.

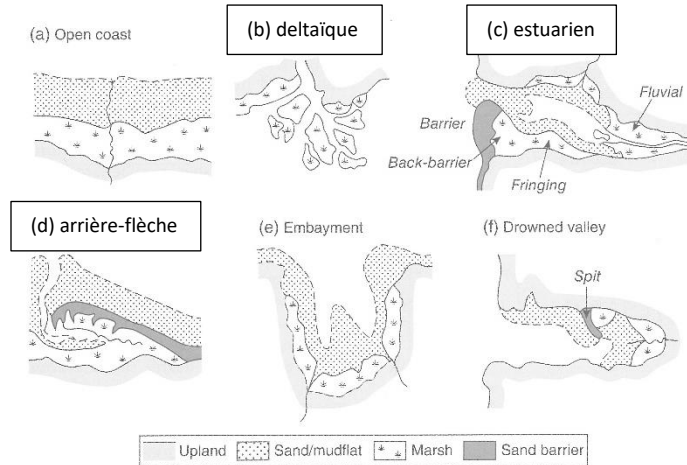


FIGURE 14. CLASSIFICATION DES MARAIS DE LA ZONE TEMPÉRÉE (ROGERS ET WOODROFFE, 2014).

Il existe plusieurs noms pour décrire les terres basses, planes et humides à proximité de, et influencés par la mer : marais salés, marais salants, marais maritimes, marais côtiers. Dans ce travail, nous utilisons deux termes pour parler généralement des terres humides côtières : 1) le **marais salé**, et 2) le **marais côtier** (Figure 15).

Le marais salé est la portion végétalisée des terres humides influencée par la marée habituelle. Les espèces végétales qu'on y retrouve sont dites halophytes, c'est-à-dire qu'elles sont adaptées pour vivre dans un milieu salé (sols et eau). Le marais salé correspond, du côté « mer », au front de la végétation, tandis que du côté « terre », il s'arrête à la limite atteinte par la marée haute mensuelle, aussi nommée la Pleine mer supérieure, grande marée (PMSGM).²³ Le marais salé comprend deux zones, définies selon l'espèce végétale dominante : le bas marais et le haut marais. Le bas marais constitue souvent une étroite bande en bordure de mer, inondée à chaque marée haute. Il est souvent formé d'une seule espèce végétale, soit la Spartine alterniflore (*Spartina alterniflora*) ; parfois, on y retrouve aussi de la salicorne d'Europe (*Salicornia europea*).²⁴ Le haut

²³ Selon le MRNDÉ N-B, voici les niveaux altimétriques (CGVD2013) pour le complexe lagune/estuaire de Beresford : +0,8m (PMSGM) ; +0,3m (PMSMM) ; -0,6m (NMM) ; -1,2m (BMIMM) ; -1,7m (BMIGM).

²⁴ Dans le cadre de campagnes de terrain en 2015 et 2016, KALACSKA et coll. (2017) ont caractérisé la végétation des marais de Beresford, de Youghall et de Pointe Carron.



marais, plus vaste, se retrouve à une élévation légèrement plus grande et est inondé seulement quelques fois par mois, au moment de la marée haute mensuelle. Le haut marais est dominé par la Spartine étalée (*Spartina patens*), mais le couvert végétal est néanmoins diversifié : la lavande de mer (*Limonium sp.*), le plantain maritime (*Plantago maritima*), le Troscart maritime (*Triglochin maritima*), la salicorne d'Europe (*Salicornia europea*), la puccinellie (*Puccinellia paupercula*), la soude maritime (*Suaeda maritima*), et la verge d'or (*Solidago sempervirens*) peuvent s'y retrouver.²⁴

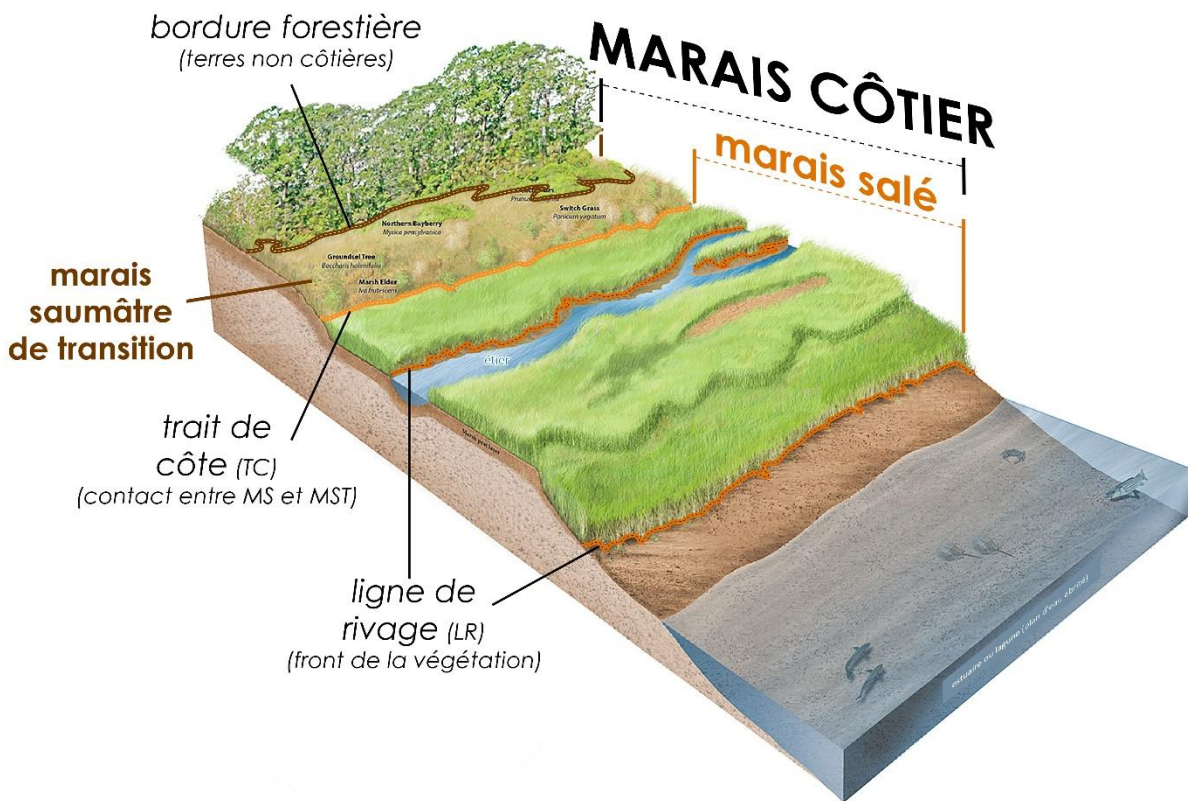


FIGURE 15. PRINCIPALES DIVISIONS ET HABITATS DU MARAIS CÔTIER (FIGURE MODIFIÉE DE P. J. LYNCH, 2017).

Entre le marais salé et les terres non côtières (souvent la bordure forestière) se retrouve le marais saumâtre de transition. Cette bande de terre humide est légèrement plus élevée que



le haut marais et son sol est moins salin. La principale plante qu'on y retrouve est la Spartine pectinée (*Spartina pectinata*), à laquelle peut s'ajouter le jonc de la Baltique (*Juncus balticus*), le jonc de Gérard (*Juncus gerardii*), la quenouille (*Typha latifolia*), le roseau commun ou phragmite (*Phragmites australis*), et parfois des arbustes bas annonçant les terres non côtières. La combinaison du marais salé (bas marais et haut marais) et du marais saumâtre de transition constitue le marais côtier (Figure 16).



FIGURE 16. POSITIONNEMENT DES PRINCIPAUX VECTEURS DU MARAIS CÔTIER (RIVIÈRE PETERS).



V.II. Légende cartographique

Les différents éléments reconnus et cartographiés dans les marais côtiers de Beresford pour les trois années étudiées (1944, 1985, 2018/2020) sont présentés à l'Annexe A – *Légende cartographique*. Il s'agit d'une clé d'interprétation des polygones, incluant leur représentation – couleur et trame – dans les cartes préparées et les fichiers de forme livrés, et présentée sous forme d'une notice explicative sommaire.

Une fois la cartographie des marais côtiers complétée et la validation effectuée, le fichier de formes vectorel (polyligne) a été transformé en fichier de formes polygonal (polygone). C'est à partir de ce dernier que les habitats du marais ont été « créés » et que des statistiques de superficie ont été extraites pour chacune des années de cartographie (1944, 1985 et 2018/2020). Ceci a permis de dresser le portrait évolutif des habitats des marais du sous-secteur de Beresford.

V.III. Présentation des résultats

Les résultats pour l'ensemble du sous-secteur de Beresford

Dans le cadre du projet, ~585km de vecteurs ont été cartographiés dans les marais côtiers du sous-secteur de Beresford pour les années 1944, 1985 et 2018/2020 (Figure 17).

Le portrait récent des marais salés de Beresford (2018-2020) montre qu'il y a un peu plus de 52km de front de marais (bas marais ou haut marais) au contact avec la lagune ou avec les portions estuariennes des cours d'eau (Tableau 9). Les étiers (cours d'eau naturels charriant la marée haute et drainant le marais à marée basse) des marais de Beresford sont sinueux, souvent étroits et de longueur variable. Leur nombre totalise 303 pour une longueur de rivage approximative de ~25km ; ils couvrent 1,4ha. Ils constituent la connexion entre la mer et les mares semi-ouvertes du haut marais : ces dernières sont remplies à marée haute et drainées à marée basse grâce aux étiers. Un total de 314 mares semi-ouvertes (couvrant 5,6ha) de taille et de forme différentes a été dénombré sur les images aériennes de 2018/2020, la plus grande étant de 3 485m². Le linéaire côtier associé à ces plans d'eau représente ~18,6km.

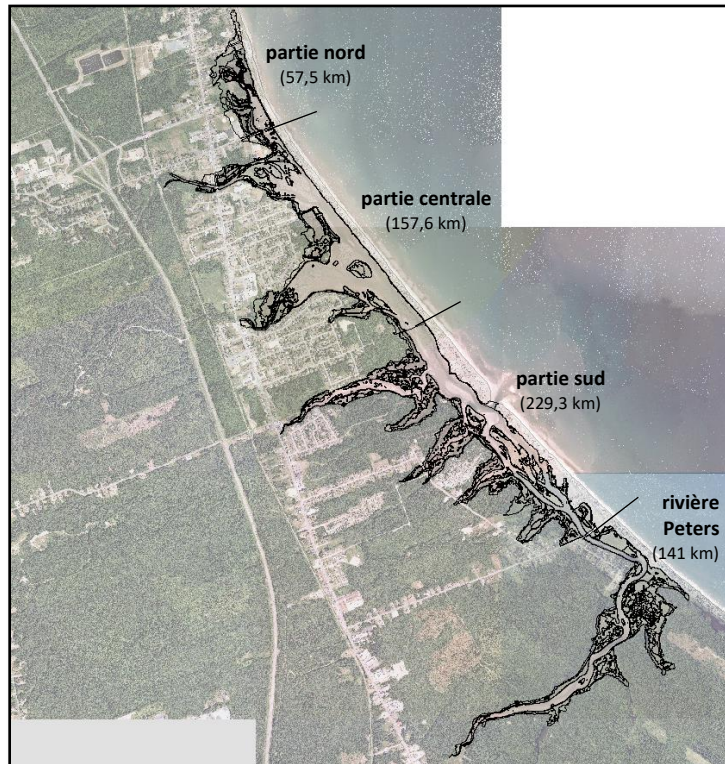


FIGURE 17. ÉTENDUE DE LA CARTOGRAPHIE DES MARAIS CÔTIERS, PRINCIPALES DIVISIONS DU SOUS-SECTEUR DE BERESFORD, ET LONGUEUR TOTALE CARTOGRAPHIÉE : 1944, 1985 ET 2018/2020.

TABLEAU 9. LINÉAIRE (M) DES PRINCIPAUX ÉLÉMENTS DES MARAIS SALÉS DE BERESFORD CARTOGRAPHIÉS POUR L'ANNÉE 2018/2020.

Vecteur	Description	Long. (m)
LR_drain	Ligne de rivage (PMSMM) le long d'un canal de drainage, influencé par la marée	1 271,0
LR_étier	Ligne de rivage (PMSMM) le long d'un cours d'eau naturel, influencé par la marée	24 776,2
LR_marais	Ligne de rivage (PMSMM) le long du front du bas ou du haut marais, au contact avec la mer	52 067,6
LR_ms-ouverte	Ligne de rivage (PMSMM) le long d'une mare dans le marais, influencée par la marée	18 645,6
Longueur de la ligne de rivage associée aux marais en 2018-2020		96 760,3
TC_champ	Trait de côte (PMSGM) faisant le contact entre le haut marais et un champ	486,0
TC_drain	Trait de côte (PMSGM) le long d'un canal de drainage, influencé par la marée	571,9
TC_étier	Trait de côte (PMSGM) le long d'un cours d'eau naturel, influencé par la marée	1 095,0
TC_friche	Trait de côte (PMSGM) faisant le contact entre le haut marais et un terrain en friche	56,0
TC_marais	Trait de côte (PMSGM) faisant le contact entre le haut marais et le marais saumâtre de transit	25 474,8
TC_rembloi	Trait de côte (PMSGM) faisant le contact entre la base de la zone remblayée et le haut marais	3 138,8
Longueur du trait de côte associé aux marais en 2018-2020		30 822,6



À l'intérieur d'un marais côtier, le trait de côte correspond au contact entre le marais salé et le marais saumâtre de transition. Dans la zone d'étude, le trait de côte associé au marais représente ~25,5km. D'autres types de traits de côte ont été identifiés dans les marais, notamment un trait de côte correspondant au contact entre un haut marais et une zone de remblaiement (~3km de linéaire). Cette situation se retrouve surtout dans les parties nord et centrale, où, depuis 1985 (pourtant le début de la mise en vigueur de législations provinciales de protection des milieux humides), des portions de marais ont été remblayées pour faire place à des développements immobiliers ou récréatifs : par exemple, la superficie artificialisée des marais de la partie centrale du sous-secteur de Beresford s'est accrue de 218 % sur la période 1985-2018 (Figure 18).

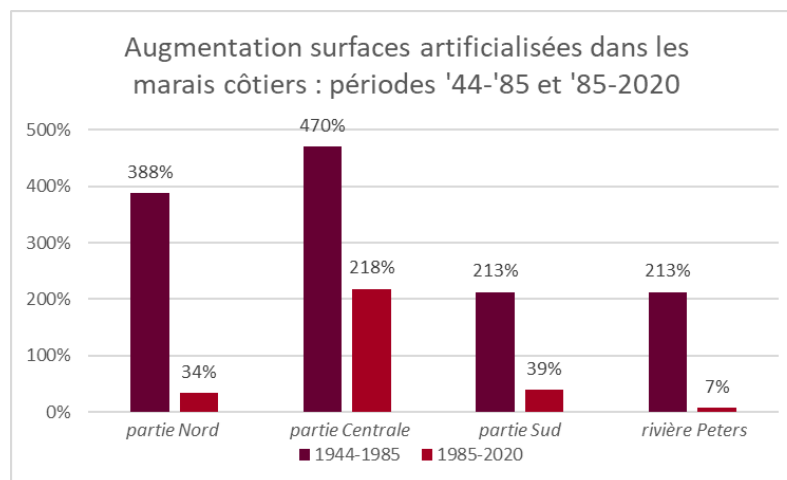


FIGURE 18. POURCENTAGE D'AUGMENTATION DES SURFACES ARTIFICIALISÉES DANS LES MARAIS CÔTIERS DU SOUS-SECTEUR DE BERESFORD : PÉRIODES 1944-1985 ET 1985-2018/2020.

Les marais côtiers du sous-secteur couvraient 164,6ha en 1944 et ils couvrent aujourd'hui 145,4ha, **une diminution de 11,7 %** (Figure 19).²⁵ Afin de mieux comprendre comment

²⁵ Nos résultats diffèrent de ceux de HACHEY, BÉRUBÉ et EVANS (2004), produits dans le cadre d'un contrat commandé par la ville de Beresford en 2003. Cette étude concluait à une perte de 2 % de la superficie des marais salés sur la période 1934-2002 (150,7ha en 1934 comparativement à 147,9ha en 2002). Des approches méthodologiques singulières sont à l'origine de cette différence notable des résultats des deux études.



la diminution de superficie des marais côtiers est répartie, les deux principaux habitats des marais côtiers ont été distingués, à savoir les marais salés (ou marais maritimes, subissant régulièrement l'influence de la marée) et les marais saumâtres de transition (terres humides situées entre les marais salés et les terres non côtières) atteints par la mer de façon irrégulière, lors de grandes marées hautes et de surcotes. Les marais salés du sous-secteur de Beresford sont passés d'une superficie de 128,9ha en 1944, à 122,8ha en 1985, à 119,9ha en 2018/2020, représentant une diminution de 7 % entre 1944 et 2018/2020. Les marais saumâtres de transition sont, quant à eux, passés de 35,7ha en 1944, à 31,5ha en 1985, à 25,6ha en 2018/2020, représentant une diminution de 28,5 % entre 1944 et 2018/2020.

La superficie occupée par tous les types d'aménagements recensés dans les marais côtiers est passée de 1,8ha en 1944 (principalement des digues), à 7,8ha en 1985 (principalement des remblais et des chaussées pour véhicules), à 13,4ha en 2018/2020 (principalement des remblais, des chaussées pour véhicules et des transformations de milieux « salés » vers des milieux « dulcicoles »), une augmentation de superficie de 11,6ha depuis 1944. L'histogramme de la figure 18 (plus haut) montre que la période plus ancienne (1944-1985) a été marquée par une augmentation relative des surfaces de marais artificialisées plus forte que la période récente (1985-2018/2020). Ce changement de tendance est le résultat de deux situations bien différentes :

- a) la faible superficie artificialisée à l'année de départ (1944) qui s'est traduite par des pourcentages de changement énormes (213 % à 470 %) sur la période 1944-1985 ;
- b) l'entrée en vigueur dans la période suivante (1985-2018/2020) de lois, règlements et politiques visant la protection des terres humides (*Loi sur l'assainissement de l'eau, 1989 ; Règlement sur la modification des cours d'eau et des terres humides, 90-80 ; Politique de protection de la zone côtière, 2002 ; Politique de conservation des terres humides, 2002*) semble avoir eu un effet de ralentissement de l'artificialisation des marais (augmentations relativement faibles pour les parties nord, sud et de l'estuaire de la rivière Peters et augmentation très forte dans la partie centrale +218 %).

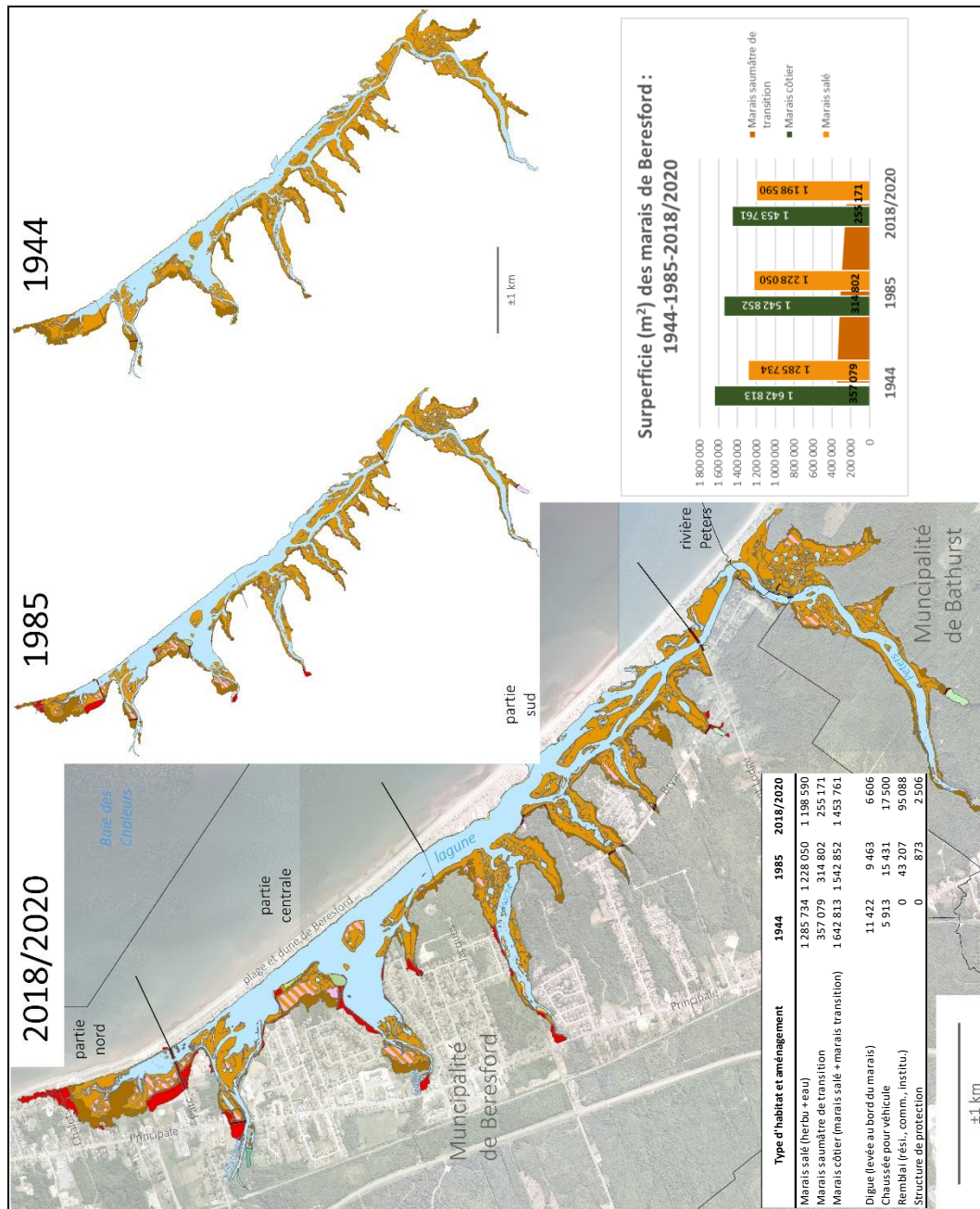


FIGURE 19. CARTOGRAPHIE ET SUPERFICIE DES HABITATS CÔTIERS DU SOUS-SECTEUR DE BERESFORD POUR LES ANNÉES 1944, 1985 ET 2018/2020.



Les résultats selon les quatre parties du sous-secteur de Beresford

Les diminutions (superficie des marais côtiers) et augmentations (superficie des interventions humaines) documentées présentent une variabilité géographique. En effet, l'organisation des données selon les quatre (4) parties du sous-secteur de Beresford mets en évidence que depuis 1944, le déclin du marais côtier s'est surtout produit dans les parties nord et centrale (-23 % et -20 %) et que c'est dans ces deux mêmes secteurs que la diminution du marais saumâtre de transition, qui constitue naturellement l'espace sur lequel le haut marais peut migrer avec la hausse du niveau marin, est la plus importante au cours des 74 dernières années (-30 % dans la partie nord ; -49 % dans la partie centrale) (Figure 20). Qui plus est, les plus importantes augmentations des superficies artificialisées ont été recensées dans les parties nord et centrale du sous-secteur de Beresford (Figure 21).

En revanche, la partie sud et l'estuaire de la rivière Peters ont connu des tendances évolutives similaires, mais nettement plus estompées. Dans la partie sud, la superficie occupée par le marais côtier a diminué de 8 % depuis 1944, et c'est là aussi le marais saumâtre de transition qui a connu la plus forte diminution : il a perdu 15 % de sa superficie initiale de 1944 (comparativement à une diminution de 7 % pour le marais salé). Les surfaces artificialisées dans la partie sud ont plus que quadruplé depuis 1944, mais elles demeurent moitié moins importantes que celles des parties nord et centrale (Figure 21). L'estuaire de la rivière Peters est la partie du sous-secteur de Beresford où les changements observés depuis 1944 ont été les moins significatifs. Le marais côtier de la rivière Peters (incluant le marais salé et le marais saumâtre de transition) connaît une faible diminution au cours des 76 dernières années (1944-2020), soit une perte de superficie de 4,7 %. Le caractère « naturel » des rives de l'estuaire et l'éloignement des infrastructures du marais jouent sans doute dans la faible perte de superficie des marais côtiers : c'est ici que la surface artificialisée dans le marais est la moins importante comparativement aux trois autres parties du sous-secteur de Beresford (5,35X moins importante), et semble même avoir plafonné depuis 1985 (9 236m² vs 9 836m² en 2020).

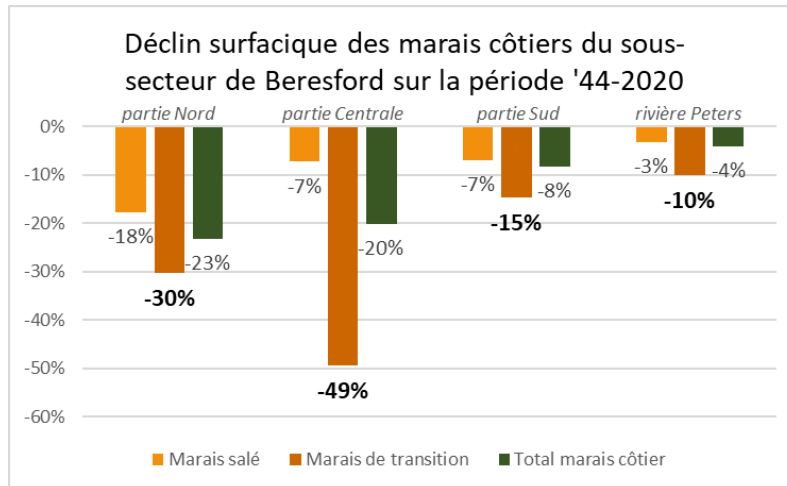


FIGURE 20. DIMINUTION (%) DE LA SUPERFICIE OCCUPÉE PAR LES MARAIS SUR LA PÉRIODE 1944-2018/2020, DANS LES QUATRE (4) PARTIES DU SOUS-SECTEUR DE BERESFORD.

