Infrastructures à risque face à l'érosion côtière pour les municipalités de Petit-Rocher et Pointe-Verte, Nouveau-Brunswick

AVRIL 2019

Meher Chelbi[1], Inuk Simard[1] et André Robichaud[2]

[1]Groupe RégeNord Inc.

[2]Géographie et Développement durable et zone côtière, Université de Moncton – Campus de Shippagan

GROUPE RÉGENORD

Commission de services régionaux Chaleur

UNIVERSITÉ DE MONCTON CAMPUS DE SHIPPAGAN

New Nouveau Brunswick

Rapport préparé par Meher Chelbi et Inuk Simard

Remerciements : Nous tenons à remercier tous les partenaires du projet, notamment Marc Bouffard et Mariette Hachey-Boudreau de la Commission de services régionaux – Chaleur, Dominique Bérubé du Ministère du Développement de l'Énergie et des Ressources, Reid McLean du Ministère de l'Environnement et des gouvernements locaux et le Fonds en fiducie pour l'Environnement du Nouveau-Brunswick (subventionnaire principal du projet).

Avertissement : Cette publication et les données qu'elle contient ne peuvent être utilisées sans autorisation préalable, et toute utilisation non autorisée est strictement interdite. Le FFENB, les auteurs du rapport et la province du Nouveau-Brunswick déclinent toute responsabilité en cas d'utilisation non autorisée, de quelque nature qu'elle soit, de l'information contenue dans ce document. Les opinions exprimées dans cette publication ne reflètent pas forcément celles du FFENB et de la province ou des autres partenaires qui participent au projet. Cet avertissement comprend les cartes qui accompagnent ou qui sont incorporées dans ce rapport.

TABLE DES MATIÈRES

TABLE DES MATIÈRES iii

LISTE DES FIGURES iv

LISTE DES TABLEAUX v

1. INTRODUCTION 1

2. DESCRIPTION SOMMAIRE DU SITE ÉTUDIÉ 5

3. MÉTHODE 6

Préparation des photographies aériennes historiques 7
Numérisation du trait de côte 11
Calcul des taux de changement du trait de côte 13
Scénarios d'érosion 14
Détermination et représentation du risque d'érosion 15

4. RÉSULTATS ET DISCUSSION 18

Trait de côte 18
Secteurs à évolution homogène 18
Aperçu de l'évolution passée du littoral 23
Présentation des résultats de l'analyse de risque d'érosion 25
Sommaire des résultats 28

5. CONCLUSION 29

RÉFÉRENCES 31

GLOSSAIRE 34

ANNEXES 35

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Carte du nord-est du Nouveau-Brunswick illustrant le territoire de la CSRC 2
Figure 2. Carte du nord-est du Nouveau-Brunswick montrant approximativement les limites administratives pour les municipalités de Petit-Rocher et de Pointe-Verte et les DSLs de Petit-Rocher-Nord et de Petit-Rocher-Sud (en encadré noir dans la carte) [Source de la carte: http://google.ca/] 5
Figure 3. Différence de qualité entre la série de 1944 (à gauche) et la série de 1934 (à droite). 7
Figure 4. Localisation des lignes de vols et des photos aériennes de 1944. 9
Figure 5. Scénario de 2100 (a) sans lissage à gauche, (b) avec lissage à droite au niveau des raccordements entre les secteurs à évolution homogène. 15
Figure 6. Exemple d'application de l'indice de risque d'érosion aux bâtiments....17
Figure 7. Carte des secteurs à évolution homogène à Petit-Rocher-Sud. 19
Figure 8. Carte des secteurs à évolution homogène à Petit-Rocher.....20
Figure 9. Carte des secteurs à évolution homogène à Petit-Rocher-Nord.....21
Figure 10. Carte des secteurs à évolution homogène à Pointe-Verte.....22
Figure 11. Évolution du trait de côte dans la région de Petit Rocher – Pointe-Verte entre 1944 et 2018. Érosion : un recul > -0,15 m/an; Érosion faible : recul entre 0,15 et 0 m/année; Stable ou Fixe : taux de changement = 0 m/an; Légère accrétion : avancée de 0 à 0.06 m/an. 24

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Qualité du géoréférencement des photographies aériennes de 1944. 10
Tableau 2: Classification des traits de côte selon leur nature. 12
Tableau 3: Indice de risque d'érosion aux infrastructures. 16
Tableau 4: Répartition du trait de côte selon le type. 18
Tableau 5: Nombre de bâtiments par indice de risque d'érosion. 25
Tableau 6: Nombre de tronçons de 5 m d'égouts par indice de risque d'érosion.26
Tableau 7: Nombre de poteaux électriques par indice de risque d'érosion.....26
Tableau 8: Nombre de puisards par indice de risque d'érosion. 26
Tableau 9: Nombre de regards par indice de risque d'érosion. 27
Tableau 10: Nombre de tronçons de route par indice de risque d'érosion.....27
Tableau 11: Nombre d'infrastructures à risque d'érosion par indice d'érosion.....28