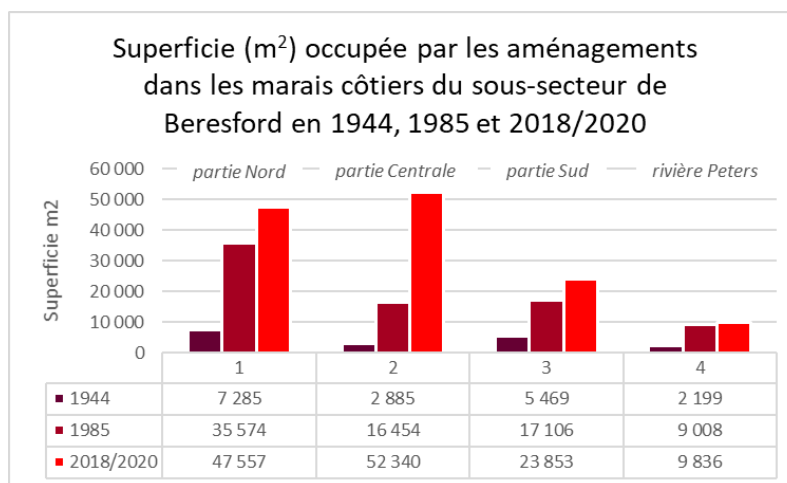


FIGURE 21. AUGMENTATION DES SURFACES ARTIFICIALISÉES (m²) DANS LES MARAIS EN 1944, 1985 ET 2018/2020, DANS LES QUATRE (4) PARTIES DU SOUS-SECTEUR DE BERESFORD.



V.III.I. La partie nord du sous-secteur de Beresford

Dans la partie nord du sous-secteur de Beresford, il y a 17,8 % moins de marais salé en 2018 qu'il y en avait en 1944 (10,3ha versus 8,5ha) (Figure 22, Tableau 10).

La superficie du bas marais s'est multipliée par un facteur de 2,55, passant de 0,3ha en 1944 à 0,9ha en 2018, tandis que la superficie du haut marais a diminué de 35 % sur la même période (9,7ha à 6,3ha). La réduction de la largeur du pont enjambant la lagune et menant à la plage et la dune de Beresford (103m en 1944 versus 20,7m en 2018) pour en faire un pont-chaussée avant le milieu des années 1960, pourrait avoir favorisé le développement du bas marais dans la portion nord de la lagune (propagation restreinte de l'onde de marée) – une étude plus approfondie des impacts du nouveau pont serait requise.

La présence d'eau à la surface du marais salé a plus que quadruplé en 74 ans, passant de 0,3ha à 1,3ha. Cette augmentation notable doit être mise en contexte car elle pourrait être attribuable à la qualité des photos aériennes utilisées en relation avec le type de forme de terrain cartographié : 2018 excellente qualité visuelle ; 1985 bonne qualité visuelle ; 1944 moindre qualité visuelle. Les images de 1985 et 2018 ont permis d'observer plusieurs sites de marais réticulé, ce que les photos aériennes de 1944 n'ont pas permis de faire. Les drains (canaux de drainage artificiels) semblaient opérationnels sur les photos aériennes de 1944 et couvraient une superficie de 984m² ; en 2018 la plupart semblaient abandonnés (non maintenus) et ils ne couvraient plus que 303m².

En 1944, le marais saumâtre de transition occupait 43 % (7,9ha) du marais côtier de la partie nord, et en 2018, il représentait 39 % (5,5ha) – la réduction de la superficie représente une diminution de 30,3 %. L'augmentation significative des surfaces artificialisées dans le marais côtier depuis 1944 (6,5 fois plus) correspond à du comblement (10,4 % des chaussées et 80 % du remblai) et ce au détriment du marais saumâtre de transition.²⁶ Dans la portion nord-est, au début des années 1980 débutait le remblaiement d'un marais saumâtre de transition pour accueillir un développement immobilier. En 2018, cette surface artificielle avait recouvert l'entièreté du marais, soit une superficie de 21 464m². Dans la portion sud-ouest, c'est 19 978m² de haut marais et de marais saumâtre de transition qui furent remblayés afin d'aménager le terrain de stationnement du *Centre Réal-Boudreau* et effectuer la réfection de la rue Parc E. Des digues (levées de terre d'une largeur moyenne

²⁶ Encore une fois, ce dernier correspond à l'espace dit « d'accommodation » (de migration) naturel du marais salé à mesure de la hausse du niveau marin. En gênant cette migration, le comblement du marais de transition devrait aussi entraîner des pertes futures de la superficie du marais salé (en plus de celles associées à sa submersion sur place).



de 5 mètres) aménagées de part et d'autre des rives de la lagune ont été recensées sur toutes les séries de photos aériennes : en 2018, il y avait ~350m de digues sur la rive est et ~640m sur la rive ouest – une étude de terrain serait requise pour confirmer cette hypothèse.

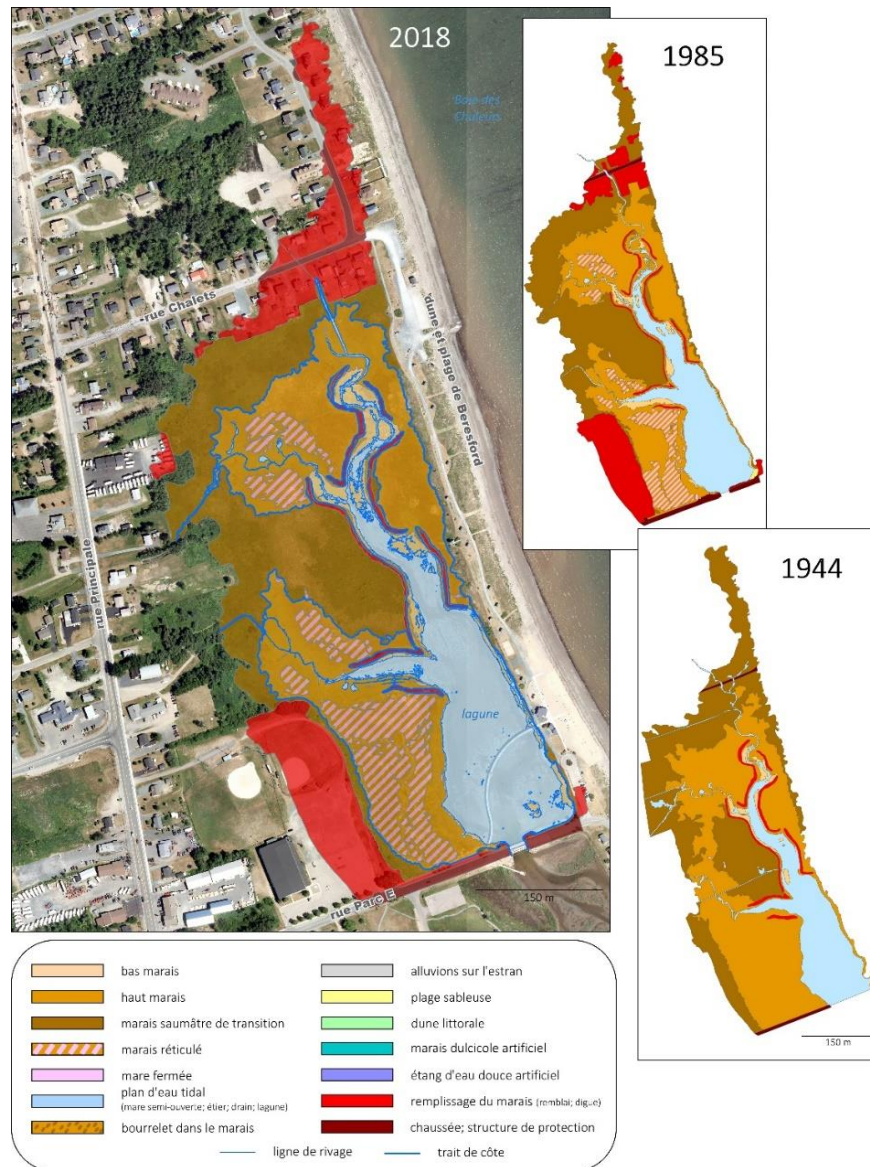


FIGURE 22. CARTOGRAPHIE DES HABITATS CÔTIERS DE LA PARTIE NORD : 1944, 1985 ET 2018.



TABEAU 10. RÉPARTITION DES HABITATS CÔTIERS DANS LA PARTIE NORD : 1944, 1985 ET 2018.

Type d'habitat		Superficie (m ²)		
		1944	1985	2018
1 Marais salé		103 208,8	85 235,8	84 876,5
1.a	Herbu du marais salé	100 188,0	74 238,0	71 592,8
1.a.1	Bas marais	3 473,2	4 987,9	8 857,3
1.a.2	Haut marais*	96 714,8	69 250,1	62 735,6
1.a.3	Marais réticulé (50%)	0,0	8 257,5	11 165,3
1.b	Présence d'eau	3 020,8	10 997,8	13 283,7
1.b.1	Étier (chenal de marée)	1 109,3	1 483,7	1 332,8
1.b.2	Mare semi-ouverte	848,3	275,8	274,9
1.b.3	Drain (canal de drainage)	984,5	616,4	303,1
1.b.4	Mare fermée (panne)	78,8	364,5	207,5
1.b.5	Marais réticulé (50%)	0,0	8 257,5	11 165,3
1.c	Bourrelet dans marais	0,0	0,0	0,0
2 Marais saumâtre de transition		78 574,6	66 269,6	54 782,4
Note	Surface totale du marais côtier (marais salé + marais saumâtre de transition)	181 783,4	151 505,4	139 658,9
3 Autres habitats naturels		37 767,2	37 068,4	34 782,1
3.a	Estran lagunaire	37 767,2	36 825,8	34 782,1
3.a.1	Lagune (plan d'eau)	37 767,2	36 825,8	34 782,1
3.a.2	Alluvions (bancs sédiments)	0,0	0,0	0,0
3.a.3	Alluvions végétalisées	0,0	0,0	0,0
3.c	Plage sableuse	0,0	242,6	0,0
3.d	Dune littorale	0,0	0,0	0,0
3.e	Goulet de marée (dans dune)	0,0	0,0	0,0
3.f	Terre non côtière (dans marais)	0,0	0,0	0,0
4 Interventions humaines		7 284,8	35 573,7	47 556,7
4.a	Digue (levée au bord du marais)	5 430,9	3 724,7	3 641,6
4.b	Chaussée pour véhicule	1 854,0	3 697,0	5 150,9
4.c	Remblai (rés., comm., institu.)	0,0	27 938,6	38 644,1
4.d	Extraction de tourbe	0,0	0,0	0,0
4.e	Structure de protection	0,0	213,5	120,2
4.f	Pilier dans lagune (ancien pont)	0,0	0,0	0,0
4.g	Étang artificiel	0,0	0,0	0,0
4.h	Marais dulcicole	0,0	0,0	0,0

*La superficie du haut marais inclut celle du marais réticulé



V.III.II. La partie centrale du sous-secteur de Beresford

Dans la partie centrale du sous-secteur de Beresford, il y a 7,3 % moins de marais salé en 2018 qu'il y en avait en 1944 (26,1ha versus 24,2ha) (Tableau 11, Figure 23).

La superficie du bas marais s'est multipliée par un facteur de 1,3, passant de 0,8ha en 1944 à 1,1ha en 2018, tandis que la superficie du haut marais a diminué de 18,2 % sur la même période (23,6ha à 19,3ha). Le quart de cette perte de superficie est attribuable à des activités humaines, mais le reste serait le résultat d'une érosion naturelle des îlots de marais dans la lagune et du recul du front des marais occupant les rives de la lagune (Figure 24).

La présence d'eau à la surface du marais salé a plus que doublé en 74 ans, passant de 1,7ha à 3,8ha. Tel que mentionné précédemment dans la partie nord (sous-section V.III.I.), cette augmentation est en partie liée à la qualité visuelle des photographies aériennes de 1985 et 2018, permettant d'identifier des zones de marais réticulé. Là où le nombre élevé de dépressions n'y permettait pas leur cartographie individuelle, on a estimé à 50 % la superficie de ces zones occupées par la plateforme du haut marais, et l'autre moitié aux surfaces en eau. La superficie occupée par les mares semi-ouvertes est en augmentation sur la période 1944-2018, ce qui est corroboré par leur nombre : 8 en 1944 ; 29 en 1985 ; 48 en 2018.

En 1944, le marais saumâtre de transition occupait 30,6 % (11,5ha) du marais côtier de la partie centrale, 28 % en 1985 (9,6ha), et en 2018, il ne représentait plus que 19,4 % (5,8ha) – il s'agit d'une diminution de moitié (49 %) sur la période 1944-2018. Ici aussi, l'augmentation significative des surfaces artificialisées dans le marais côtier entre 1944 et 2018 (18,1 fois plus) correspond à du comblement (7,2 % pour des chaussées et 82 % du remblai) et ce souvent au détriment du marais saumâtre de transition. La surface de marais remblayée au *Complexe Sportek* fait 7 670m² ; celle située de part et d'autre de la rue Principale sur la rive nord de la rivière Millstream fait 11 677m² ; le remblai au sud de la rue Saint-Pierre 11 379m².



TABEAU 11. RÉPARTITION DES HABITATS CÔTIERS DANS LA PARTIE CENTRALE : 1944, 1985 ET 2018.

Type d'habitat		Superficie (m ²)		
		1944	1985	2018
1 Marais salé		260 615,2	246 434,9	241 694,4
1.a	Herbu du marais salé	243 990,4	213 003,5	203 472,1
1.a.1	Bas marais	8 147,2	13 739,4	10 599,5
1.a.2	Haut marais*	235 843,2	199 264,1	192 872,6
1.a.3	Marais réticulé (50%)	0,0	17 067,7	24 271,8
1.b	Présence d'eau	16 539,9	33 400,1	38 126,7
1.b.1	Étier (chenal de marée)	1 046,7	1 248,6	1 350,3
1.b.2	Mare semi-ouverte	3 276,8	5 103,3	5 134,4
1.b.3	Drain (canal de drainage)	239,7	1 106,8	234,6
1.b.4	Mare fermée (panne)	11 976,7	8 873,7	7 135,6
1.b.5	Marais réticulé (50%)	0,0	17 067,7	24 271,8
1.c	Bourrelet dans marais	84,9	31,3	95,6
2 Marais saumâtre de transition		115 073,7	96 105,1	58 249,6
Note	Surface totale du marais côtier (marais salé + marais saumâtre de transition)	375 688,9	342 540,0	299 944,0
3 Autres habitats naturels		520 424,5	525 477,8	520 249,1
3.a	Estran lagunaire	491 311,6	510 856,9	504 198,6
3.a.1	Lagune (plan d'eau)	490 777,8	510 413,9	493 931,2
3.a.2	Alluvions (bancs sédiments)	533,7	443,0	9 602,0
3.a.3	Alluvions végétalisées	0,0	0,0	665,4
3.c	Plage sableuse	19 011,1	7 364,9	7 602,5
3.d	Dune littorale	5 484,8	1 862,0	1 989,1
3.e	Goulet de marée (dans dune)	0,0	0,0	0,0
3.f	Terre non côtière (dans marais)	4 617,1	5 394,0	6 458,8
4 Interventions humaines		2 885,1	16 453,5	52 339,6
4.a	Digue (levée au bord du marais)	1 488,0	1 812,7	1 297,9
4.b	Chaussée pour véhicule	1 397,1	5 686,0	3 791,2
4.c	Remblai (résid., comm., institu.)	0,0	8 662,4	42 915,8
4.d	Extraction de tourbe	0,0	0,0	0,0
4.e	Structure de protection	0,0	292,4	1 551,6
4.f	Pilier dans lagune (ancien pont)	0,0	0,0	0,0
4.g	Étang artificiel	0,0	0,0	0,0
4.h	Marais dulcicole	0,0	0,0	2 783,1

*La superficie du haut marais inclut celle du marais réticulé

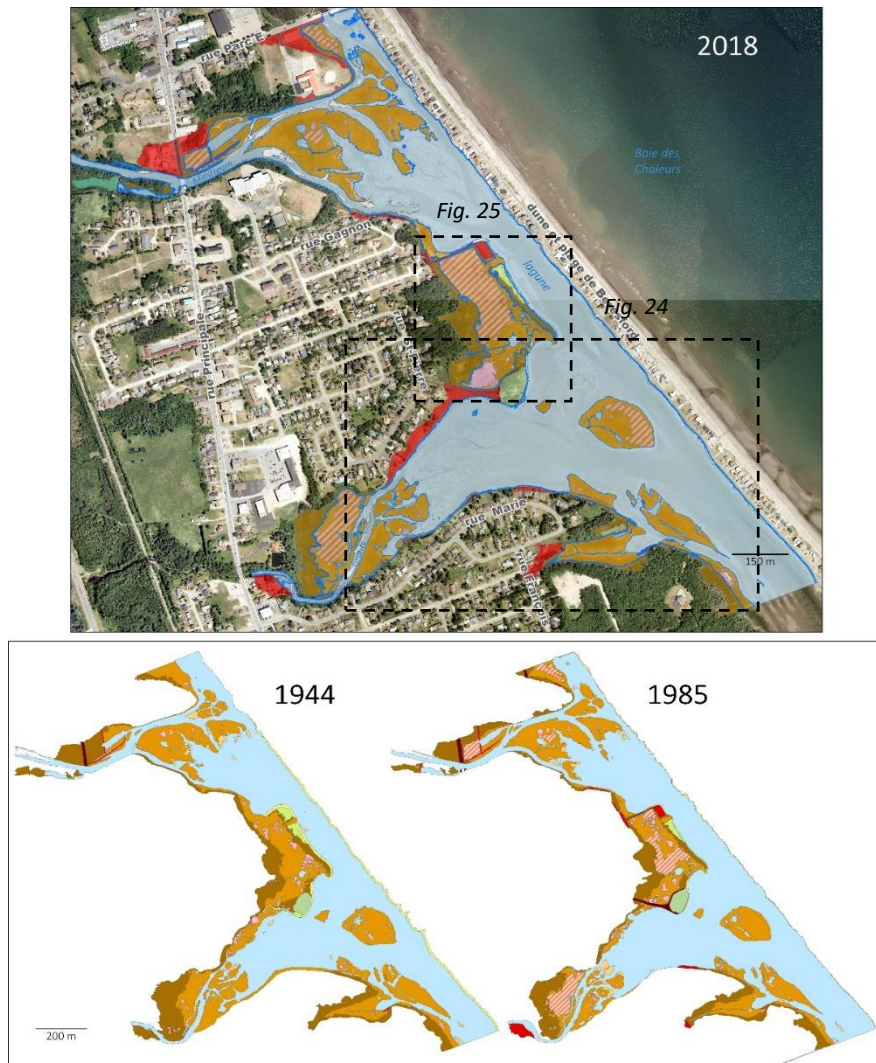


FIGURE 23. CARTOGRAPHIE DES HABITATS CÔTIERS DE LA PARTIE CENTRALE : 1944, 1985 ET 2018. VOIR FIGURE 22 POUR LA LÉGENDE.

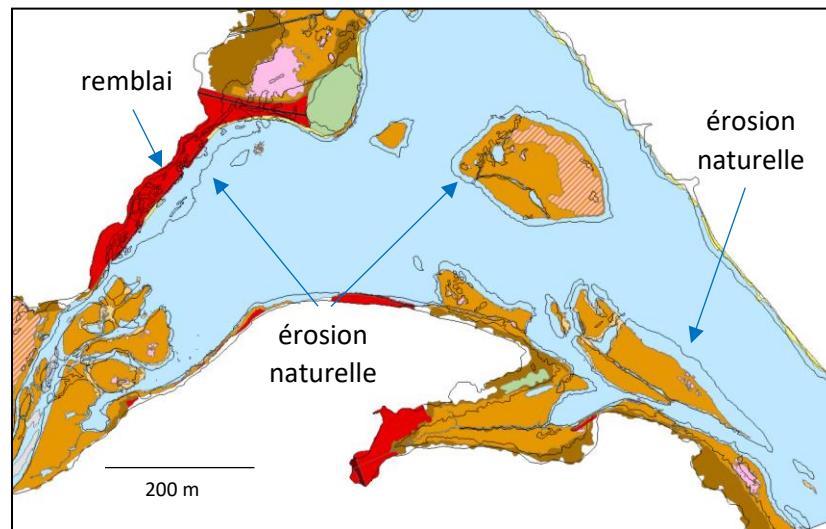


FIGURE 24. CARTOGRAPHIE DE 1944 (TRAITS NOIRS) SUPERPOSÉE AUX HABITATS DE 2018.

L'hydrologie du marais côtier situé au bout de la rue Saint-Pierre semble avoir été modifiée en raison d'activités humaines (Figure 25). Ce marais côtier de 78 160m², qui était autrefois en lien avec la lagune par le nord, le sud-est et le sud, est aujourd'hui isolé des marées sur deux de ces trois flancs, suite à l'aménagement de deux chaussées pour véhicules. Sur la photo aérienne de 1944, ce marais côtier se présente comme la plupart des marais côtiers du secteur : un haut marais ponctué de mares fermées ; des mares semi-ouvertes connectées à la lagune par des étiers ; une bande de marais saumâtre faisant la transition entre le haut marais et les terres non côtières (forêt ou champs). Du côté est, une plage et une dune isolent ce marais de la lagune. Sur la photo aérienne de 1985, on observe l'aménagement de deux chaussées : l'une au nord menant à la dune littorale, et l'autre au sud menant à un îlot boisé. La forme et la taille de certaines mares isolées ont changé depuis 1944. La mare semi-ouverte de la portion sud-est est plus grande, et l'étier qui la relie à la lagune est plus large et en expansion vers le nord-est, dans le haut marais, rejoignant certaines mares isolées pour créer des mares semi-ouvertes. L'examen des photos semble indiquer la présence d'étroites lanières de végétation qui séparent des dépressions : un paysage de marais réticulé est clairement en développement depuis 1985. Sur la photo aérienne de 2018, la présence d'eau à la surface du haut marais est importante : certaines mares isolées de 1944 et 1985 se sont agrandies (forme et taille différentes). L'étier du sud-est, « naissant » en 1985, s'est développé davantage (progression vers le nord,

60



développement de tributaires), transformant des mares isolées en mares semi-ouvertes. Ailleurs, le marais réticulé s'est étendu. À plusieurs endroits, les lanières qui isolent les dépressions entre elles sont défoncées, et un vaste réseau de mares interconnectées est présent. Dans la partie sud du marais, la chaussée menant à l'îlot boisé a été élargie (remblayée), et une série de mares isolées en contrebas présentes en 1944 et 1985 se sont fusionnées pour devenir une mare coalescente plus grande en 2018. Bref, la présence d'eau sur ce marais augmente – une étude plus approfondie serait requise afin de déterminer si le marais est en cours d'ennoiement.



FIGURE 25. ÉVOLUTION DU MARAIS CÔTIER À L'EST DE LA RUE SAINT-PIERRE DEPUIS 1944.



V.III.III. La partie sud du sous-secteur de Beresford

Dans la partie sud du sous-secteur de Beresford, il y a 6,9 % moins de marais salé en 2018/2020 qu'il y en avait en 1944 (54,7ha versus 50,9ha) (Figure 26, Tableau 12).

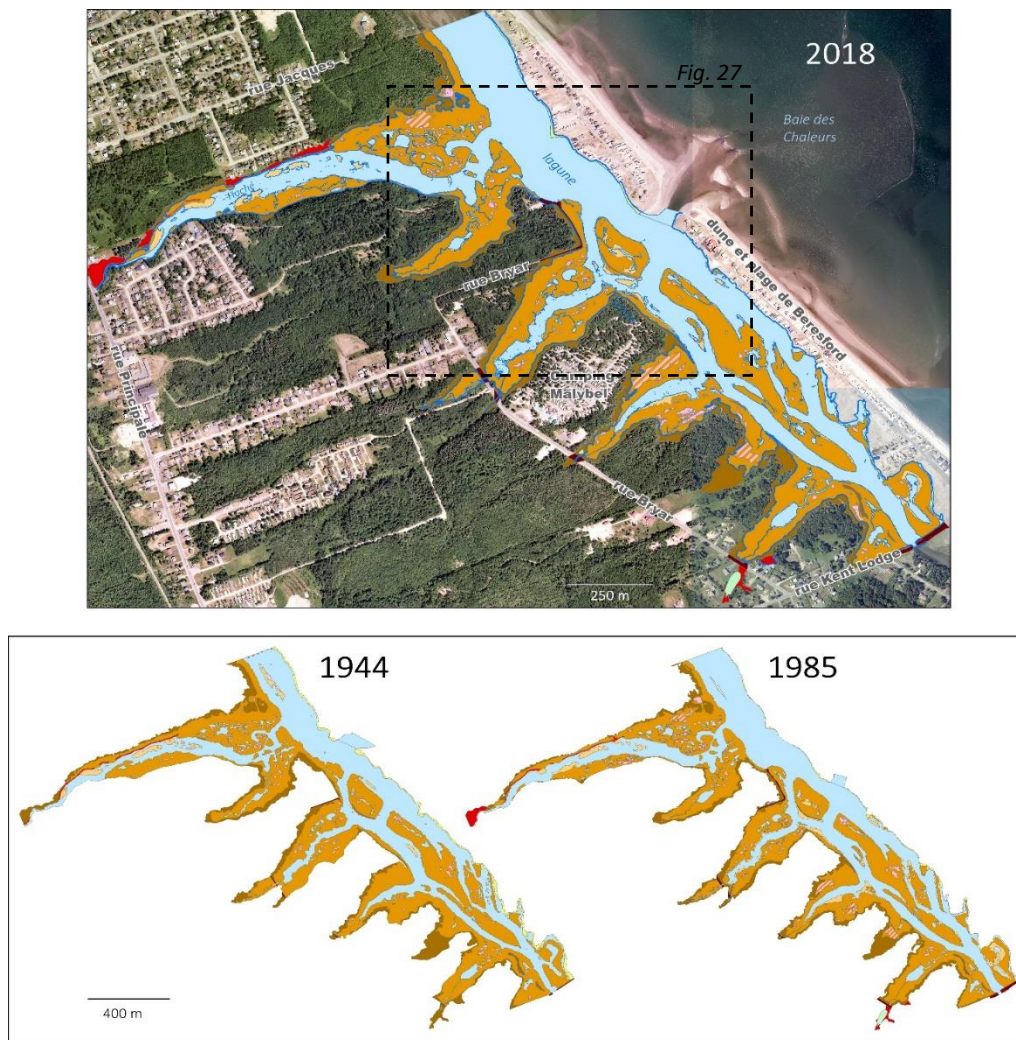


FIGURE 26. CARTOGRAPHIE DES HABITATS CÔTIERS DE LA PARTIE SUD : 1944, 1985 ET 2018. VOIR FIGURE 22 POUR LA LÉGENDE.



TABLEAU 12. RÉPARTITION DES HABITATS CÔTIERS DANS LA PARTIE SUD : 1944, 1985 ET 2018.

Type d'habitat		Superficie (m ²)		
		1944	1985	2018/2020
1 Marais salé		547 238,0	528 396,5	509 261,0
1.a	Herbu du marais salé	508 303,2	475 612,4	455 193,3
1.a.1	Bas marais	14 653,2	36 773,6	39 420,1
1.a.2	Haut marais*	493 650,0	438 838,8	415 773,2
1.a.3	Marais réticulé (50%)	0,0	4 568,5	5 577,6
1.b	Présence d'eau	36 200,9	50 175,5	50 699,9
1.b.1	Étier (chenal de marée)	6 396,9	5 897,4	4 182,7
1.b.2	Mare semi-ouverte	19 487,9	24 343,6	24 868,5
1.b.3	Drain (canal de drainage)	0,0	347,3	94,6
1.b.4	Mare fermée (panne)	10 316,1	15 018,6	15 976,5
1.b.5	Marais réticulé (50%)	0,0	4 568,5	5 577,6
1.c	Bourrelet dans marais	2 733,9	2 608,6	3 367,8
2 Marais saumâtre de transition		105 879,7	96 288,5	90 320,4
Note	Surface totale du marais côtier (marais salé + marais saumâtre de transition)	653 117,7	624 685,0	599 581,4
3 Autres habitats naturels		398 102,1	402 851,6	417 255,0
3.a	Estran lagunaire	370 709,4	393 583,3	408 008,3
3.a.1	Lagune (plan d'eau)	369 616,4	392 333,4	408 008,3
3.a.2	Alluvions (bancs sédiments)	1 093,0	1 249,9	0,0
3.a.3	Alluvions végétalisées	0,0	0,0	0,0
3.c	Plage sableuse	20 123,8	6 107,9	6 014,6
3.d	Dune littorale	0,0	0,0	14,4
3.e	Goulet de marée (dans dune)	7 268,8	3 101,0	3 069,5
3.f	Terre non côtière (dans marais)	0,0	59,5	148,3
4 Interventions humaines		5 468,9	17 105,6	23 853,0
4.a	Digue (levée au bord du marais)	3 360,0	2 863,2	608,0
4.b	Chaussée pour véhicule	1 908,6	5 268,8	7 769,5
4.c	Remblai (rés., comm., institu.)	0,0	6 606,4	12 723,4
4.d	Extraction de tourbe	0,0	0,0	0,0
4.e	Structure de protection	0,0	367,4	752,3
4.f	Pilier dans lagune (ancien pont)	200,4	0,0	0,0
4.g	Étang artificiel	0,0	1 999,9	1 999,9
4.h	Marais dulcicole	0,0	0,0	0,0

*La superficie du haut marais inclut celle du marais réticulé



La superficie du bas marais s'est multipliée par un facteur de 2,69, passant de 1,5ha en 1944 à 3,9ha en 2018/2020, tandis que la superficie du haut marais a diminué de 15,8 % sur la même période (passant de 49,4ha à 41,6ha). Cette perte de superficie du haut marais est en grande partie liée à une érosion naturelle du front du haut marais au contact avec la lagune et de part et d'autre de l'emplacement du goulet de marée depuis 1944 (Figure 27).

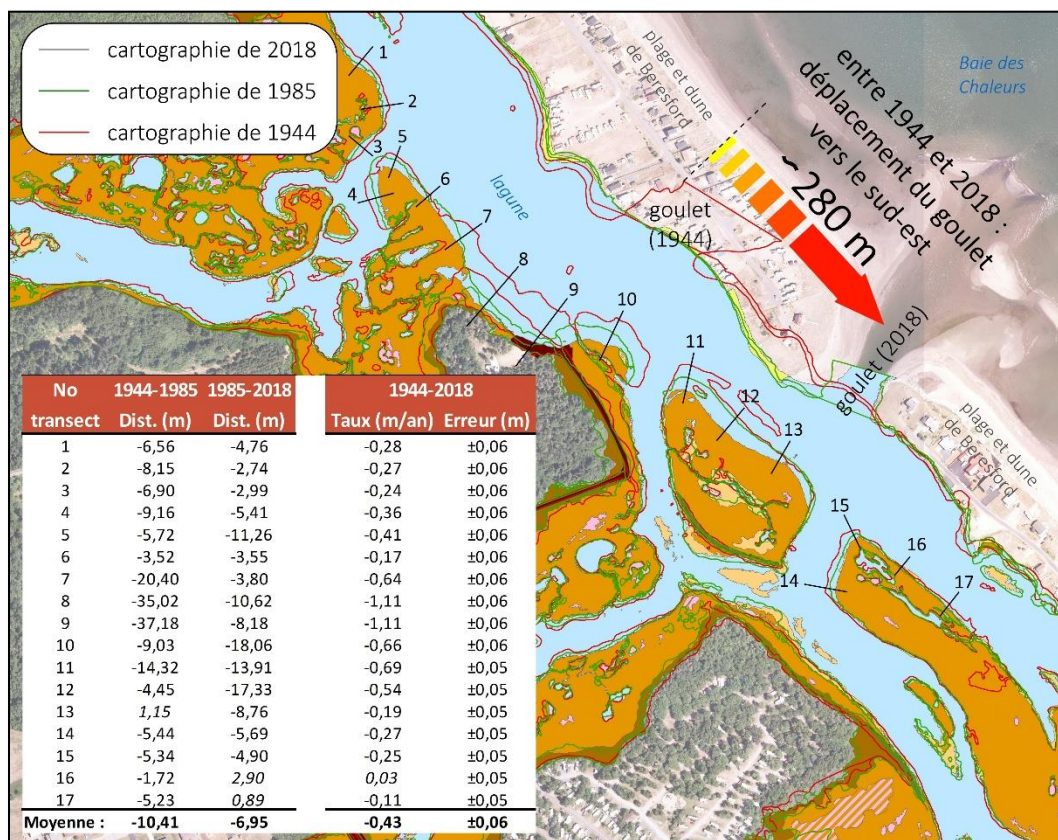


FIGURE 27. MIGRATION DU GOULET ET ÉROSION DU FRONT DU MARAIS : 1944-1985-2018.

L'érosion maximale du front du haut marais s'est produite entre les transects nos 7 et 12, ce qui correspond à la trajectoire générale du déplacement du goulet de marée entre 1944 et 2018. L'érosion maximale s'est produite au transect 8 : un recul total de 45,6m au cours des 74 dernières années (-35m entre 1944-1985 et -10,6m entre 1985-2018), soit un taux



d'érosion annuel de $-1,11 \pm 0,06\text{m/an}$. Pour l'ensemble des transects mesurés (nos 1 à 17, Figure 27), le taux d'érosion historique est $-0,43\text{m/an}$. À des fins de comparaison, la moyenne globale (compilation des mesures disponibles) du taux d'érosion historique du front des marais salés de la région Chaleurs est de $-0,15\text{m/an}$, et celle pour l'ensemble des marais salés du Nouveau-Brunswick est de $-0,28\text{m/an}$ (Base de données sur l'érosion des côtes du Nouveau-Brunswick, 2020). L'ouverture sur la baie des Chaleurs que procure la présence du goulet a assurément favorisé une érosion et un recul accentués du front du haut marais vis-à-vis le goulet. La superficie de haut marais perdue (érodée) depuis 1944 entre les transects nos 1 à 17 totalise $19\,081\text{m}^2$ (1,9ha).

Selon l'examen des photographies disponibles, il semblerait qu'il y a 1,4 fois plus d'eau sur le marais salé en 2018/2020 qu'il y en avait en 1944 : 5,1ha en 2018/2020 contre 3,6ha en 1944 (une augmentation de 40 %). La superficie occupée par les mares fermées (plus de 10m de diamètre) est passée de 1ha en 1944, à 1,5ha en 1985, à 1,6ha en 2018/2020 (le nombre de mares fermées est aussi en augmentation pour ces trois années : 86, 110 et 193, respectivement). La superficie occupée par les mares semi-ouvertes est elle aussi en augmentation, passant de 1,9ha en 1944, à 2,4ha en 1985, à 2,6ha en 2018/2020 (le nombre de mares semi-ouvertes est aussi en augmentation pour ces trois années : 45, 62 et 133, respectivement). La superficie occupée par les étiers a diminué de 35 % entre 1944 et 2018/2020, quoique le nombre d'étiers recensés ait progressivement augmenté (46 en 1944, 57 en 1985 et 134 en 2018/2020).

La superficie occupée par le marais saumâtre de transition est passée de 10,6ha en 1944, à 9,6ha en 1985, à 9ha en 2018, une diminution de 14,7 %. Toutefois, malgré cette diminution, la proportion occupée par le marais saumâtre de transition à l'intérieur du marais côtier de la partie sud est demeurée relativement stable (16,2 % en 1944, 15,4 % en 1985 et 15,1 % en 2018/2020). La superficie artificialisée dans le marais côtier s'est multipliée par un facteur de 4,35 depuis 1944 (0,5ha, principalement digues et chaussées à 2,4ha, principalement des remblais pour des développements immobiliers et des besoins paysagers et des chaussées pour véhicules). La perte de 1,6ha de marais saumâtre de transition depuis 1944 pourrait être liée à l'augmentation de 1,9ha de surfaces artificialisées sur la même période. Quoiqu'il en soit, le paysage des marais salés de la partie sud du sous-secteur de Beresford demeure néanmoins relativement « naturel » (Figure 26).



V.III.IV. *La partie de l'estuaire de la rivière Peters*

Dans la partie de l'estuaire de la rivière Peters, il y a 4 % moins de marais salé en 2020 qu'il y en avait en 1944 (37,8ha versus 36,3ha) (Figure 28, Tableau 13).

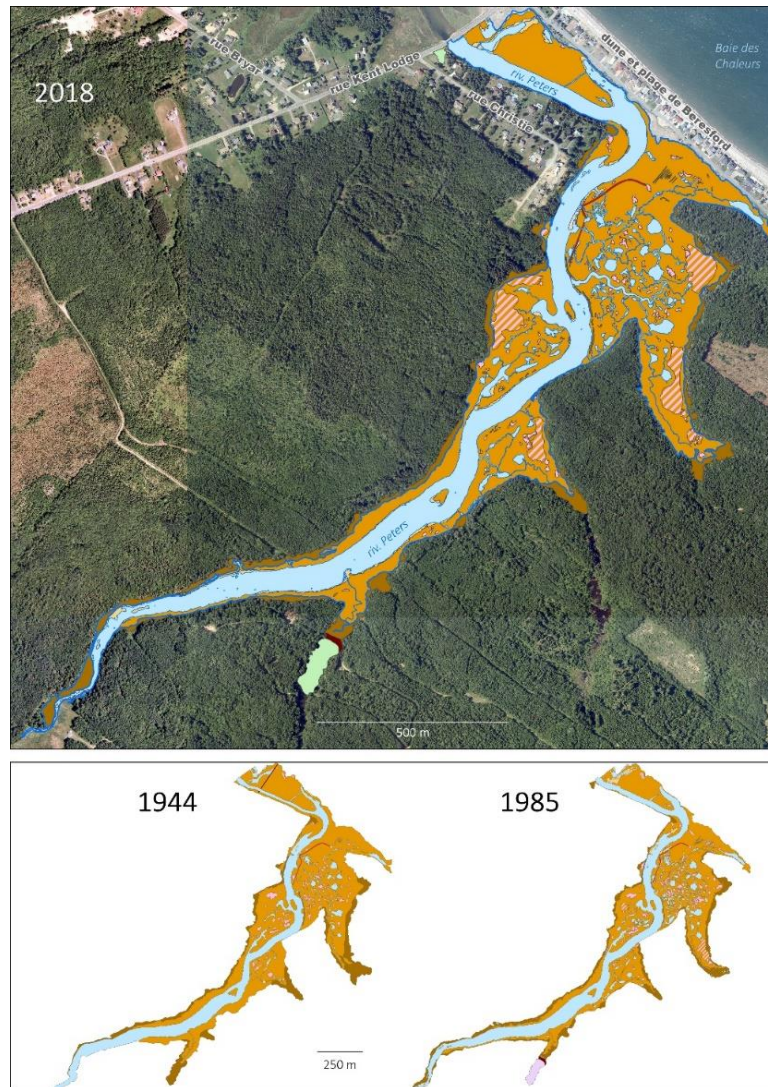


FIGURE 28. CARTOGRAPHIE DES HABITATS CÔTIERS DE L'ESTUAIRE DE LA RIVIÈRE PETERS : 1944, 1985 ET 2020.
VOIR FIGURE 22 POUR LA LÉGENDE.



TABLEAU 13. RÉPARTITION HABITATS CÔTIERS DANS L'ESTUAIRE DE LA RIVIÈRE PETERS :1944, 1985 ET 2020.

Type d'habitat		Superficie (m ²)		
		1944	1985	2020
1 Marais salé		377 558,0	367 983,3	362 758,1
1.a	Herbu du marais salé	341 189,0	313 976,3	308 985,4
1.a.1	Bas marais	281,3	8 596,0	10 639,8
1.a.2	Haut marais*	340 907,7	305 380,3	298 345,7
1.a.3	Marais réticulé (50%)	0,0	2 948,0	12 603,0
1.b	Présence d'eau	34 379,5	52 803,8	52 993,2
1.b.1	Étier (chenal de marée)	6 132,6	8 182,2	7 567,0
1.b.2	Mare semi-ouverte	12 734,1	24 299,7	25 334,6
1.b.3	Drain (canal de drainage)	364,4	366,4	150,9
1.b.4	Mare fermée (panne)	15 148,4	17 007,5	7 337,8
1.b.5	Marais réticulé (50%)	0,0	2 948,0	12 603,0
1.c	Bourrelet dans marais	1 989,6	1 203,3	779,4
2 Marais saumâtre de transition		57 550,7	56 138,5	51 818,7
Note	Surface totale du marais côtier (marais salé + marais saumâtre de transition)	435 108,7	424 121,8	414 576,8
3 Autres habitats naturels		129 298,1	146 615,9	154 268,7
3.a	Estran lagunaire	128 994,3	146 615,9	153 957,2
3.a.1	Lagune (plan d'eau)	128 994,3	146 151,8	152 549,4
3.a.2	Alluvions (bancs sédiments)	0,0	464,0	1 407,9
3.a.3	Alluvions végétalisées	0,0	0,0	0,0
3.c	Plage sableuse	303,8	0,0	112,1
3.d	Dune littorale	0,0	0,0	0,0
3.e	Goulet de marée (dans dune)	0,0	0,0	0,0
3.f	Terre non côtière (dans marais)	0,0	0,0	199,5
4 Interventions humaines		2 198,9	9 235,6	9 836,3
4.a	Digue (levée au bord du marais)	1 143,2	1 062,0	1 059,0
4.b	Chaussée pour véhicule	753,3	779,1	788,1
4.c	Remblai (rés., comm., institu.)	0,0	0,0	804,7
4.d	Extraction de tourbe	302,4	526,0	234,3
4.e	Structure de protection	0,0	0,0	81,6
4.f	Pilier dans lagune (ancien pont)	0,0	0,0	0,0
4.g	Étang artificiel	0,0	6 868,6	6 868,6
4.h	Marais dulcicole	0,0	0,0	0,0

*La superficie du haut marais inclut celle du marais réticulé



La superficie du bas marais est en augmentation depuis 1985, passant de 8 596m² à 10 640m² en 2020. La superficie du haut marais a diminué de 12,5 % sur la période 1944-2020 (34,1ha à 29,8ha). L'élargissement de l'estuaire de la rivière Peters (12,9ha en 1944 à 15,4ha en 2020 : une augmentation de 19,4 %) menant à l'érosion et au recul du front du marais ainsi que l'augmentation de la superficie occupée par l'eau sur le marais salé (3,4ha en 1944 à 5,3ha en 2020 : une augmentation de 54,1 %) sont responsables de la diminution de la superficie occupée par le haut marais depuis 1944.

Selon l'examen des photographies disponibles, il semblerait que la présence d'eau à la surface du marais salé de l'estuaire de la rivière Peters a augmenté par un facteur de 1,54 entre 1944 et 2020. La superficie occupée par les étiers, les mares semi-ouvertes, les drains, les mares fermées et le marais réticulé a connu une augmentation 53,6 % entre 1944 et 1985, suivi d'une légère augmentation entre 1985 et 2020 (0,4 %). La superficie occupée par les mares fermées a diminué de 9 673m² entre 1985 et 2020, tandis que celle occupée par le marais réticulé a augmenté de 9 655m² sur la même période ; l'inclusion de mares fermées individuelles en 1985 à l'intérieur de la superficie du marais réticulé en 2020 explique une partie cette situation, l'autre partie correspondant à la transformation de mares fermées en mares semi-ouvertes via le développement ou l'expansion d'étiers. La superficie occupée par les drains (canaux de drainage creusés artificiellement) a diminué de plus de moitié sur la période 1944-2020 (364m² à 151m²), ce qui montre que les drains ne sont pas maintenus. Une digue (levée) de plus de 360m de longueur aménagée sur le haut marais de la rive est de la rivière Peters est observable sur toutes les séries de photographies aériennes, ainsi qu'une dizaine de tranchées occupées par de l'eau (où de l'extraction de tourbe a peut-être été tentée ?) – une étude plus approfondie serait requise afin de déterminer la nature exacte de ces digues et tranchées.

En 1944, le marais saumâtre de transition occupait 13,2 % (5,8ha) du marais côtier de l'estuaire de la rivière Peters, et en 2020, il représentait 12,5 % (5,2ha) – la réduction de la superficie représente une diminution de 10 % du marais saumâtre de transition. L'aménagement d'une chaussée-barrage au-travers d'un marais saumâtre de transition a mené à la création d'un étang dulcicole artificiel de 6 869m² du côté amont. Une partie des pertes du marais saumâtre de transition correspond à des pertes naturelles, principalement suite à la migration du haut marais sur le marais saumâtre de transition, comme semble l'indiquer l'écart horizontal entre les vecteurs du trait de côte entre les années. Des situations semblables, moins étendues toutefois, ont été observées dans les parties sud et centrale.



V.IV. Scénarios de déplacement de la limite des terres côtières en 2100

V.IV.1. *La limite entre le marais côtier et la forêt : facteurs en jeu*

La modélisation numérique de la réponse des marais côtiers à la hausse du niveau marin est en cours de développement. Des modèles numériques, basées sur des observations empiriques ou encore sur des équations mathématiques, font intervenir plusieurs paramètres importants dans l'évolution des marais, tels que le rythme de la hausse du niveau marin relatif, les niveaux de marée, le taux d'accrétion verticale, le degré de salinité du sol, la topographie, la dynamique sédimentaire et l'altitude de certaines espèces végétales indicatrices (FAGHERAZZI et coll., 2012).²⁷ Les modèles numériques les plus connus sont : *Dynamic Interactive Vulnerability Assessment Wetland Change Model* (DIVA-WCM) ; *Salt Marsh Assessment & Restoration Tool* (SMART) ; *Polygon-Based Spatial Model* (PBS) ; *Hydro Marsh Equilibrium Model* (HydroMEM) ; *Sea Level Affecting Marshes Model* (SLAMM). Ces modèles qui simulent la migration des marais constituent des outils prisés et importants à titre d'appui à la prise de décision par les gestionnaires.

Il est possible de scénariser l'évolution future de certains paramètres des marais en utilisant des outils couramment disponibles, tels que des modèles numériques de terrain ou MNT (développés à partir de données altimétriques obtenues à partir de relevés de terrain, mais le plus souvent obtenues par des missions LiDAR) et des données de terrain acquises par DGPS associées à l'élévation de certaines plantes représentatives des habitats ou zones des marais (FEAGIN et coll., 2010 ; FULLER et coll., 2011 ; KIRWAN et coll., 2016 ; SMITH, 2020). L'aspect le plus important dans le développement d'un modèle est que les résultats de la modélisation soient interprétés en tenant compte des hypothèses, des simplifications et des incertitudes incluses comme intrants dans le modèle (FULLER et coll., 2011).

Le recul des forêts côtières en réponse à la hausse du niveau marin et leur remplacement par des marais sont bien documentés (KIRWAN et coll., 2016 ; CARR et coll., 2020). Selon FAGHERAZZI et coll. (2019), deux facteurs principaux influencent la variation de la position supérieure du marais et la bordure forestière : la hausse du niveau marin et les tempêtes. Les tempêtes sont des perturbations ponctuelles qui affectent les forêts côtières à court terme, endommageant les arbres (les forts vents qui, entre autres effets, brisent la cime, cassent des branches, voire déracinent des arbres ; l'inondation par l'eau de mer qui

²⁷ En rapport avec la fréquence et la durée de submersion par la marée (l'hydropériode).



augmente la salinité du sol ; dans les latitudes nordiques, les vents printaniers du large combinés à de hauts niveau d'eau qui peuvent pousser des glaces au pied des arbres, provoquant un râclage pouvant endommager l'écorce et affaiblir les arbres) et déclenchant le dépérissement qui assure l'espace écologique en vue de l'établissement de nouvelles espèces végétales (Figure 29). La hausse du niveau marin, quant à elle est une perturbation de fond, qui altère à long terme la salinité du sol et le régime d'inondation (drainage des sols), favorisant la croissance d'herbacés halophytes. Les deux perturbations sont déterminantes dans la dynamique de la frontière entre le marais et les terres non côtières, et dans une étude de trois sites de forêts côtières le long du Déroit de Northumberland, ROBICHAUD et BÉGIN (1997) ont documenté leur effet combiné dans la migration terrestre d'une zone où la forêt est perturbée, causant le recul progressif de la bordure forestière.

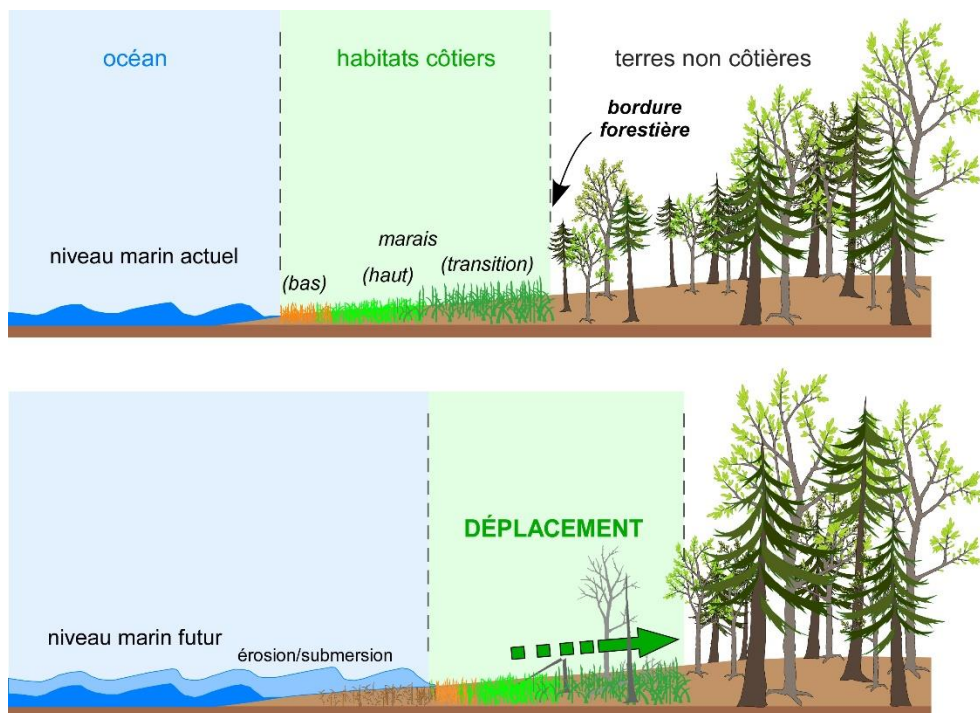


FIGURE 29. SCHÉMATISATION DE LA MIGRATION PROGRESSIVE DE LA BORDURE FORESTIÈRE (ET DES HABITATS D'UN MARAIS SALÉ) EN RÉPONSE À LA HAUSSE DU NIVEAU MARIN.



V.IV.II. *Méthodologie employée : détermination de l'altitude du contact forêt/marais côtier*

Dans la présente étude et pour toutes les raisons mentionnées plus haut, GLC propose d'utiliser l'élévation de la bordure forestière (au contact avec le marais) pour concevoir les scénarios de projection de la limite des terres côtières en 2100, c'est-à-dire la position potentielle du contact de la forêt avec le marais dans le futur.²⁸

Une fois la cartographie des habitats côtiers de 2018-2020 terminée, les vecteurs correspondant au contact entre la limite supérieure du marais (principalement le marais saumâtre de transition, mais aussi quelques segments de haut marais) et la bordure forestière furent extraits. Dans la table attributaire des fichiers de forme de la cartographie, ces vecteurs portent l'identification « *Interface_Marais saumâtre transition-Forêt* » ou « *Interface_Haut marais-Forêt* ». Nous avons exclu de la sélection tous les vecteurs faisant le contact marais/forêt et que nous avons qualifiés comme étant des positions approximatives de cette limite (dans la table attributaire, il s'agit de tous les vecteurs se terminant par « *..._Forêt_Approx* »).

L'élévation moyenne ainsi que les moyennes des élévations minimale et maximale furent comptabilisées pour chacun des vecteurs retenus (parce que considérés fiables), par extraction des données altimétriques du MNT le long de ces vecteurs (Tableau 14).^{29,30} Les

²⁸ Bien que bordure forestière soit facile à identifier par photo-interprétation, notre expérience ailleurs dans la province a montré que la limite des terres non côtières peut être située devant (vers la mer), surtout dans des cas où il y a présence d'espèces arbustives difficiles à séparer de la partie supérieure du marais de transition par photo-interprétation.

²⁹ Les données altimétriques du MNT de Beresford sont présentées en CGVD2013. Les données LiDAR à partir desquelles le MNT a été préparé proviennent de deux séries : données LiDAR 2016 recueillies entre 2016-06-07 et 2016-10-04 ; celles de 2018 recueillies entre 2018-07-11 et 2018-08-11 (Mariette HACHEY-BOUDREAU, anciennement Géomaticienne à la CSR Chaleur – communication personnelle).