1. INTRODUCTION

Les zones côtières du monde seront pour la plupart sujettes à la hausse du niveau marin annoncée pour le présent siècle, phénomène qui accompagne le réchauffement climatique en cours qui provoque la fonte des calottes glaciaires et l'expansion thermique des océans. De plus, cette hausse risque d'accélérer l'érosion à certains endroits. D'autres facteurs reliés au réchauffement climatique vont aussi agir sur l'érosion : la modification du régime des tempêtes qui pourraient être plus intenses et peut-être plus fréquentes et la diminution du couvert de glace en hiver qui protège naturellement les côtes durant la saison froide. Les populations côtières devront donc s'adapter aux nouvelles conditions environnementales qui auront un effet sur le régime et l'intensité des inondations et de l'érosion côtières. Certaines régions des provinces atlantiques du Canada sont parmi les littoraux les plus vulnérables aux aléas inondation et érosion, en l'occurrence le nord du Nouveau-Brunswick caractérisé par un relief parfois bas et physiquement vulnérable, une subsidence (ou enfoncement) de la croûte terrestre, un climat favorisant les ondes de tempêtes causant des inondations et de l'érosion ponctuelles fréquentes et parfois sévères, et un littoral assez peuplé.

Le territoire à l'étude fait partie de la Commission des Services Régionaux Chaleur (CSRC) qui s'étend sur une superficie de 3 307 km^2 et comporte un littoral faisant face à la Baie des Chaleurs (Figure 1) et où le potentiel d'inondations côtières futures risque de s'accentuer suivant la hausse graduelle du niveau marin. Cette région doit aussi composer avec l'érosion côtière dont les variations spatiales sont mal connues, car peu documentées comme on le voit sur la base de données d'érosion de la province (http://geonb.snb.ca/erosion/index_fr.html). De plus, des informations parfois contradictoires ou confuses ne permettent pas d'envisager clairement l'avenir face aux nouvelles conditions environnementales, rendant plus difficile la prise de décision dans les mesures à prendre pour s'adapter. Les autorités municipales et régionales en sont conscientes et ont besoin de données plus complètes pour une meilleure planification de l'aménagement du territoire, en particulier dans le cadre du développement du plan d'adaptation aux changements climatiques de la CSRC en correspondance avec le plan d'action du Gouvernement du Nouveau-Brunswick avec lequel elle collabore.

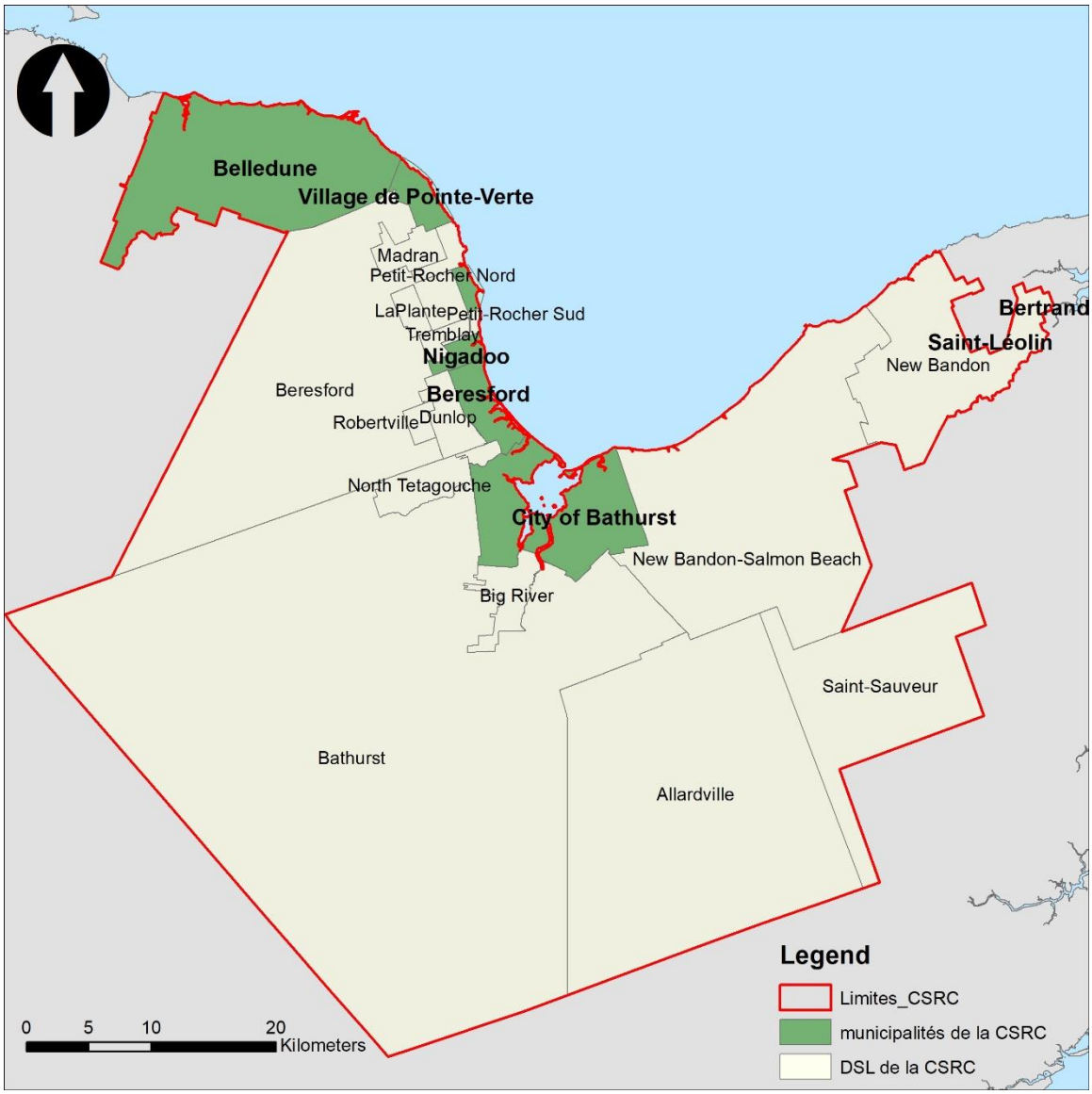

Figure 1. Carte du nord-est du Nouveau-Brunswick illustrant le territoire de la CSRC

L'impact futur de l'inondation sur les infrastructures côtières a été évalué durant la phase 1 de la démarche d'adaptation au changement climatique entamée en 2018 sur ce territoire (Aubé *et al*., 2018). Ainsi, l'objectif principal de cette deuxième phase est de combler le manque d'information sur l'érosion et de fournir à la CRSC des scénarios d'érosion à moyen et à long terme basés sur les plus récentes données scientifiques disponibles, et de déterminer les infrastructures côtières à risque selon ces scénarios. Le secteur couvert par ce projet se limite toutefois à une portion du territoire de la CSRC : les municipalités de Petit-Rocher et de Pointe-Verte, ainsi que des DSL de Petit-Rocher-Sud et de Petit-Rocher-Nord. Les autres municipalités et DSL seront étudiés subséquemment. À noter que la ville de Bathurst, qui fait aussi partie du territoire de la commission, est déjà doté d'un

plan d'adaptation qui s'est servi de données produites il y a quelques années (Simard *et al.*, 2015).

Le produit final consistera en une série de données géospatiales représentant le risque d'érosion aux infrastructures côtières. Ces informations ont pour but de faciliter les décisions pour une meilleure adaptation aux changements climatiques des municipalités et régions non incorporées de la CSRC, plus particulièrement face aux impacts possibles de l'érosion sur les infrastructures côtières. Cette recherche se fait en parallèle avec une étude sur les structures de protection contre l'érosion produite aussi dans le cadre du plan d'adaptation aux changements climatiques de la CSRC, en collaboration avec le Ministère du Développement de l'Énergie et des Ressources du N.-B. et avec des fonds du FFENB dont les résultats ont été en grande partie présentés dans un rapport récent (Diouf *et al.*, 2019). Les résultats de ce travail de recherche seront également publiés dans une thèse de maîtrise en études de l'environnement à l'Université de Moncton (auteur : Simon Diouf; directeur : André Robichaud; titre : Impacts des structures rigides de protection côtière sur le littoral de la Commission des services régionaux Chaleur).

Les buts, objectifs et livrables du présent projet sont présentés avec plus de détails dans les documents DDP no. PL2018-02 (CSRC, 2018) et Offre de service – Analyse de risque d'érosion côtière pour une partie du territoire de la CSR Chaleur (Simard et Chelbi, 2019). Ils comprennent les éléments suivants[1] :

1) Couches Arc GIS présentant l'information suivante :
   - Orthophotos utilisées pour le travail de géoréférencement et de cartographie;
   - Photos aériennes rectifiées utilisées pour le travail de cartographie;
   - Lignes de référence et transects utilisés pour le calcul des taux de déplacement;
   - Traits de côte et lignes de rivage utilisées pour le calcul des taux de déplacement;
   - Traits de côte et lignes de rivage projetés selon les scénarios préapprouvés.

2) Bases de données Arc GIS présentant l'information suivante :
   - Numéros d'identification des transects utilisés pour le calcul des taux de déplacement;
   - Cordonnées X et Y du point d'intersection des transects avec les traits de côte;

[1] Les données géospatiales produites dans ce projet doivent suivre les standards établis par Service Nouveau-Brunswick et être basées sur le système canadien de référence spatiale (« North-American Datum 1983 ») et une projection cartographique adaptée au territoire provincial (« stéréographique double »).

- Cordonnées X et Y du point d'intersection des transects avec les lignes de rivage;
- Type de trait de côte aux points d'intersection (ex : falaise, dune);
- Type de ligne de rivage aux points d'intersection (ex : marais, plage);
- Présence de structure de protection côtière au point d'intersection (oui ou non);
- Taux de déplacement annuel moyens du trait de côte le long des transects;
- Marge d'erreur sur les taux de déplacement du trait de côte;
- Taux de déplacement annuel moyens de la ligne de rivage le long des transects;
- Marge d'erreur sur les taux de déplacement de la ligne de rivage.

2. DESCRIPTION SOMMAIRE DU SITE ÉTUDIÉ

La présente étude couvre les municipalités de Petit-Rocher et de Pointe-Verte et les DSL de Petit-Rocher-Nord et de Petit-Rocher-Sud. Ce sont des villages côtiers situés dans le comté de Gloucester et la Région Chaleur au nord-est du Nouveau-Brunswick sur la route du littoral acadien (figure 2). Collectivement, la population de cette région compte près de 3550 habitants et occupe un territoire couvrant une superficie d'environ 29 km^2, soit une densité de 123 habitants par km^2. Le littoral de la zone d'étude fait 21,3 km de long et est assez variable. En effet, il comprend des plages sableuses, des promontoires rocheux et des falaises meubles. Les principales rivières sont Nigadoo et aux Ormes qui se jettent dans les eaux de la baie des Chaleurs et drainent une grande partie de la zone d'étude.