³⁰ L'écart entre les valeurs d'un MNT et l'élévation effective du sol mesurée par DGPS, causé par une forte densité de la végétation, peut être de plusieurs dizaines de centimètres dans ces secteurs arbustifs (SCHMID et coll., 2011). Le long des côtes nord et est du Nouveau-Brunswick, des vérifications ponctuelles effectuées par le MRNDÉ avec un DGPS indiquent que les produits LiDAR incluent effectivement une erreur verticale ; les données recueillies et compilées montrent que l'élévation réelle du sol dans les marais salés serait sous-estimée d'une vingtaine de centimètres par les différents produits LiDAR (Dominique BÉRUBÉ – communication personnelle). GLC tient compte de cette marge d'erreur dans les scénarios développés.



statistiques produites par cette opération portent sur la longueur totale individuelle de chacun des vecteurs. Dans le but de s'assurer d'avoir l'élévation moyenne de la bordure forestière la plus réaliste possible, tous les vecteurs retenus furent scindés en une longueur d'un mètre (1m), pour qu'ils soient à la même résolution que le MNT (1m X 1m). Cette étape nous a permis d'exclure du calcul des moyennes les vecteurs ayant des élévations jugées trop fortes ou trop faibles, qui auraient autrement été comptabilisées dans les statistiques, influençant les moyennes calculées. Afin de déterminer la fourchette des élévations extrêmes à exclure du calcul des moyennes, quatre (4) isolignes (ou courbes de niveau) furent générées à partir du MNT : 0,9m, 1,0m, 1,5m et 2,0m. En affichant les orthophotographies de 2018/2020 en arrière-plan, le positionnement des isolignes fut comparé à la cartographie de la bordure forestière. L'isoligne d'élévation 1,0m croisait à plusieurs endroits les vecteurs marais/forêt cartographiés, tandis que l'isoligne de 0,9m était pratiquement toujours plus « basse » (vers le marais) que la position de la bordure forestière, tout en étant positionnée très près des vecteurs cartographiés. L'isoligne d'élévation 2,0m était systématiquement positionnée à l'intérieur de la forêt (nettement à l'écart des vecteurs cartographiés), tandis que l'isoligne de 1,5m était plus « haute » que la position de la bordure forestière, tout en épousant un peu mieux les vecteurs cartographiés (Figure 30).

À la lumière de ces résultats, GLC a fait le choix d'exclure du calcul tous les vecteurs de 1m dont les valeurs d'élévation moyenne étaient strictement inférieures à 0,9m et supérieures ou égales à 1,5m. Ainsi, l'élévation moyenne de la bordure forestière de 2018/2020 au contact avec le marais dans le sous-secteur de Beresford, selon la cartographie et les calculs effectués, serait de **1,17m** ($\pm 0,2m$). Le délai d'attribution du contrat de travail à GLC (fin-novembre) a effectivement anéanti toute sortie sur le terrain ayant pour objectif de préciser l'altitude réelle de la bordure forestière. En l'absence de telles données de terrain pour valider la position de cette limite (ce qui aurait permis d'en déterminer l'élévation selon le MNT), c'est donc la valeur moyenne calculée de l'élévation de la bordure forestière (1,17m) qui a été utilisée pour concevoir les scénarios de la limite des marais côtiers en 2100.³¹

³¹ Les isolignes générées pour développer les scénarios ont été lissées dans ArcGIS en utilisant l'option *Approximation polynomiale avec noyau exponentiel* et une tolérance de lissage de 25 mètres.



TABEAU 14. ÉLÉVATIONS DE LA BORDURE FORESTIÈRE EN 2016-2018 SELON LES DONNÉES ALTIMÉTRIQUES DU MNT DE BERESFORD : VECTEURS FAISANT LE CONTACT ENTRE MARAIS SAUMÂTRE DE TRANSITION (MST) ET LA FRANGE FORESTIÈRE ; VECTEURS FAISANT LE CONTACT ENTRE LE HAUT MARAIS (HM) ET LA FRANGE FORESTIÈRE.

	Élév. (m) de la bordure forestière : MST*					Élév. (m) de la bordure forestière : MST*					Élév. (m) de la bordure forestière : MST*			
	Long. (m)	μ MIN	μ MAX	Moyenne		Nbre vect. 1 m ¹	μ MIN	μ MAX	Moyenne		Nbre vect. 1 m ²	μ MIN	μ MAX	Moyenne
Partie Nord	246,8	1,27	1,87	1,50		245	1,46	1,51	1,48		106	1,27	1,31	1,29
Partie Centrale	3 364,9	0,75	2,02	1,32		3 351	1,21	1,26	1,23		2 506	1,14	1,18	1,16
Partie Sud	5 835,0	0,87	1,57	1,16		5 813	1,18	1,24	1,21		5 127	1,15	1,21	1,18
Rivière Peters	3 602,1	0,76	1,93	1,12		3 593	1,03	1,09	1,06		2 572	1,04	1,10	1,07
				1,28					1,25		Élé. moy. bordure forestière : 1,17			

	Élév. (m) de la bordure forestière : HM**					Élév. (m) de la bordure forestière : HM**					Élév. (m) de la bordure forestière : HM**			
	Long. (m)	μ MIN	μ MAX	Moyenne		Nbre vect. 1 m ¹	μ MIN	μ MAX	Moyenne		Nbre vect. 1 m ²	μ MIN	μ MAX	Moyenne
Partie Nord	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.		N.A.	N.A.	N.A.	N.A.		N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
Partie Centrale	9,9	0,82	1,27	0,99		9	0,95	1,04	0,99		5	1,04	1,19	1,12
Partie Sud	51,6	0,47	1,00	0,74		50	0,91	1,00	0,96		31	1,10	1,19	1,14
Rivière Peters	45,6	0,41	1,11	0,72		45	0,68	0,77	0,72		6	0,94	1,06	1,00
				0,82					0,89					1,09

Les élévations indiquées dans ce tableau sont en CGVD2013.

*MST = contact forêt - marais saumâtre de transition **HM = contact forêt - haut marais.

1 = vecteurs scindés en ~1 m pour correspondre à la résolution du MNT.

2 = les vecteurs scindés ayant des valeurs d'élévation < 0,9 m et > 1,5 m ont été supprimées.

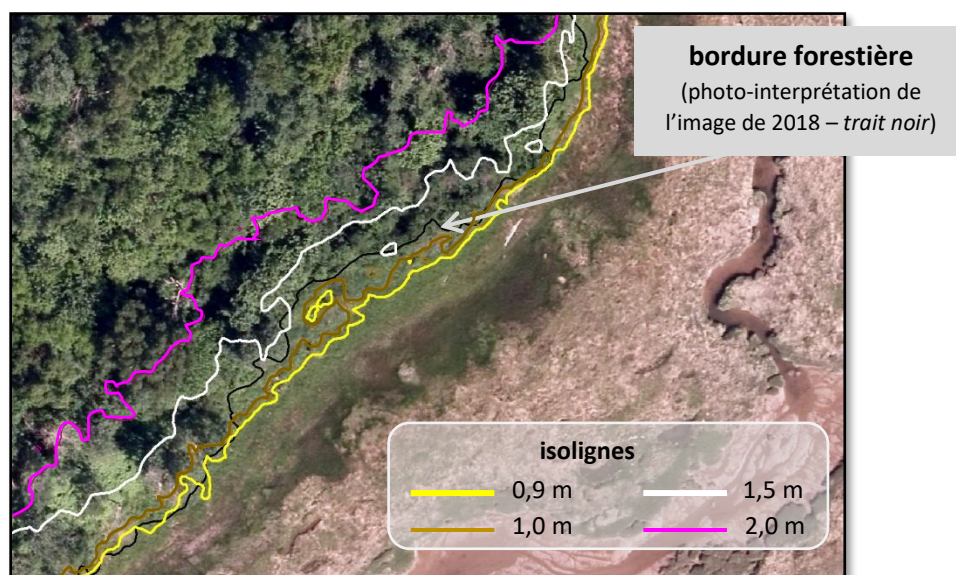


FIGURE 30. EXEMPLE DE POSITIONNEMENT DES ISOLIGNES UTILISÉES AFIN DE DÉTERMINER LA FOURCHETTE D'ÉLÉVATION À RETENIR POUR ÉTABLIR L'ÉLÉVATION MOYENNE DE LA BORDURE FORESTIÈRE EN 2018/2020.



V.IV.III. Les scénarios utilisés

Deux scénarios de la position de la limite des terres côtières de 2100 ont été préparés en intégrant les données de projection de la hausse du niveau marin relatif contenues dans DAIGLE (2020) : un scénario dit « conservateur » et un scénario dit « pessimiste ».³² Dans le scénario conservateur, l'élévation de la bordure forestière au contact avec le marais en 2100 serait de $1,77 \pm 0,2\text{m}$, tandis que dans le scénario pessimiste, elle serait de $2,42 \pm 0,2\text{m}$.

L'emplacement de l'une ou de l'autre de ces deux isolignes face à la position actuelle des marais du sous-secteur de Beresford permet de saisir l'espace d'accommodation (espace requis pour la migration des marais, qui devrait être libre d'aménagements) qu'il sera nécessaire de prévoir afin de permettre aux marais de reculer au fur et à mesure de la hausse du niveau marin relatif. De façon générale, trois cas de figure illustrent les évolutions possibles du contact entre le marais côtier et les terres non côtières dans le sous-secteur de Beresford à l'horizon de l'année 2100 – il s'agit ici de scénarios d'évolution indicatifs et non pas de prédictions d'évolution :

- A. Un déplacement progressif** (espace d'accommodation naturel *potentiellement suffisant* pour permettre au marais de migrer vers les terres non côtières en réponse à la HNMR) (Figure 29, plus haut).
- B. Un déplacement bloqué** (espace d'accommodation *potentiellement absent* en raison de la présence d'infrastructures – publiques, commerciales, résidentielles, institutionnelles – jouxtant le marais et où l'installation future du marais sera sans doute jugée inacceptable par les propriétaires. C'est dans le cadre de ce scénario que le concept de télescopage côtier (nommé en anglais *coastal squeeze*) fut développé en Grande-Bretagne) (Figure 31).
- C. Un déplacement entravé** (espace d'accommodation naturel *potentiellement insuffisant* en raison de la forte pente du versant adjacent au marais. Une migration

³² En se basant sur le scénario d'émissions RPC8.5 du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), DAIGLE (2020) a projeté pour la Zone 2 (qui comprend le secteur d'étude) des hausses totales du NMR de $0,12 \pm 0,07\text{m}$ sur la période 2010-2030 et de $0,66 \pm 0,38\text{m}$ sur la période 2010-2100. Afin de tenir compte des 10 années écoulées depuis 2010, GLC a soustrait 0,06m au total de la HNMR prévue par DAIGLE (2020) jusqu'en 2100 pour ainsi établir le scénario « conservateur » à **1,77m** ($1,17\text{m} + 0,60\text{m}$). Dans le cas du scénario « pessimiste », il y a ajout de 65 cm de plus à la HNMR en raison de l'accélération de la fonte des calottes glaciaires pour établir l'élévation future de la bordure forestière à **2,42m** ($1,17\text{m} + 0,60\text{m} + 0,65\text{m}$).



du marais sera possible, mais celle-ci sera faible – distance de moins de 10 mètres entre la limite actuelle du marais et la position de l'un ou l'autre des scénarios (« conservateur » ou « pessimiste »). Les segments de marais se retrouvant dans cette catégorie pourraient voir le marais saumâtre de transition, ou même une partie du bas et du haut marais, disparaître à l'horizon de 2100 (Figure 31).³³

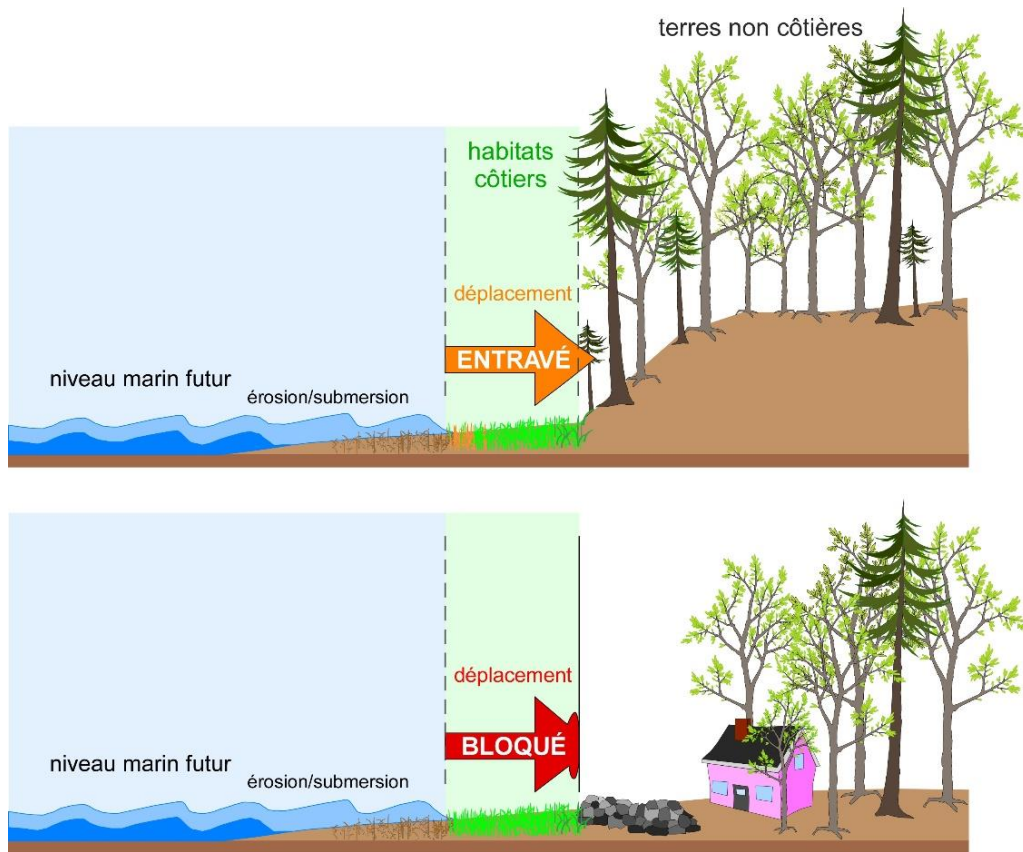


FIGURE 31. SCHÉMATISATION DE MIGRATIONS DE LA BORDURE FORESTIÈRE ENTRAVÉE ET BLOQUÉE (TÉLESCOPAGE CÔTIER) EN RÉPONSE À LA HAUSSE DU NIVEAU MARIN.

³³ Dans le cas d'un déplacement entravé, l'évolution future des marais dépendra d'autres paramètres, notamment du taux d'accrétion verticale à la surface du marais salé (par sédimentation ou par production de matière organique), déterminant son maintien ou son ennoïement.



V.IV.IV. La partie nord du sous-secteur de Beresford

Dans la partie nord du sous-secteur de Beresford, le marais pourrait migrer sur deux espaces d'accommodation, un dans le nord-ouest et l'autre dans le centre-ouest (Figure 32). Selon le scénario « conservateur » (1,77m), à l'exception de deux courts segments, la position du marais en 2100 serait en grande partie située à l'intérieur de la zone tampon de 30 mètres, établie par le ministère de l'Environnement et des Changements climatiques (ECC).

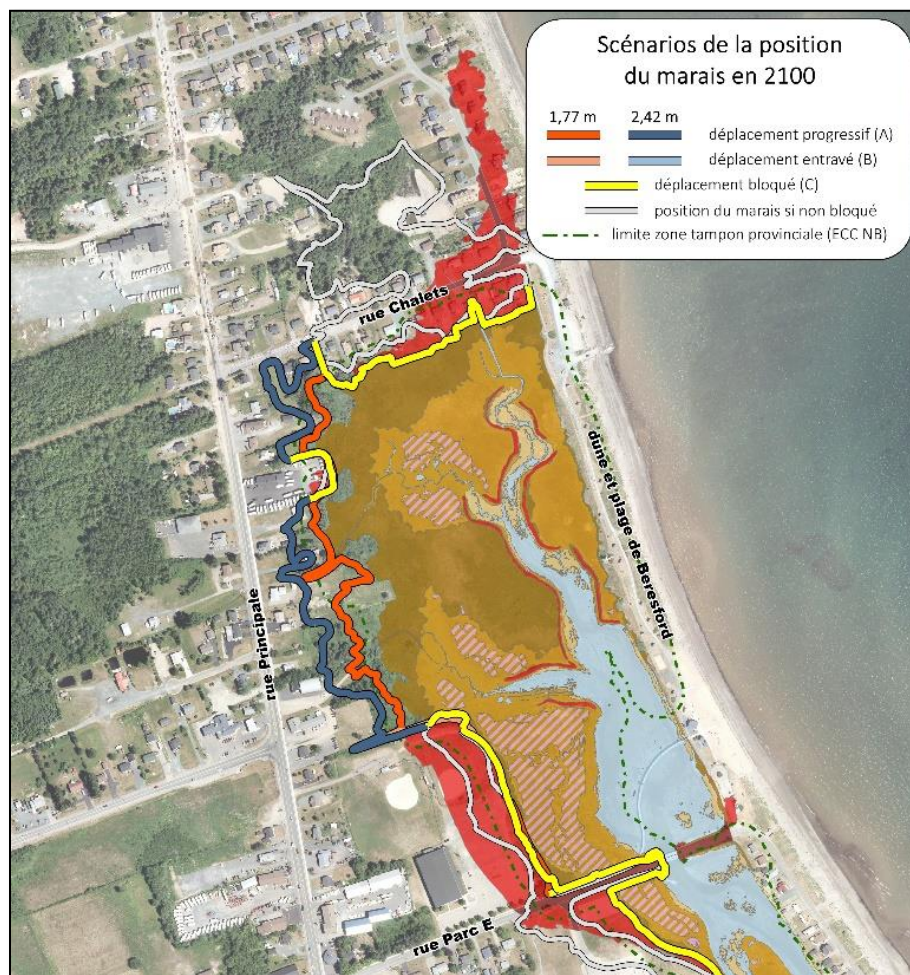


FIGURE 32. SCÉNARIOS DE LA POSITION DU MARAIS DE LA PARTIE NORD EN 2100.



Sous le scénario « pessimiste » (2,42m), la migration du marais dans ces deux espaces d'accommodation pourrait avoir atteint son déplacement maximal vers l'ouest, car la limite du marais serait pratiquement « à la porte » des habitations et autres infrastructures. Ailleurs dans la partie nord, l'espace d'accommodation serait insuffisant à la migration du marais car son déplacement serait bloqué par la présence d'aménagements : situations de télescopage côtier le long d'une bonne partie de la rue Chalets, un terrain de stationnement dans le centre-ouest, et à proximité des infrastructures récréatives le long de la rue Parc E, au sud (blocage sur une longueur de ~1,2km, soit 56 %). GLC considère que les marais adossés à la dune de Beresford ne migreront pas sur cette dernière ; au contraire, le scénario évolutif le plus plausible à l'horizon 2100 serait que ce soit la dune de Beresford qui migre sur les marais en réponse à la hausse du niveau marin. Bref, la migration future des marais salés de la partie nord est précaire vu les multiples contraintes (physiques et humaines) qui les ceignent, *littéralement*.

V.IV.V. *La partie centrale du sous-secteur de Beresford*

Dans la partie centrale du sous-secteur de Beresford, quatre (4) sites présentent des espaces d'accommodation naturels suffisamment vastes pour permettre une migration future des marais : la rive nord de la rivière Millstream (entre la rue Principale et le complexe Sportek) ; la forêt à l'est de la rue Saint-Pierre ; la partie aval du ruisseau Grants (à l'est de la rue Principale) ; la forêt entre le bout de la rue Jacques et la lagune. La largeur de ces espaces varierait entre 15 à 150 mètres sous un scénario « conservateur », et jusqu'à 300m dans le cadre du scénario « pessimiste ». Des contraintes à la migration du marais sous forme de télescopage côtier pourront se développer à plusieurs endroits dans la partie centrale, sur une longueur totale de ~2,6km (soit 48 %) : le long du remblai du complexe Sportek (qui coïncide avec l'extrémité sud de la partie nord) ; tout près de la rue Gagnon ; non loin de la rue Saint-Pierre le long d'une chaussée aménagée dans le marais pour accéder à un îlot ; ainsi qu'à quelques endroits ponctuels le long de la rive sud de la lagune. Un autre type de contrainte à la migration est présent dans la partie centrale : il s'agit de la portion estuarienne du ruisseau Grants (à l'est de la rue Principale) où un marais d'une superficie de 63 820m² s'est développé de part et d'autre du cours d'eau principal ainsi que sur des hauts-fonds deltaïques (Figure 33). Dans cette portion de l'estuaire du ruisseau Grants, les versants hauts et à pente abrupte forment un profil en « chaudron ». Ce contexte escarpé est une contrainte physique naturelle qui devrait se traduire que par une faible migration du marais : ici, les vecteurs associés aux deux scénarios (« conservateur » et



« pessimiste ») se retrouvent pratiquement l'un par-dessus l'autre, et sont situés à seulement quelques mètres de la limite supérieure du marais actuel. Évidemment, la zone tampon provinciale le long des rives nord et sud de cette portion estuarienne de la ruisseau Grants est située bien au-delà des scénarios de la position future des terres non côtières.

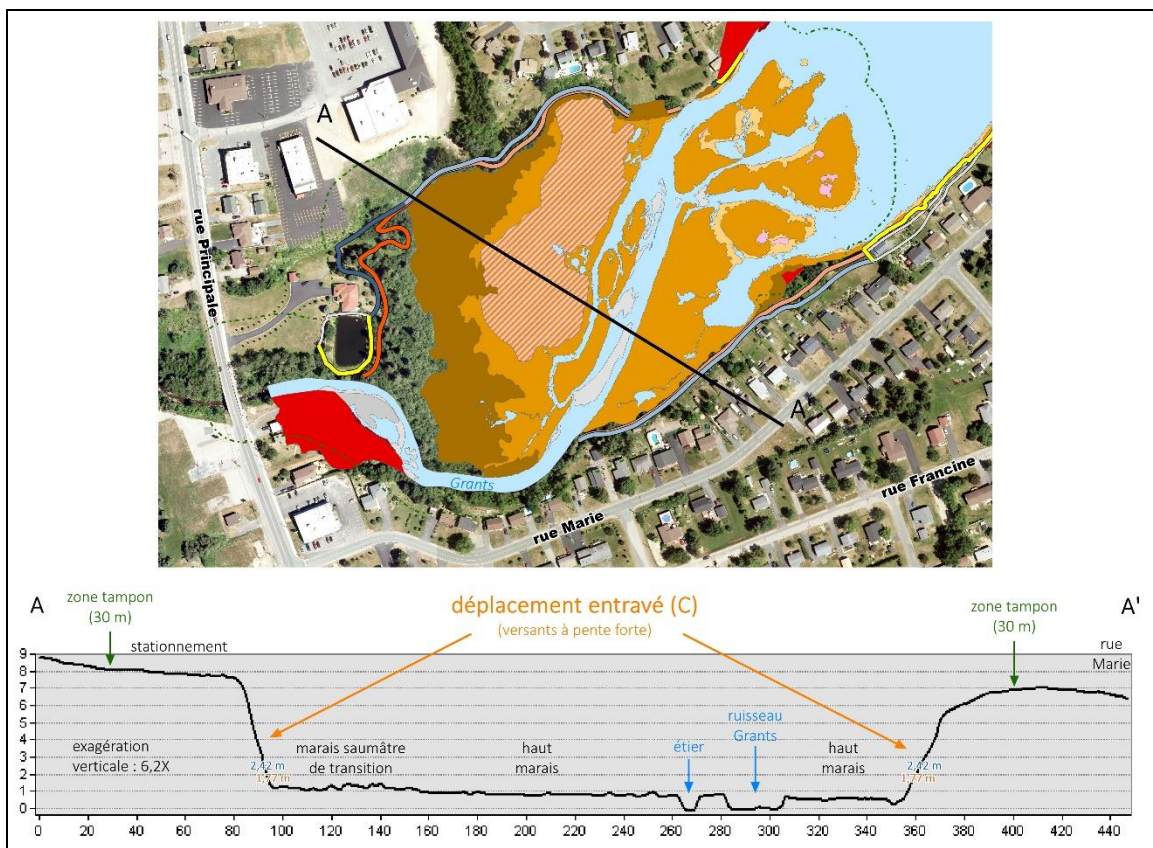


FIGURE 33. ILLUSTRATION D'UN DÉPLACEMENT ENTRAVÉ DU MARAIS D'ICI 2100 (ESTUAIRE, RUISSEAU GRANTS).



V.IV.VI. *La partie sud du sous-secteur de Beresford*

Dans la partie sud du sous-secteur de Beresford, six (6) sites présentent des espaces d'accommodation naturels suffisamment larges pour permettre une migration future du marais (voir petites étoiles noires sur la Figure 34). Il s'agit de la forêt entre le bout de la rue Jacques et la lagune (qui coïncide avec l'extrémité sud de la partie centrale) et les cinq (5) pointes de terre orientées nord-est/sud-ouest dans les portions centrale et sud. Le site du bout de la rue Jacques est celui qui présente l'espace d'accommodation le plus vaste (voir transect B-B', Figure 34). Selon le scénario « conservateur », la position de la bordure forestière en 2100 pourrait se retrouver entre ~150m et ~200m de sa position actuelle ; selon le scénario « pessimiste », elle pourrait être à plus de 300m de sa position actuelle. Dans ce site, la zone tampon (30m de largeur) associée aux terres humides est nettement insuffisante pour protéger l'espace qui serait nécessaire à la migration du marais en réponse à la hausse du niveau marin d'ici 2100. Tout près du *Camping Malybel*, le scénario « conservateur » identifie quelques portions de territoire qui seraient susceptibles d'être occupées par le marais en 2100. Par contre, sous un scénario « pessimiste », pratiquement la moitié du terrain de camping pourrait être occupée par du marais. Il est clair que ces pointes de terre naturelles (celle du *Camping Malybel* et les autres plus au sud) et la partie amont de leur cours d'eau sont des sites à protéger pour assurer la migration future des marais.

Une situation particulière de contrainte à la migration est identifiée dans la partie sud du sous-secteur de Beresford : il s'agit du site immobilier de la rue des Outardes (voir transect A-A', Figure 34). Ici, la rive nord de l'estuaire du ruisseau Haché présente une situation où le déplacement du marais situé en contrebas serait bloqué (télescopage côtier) en raison des remblaiements et du développement immobilier, et la rive sud présente quant à elle une situation où le déplacement du marais serait entravé en raison de la forte pente et de la hauteur des versants (pour l'année 2018, aucun marais saumâtre de transition n'a été observé en contrebas du versant – le contact ici se fait entre le haut marais et la forêt). Il est clair que la survie des marais situés de part et d'autre des rives du site est compromise à l'horizon 2100.