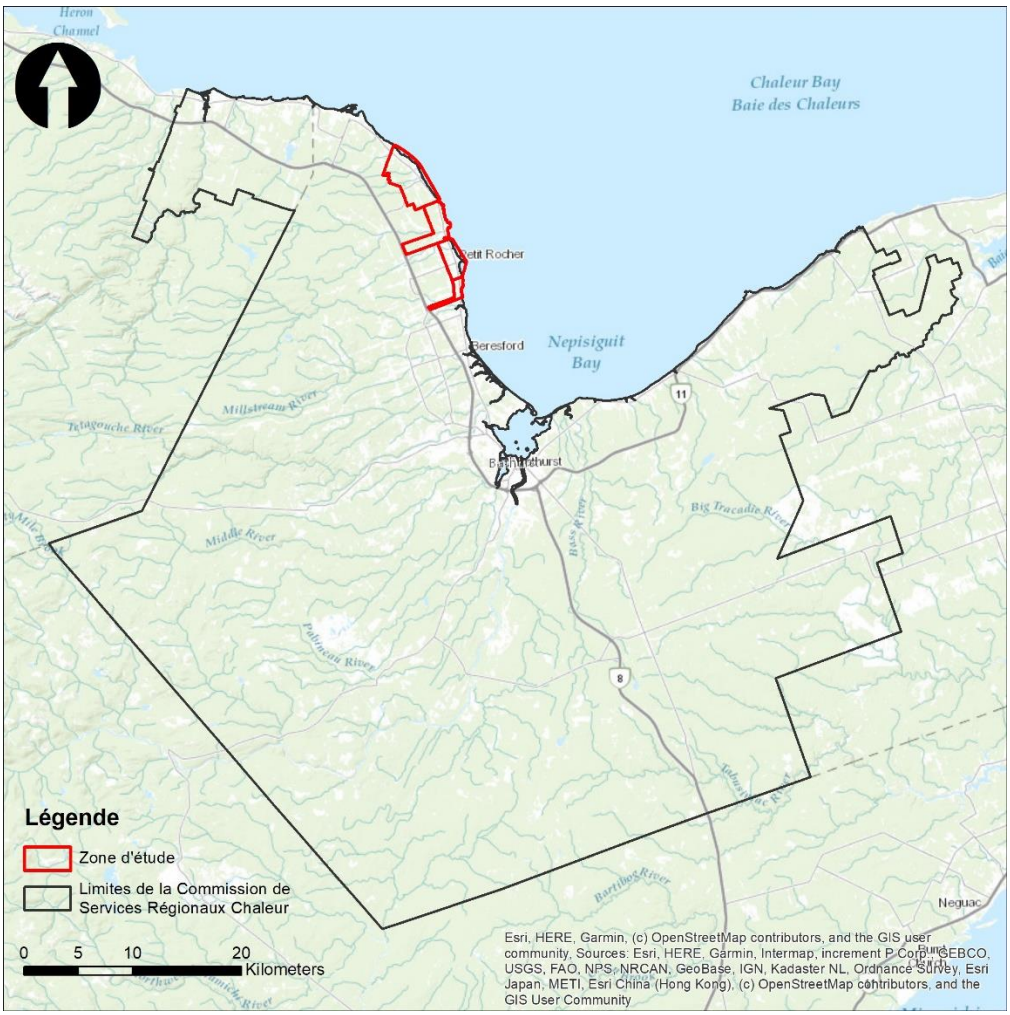

Figure 2. Carte du nord-est du Nouveau-Brunswick montrant approximativement les limites administratives pour les municipalités de Petit-Rocher et de Pointe-Verte et les DSLs de Petit-Rocher-Nord et de Petit-Rocher-Sud (en encadré noir dans la carte) [Source de la carte: http://google.ca/]

3. MÉTHODE

Plusieurs étapes sont nécessaires dans la réalisation des cartes de risque aux infrastructures :

1) **Déterminer les scénarios d'érosion selon les taux d'érosion du passé et une projection du trait de côte dans l'avenir.** Pour ce projet, les taux d'érosion historiques et la projection du trait de côte dans le futur (2050 et 2100) ont été préparés suivant la méthodologie développée par l'IRZC et ses partenaires de recherche, et utilisée lors de projets similaires le long de la côte nord-est du Nouveau-Brunswick.

2) **Numérisation des infrastructures.** Dans le cadre de ce projet, les infrastructures ont été fournies par le service de géomatique de la CSRC. La base de données sur les infrastructures inclut des données notamment sur les bâtiments, les routes, les poteaux électriques, le réseau d'égouts, les regards, les puisards, les sites d'enfouissement, les stations de pompage, etc.

3) **Utilisation du modèle numérique altimétrique de terrain à partir de données Lidar**[2]. Des données Lidar disponibles sur le portail de données géographiques du Nouveau-Brunswick GeoNB ont été utilisées produire un modèle numérique altimétrique de terrain ainsi qu'une carte des pentes. Ces produits ont été utilisés afin de pouvoir mieux identifier et interpréter la position du trait de côte récent. Cela nous a permis, notamment, de déterminer si le littoral numérisé est de type falaise ou non.

4) **Déterminer les infrastructures qui pourraient être menacées par l'érosion selon les différents scénarios obtenus.** Il s'agit de combiner les scénarios d'érosion et la base de données des infrastructures. Le risque aux infrastructures a été évalué en fonction d'un indice de risque d'érosion pour les infrastructures qui est présenté plus loin dans ce rapport.

5) **Préparer les données dans un format distribuable (géobase de données) montrant les infrastructures à risque.** Nous présentons à la CSRC un produit numérique facilement utilisable sur la plate-forme ArcGIS.

[2] De l'anglais ***l**ight **d**etection **a**nd **r**anging*, une technologie de télédétection basée sur le laser à impulsions.

Préparation des photographies aériennes historiques

a. Sélection des photos aériennes historiques

Les photos aériennes historiques s'avèrent très utiles pour cartographier la position du trait de côte et pour mesurer son évolution dans le temps. Des études d'érosion côtière réalisées au Nouveau-Brunswick ont démontré qu'une période minimum de 25 ans est normalement requise pour confirmer les tendances dans les taux historiques de déplacement du trait de côte. Ces études suggèrent aussi que plus l'intervalle entre les photos historiques est grand, plus les données sur les tendances de l'évolution côtière sont fiables et représentatives.

Pour ce projet, les deux séries de photos aériennes les plus vieilles disponibles à la Photothèque national de l'Air à Ottawa étaient celles de 1934 et 1944. Bien que la série de 1934 permet un intervalle de mesure plus long (1934-2018), la série de 1944 lui a été préférée en raison de sa qualité supérieure (figure 3) et offrait une période suffisamment longue pour être valide (74 ans). De plus, l'utilisation de la série de photos de 1944 autorise la détection du trait de côte avec plus de précision et ainsi d'avoir une marge d'erreur combinée (numérisation, géoréférencement) inférieure à 5 m. Enfin, le recouvrement entre les photos de 1934 était trop faible ce qui rendait le calage entre elles et avec l'orthophotographie de 2018 (qui sert au géoréférencement) quasi impossible. La figure 3 montre une photo de 1944 qui a visiblement une meilleure résolution que celle de 1934. On observe aussi qu'elle a moins de surexposition, notamment au niveau des plages sableuses, ce qui permet de mieux interpréter la position du trait de côte, y compris dans les secteurs à falaises et microfalaises.

Figure 3. Différence de qualité entre la série de 1944 (à gauche) et la série de 1934 (à droite).

Les lignes de vol qui composent la série de photographies de 1944 couvrent l'ensemble du littoral de la zone d'étude à l'exception d'un segment de 300 mètres au sud de la zone d'étude. Ce segment a été projeté selon les taux du secteur homogène auquel il appartient. Un total de 17 photographies aériennes réparties sur six lignes de vols perpendiculaires à la côte (figure 4) ont été utilisées pour extraire le trait de côte de 1944.

Bien qu'elles n'aient pas été utilisée pour l'évaluation des taux d'érosion, les photos aériennes de 1934 ont quand même été numérisées et géoréférencées. Leur calage s'est fait sur les photos de 1944, car il était plus facile de trouver des points de contrôle au sol entre ces deux séries qu'avec l'orthophotographie de 2018. Elles ont été utiles pour appuyer la photo-interprétation des éléments du littoral passé.