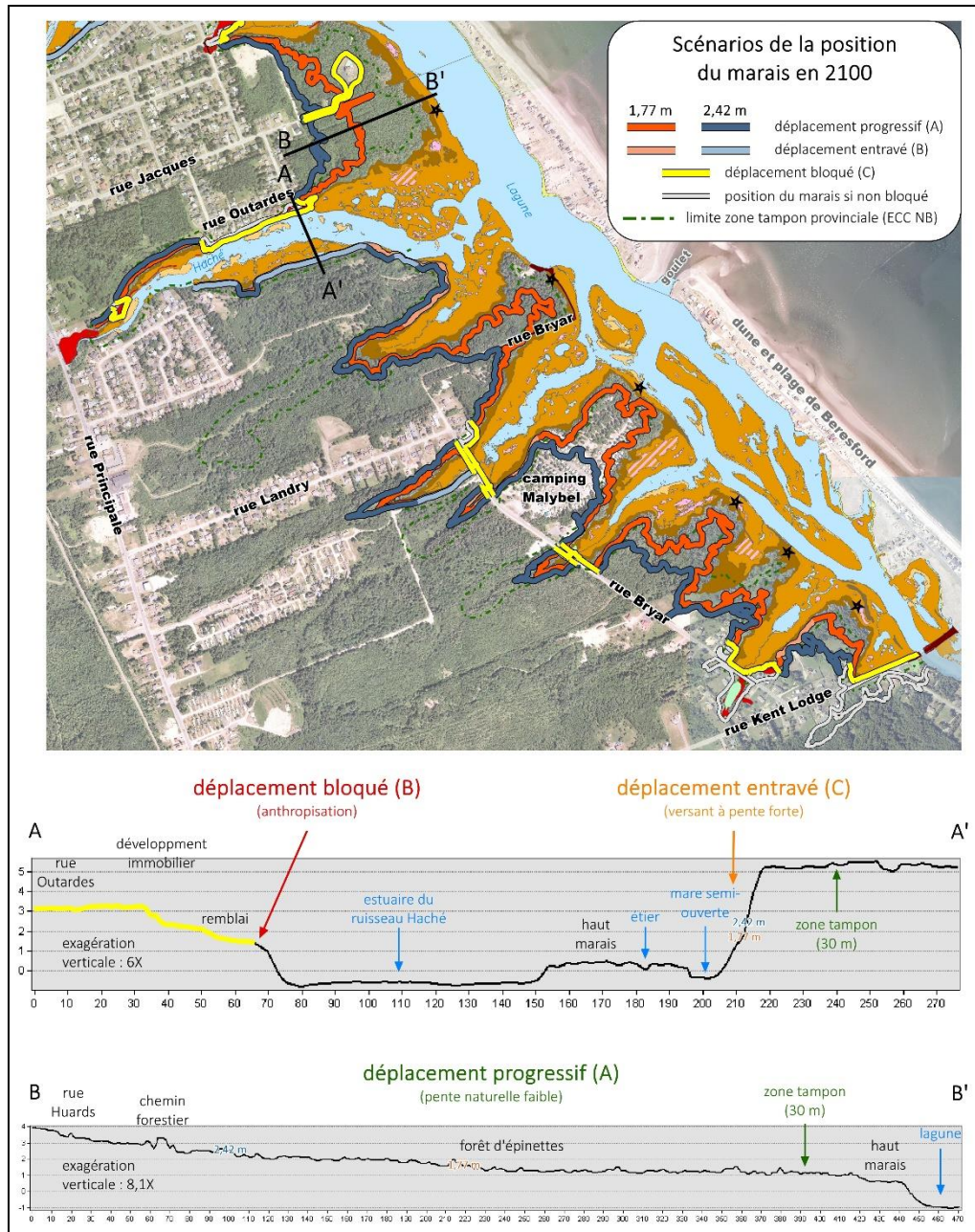


FIGURE 34. SCÉNARIOS DE LA POSITION DU MARAIS DE LA PARTIE SUD EN 2100 ET ILLUSTRATION DE DÉPLACEMENTS PROGRESSIF, BLOQUÉ ET ENTRAVÉ DU MARAIS.



V.IV.VII. *La partie de l'estuaire de la rivière Peters*

Dans la partie de l'estuaire de la rivière Peters, quelques aménagements sont présents : dans la portion sud, une chaussée a été aménagée au-travers d'un étier (créant un étang dulcicole là où un marais saumâtre de transition existait en 1944), et un développement immobilier de 16 résidences (rue Christie) est présent sur le sommet de la rive nord de l'estuaire. À l'exception de ces deux sites, les rives de l'estuaire de la rivière Peters sont relativement naturelles (quelques coupes forestières et chemins d'accès ont été notés dans « l'arrière-pays » sur les différentes séries de photos aériennes, mais aucun développement résidentiel, industriel, récréatif ou institutionnel récent n'a été recensé à proximité des rives – quoique le prolongement de la rue Christie vers le sud-ouest semble être entamé) (Figure 35).

Selon les deux scénarios développés par GLC, la rive nord-ouest de la rivière Peters semble présenter une topographie plus favorable à la migration du marais d'ici 2100. Deux portions de rive (longueur totale ~210m) ont des versants à pente forte pouvant nuire au déplacement du marais, mais sinon le reste de la rive nord-ouest (~90%) serait favorable au déplacement progressif du marais. La largeur moyenne de l'espace d'accommodation nécessaire le long de la rive nord-ouest sous un scénario « conservateur » serait de 17m, et sous un scénario « pessimiste » elle serait de 31m. Le relief généralement plus élevé et les pentes des versants généralement plus fortes le long de la rive sud-est de l'estuaire de la rivière Peters traduisent un scénario où l'espace d'accommodation nécessaire à la migration future du marais est plus étroit que celui de la rive nord-ouest (largeur moyenne de 14m sous un scénario « conservateur » et de 22m sous un scénario « pessimiste »).³⁴ De façon générale, les sites où la migration future des marais de la rivière Peters ne serait pas entravée et où un déplacement progressif serait possible, correspondent aux versants des vallées secondaires et à leurs sections amont, où le relief est bas et en pente douce.

³⁴ Le relief escarpé de la rive sud de l'estuaire résulte en l'absence de marais côtier sur une longueur approximative de 400m.

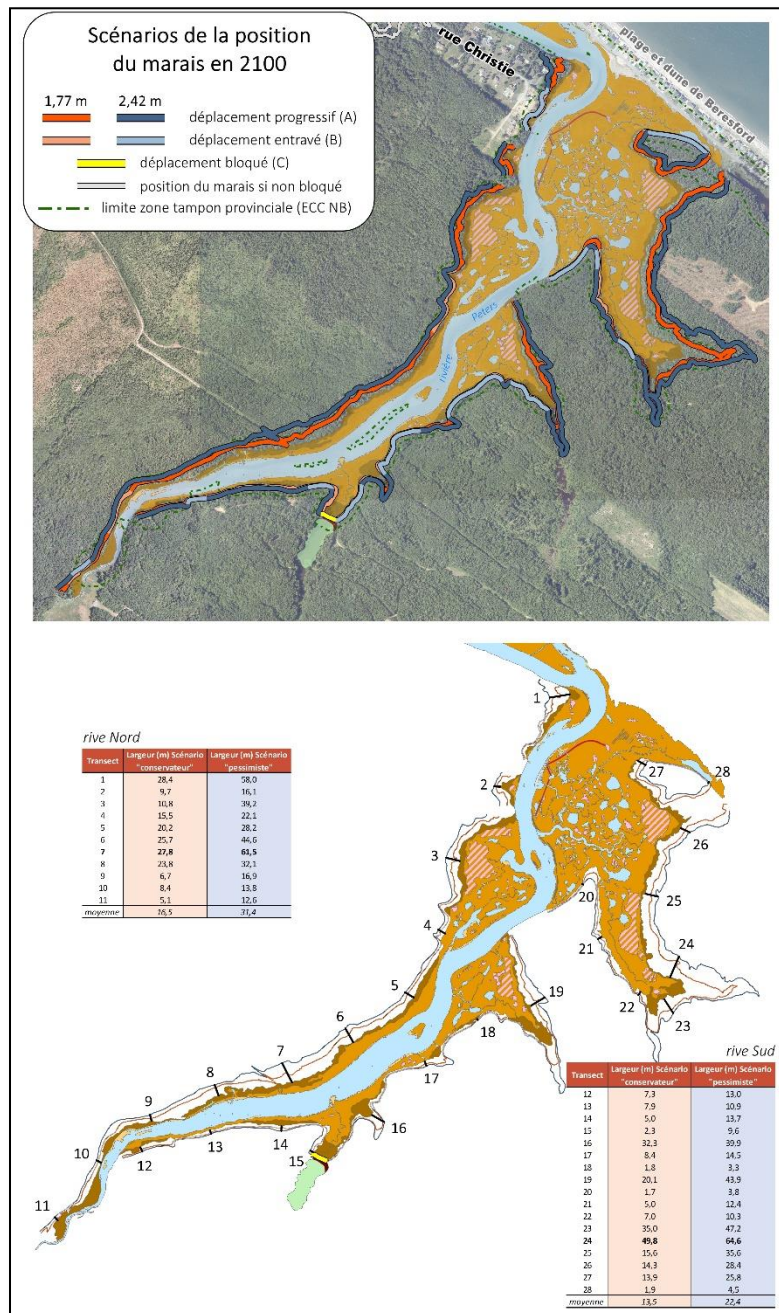


FIGURE 35. SCÉNARIOS DE LA POSITION DU MARAIS DE L'ESTUAIRE DE LA RIVIÈRE PETERS EN 2100.



Dans le sous-secteur de Beresford en général, en raison du type d'intervention humaine (majoritairement des remblais, le développement immobilier et des chaussées pour véhicules) et de leur emplacement dans les marais côtiers (comblement, surtout des marais saumâtres de transition), il existe en 2018/2020 plus de 4km de marais côtiers dont le déplacement est déjà « bloqué » (télescopage côtier), justement par l'empiètement des aménagements (Tableau 15).

TABLEAU 15. LONGUEUR (M) DU LINÉAIRE CÔTIER DÉCRIVANT LES TYPES DE DÉPLACEMENTS POSSIBLES POUR LES MARAIS CÔTIERS DU SOUS-SECTEUR DE BERESFORD À L'HORIZON 2100.

Type de déplacement du marais d'ici 2100	Longueur totale (m), Scénario "conservateur"		Longueur totale (m), Scénario "pessimiste"	
	m	%	m	%
Progressif (A)	15 346,1	62%	15 742,7	64%
Entravé (C)	4 772,9	19%	2 818,2	11%
Bloqué (B)	4 737,1	19%	6 167,1	25%
Total du scénario 2100	24 856,1	100%	24 728,0	100%
linéaire (m) présentement bloqué (2018/'20)	4 062,9	16%	4 062,9	16%
augmentation (m) du linéaire bloqué en 2100 face au total déjà bloqué en 2018/'20	+674,2	+14%	+2 104,2	+34%

Sous un scénario « conservateur » de projection de la limite des marais côtiers en 2100, 674,2m additionnels de linéaire de marais côtiers seraient bloqués dans leur déplacement en réponse à la hausse du niveau marin relatif, représentant une augmentation de 14 %. Toutefois, sous un scénario « pessimiste », 2 104,2m additionnels de linéaire de marais seraient bloqués dans leur déplacement, représentant une augmentation de 34 % face à la situation actuelle. Dans le détail, cette augmentation de télescopage côtier se produirait principalement dans la partie sud du sous-secteur, où 1 003,5m additionnels de marais côtiers seraient bloqués dans leur migration vers des terres plus élevées. La partie nord verrait son total de linéaire bloqué augmenter de 247,3m et celui de la partie centrale



augmenterait de 853,5m. Comme mentionné plus haut, seul l'estuaire de la rivière Peters ne connaîtrait pas d'augmentation de télescopage côtier d'ici 2100, en raison justement de son caractère « naturel ». Mais, il demeure difficile de projeter dans le futur ce à quoi devraient ressembler les rives de l'estuaire Peters ; les projections développées dans le cadre de cette étude ne scénarisent pas comment l'occupation du territoire se déclinera au cours des 79 prochaines années.

Comme c'est le cas de plusieurs marais salés le long du littoral des provinces Atlantiques, le taux d'accrétion verticale (par sédimentation et production sur place de matière organique) pourrait s'avérer un facteur déterminant pour le futur de certains marais du sous-secteur de Beresford : survie et maintien des marais si le taux d'accrétion verticale est suffisant, ou ennoisement et disparition progressive des marais si le taux d'accrétion verticale du marais est insuffisant. L'appui à des projets qui permettraient de chiffrer ce taux (par le biais d'analyses d'échantillons de carottes prises dans les marais salés) constituerait un message fort vers l'augmentation des connaissances visant à mieux comprendre le sort des marais côtiers à l'aube de l'année 2100.



VI. Évolution et aménagement du territoire

Tel que discuté plus haut, il faut reconnaître que la réponse la plus courante du trait de côte à une hausse du niveau marin est le recul, nécessaire pour l'ajustement naturel de la côte aux nouvelles conditions. S'adapter à la hausse du niveau marin, c'est d'abord accepter ce fait et se rappeler qu'en l'absence d'aménagements, les forts taux de recul de la côte ne sont généralement pas considérés problématiques.

Une gestion durable de la côte et de la zone côtière en général doit s'inscrire dans le temps long, c'est-à-dire d'avoir une vision multi-décennale de l'aménagement du territoire. Les stratégies ci-dessous pourraient être envisagées individuellement ou bien en combinaison afin de gérer de façon durable les défis liés à l'érosion côtière et la migration des habitats côtiers en réponse à la hausse du niveau marin.

Les côtes faisant face à la baie des Chaleurs

- L'éviterment est une stratégie qui mise sur une action en amont, c'est-à-dire avant qu'un problème ne surgisse, soit ne pas permettre l'aménagement d'infrastructures qui se retrouveraient dans des zones à risque d'érosion avant la fin de leur durée de vie utile. L'éviterment peut passer par des mesures de zonage (ou de planification du territoire) afin d'établir, le long de la côte, une marge de non constructibilité.³⁵ Ici, la gestion passe par le temps long, et en ce sens les secteurs où les taux de recul de la côte sont les plus forts et où l'érosion est chronique devraient être priorités afin d'établir des marges de retrait (ou de non constructibilité) qui s'étalent suffisamment loin dans l'espace et dans le temps.

L'éviterment peut aussi prendre d'autres formes d'action, par exemple accorder un *statut de protection* aux secteurs de côte restés naturels (sans développements) ; la mise en place d'un *programme d'achat de terrains côtiers* permettrait de soustraire des parcelles de territoire au risque d'érosion ; des *clauses de maintien à l'état*

³⁵ Il faut comprendre ce concept avec toute la flexibilité qu'il permet : on peut occuper l'espace tant que la marge de retrait est encore loin, mais il faut éviter les constructions ou aménagements qui engagent des durées plus longues que ce que permet le rythme du recul de la côte dans un secteur donné.



naturel pourraient être discutées avec des propriétaires côtiers³⁶ et intégrées aux titres de propriété si un programme d'achat de terrains côtiers n'est pas possible ; pourrait-on même imaginer des *incitatifs fonciers* mis en place par les autorités responsables – au même titre qu'il existe des allègements fiscaux pour stimuler l'implantation d'entreprises dans certaines régions – où une « ristourne » (crédit) serait remise aux propriétaires fonciers qui ne développent ni ne rigidifient en dur la portion côtière de leur propriété (GRANNIS, 2011, p. 54) ?

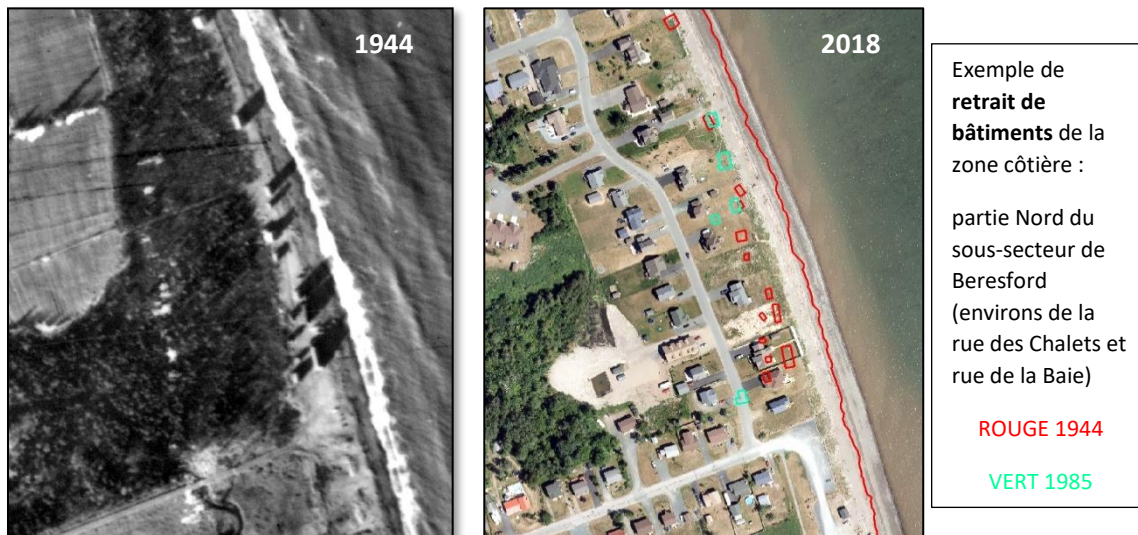
- Le repli stratégique, qui consiste à retirer les enjeux (infrastructures) de la zone à risque d'érosion au lieu de choisir de lutter contre l'érosion en rigidifiant la côte, pourrait être considéré dans les secteurs développés. L'objectif général de cette stratégie est de déplacer des biens et des activités afin de redonner un espace d'accommodation aux écosystèmes littoraux et réduire durablement les risques. Les modalités de mise en application du repli stratégique sont variables en raison des particularités régionales ou locales (distances critiques, seuils, marges de sécurité, etc.), mais les aspects socio-économiques ne peuvent plus être écartés de la démarche (protection des personnes, indemnisations équitables).³⁷ La mise en place d'une telle stratégie permettrait d'atteindre quelques objectifs : d'abord d'éviter la multiplication des structures de protection à la côte (enrochements, murs, remblais, gabions, etc.), qui ont des effets négatifs sur les plages situées devant (amincissement et rétrécissement) et souvent sur les côtes situées en aval (ponctuellement, une accélération de l'érosion via « l'effet de bout » ; sur une plus longue distance, perturbation, voire rupture, des échanges sédimentaires) ; ensuite de protéger les habitants et les biens matériels d'événements de tempêtes majeurs (principe de précaution) ; et finalement, de favoriser le maintien des écosystèmes

³⁶ Par exemple des citoyens sensibles à la protection de l'intégrité de la zone côtière et de la nature.

³⁷ Suite à la tempête Xynthia, plusieurs propriétaires côtiers français furent évincés de leur demeure. Un repli stratégique « progressif » a depuis émergé dans le discours de la gestion côtière en France. LAMBERT (2013) résume la démarche envisagée : « [...] pour éviter le choc et la douleur d'une perte brutale et aider à développer une culture du risque. La proposition consiste à organiser un abandon progressif des propriétés en trois périodes de 30 ans [...]. Ainsi pourrait-on envisager que jusqu'en 2040, le bien situé puisse être occupé ou loué, mais devienne incessible (pas d'héritage, pas de vente). Dans une seconde période, jusqu'en 2070 : le bien pourrait être occupé, mais ne pourrait plus être loué. Et finalement, jusqu'en 2100 : le bien pourrait seulement être occupé par son propriétaire, avant d'être incorporé au Domaine public maritime. »



côtiers et des paysages « naturels » (pour les populations locales, le potentiel récréatif et l'attrait touristique).



- La mise en place d'une gestion participative des enjeux côtiers impliquant les citoyens des communautés de la CSR Chaleur permettrait assurément la sensibilisation à la problématique de l'érosion côtière.³⁸ Des politiques issues du milieu auraient sans doute de meilleures chances de succès. Par exemple, les portions de terrain laissées vacantes (terrains vagues) pourraient servir à des usages « légers » : terrains de camping, accès à la mer publics, belvédères, sentiers écotouristiques multi-usages (interprétation de la nature, marche, pistes cyclables, aires de piqueniques, etc.), agriculture. Le développement de telles politiques devrait viser avant tout le découragement de constructions en « dur » (maisons, industries, bâtiments avec fondations en béton, asphaltage, etc.) afin d'éviter la création d'un risque et d'une éventuelle artificialisation de la côte dans un futur rapproché.

³⁸ L'organisation d'ateliers de travail et les démarches entreprises et accompagnées par des chercheurs locaux permettent aux communautés locales de saisir les défis car ils participent à l'identification de solutions (CHOQUINARD, PLANTE et MARTIN, 2006). Voir aussi la publication GUILLEMOT et coll. (2014).



Les côtes associées aux marais « salés » de Beresford

- Une stratégie de gestion des espaces d'accommodation devrait être développée de concert avec tous les intervenants pour identifier les meilleures options d'utilisation de ces terrains qui accueilleront les marais dans le futur.³⁹

Il faut voir la gestion de ces espaces sur le court, le moyen et le long terme : des aménagements légers (terrains de sport, parcs, espaces à vocation récréotouristique tirant avantage de la présence d'espaces naturels et du marais) sont à privilégier, mais on peut aussi y installer des campings, des granges ou bâtiments de rangement, structures sans fondations en ciment, faciles à enlever lorsque ce sera le moment. Il faut sans doute innover et penser à des titres de propriété ou à des baux prévoyant l'interdiction d'infrastructures permanentes et le fait que l'espace devra être cédé ou racheté à échéance. Bref, il y a 79 ans d'ici 2100 et on peut occuper et profiter de ces espaces pendant une bonne partie de cette période, ce qui leur conserve de la valeur.

- Des occasions de restauration des marais côtiers actuels pourraient être évaluées, surtout sur les terrains municipaux. Non seulement s'agit-il de milieux côtiers à potentiel récréotouristique et de protections naturelles contre les inondations et l'action des vagues, mais il est bien documenté que les marais salés sont de bons « capteurs » de carbone atmosphérique, et qu'à ce titre, ils participent à la réduction des gaz à effet de serre responsables des changements climatiques. Le taux d'enfouissement ou de séquestration du carbone par les marais salés est de $\sim 240 \text{gC/m}^2/\text{an}$, ce qui fait des marais salés l'un des écosystèmes côtiers les plus productifs en la matière (ORTIZ, 2019).⁴⁰ Une récente étude visant l'estimation du stock de carbone contenu dans le marais côtier de Pointe Carron conclue que son marais salé (d'une superficie de 43,8ha) contiendrait 17,1 kilogrammes de carbone par mètre carré, soit $\sim 7\,500$ tonnes de carbone pour l'ensemble de ce marais salé. Selon la valeur monétaire marchande du carbone en 2013, l'étude estime que le

³⁹ Ces options pourraient comprendre : la création ou la désignation d'aire naturelles protégées ; l'aménagement de parcs riverains ; la modification du zonage pour exclure le développement ; l'ajout de clauses de protection aux titres de propriété ; l'achat de terres par des organismes de conservation.

⁴⁰ Par comparaison, les mangroves enfouissent le carbone à un taux de $\sim 163 \text{gC/m}^2/\text{an}$ et les zosteraies (herbiers de zostère marine, ou « herbe de mer », sur l'avant-plage) à $\sim 138 \text{gC/m}^2/\text{an}$ (ORTIZ, 2019).



carbone stocké dans le marais salé de Pointe Carron représenterait un total de 139 000 \$US (VAN ARDENNE et coll., 2018).

Toute action de restauration des marais côtiers préalablement remblayés ou par ailleurs modifiés pourrait se transformer en levier économique pour la municipalité de Beresford, à l'image d'une taxe foncière. Des appuis (financiers et logistiques) à la restauration peuvent provenir du gouvernement fédéral (Environnement et Changement climatique Canada – *Plan nord-américain de gestion de la sauvagine*), du gouvernement provincial (Environnement et Changements climatiques) et d'organismes à but non lucratif (Habitats fauniques Canada ; Canards Illimités ; Fondation pour la protection des sites naturels du Nouveau-Brunswick ; Conservation de la nature Canada).

Géo Littoral Consultants espère que les données contenues dans ce rapport permettront aux responsables de la CSR Chaleur de poursuivre leur réflexion sur les enjeux de l'érosion, du recul de la côte et de la préservation des marais « salés » du territoire, les choix à faire et les mesures à prendre. La CSR Chaleur a ici l'occasion de développer et de mettre en application des mesures novatrices à l'échelle régionale et provinciale, en accord avec sa situation dans l'une des deux seules baies canadiennes membre du club des *Plus belles baies du Monde* (<https://world-bays.com/>).



Références

- ASHTON, A.D., WALKDEN, M.J.A. et DICKSON, M.E. **2011**. Equilibrium responses of cliffed coasts to changes in the rate of sea level rise. *Marine Geology*. 284 : 217-229.
- BERNATCHEZ, P., BOUCHER-BROSSARD, G., CORRIVEAU, M. et JOLIVET, Y. **2014**. *Impacts des changements climatiques sur l'érosion des falaises de l'estuaire maritime et du golfe du Saint-Laurent*. Chaire de recherche en géoscience côtière, Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières, Université du Québec à Rimouski. Rapport de recherche remis au ministère de la sécurité publique du Québec et au consortium Ouranos. 166 p.
- BERNATCHEZ, P. **2015**. *Bilan des connaissances sur l'érosion et la submersion côtière au Québec : enjeux, causes et perspectives*. Présentation au Colloque sur la sécurité civile et incendie du 16 au 18 février 2015, Québec, Québec.
- CARR, J., GUNTENSPERGEN, G. et KIRWAN, M.L. **2020**. Modeling Marsh-Forest Boundary Transgression in Response to Storms and Sea-Level Rise. *Journal of Geophysical Research Letters*. Vol. 47(17) : e2020GL088998.
- CHELBI, M., SIMARD, I. et ROBICHAUD, A. **2019**. *Infrastructures à risque face à l'érosion côtière pour les municipalités de Petit-Rocher et Pointe-Verte, Nouveau-Brunswick*. Groupe Régenord. Remis à la CSR Chaleur. 42 p.
- CHOUINARD, O., PLANTE, S. et MARTIN, G. **2006**. Engagement des communautés face au changement climatique : une expérience de gestion intégrée à Le Goulet et Pointe-du-Chêne au Nouveau-Brunswick. *VertigO*. 7(3). [en ligne].



CROWELL, M., LEATHERMAN, S.P. et DOUGLAS, B. **2018**. Erosion: Historical Analysis and Forecasting. Chapter E. In FINKL, C.W. et MAKOWSKI, C. (dir.) : *Encyclopedia of Coastal Science*. Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-48657-4_138-2

DAIGLE, R. **2020**. *Updated Sea-Level Rise and Flooding Estimates for New Brunswick Coastal Sections 2020. Based on IPCC 5th Assessment Report*. Préparé par R.J. Daigle Enviro et remis au ministère de l'Environnement et des Gouvernements locaux du Nouveau-Brunswick. 69 p.

DIOUF, S. **2019**. *Évolution de la densité du bâti et de la rigidification du trait de côte et impacts des structures rigides de protection côtière sur le territoire de la Commission de services régionaux Chaleur, Nouveau-Brunswick*. Mémoire présenté à la Faculté des études supérieures et de la recherche en vue de l'obtention du grade de Maîtrise en études de l'environnement. Université de Moncton. 151 p.

DIOUF, S., BÉRUBÉ, D. et ROBICHAUD, A. (soumis). Densification du bâti et rigidification du trait de côte sur le territoire de la Commission de services régionaux Chaleur. *Le Géographe canadien*. Parution prévue en 2021.

DIOUF, S., ROBICHAUD, A., BÉRUBÉ, D. et COOMBS, E. **2019a**. Taux de déplacement du trait de côte dans le secteur de Nigadoo, Nouveau-Brunswick, entre 1934 et 2018. Ministère du Développement de l'Énergie et des Ressources du Nouveau-Brunswick, Direction des études géologiques. Planches 2019-1A, 1B, 1C.

----- **2019b**. Taux de déplacement du trait de côte dans le secteur Est de Salmon Beach, Nouveau-Brunswick, entre 1934 et 2012. Ministère du Développement de l'Énergie et des Ressources du Nouveau-Brunswick, Direction des études géologiques. Planches 2019-4A, 4B, 4C.

----- **2019c**. Taux de déplacement du trait de côte dans le secteur Ouest de Salmon Beach, Nouveau-Brunswick, entre 1934 et 2012. Ministère du Développement de l'Énergie et des Ressources du Nouveau-Brunswick, Direction des études géologiques. Planches 2019-3A, 3B, 3C.



- GUILLEMOT, J., MAYRAND, E., GILLET, J. et AUBÉ, M. **2014**. La perception du risque et l'engagement dans des stratégies d'adaptation aux changements climatiques dans deux communautés côtières de la péninsule acadienne. *Vertigo*. 14(2). [en ligne].
- GRANNIS, J. **2011**. *Adaptation Tool Kit: Sea-Level Rise and Coastal Land Use. How Governments Can Use Land-use Practices to Adapt to Sea-Level Rise*. Georgetown Climate Centre. 90 p.
- FAGHERAZZI, S., ANISFELD, S.C., BLUM, L.K., LONG, E.V., FEAGIN, R.A. et FERNANDES, A. **2019**. Sea level rise and the dynamics of the marsh-upland boundary. *Frontiers in Environmental Science*. Vol. 7(25).
- FAGHERAZZI, S., KIRWAN, M.L., MUDD, S.M., GUNTENSPERGEN, G.R., TEMMERMAN, S., D'ALPAOS, A., VAN DE KOPPEL, J., RYBCZYK, J.M., REYES, E., CRAFT, C. et CLOUGH, J. **2012**. Numerical models of salt marsh evolution: ecological, geomorphic, and climatic factors. *Reviews of Geophysics*. 50 : 1-28.
- FEAGIN, R. A., LUISA MARTINEZ, M., MENDOZA-GONZALEZ, G. et COSTANZA, R. **2010**. Salt marsh zonal migration and ecosystem service change in response to global sea level rise: a case study from an urban region. *Ecology and Society*. 15(4). [en-ligne]
- FULLER, R., COFER-SHABICA, N., FERDAÑA, Z., WHELCHER, A., HEROLD, N., SCHMID, K., SMITH, B., MARCY, D. et ESLINGER, D. **2011**. *Marshes on the Move. A Manager's Guide to Understanding and Using Model Results. Depicting Potential Impacts of Sea Level Rise on Coastal Wetlands*. Rapport préparé pour Nature Conservancy et National Ocean Service Coastal Services Center. 21 p.
- HACHEY, M., BÉRUBÉ, D. et EVANS, P. **2004**. *Évolution des plages, dunes et marais à Beresford sur la côte nord-est du Nouveau-Brunswick*. Ministère des Ressources naturelles du Nouveau-Brunswick, Division des minéraux, des politiques et de la planification. Planche 2004-148.



- HAMELIN, L.-E. **1957**. Les tourbières réticulées du Québec-Labrador subarctique : interprétation morphoclimatique. *Cahiers de géographie du Québec*. 2(3) : 87–106.
- HANSON, A., BÉRUBÉ, D., FORBES, D.L., O'CARROLL, S., OLLERHEAD, J. et OLSEN. **2006**. Impact de la hausse du niveau marin et du développement résidentiel sur la superficie occupée par les marais maritimes du sud-est du Nouveau-Brunswick entre 1944 et 2001. pp. 431-443. In DAIGLE, R. (dir.) *Impacts de la hausse du niveau de la mer et du changement climatique sur la zone côtière du sud-est du Nouveau-Brunswick*. Rapport de projet. Environnement Canada, Dartmouth (N.-É.). ISBN 0-662-43947-3. Catalogue no : En84-45/2006E, EPSM-753, (CD-ROM). 609 p. et annexes.
- JOLICOEUR, S. et O'CARROLL, S. **2012**. *Projet de la Péninsule acadienne. Rapport de recherche technique. Équipe « Photogrammétrie et cartographie »*. Rapport final remis le 15 mai 2012 à Solutions d'adaptation aux changements climatiques pour l'Atlantique. 63 p.
- KALACSKA, M., CHMURA, G.L., LUCANUS, O., BÉRUBÉ, D. et ARROYO-MORA, J.P. **2017**. Structure from motion will revolutionize analyses of tidal wetland landscapes. *Remote Sensing of Environment*. 199 : 14-24.
- KIRWAN, M.L., WALTERS, D.C., REAY, W.G. et CARR, J.A. **2016**. Sea level driven marsh expansion in a coupled model of marsh erosion and migration. *Geophysical Research Letters*. 43 : 4366–4373
- LAMBERT, M.-L. **2013**. GIZC et élévation du niveau marin : vers une gestion innovante des littoraux vulnérables. *Vertigo*. Hors-série 18. Doi : <https://doi.org/10.4000/vertigo.14331>
- MASSELINK, G., RUSSEL, P., RENNIE, A., BROOKS, S. et SPENCER, T. **2020**. Impacts of climate change on coastal geomorphology and coastal erosion relevant to the coastal and marine environment around the UK. *MCCIP Science Review*. 158-189. doi : 10.14465/2020.arc08.cgm



- O'CARROLL, S., BÉRUBÉ, D., FORBES, D.L., HANSON, A., JOLICOEUR, S. et FRÉCHETTE, A. **2006**. Chapitre 4.5 : Érosion côtière. pp. 342-423. In DAIGLE, R. (dir.) *Impacts de la hausse du niveau de la mer et du changement climatique sur la zone côtière du sud-est du Nouveau-Brunswick*. Rapport de projet. Environnement Canada, Dartmouth (N.-É.). ISBN 0-662-43947-3. Catalogue no : En84-45/2006E, EPSM-753, (CD-ROM). 609 p. et annexes.
- ROBICHAUD, A. et BÉGIN, Y. **1997**. The Effects of Storms and Sea-level Rise on a Coastal Forest Margin in New Brunswick, Eastern Canada. *Journal of Coastal Research*. Vol. 13(2) : 429-439.
- ROBICHAUD, A., SIMARD, I., DOIRON, A. et CHELBI, M. **2011**. *Infrastructures à risque dans trois municipalités de la Péninsule acadienne. Volet 3 du projet ASACCA – Péninsule acadienne*. Rapport remis à Solutions d'adaptation aux changements climatiques pour l'Atlantique. 53 p.
- ROGERS, K. et WOODROFFE, C.D. **2014**. Tidal Flats and Salt Marshes. In MASSELINK, G. et GEHRELS, R. (éd.). *Coastal Environments and Global Change*. American Geophysical Union et John Wiley & Sons. pp. 227-250.
- SCHMID, K.A., HADLEY, B.C. et WIJEKOON, N. **2011**. Vertical Accuracy and Use of Topographic LIDAR Data in Coastal Marshes. *Journal of Coastal Research*. Vol. 27 (6A) : 116–132.
- SMITH, S.M. **2020**. Salt marsh migration potential at Cape Cod National Seashore (Massachusetts, U.S.A.) in response to sea-level rise. *Journal of Coastal Research*. Vol. 36(4) : 771–779.
- SPIDALIERI, K. **2020**. Where the Wetlands Are—And Where They Are Going: Legal and Policy Tools for Facilitating Coastal Ecosystem Migration in Response to Sea-Level Rise. *Wetlands*. 40 : 1765–1776.
- VAN ARDENNE, L., JOLICOEUR, S., BÉRUBÉ, D., BURDICK, D. et CHMURA, G. **2018**. The importance of geomorphic context for estimating the carbon stock of salt marshes. *Geoderma*. 330 : 264-275.



- WONG, P.P., LOSADA, I.J., GATTUSO, J.-P., HINKEL, J., KHATTABI, A., MCINNES, K.L., SAITO, Y., et SALLENGER, A. **2014**. Coastal systems and low-lying areas. In FIELD, C.B. et coll. (dir.): *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. pp. 361-409.
- WSP. **2020**. *Analyse de risque d'inondation et d'érosion côtière. Partie du territoire de la CSR Chaleur*. Rapport produit pour la Commission de services régionaux Chaleur. 35 p. et annexes.



Annexe A – Légende cartographique

La mer et l'estran

Lagune

(clé : LAGUNE)

(couleur : bleu sodalite)



Plan d'eau salé, incluant les estuaires des principaux cours d'eau s'y déversant, situé derrière le système de dunes littorales de Beresford, et connecté à la baie des Chaleurs par un goulet. La lagune est influencée par la marée.

Alluvions

(clé : ALLUVIONS)

(couleur : gris 10 %)



Dépôt de matériaux sur le lit d'un cours d'eau ou sur l'estran de la lagune. Formé de sédiments de la taille des sables et des graviers, les alluvions prennent souvent une forme allongée dans le sens du courant. Ces bancs de sédiments peuvent être végétalisés.



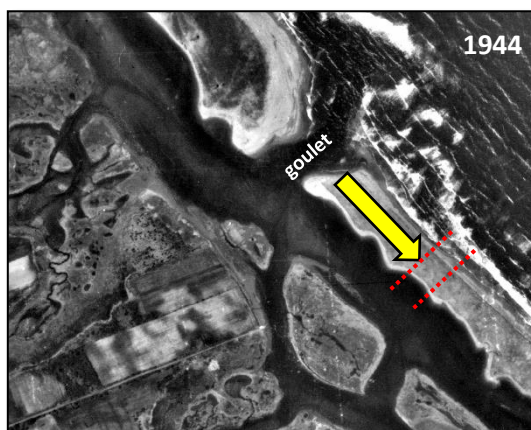
Goulet

(clé : GOULET)

(couleur : bleu sodalite)



Ouverture plus ou moins profonde dans la dune littorale de Beresford permettant à l'onde de marée de pénétrer (faisant la connexion entre la Baie et la lagune). Le goulet de Beresford s'est déplacé de ~280 mètres vers le sud-est depuis 1944. *La superficie de ce plan d'eau n'a pas été comptabilisée dans les calculs.*



Les habitats du marais côtier

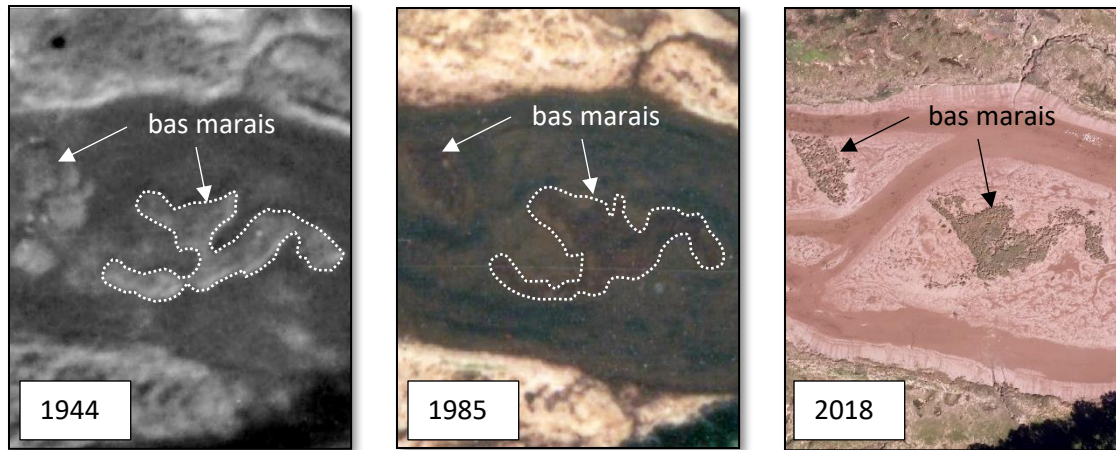
Bas marais

(clé : B_MARAIS)

(couleur : mangue)



Surface végétalisée en bordure de lagune ou d'un plan d'eau influencé par la marée. Le bas marais se développe typiquement un peu en-deçà du niveau moyen de la mer et la marée haute – il est donc inondé quotidiennement. Il forme souvent un ruban de part et d'autre des cours d'eau (étiers) ou une bande en marge de la lagune ou d'une mare semi-ouverte. Le bas marais est dominé par la *Spartine alterniflora*, avec des occurrences d'autres plantes halophytes osmotiques, telle la *Salicorne d'Europe*. Il présente une teinte gris foncé sur les photos aériennes de 1944 ; une teinte brun marron foncé sur celles de 1985 ; et une teinte vert kaki sur les orthophotos de 2018/2020 (exemples page suivante).



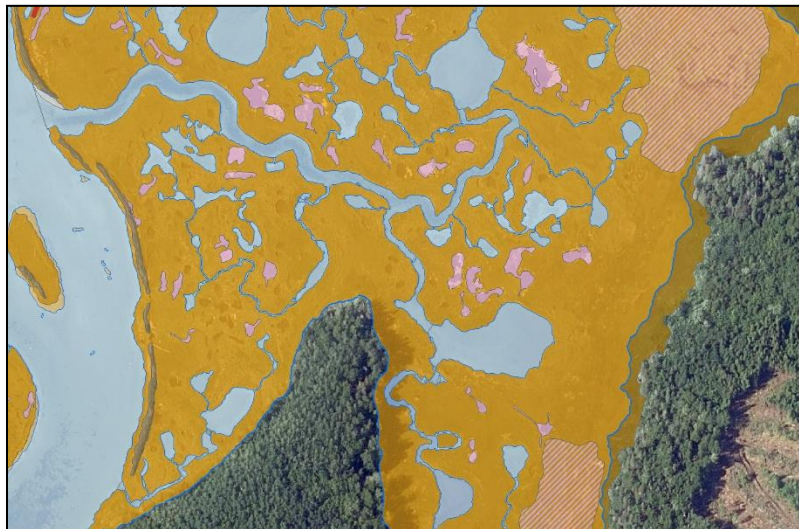
Haut marais

(clé : H_MARAIS)

(couleur : orange Séville)



Le haut marais est situé un peu plus haut dans le marais salé, dont il représente souvent la majeure partie (voir illustration ci-dessous). Il se trouve entre la pleine mer supérieure marée moyenne et la pleine mer supérieure grande marée – le haut marais est inondé lors des grandes marées mensuelles. L'espèce végétale dominante du haut marais est la *Spartine étalée* ; d'autres espèces l'accompagnent car le haut marais est moins fréquemment inondé par l'eau de mer, et donc plus diversifié. Le paysage du haut marais est ponctué par de nombreuses mares fermées, et il est traversé par des étiérs qui apportent et drainent la marée jusqu'à des mares semi-ouvertes (plans d'eau influencées par la marée) ou vers le cours amont de ruisseaux. Le haut marais est limité vers l'intérieur par le marais saumâtre de transition (voir aussi Figures 14 et 15).





Étier

(clé : ÉTIER)

(couleur : bleu sodalite)



Petit cours d'eau influencé par la marée. L'étier est en contact avec la lagune et des plans d'eau du marais, telles les mares semi-ouvertes, ou correspond à la portion aval de cours d'eau non côtiers.

Mare semi-ouverte

(clé : MS_OUVERTE)

(couleur : bleu sodalite)



Plan d'eau dans le marais salé qui est influencé par la marée. La mare semi-ouverte est connectée à la lagune par un étier ou un drain. Une ceinture de bas marais peut être présente sur les rives des mares semi-ouvertes.

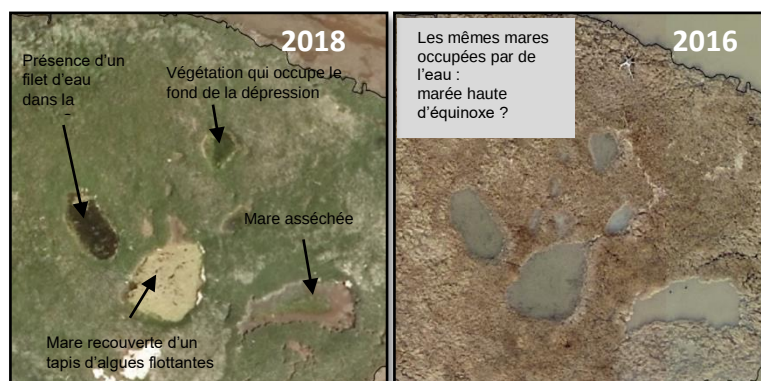
Mare

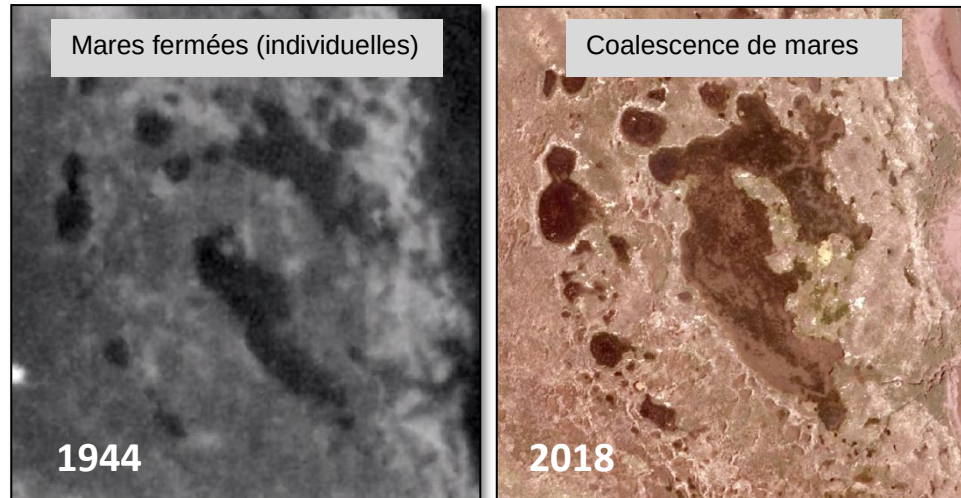
(clé : MARE)

(couleur : rose rhodolite)



Plan d'eau isolé dans le marais salé. Le haut marais est souvent ponctué de mares de grandeur et de forme diverses. Ces dépressions fermées dans le marais salé peuvent, ou non, être occupées par de l'eau – cela dépend de plusieurs facteurs à l'œuvre au moment de la prise des photographies aériennes (dégel printanier, marée d'équinoxe, tempête récente, période de sécheresse, hydrologie locale, etc.). Certaines dépressions peuvent être occupées par de l'eau, tandis que d'autres situées à quelques mètres sont asséchées. D'autres dépressions peuvent être occupées par un tapis d'algues flottantes (une couche d'algues entéromorphes et de bactéries bleues vertes) (exemple ci-dessous), tandis qu'à d'autres moments de l'année, les mares sont recouvertes de végétation émergente. Alors que la taille de certaines mares fermées peut persister pendant plusieurs décennies, d'autres mares peuvent s'agrandir et fusionner avec des mares adjacentes pour ne former qu'une seule entité (mares coalescentes) (exemple page suivante).





Drain

(clé : DRAIN)

(couleur : bleu sodalite)



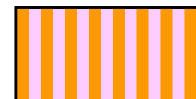
Canal de drainage creusé dans le marais. Comme l'étier, le drain est en contact avec la lagune et des plans d'eau intérieurs, telles les mares semi-ouvertes. Le drain se distingue bien des étiers par son tracé très rectiligne.

Marais réticulé

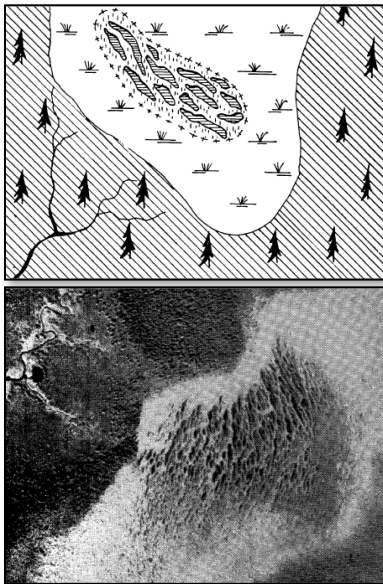
(clé : M_RÉTICULÉ)

(couleur : orange Séville 50 %)

(couleur : rose rhodolite 50 %)



Grande surface dans le haut marais présentant un relief bosselé, formé de mares ou dépressions individuelles (souvent de forme allongée), séparées par des lanières ou des cordons de marais. Ces dépressions en lentilles peuvent ou non être occupées par de l'eau. La densité des mares et leur connexion probable (entre elles) via des trouées dans les lanières ou bourrelets de marais les séparant pourrait signifier la présence d'une seule grande dépression. Dans nos calculs, 50 % de la superficie totale du polygone est comptabilisé en « haut marais » et 50 % est comptabilisée en « eau ». Le terme « marais réticulé » a été inspiré de la tourbière réticulée du Québec subarctique, décrite par Louis-Edmond HAMELIN (1957) (illustration page suivante).



tourbière réticulée
(HAMELIN, 1957)



environs du ruisseau Grants

marais réticulé, partie
centrale (Beresford)

2018



Marais saumâtre de transition (clé : MS_TRANSITION)

(couleur : ombre brute)



Terre humide située entre le haut marais et les terres non côtières, se présentant souvent en une bande ou un ruban plus ou moins large. Le marais saumâtre de transition n'est qu'occasionnellement inondé par l'eau de mer (durant de fortes tempêtes, lors de marées astronomiques d'équinoxe) ; il reçoit l'eau de ruissellement (source d'eau douce) en provenance des terrains plus élevés.⁴¹ De façon générale, les sols et l'eau qui s'y trouvent sont de moindre salinité, et cette situation se traduit par une diversité végétale plus importante que dans le marais salé ; le marais saumâtre de transition demeure dominé par la *Spartine pectinée*.

⁴¹ Dans le cadre d'une étude du système de la « Dune » de Grande-Digue (plage, dune et marais en arrière), des fermiers locaux faisaient référence au marais saumâtre de transition comme le « buvard ».



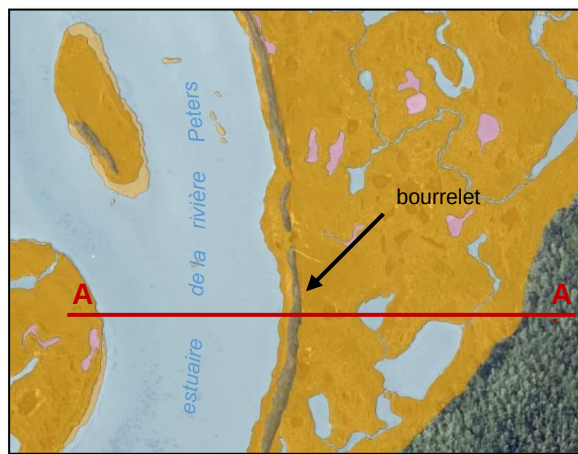
Bourrelet

(clé : BOURRELET)

(couleur : Sienne clair)

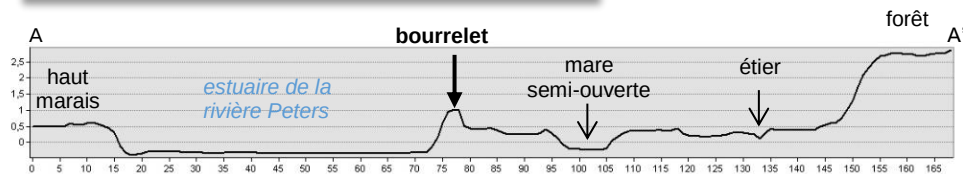


Relief longiforme, sinueux et bas (de l'ordre du demi mètre) retrouvé en bordure de marais, souvent le long de la rive d'un estuaire. Il correspond possiblement à un dépôt de tempête (débris et sédiments) ou encore à un haut niveau d'eau fluvial. Les bourrelets identifiés sont tous recouverts de végétation.



Exemple de bourrelet
en position latérale le
long de l'estuaire de la
rivière Peters

(cartographie de 2020)



Les autres habitats côtiers

Plage

(clé : PLAGE)

(couleur : jaune moyen)



Accumulation de sédiments, souvent de la taille des sables. Une plage a été reconnue en bordure de lagune et adossée à un marais salé (au bout de la rue Saint-Pierre) ; sinon, la plupart des plages cartographiées se retrouvent le long de la rive arrière du système de dunes littorales de Beresford. Ces plages sont souvent très étroites (quelques mètres de largeur).



Dune

(clé : DUNE)

(couleur : citron vert lime)



Accumulation de sable par le vent, recouverte par de la végétation halophyte (ammophile à ligule courte ou élyme des sables). À l'exception de la dune de Beresford (qui n'a pas été cartographiée dans le cadre de ce travail), une étroite dune a été reconnue en bordure de marais, derrière une plage (marais salé du bout de la rue Saint-Pierre).

Terre non côtière

(clé : TN_CÔTIÈRE)

(couleur : sauge poudré)



Parcelle de terrain qui n'est qu'épisodiquement inondée lors des niveaux d'eau extrêmes (fortes tempêtes). Dans le cadre de ce travail, seuls quelques îlots de forêts à l'intérieur du marais côtier ont été cartographiés.

Les interventions humaines

Digue

(clé : DIGUE)

(couleur : rouge Mars)



Levée de terre aménagée dans le marais dans le but de contenir l'eau de mer. Monticule longiforme d'environ 2m de hauteur (par rapport à la surface du marais) et construit à proximité des rives du marais. La digue épouse grossièrement le tracé de la lagune ou de l'estuaire adjacent. Des digues ont été observées dans toutes les parties du sous-secteur de Beresford, mais celles de la partie nord sont les plus évidentes. Une campagne de terrain devrait être envisagée pour confirmer cette hypothèse.



Chaussée

(clé : CHAUSSÉE)

(couleur : ombre foncée)



Remblai de terre aménagé pour la circulation de véhicules. Il peut s'agir d'une chaussée légèrement plus élevée que le marais ou encore d'une chaussée significativement plus haute que la surface du marais (dans le cas d'une route entretenue).