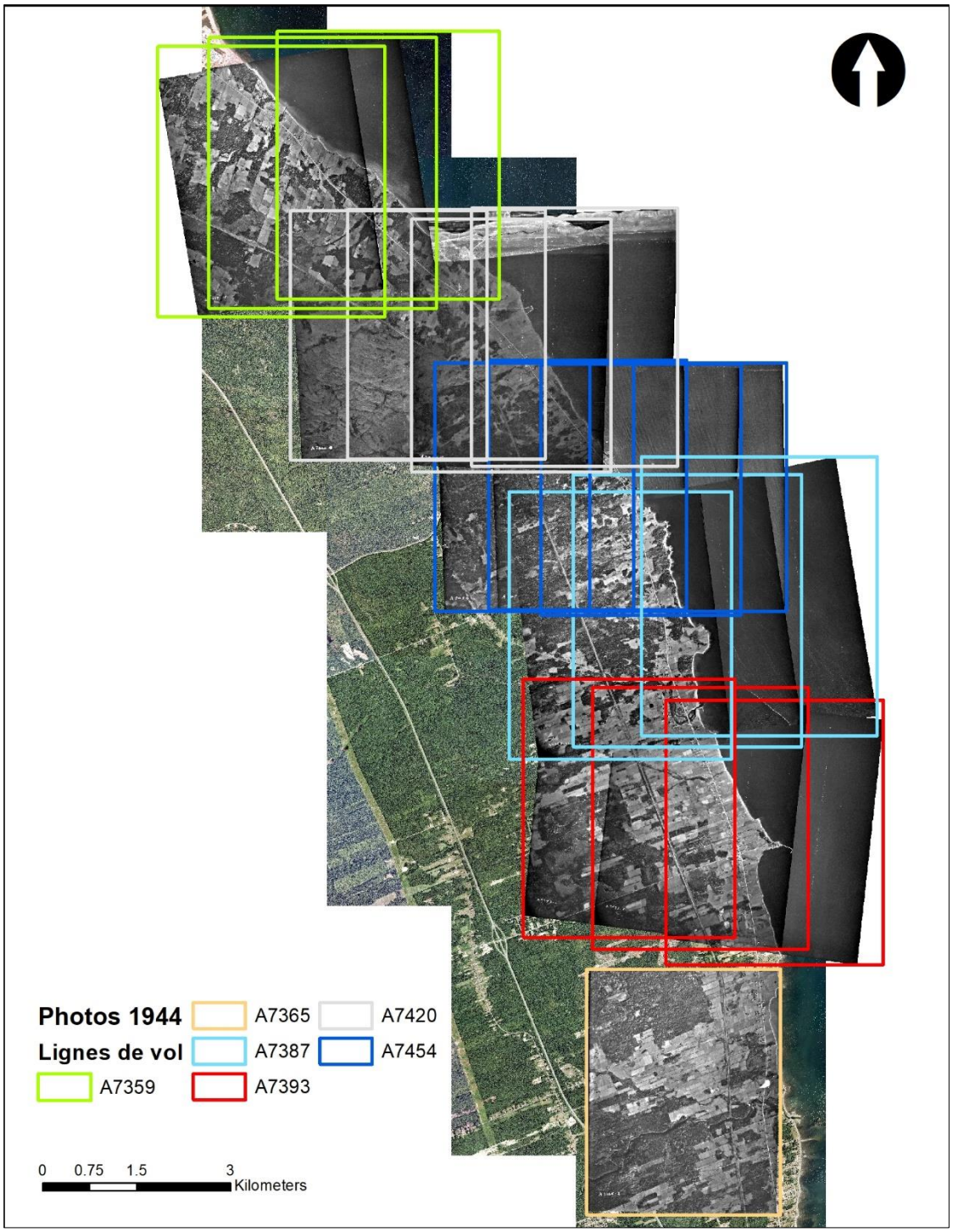

Figure 4. Localisation des lignes de vols et des photos aériennes de 1944.

b. Numérisation des photos aériennes historiques

Les photos historiques de 1944, en format papier, ont été numérisées à l'aide d'un scanneur *Epson 1000XL* à une résolution de 600 ppp. Ceci correspond à une taille des pixels de 0.8 m^2 qui reste en dessous de la résolution réelle des photos de

1944, soit 1 m^2. L'utilisation de cette résolution est amplement suffisante pour reproduire tous les détails de la photo sans pour autant alourdir la taille des fichiers sortants. Ceci permet donc de faciliter le stockage des photos aériennes historiques sans pour autant perdre le détail de la photo.

c. Géoréférencement des photos historiques

Les photographies aériennes de 1944 ont été calées sur les orthophotos de 2018 par le biais d'une sélection de points de contrôle (ou points d'ancrage). En moyenne, sept points de contrôle bien répartis sur chacune des photographies ont été utilisés pour les positionner par rapport à celles de 2018. L'erreur moyenne de géoréférencement est inférieure à 1 m.

Le tableau 1 illustre la qualité de géoréférencement pour chaque photo de la série de 1944 (RMS : *Root Mean Square* error ou erreur moyenne quadratique), le nombre de points de contrôle utilisés (GCP : Ground Control Points), la taille de pixel par photo ainsi que la méthode de transformation utilisée pour le géoréférencement.

Tableau 1: Qualité du géoréférencement des photographies aériennes de 1944.

ANNÉE	LIGNE DE VOL	PHOTO	LOCALITÉ	GCP	RMS	PIXEL	TRANSFORMATION
1944	A7359	36	Pointe Verte	6	1.1	0.8	Projective
1944	A7359	37	Pointe Verte	7	0.7	0.8	Projective
1944	A7359	38	Pointe Verte	7	0.8	0.8	Projective
1944	A7365	2	Petit Rocher-S	7	0.8	0.7	Projective
1944	A7387	51	Petit Rocher-N	7	1.0	0.9	Projective
1944	A7387	52	Petit Rocher-N	8	0.6	0.8	Projective
1944	A7387	53	Petit Rocher-N	7	0.5	0.8	Projective
1944	A7393	2	Petit Rocher	7	0.5	0.8	Projective
1944	A7393	3	Petit Rocher	10	0.3	0.8	Projective
1944	A7393	4	Petit Rocher	8	0.6	0.8	Projective
1944	A7420	15	Pointe Verte	7	0.8	0.8	Projective
1944	A7420	16	Pointe Verte	7	0.7	0.8	Projective
1944	A7420	17	Pointe Verte	7	0.8	0.7	Projective
1944	A7420	18	Pointe Verte	7	0.9	0.7	Projective
1944	A7454	2	Petit Rocher	6	0.9	0.7	Projective
1944	A7454	3	Petit Rocher	6	0.5	0.8	Projective
1944	A7454	4	Petit Rocher	7	0.9	0.7	Projective
1944	A7454	5	Petit Rocher	6	0.9	0.7	Projective

Numérisation du trait de côte

a. Le trait de côte

Afin de pouvoir calculer les taux d'érosion pour la région de Petit Rocher – Pointe-Verte, il faut extraire le trait de côte de 1944 et celui de 2018 sous un format de vecteur. Bien que théoriquement associé à la rencontre terre-mer, le trait de côte peut être interprétée de différentes façons selon le milieu dans lequel on se trouve. Le tableau 2 présente une description des différents repères utilisés dans ce projet pour le positionnement du trait de côte.

Selon notre méthode, lors de la numérisation du trait de côte, deux critères priment dans le choix du repère utilisé :

- Le repère utilisé doit avoir un lien direct avec le risque aux infrastructures. Ex. : Dans le cas d'une falaise, on utilise son sommet plutôt que sa base, parce que le risque de dommages aux infrastructures est déterminé par la proximité du bord de la falaise.
- Le repère doit être facilement identifiable sur les photos anciennes de 1944 et sur les photos récentes de 2018. Ex. : la ligne de végétation dans le cas des dunes peut être un élément plus facilement repérable d'une photo à l'autre, en couleur ou en noir et blanc.

Tableau 2: Classification des traits de côte selon leur nature.

*TC_TYPES**	*DESCRIPTION*
ARTIFICIEL	Limite interne du mur de protection. Limite interne du matériel de remblais. Limite interne de l'enrochement et des structures de protection. Limite externe de l'épi.
ARTIFICIEL ACCES	Accès à la côte aménagé (inclut aussi les rampes de mise à l'eau).
ARTIFICIEL FIXE	Contour de l'infrastructure portuaire. Base de route aménagée sur la côte constituant désormais un trait de côte. Sommet de l'enrochement public. Quai fixe (bâti et ayant un impact sur la dynamique sédimentaire) ne faisant pas partie d'un port.
DUNE	Sommet de la falaise dunaire. Front dunaire à pente douce : limite de l'ammophile sur le haut de plage. Limite de la nappe de débordement.
DUNE ACCES	Accès à la plage (VHR ou piétons) qui surcreuse la dune bordière.
FALAISE MEUBLE	Sommet de la falaise ou microfalaise dans des matériaux meubles (non consolidés). Sommet de la falaise ou microfalaise dans la tourbe.
FALAISE ROCHEUSE	Sommet de la falaise ou microfalaise rocheuse.
FERMETURE	Tout segment virtuel (ne correspondant à aucune forme naturelle) utilisé pour fermer un cours d'eau.
FLECHE LITTORALE	Niveau ordinaire des hautes eaux ; contact sable sec / sable humide (plage sableuse).
MARAIS	Limite du contact eau-marais indiquée par la limite de végétation de marais.
MEUBLE	Trait de côte meuble (berge de rivière, limite de champs, etc.)

b. Échelle de numérisation

Une échelle de 1 : 250 a été adoptée de façon arbitraire pour numériser la ligne de côte. On estime que l'erreur de numérisation associée à cette échelle est de 0.6 m sur les orthophotos de 2018. Cependant, cette échelle ne constitue pas une règle et peut être modifiée au besoin. Ainsi, l'utilisateur adapte l'échelle de numérisation, selon le repère à numériser, s'il juge que ceci lui permet de mieux identifier la position du trait de côte. Par exemple, une échelle plus grande est

utilisée lors de la numérisation d'un repère homogène et facilement identifiable tandis qu'une plus petite échelle est utilisée si la côte est plus accidentée.

c. Orientation de la numérisation

Dans le cadre du projet de Petit Rocher – Pointe-Verte, la numérisation du trait de côte est faite suivant une orientation constante qui va de l'est vers l'ouest et du sud vers le nord, et ce autant que possible de façon continue. Ceci permet d'éviter de perdre du temps à inverser les lignes de base lors de l'étape de création des transects dans DSAS (voir plus loin), afin que ces derniers soient numérotés dans un même sens.

d. Placement de points constructeurs le long du trait de côte

Aucune règle n'a été adoptée sur le nombre de sommets (points de construction) à placer pour numériser une ligne (ex: 2 vertex par 5 mètres). Il s'agit plutôt de placer autant de sommets que possible pour reproduire fidèlement le trait de côte. Ceci varie donc d'un type de repère à l'autre selon le milieu (homogène, variable) et a géométrie (rectiligne, sinueuse, zigzag, etc.), et d'un cartographe à un autre. En moyenne, durant ce projet, 6,7 sommets ont été placés par 10 mètres de trait de côte.

Calcul des taux de changement du trait de côte

Le calcul du mouvement annuel du trait de côte a été effectué dans le module DSAS ou *Digital Shoreline Analysis System* de l'USGS (Himmelstoss *et al.*, 2018). Pour déterminer le taux de changement annuel, le logiciel applique une formule simple qui consiste à diviser la distance entre les deux traits de côte utilisés par le nombre d'années qui les sépare (soit 2018-1944 = 74 ans). Les mesures (exprimées en mètres/année) sont effectuées sur des transects perpendiculaires au trait de côte de 2018, espacés de 30 m et distribués le long du littoral étudié suivant les recommandations du Ministère du Développement de l'Énergie et des Ressources du N.-B.