Remblai

(clé : REMBLAI)

(couleur : rouge poinsettia)



Toute surface artificielle visant à combler le marais ou à le surélever. Souvent les surfaces remblayées accommodent des bâtiments ou correspondent à des parcelles gazonnées surélevées (privées ou publiques, telles des terrains de jeux).

Structure de protection

(clé : S_PROTECTION)

(couleur : rouge Toscan)



Structure aménagée sur le rivage pour contrer l'érosion et le recul de la rive. Souvent elles correspondent à des enrochements ou des murs de béton (parfois des murets en bois) ; à l'occasion des remblaiements sont aménagés avec des roches ou des blocs de béton de taille variable.

Tranchée

(clé : S_TRANCHÉE)

(couleur : rose Tudor poudré)



Dépression la plupart du temps allongée et étroite creusée dans le haut marais. Les tranchées observées dans le secteur d'étude sont situées dans l'estuaire de la rivière Peters et dans la partie centrale (marais salé au bout de la rue Saint-Pierre). D'autres tranchées ont été reconnues, mais de forme plutôt rectangulaire (voir aussi l'Annexe C – *Présence humaine recensée dans les marais*). Tous ces exemples pourraient correspondre à des sites d'extraction de tourbe ou encore à des sites d'extraction de vase de marais (comme c'est documenté dans certains marais de l'Île-du-Prince-Édouard). Une campagne de terrain devrait être envisagée pour confirmer ces hypothèses.



Piliers

(clé : PILIER_ROCHE)

(couleur : rose tulipe)



Amoncellements (environ 5m X 5m) de roches de taille variables sur l'estran de la lagune, ayant possiblement servi à l'aménagement d'un pont. Dans un premier site, il y a 6 piliers localisés en face de la rue Jacques. Nettement visibles sur les photos aériennes de 1944, des résidus sont observables sur les images plus récentes. Dans un deuxième site, deux piliers sont visibles sur les images de 1985 et 2020 dans les environs de la rue Christie – en 1944, ce site possédait un pont enjambant la rivière Peters derrière un grand bâtiment, qui aurait pu être le « Kent Lodge » - hypothèse à confirmer.

Étang dulcicole

(clé : ÉTANG_ART)

(couleur : violet poudré)

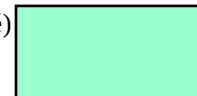


Plan d'eau créé artificiellement par l'aménagement d'une digue-chaussée dans la partie amont d'un étier, secteur de l'estuaire de la rivière Peters. L'ancien marais saumâtre de transition est remplacé par un plan d'eau douce.

Marais dulcicole

(clé : M_DULCICOLE)

(couleur : turquoise poudré)



Marais d'eau douce créé artificiellement par l'aménagement d'une digue-chaussée dans la partie amont d'un étier (partie centrale, le long de la rivière Millstream). L'ancien marais saumâtre de transition est remplacé par un marais d'eau douce.



Annexe B – Liste des interfaces reconnues et cartographiées

La cartographie par « interface » a été proposée par Dominique BÉRUBÉ (ministère des Ressources naturelles et du Développement de l'énergie du Nouveau-Brunswick) lors de sa supervision des travaux de maîtrise pour le site de la flèche de Grande-Digue (KÂ, 2017). La démarche consiste à nommer, dans la table attributaire du SIG, le milieu, la forme de terrain ou l'infrastructure humaine se situant de part et d'autre (de chaque côté) du vecteur numérisé. Par exemple, le vecteur représentant le contact entre le haut marais et le marais saumâtre de transition est nommé : « *Interface_Haut marais-Marais saumâtre de transition* ». En proposant des termes descriptifs et complets, il est possible de connaître et de se représenter, en un « clic » de la souris, la nature du milieu en question. D'autres attributs sont ajoutés à ces vecteurs pour préciser leur caractérisation : trait de côte, ligne de rivage, niveau d'artificialisation, etc. Ces attributs additionnels correspondent à des champs (colonnes) dans la table attributaire.



Interface_Alluvions-Bas marais	Interface_Haut marais-Friche
Interface_Alluvions-Forêt	Interface_Haut marais-Marais réticulé
Interface_Alluvions-Marais saumâtre transition	Interface_Haut marais-Marais saumâtre transition
Interface_Bas marais-Alluvions	Interface_Haut marais-Mur de béton
Interface_Bas marais-Bourrelet	Interface_Haut marais-Mur de bois
Interface_Bas marais-Digue	Interface_Haut marais-Plage
Interface_Bas marais-Dune littorale	Interface_Haut marais-Remblai (Chaussée)
Interface_Bas marais-Enrochement	Interface_Haut marais-Remblai (Digue)
Interface_Bas marais-Haut marais	Interface_Haut marais-Remblai (Récréatif)
Interface_Bas marais-Marais saumâtre transition	Interface_Haut marais-Remblai (Résidentiel)
Interface_Bas marais-Mur de béton	Interface_Haut marais-Terre non côtière
Interface_Bas marais-Plage	Interface_Marais réticulé-Forêt
Interface_Bas marais-Remblai (Chaussée)	Interface_Marais réticulé-Haut marais
Interface_Bas marais-Remblai (Digue)	Interface_Marais réticulé-Marais saumâtre transition
Interface_Bourrelet-Forêt	Interface_Marais réticulé-Remblai (Chaussée)
Interface_Bourrelet-Haut marais	Interface_Marais réticulé-Remblai (Digue)
Interface_Drain-Bas marais	Interface_Marais réticulé-Remblai (Récréatif)
Interface_Drain-Forêt	Interface_Marais saumâtre transition-Bourrelet
Interface_Drain-Haut marais	Interface_Marais saumâtre transition-Champ
Interface_Drain-Marais saumâtre transition	Interface_Marais saumâtre transition-Drain
Interface_Drain-Ponceau	Interface_Marais saumâtre transition-Dune littorale
Interface_Drain-Remblai (Chaussée)	Interface_Marais saumâtre transition-Enrochement
Interface_Drain-Terre non côtière	Interface_Marais saumâtre transition-Forêt
Interface_Dune littorale-Remblai (Chaussée)	Interface_Marais saumâtre transition-Friche
Interface_Enrochement-Champ	Interface_Marais saumâtre transition-Mur de béton
Interface_Enrochement-Marais saumâtre transition	Interface_Marais saumâtre transition-Remblai (Chaussée)
Interface_Enrochement-Remblai (Chaussée)	Interface_Marais saumâtre transition-Remblai (Digue)
Interface_Estuaire-Accès	Interface_Marais saumâtre transition-Remblai (Récréatif)
Interface_Estuaire-Alluvions	Interface_Marais saumâtre transition-Remblai (Résidentiel)
Interface_Estuaire-Bas marais	Interface_Marais saumâtre transition-Terre non côtière
Interface_Estuaire-Bourrelet	Interface_Mare semi-ouverte-Bas marais
Interface_Estuaire-Champ	Interface_Mare semi-ouverte-Bourrelet
Interface_Estuaire-Digue	Interface_Mare semi-ouverte-Haut marais
Interface_Estuaire-Dune littorale	Interface_Mare semi-ouverte-Marais réticulé
Interface_Estuaire-Enrochement	Interface_Mare semi-ouverte-Marais saumâtre transition
Interface_Estuaire-Forêt	Interface_Mare semi-ouverte-Remblai (Chaussée)
Interface_Estuaire-Friche	Interface_Mare semi-ouverte-Remblai (Digue)
Interface_Estuaire-Haut marais	Interface_Mare-Bas marais
Interface_Estuaire-Marais réticulé	Interface_Mare-Bourrelet
Interface_Estuaire-Marais saumâtre transition	Interface_Mare-Haut marais
Interface_Estuaire-Mur de béton	Interface_Mare-Marais saumâtre transition
Interface_Estuaire-Mur de bois	Interface_Mare-Remblai (Chaussée)
Interface_Estuaire-Mur de soutènement	Interface_Mare-Remblai (Digue)
Interface_Estuaire-Plage	Interface_Mur de béton-Remblai (Chaussée)
Interface_Estuaire-Remblai (Chaussée)	Interface_Plage-Accès

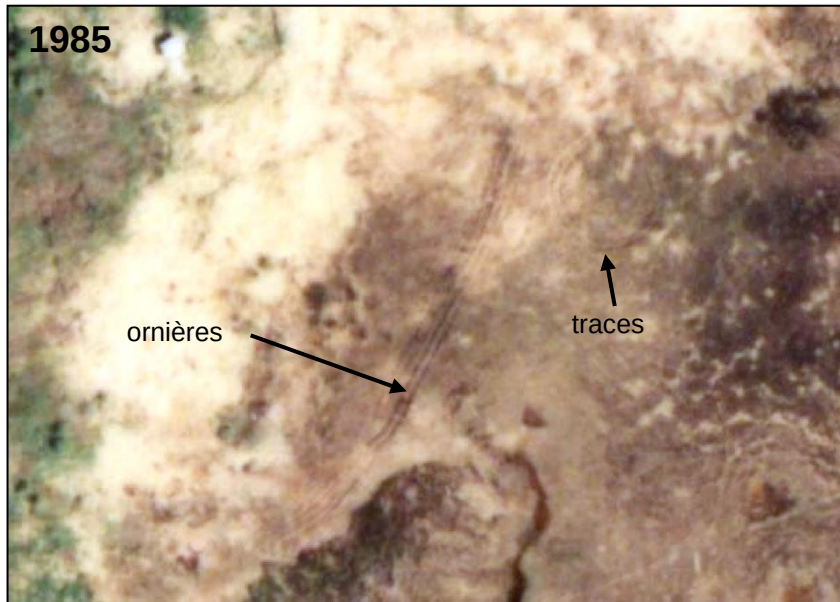


Interface_Estuaire-Remblai (Digue)	Interface_Plage-Bas marais
Interface_Estuaire-Remblai (Résidentiel)	Interface_Plage-Dune littorale
Interface_Estuaire-Résidu pilier rocheux	Interface_Plage-Enrochement
Interface_Estuaire-Rive	Interface_Plage-Forêt
Interface_Étang-Remblai (Chaussée)	Interface_Plage-Friche
Interface_Étier-Alluvions	Interface_Plage-Haut marais
Interface_Étier-Bas marais	Interface_Plage-Marais saumâtre transition
Interface_Étier-Haut marais	Interface_Plage-Mur de béton
Interface_Étier-Marais réticulé	Interface_Plage-Mur de bois
Interface_Étier-Marais saumâtre transition	Interface_Plage-Remblai (Chaussée)
Interface_Étier-Plage	Interface_Plage-Remblai (Digue)
Interface_Étier-Ponceau enrochement	Interface_Plage-Remblai (Résidentiel)
Interface_Étier-Remblai (Chaussée)	Interface_Ponceau-Remblai (Chaussée)
Interface_Étier-Remblai (Digue)	Interface_Remblai (Chaussée)-Champ
Interface_Forest-Remblai (Chaussée)	Interface_Remblai (Chaussée)-Forêt
Interface_Forest-Remblai (Digue)	Interface_Remblai (Digue)-Champ
Interface_Goulet-Plage	Interface_Remblai (Digue)-Forêt
Interface_Haut marais-Bourrelet	Interface_Remblai (Digue)-Remblai (Chaussée)
Interface_Haut marais-Champ	Interface_Sommet du mur de béton-Remblai (Chaussée)
Interface_Haut marais-Drain	Interface_Sommet enrochement-Remblai (Chaussée)
Interface_Haut marais-Dune littorale	Limite_44_Importée_85_pour_créer_polygone_Étang
Interface_Haut marais-Effluent urbain	Limite_44_Importée_85_pour_créer_polygone_Remblai
Interface_Haut marais-Enrochement	Limite_44_Importée_85_pour_créer_polygone_Remblai (Chaussée)
Interface_Haut marais-Excavation tourbe	Limite_44_Importée_20_pour_créer_polygone_Étang
Interface_Haut marais-Forêt	Limite_44_Importée_20_pour_créer_polygone_Remblai (Chaussée)



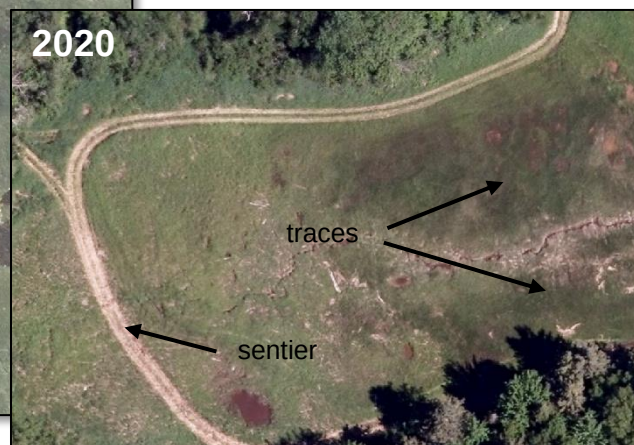
Annexe C – Présence humaine recensée dans les marais

Les figures incluses à l'Annexe C ont été préparées afin d'inventorier les différentes évidences d'usages des marais côtiers qui n'ont pas pu être intégrés dans le cadre de ce projet, mais qui ont tout de même été observés lors du travail de cartographie. Il s'agit, par exemple, d'ornières suite au passage de VHR (véhicules hors-route), de poteaux de clôture à bétail, etc.

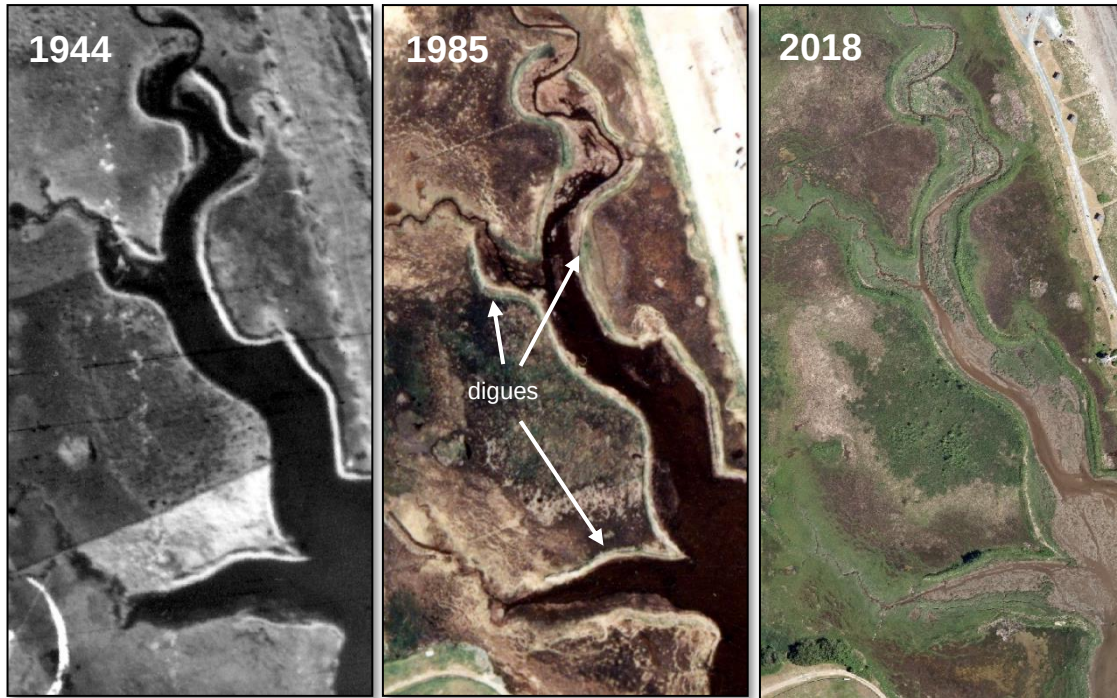


Ornières et traces de circulation motorisée dans le haut marais et le marais saumâtre de transition de la partie nord, photos de 1985.

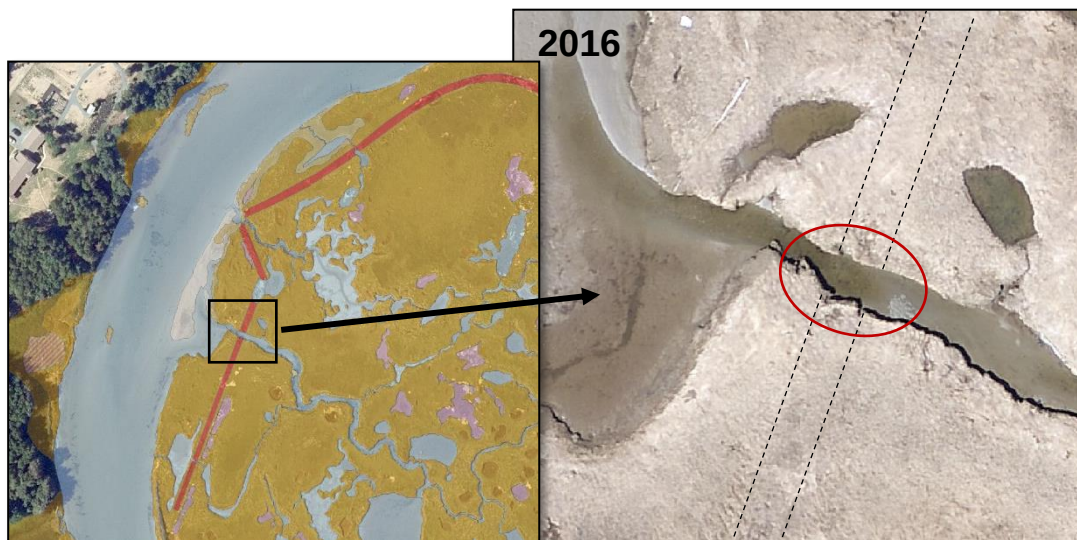
Traces de circulation motorisée dans le marais saumâtre de transition de la partie sud, photos de 2020.



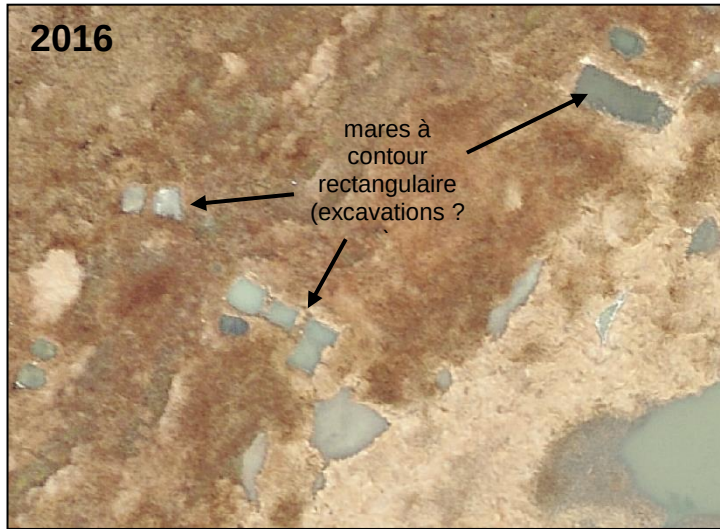
Sentier régulier dans le marais saumâtre de transition et **traces de circulation** motorisée dans le haut marais de la partie sud, photos de 2020.



Diguees (levées, bourrelets ou remblais) aménagés le long des rives de la lagune/estuaire de la partie nord, photos de 1944, 1985, 2018.



Diguees dans le marais de la rivière Peters ; site d'emplacement probable d'un **aboiteau** (photo de 2016) ?



Excavations dans le haut marais de la partie sud : extraction de tourbe ou de vase de marais ? Évidences observées sur toutes les séries de photographies aériennes (1944 à 2018), photo de 2016.



Excavations (une douzaine de sillons linéaires) dans le haut marais de l'estuaire de la rivière Peters : extraction de tourbe ou de vase de marais ? Évidences observées sur toutes les séries de photographie aériennes (1944-2020), photo de 2016.



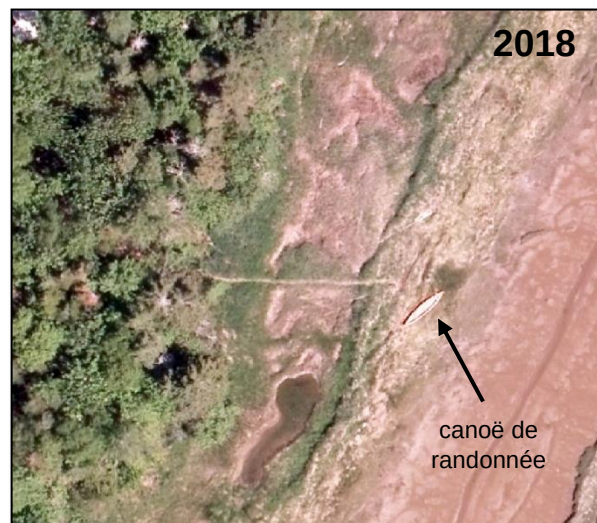
Excavations (quatre formes linéaires) dans le haut marais de la partie centrale. Évidences observées sur toutes les séries de photographie aériennes (1944-2018), photo de 2018.



Vestiges de poteaux de clôture à bétail dans le marais de la partie sud, photo de 2018.



Vestiges d'embarcation dans le haut marais de la partie centrale, photo de 2018.

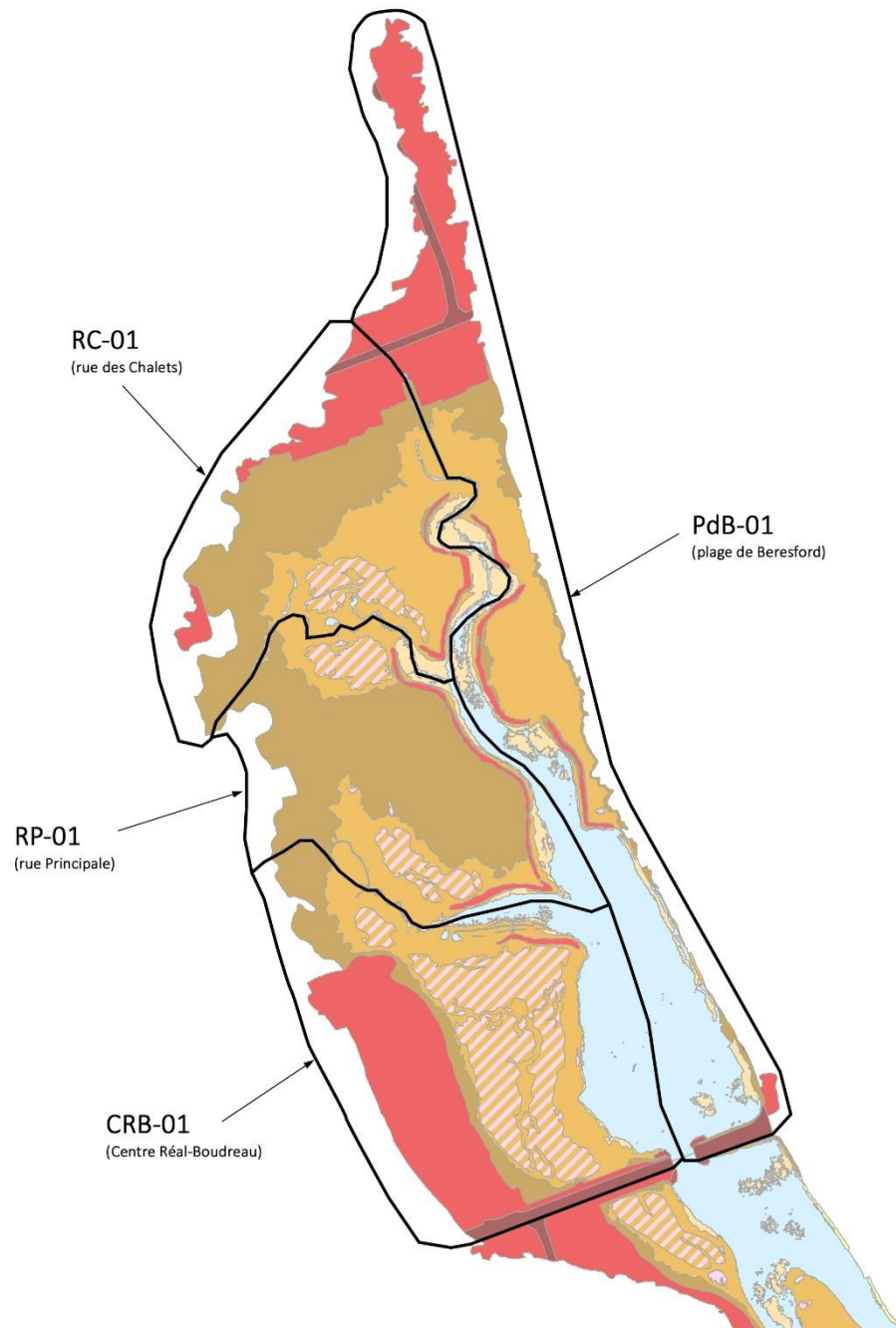


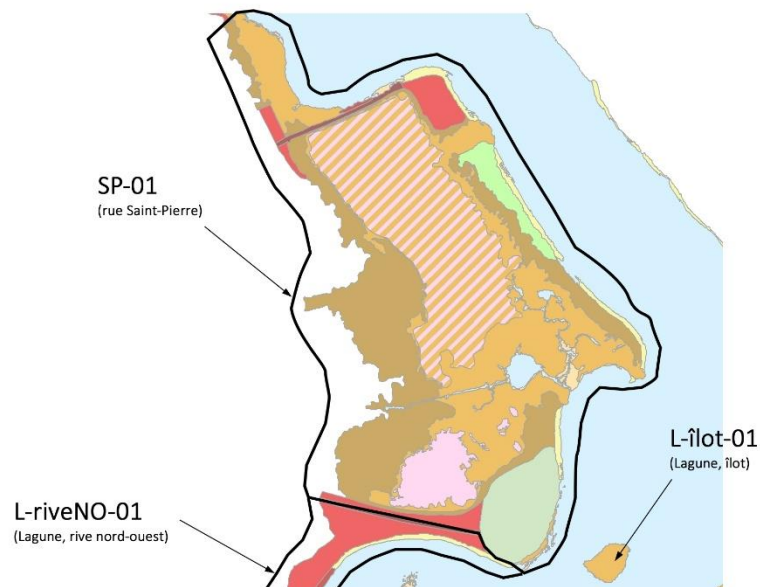
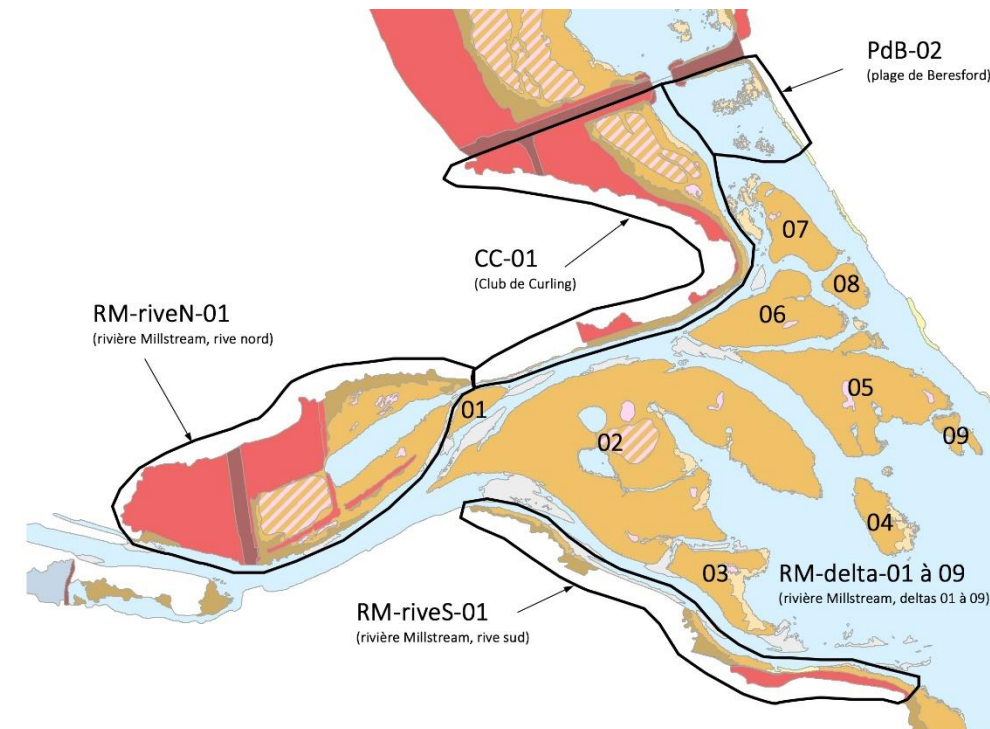
Activité de loisir via le marais de la partie sud, photo de 2018.

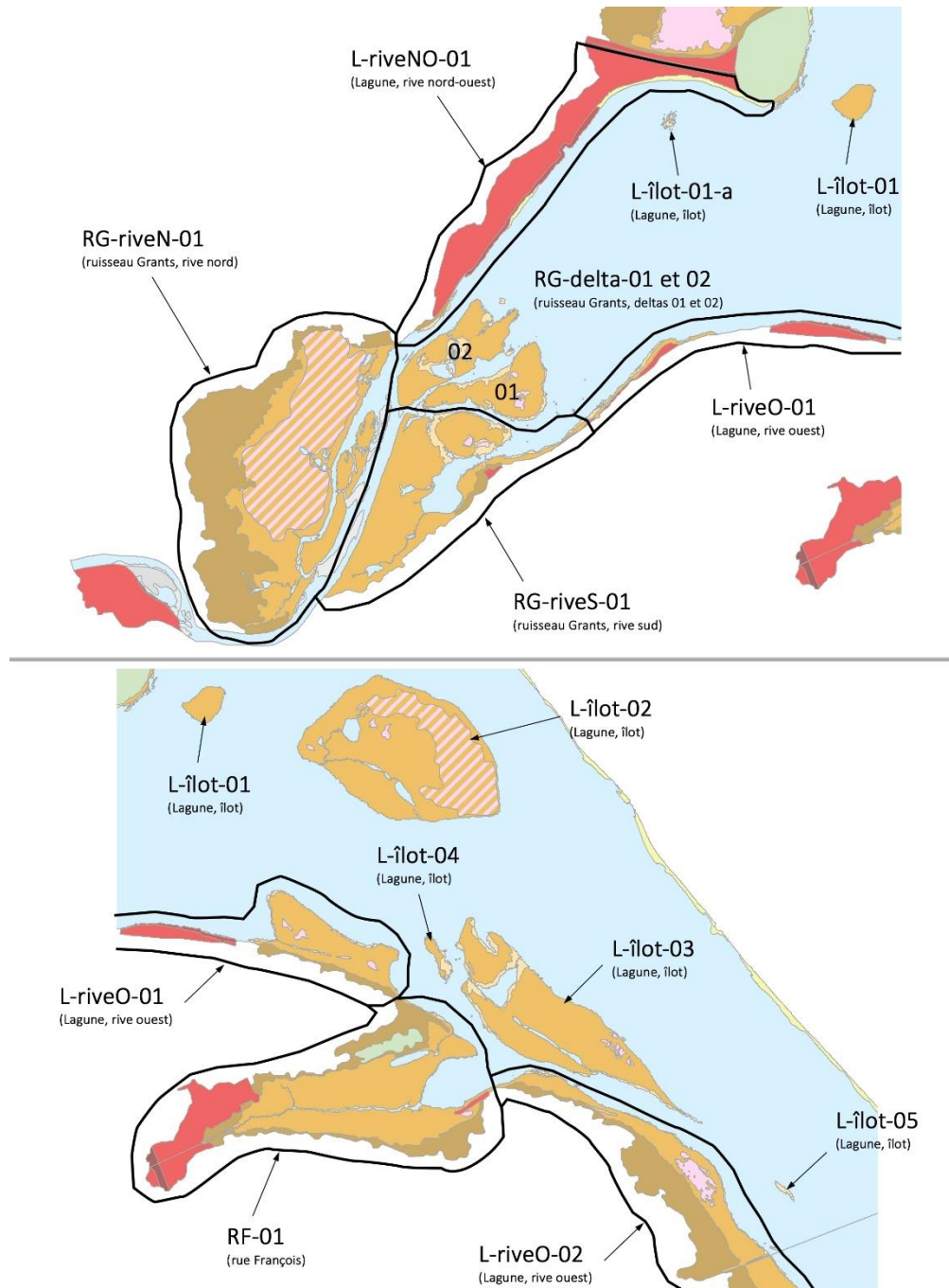


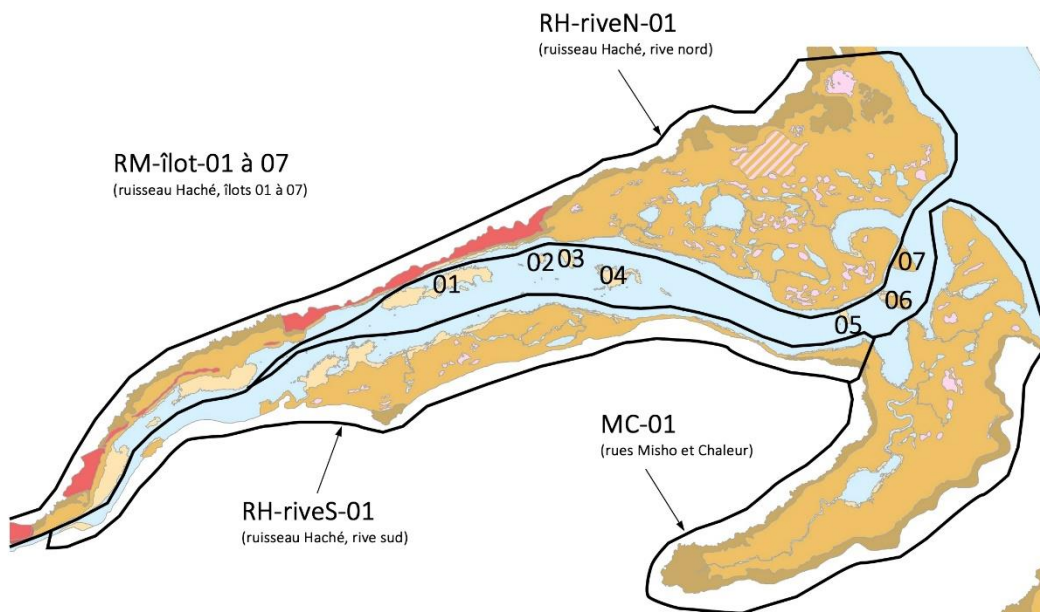
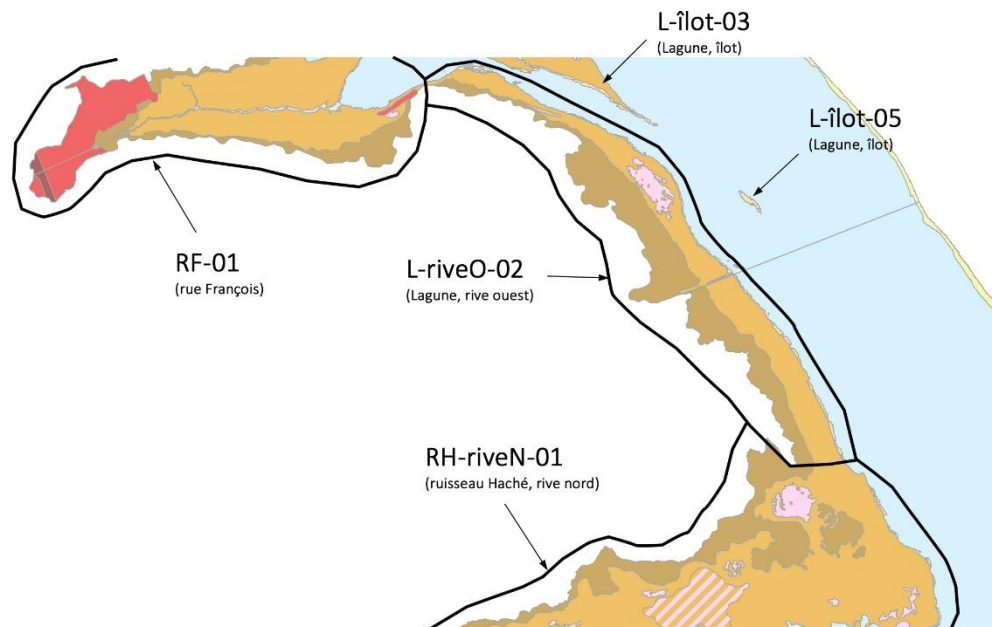
Annexe D – Noms individuels des marais

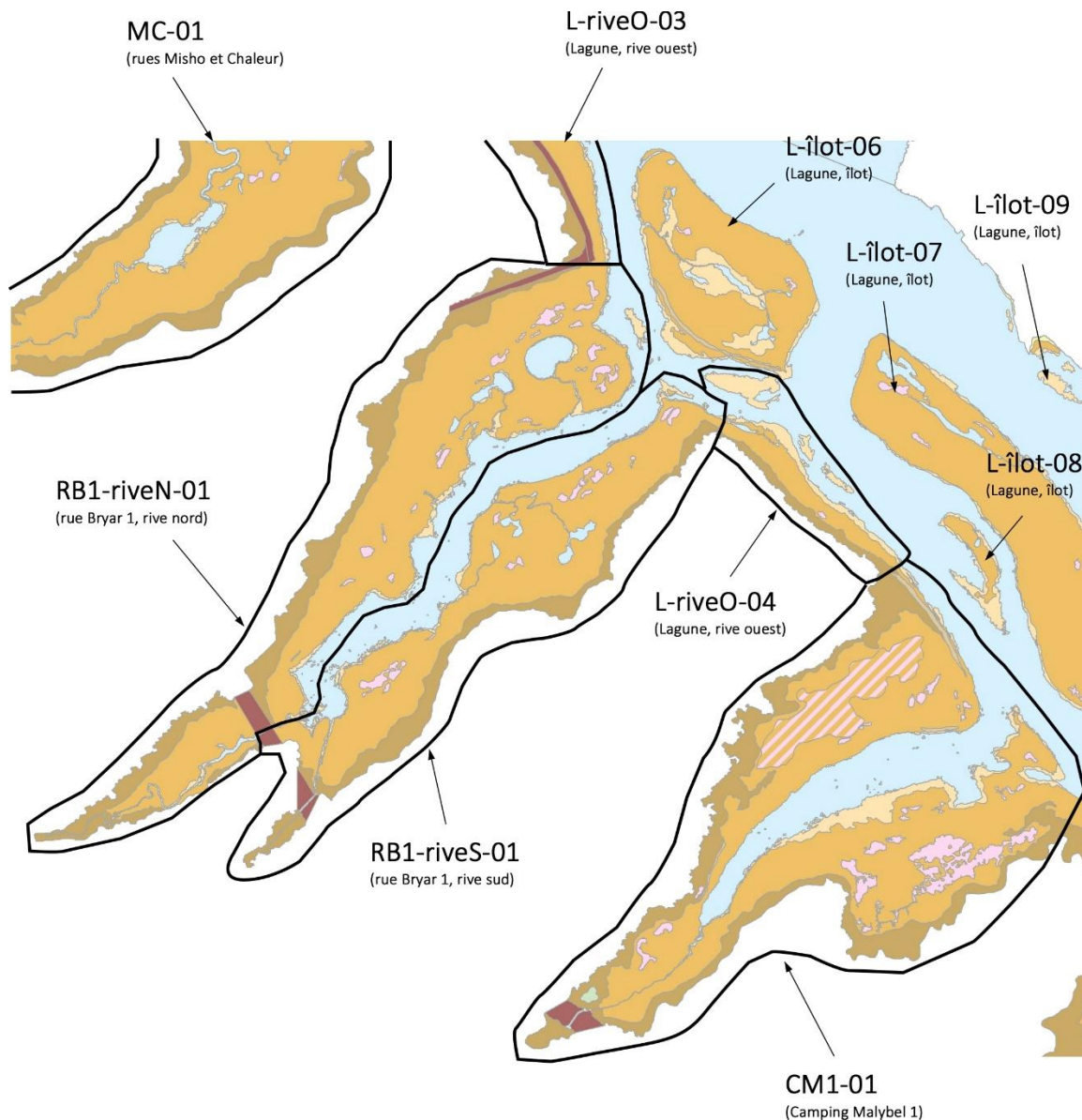
Chacune des portions de marais du sous-secteur de Beresford a été identifiée par un code alphanumérique. Cette identification permet des comparaisons plus poussées de l'évolution récente (depuis 1944) des marais côtiers.

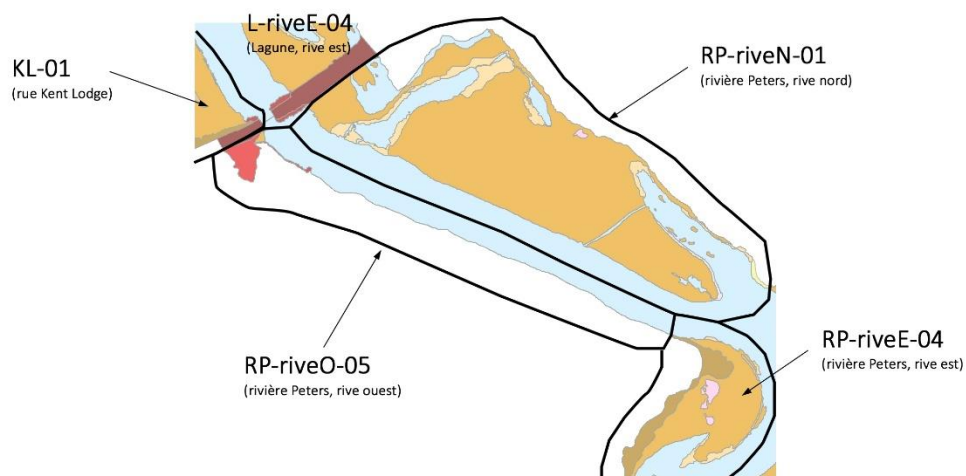
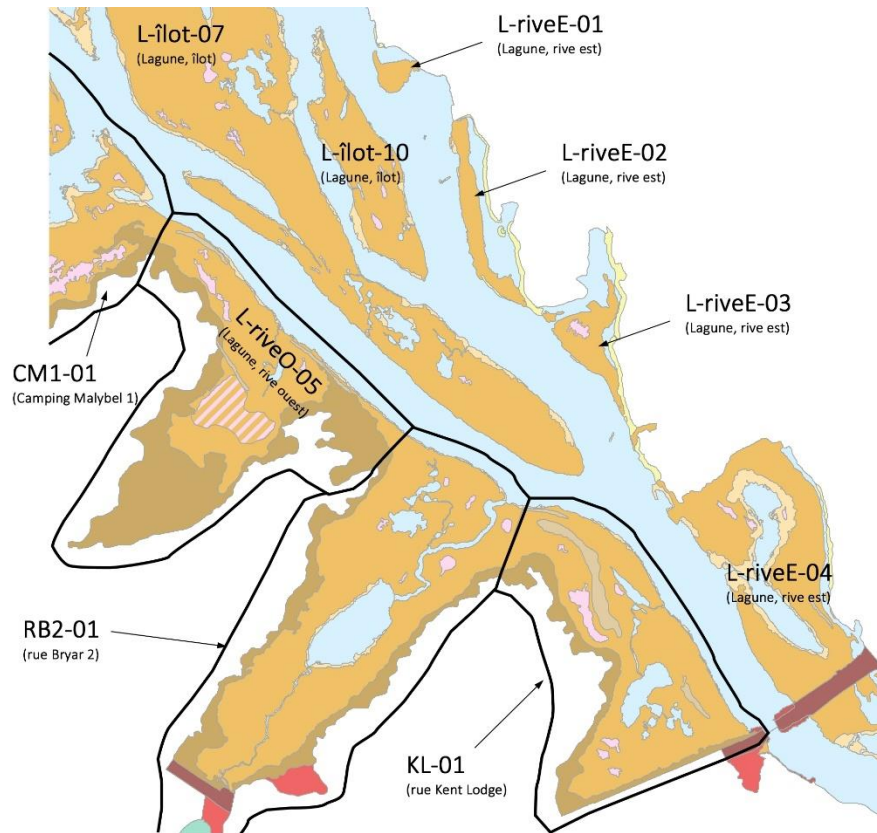


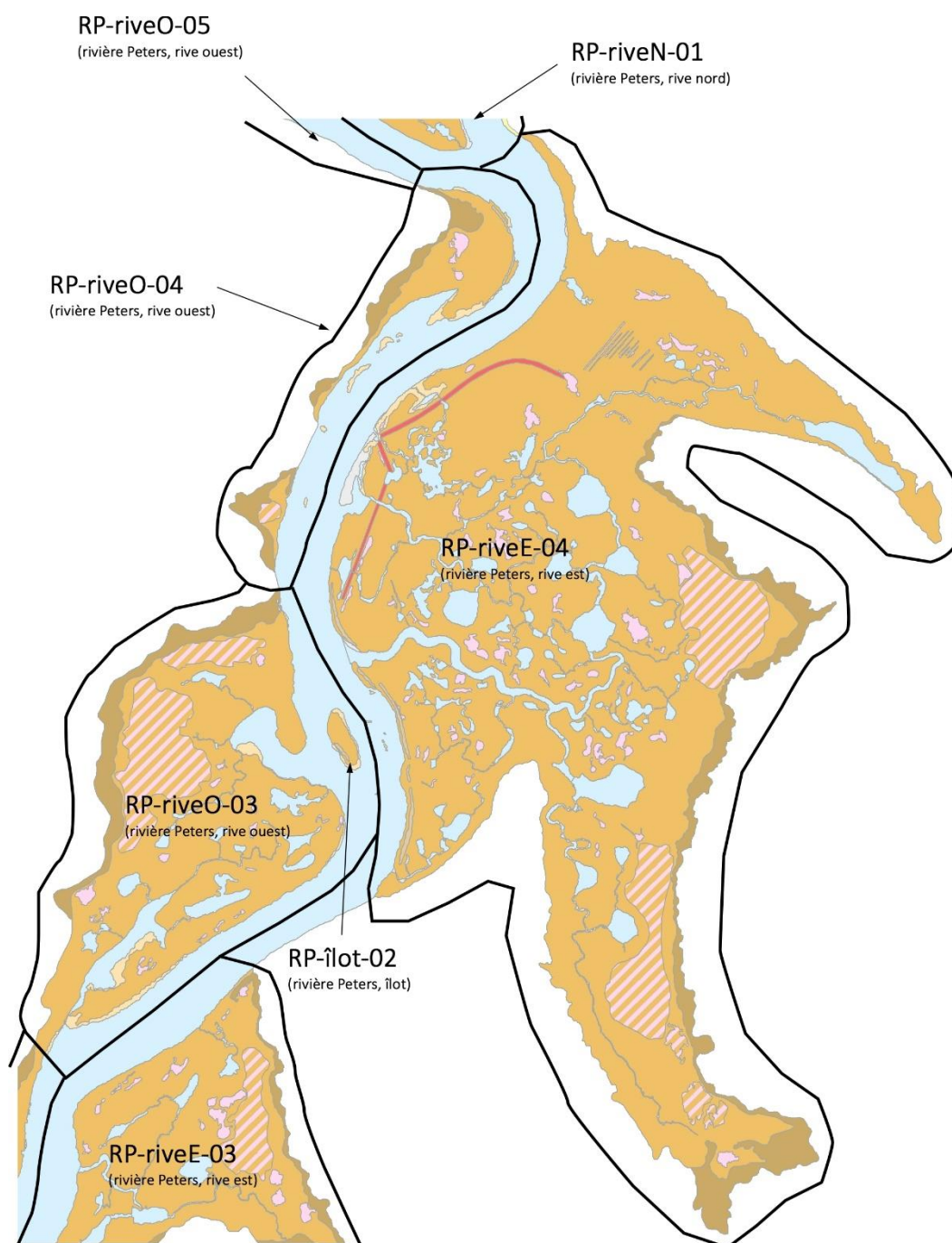


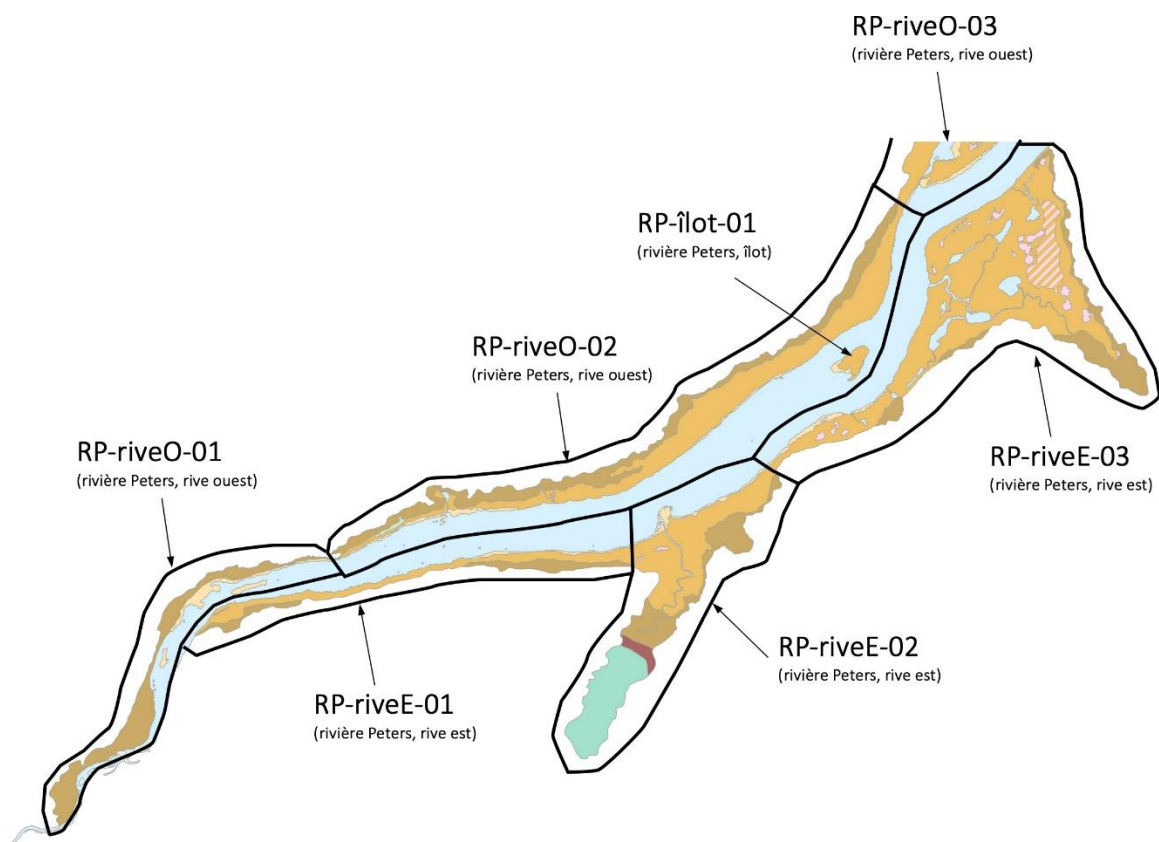












Annexe E – Liste des livrables

Les items listés dans cette annexe correspondent aux livrables transmis à la CSR Chaleur. Il s'agit de dossiers contenant les fichiers SIG (fichiers de forme, géodatabases, photos aériennes anciennes géoréférencées) et les autres types de fichiers (tableaux *Excel*, traitement de texte *Word*, fichiers *PDF*) produits dans le cadre du contrat. La liste comprend aussi les documents remis en format papier.

NB : en cas de besoin d'une copie du projet *ArcGIS*, veuillez copier l'intégralité du dossier nommé « CSR_PL2020-01_Géolittoral consultants ». Ceci est très important pour conserver l'organisation finale du projet et d'éviter de rompre les liens entre les différents fichiers qui le constituent.



Les documents remis en format papier

Rapport final : Analyse de risque d'érosion côtière pour une partie du territoire de la Commission de services régionaux Chaleur (5 copies)

Final Report: Coastal Erosion Risk Analysis for a Portion of the Territory of the Chaleur Regional Services Commission (5 copies)

Les documents remis en format électronique (sur clé USB)

Contrat PL2020-01_CSR Chaleur_Rapport FINAL_GéoLittoral Consultants_30 juin 2021.doc
Contract PL2020-01_Chaleur RSC_FINAL Report_GéoLittoral Consultants_30 June 2021.doc

Contrat PL2020-01_CSR Chaleur_Rapport FINAL_GéoLittoral Consultants_30 juin 2021.pdf
Contract PL2020-01_Chaleur RSC_FINAL Report_GéoLittoral Consultants_30 June 2021.pdf

Contrat PL2020-01_CSR Chaleur_Taux érosion_Nigadoo_30 juin 2021.xlsx
Contrat PL2020-01_CSR Chaleur_Taux érosion_Salmon Beach_30 juin 2021.xlsx
Contrat PL2020-01_CSR Chaleur_Taux érosion_Janeville_30 juin 2021.xlsx
Contrat PL2020-01_CSR Chaleur_Superficie habitats côtiers_Beresford_30 juin 2021.xlsx

Organisation des bases de données SIG (sur Disque Dur Externe)