La marge d'erreur associée aux taux de changements est calculée en combinant toutes les sources d'erreurs des étapes qui ont mené au calcul des taux. Ainsi, elle comprend :

- L'erreur de géoréférencement des photos de 1944 (0,7 m)
- La résolution réelle des pixels des photos de 1944 (1 m)
- La résolution des photos aériennes de 2018 (0,1 m)
- La qualité de numérisation du trait de côte de 2018 estimée à 5 pixels (0,5 m)
- La qualité de numérisation du trait de côte de 1944 estimé à 2 pixels (2 m)

En ce qui concerne les marges d'erreur associées à la position des traits de côtes de 1944 et 2018, elles sont de :

- 3,8 m pour le trait de côte de 1944, calculée comme suit : l'erreur de géoréférencement des photos de 1944 (0,7 m) + la résolution réelle des pixels des photos de 1944 (1 m) + la résolution des photos aériennes de 2018 (0,1 m) + la qualité de numérisation du trait de côte de 1944 estimée à 2 pixels (2m).
- 0,6 m pour le trait de cote de 2018, calculée comme suit : la résolution des photos aériennes de 2018 (0,1 m) + la qualité de numérisation du trait de côte de 2018 estimée à 5 pixels (0,5 m).

En moyenne la marge d'erreur totale de la position du trait de côte est de 4,3 m. Ainsi, les taux de changements annuels calculés sur 74 ans ont une marge d'erreur de ±0,06 m/an.

Scénarios d'érosion

Afin de déterminer les risques futurs d'érosion sur les infrastructures de la zone d'étude qui s'étend de Petit Rocher Sud à Pointe-Verte, il faut produire des scénarios de changement de la position du trait de côte. Ces scénarios comprennent les taux d'érosion moyens du littoral projetés dans le futur selon des horizons temporels choisis à partir de la position du trait de côte le plus récent. Dans ce projet, ces horizons sont 2050 et 2100.

La projection du trait de côte a été effectuée selon une méthode qui se sert de secteurs à évolution homogène. Ainsi, dans un premier temps, on détermine les secteurs qui ont des taux de changements très proches et qui sont du même type (tableau 2) et forme (trait de côte linéaire exposé à l'action des vagues, trait de côte sinueux, etc.). Dans un deuxième temps, on calcule une moyenne pour chaque secteur déterminé.

Il est important de noter que certains transects ont été exclus du calcul du taux de changement pour éviter des interprétations problématiques ou erronées. Les principaux cas sont :

- Un taux de changement positif dans le cas d'un trait de côte artificiel; en réalité, la côte naturelle a peut-être reculé à cet endroit dans le passé et, au mieux, elle serait fixe dans l'avenir, mais n'avancerait pas pour autant. Cela arrive quand la structure de protection a été construite de sorte qu'elle déborde au-delà du trait de côte naturel, donnant un faux signale que cette côte est en accumulation. En fait, les dunes littorales et les marais côtiers sont les seuls types de côte naturel qui peuvent être en situation de progradation, même dans un contexte de hausse du niveau marin.
- Un taux de changement positif lorsque le trait de côte correspond à une falaise meuble. Une falaise est une forme d'érosion et, par définition, elle recule, mais il est possible que la distance entre les deux traits de côtes de

référence soit trop faible et à l'intérieur de la marge d'erreur pour que DSAS puisse calculer des taux réalistes.

En se basant sur les taux de changements annuels moyens par secteur ainsi que la direction (avancée, stabilité, recul) du déplacement déterminé le long des transects, la position du trait de côte projeté est faite en se servant de chaque transect établi par DSAS; ainsi, sur le prolongement de chaque transect, un point est placé selon le taux de déplacement établi du secteur correspondant et ces points sont reliés pour former le trait de côte projeté. La nouvelle ligne tracée est ensuite lissée dans les zones de raccordements entre secteurs pour représenter un trait de côte ayant une forme « naturelle » plus réaliste (figure 5).

Figure 5. Scénario de 2100 (a) sans lissage à gauche, (b) avec lissage à droite au niveau des raccordements entre les secteurs à évolution homogène.

À noter que certains secteurs ont été maintenus fixes dans les projections du trait de côte. Ils incluent principalement le littoral protégé par des infrastructures publiques (installation portuaire, enrochement le long d'une route, remblais…).

Détermination et représentation du risque d'érosion

Un indice de risque d'érosion pour les infrastructures de trois municipalités a été développé lors du projet SACCA-ICAR-Péninsule acadienne de 2011 (Robichaud *et al.*, 2011, p. 37). Celui-ci s'est avéré très utile dans l'interprétation et la représentation cartographique du risque aux infrastructures. Cet indice a par la suite été réutilisé et légèrement modifié pour qu'il soit mieux adapté aux besoins d'études subséquentes dans diverses municipalités et DSL situés dans le nord-est du Nouveau-Brunswick.

Le principe de base sous-jacent à l'indice de risque d'érosion est d'évaluer la possibilité qu'une infrastructure soit affectée par le recul du trait de côte dans un avenir plus ou moins rapproché. L'indice est établi en fonction (1) de marges de sécurité arbitraires, mais pertinentes et utiles, selon les indications des clients s'il y a lieu et (2) de la position des infrastructures par rapport à la position du trait de côte ou de la ligne de rivage projetée à différentes années dans le futur.

Pour les municipalités et DSL considérés dans la présente étude, l'indice de risque a été adapté pour tenir compte des horizons de projections moins nombreux que ceux considérés lors d'études précédentes dans d'autres municipalités (i.e. Simard *et al.*, 2015, Robichaud *et al.*, 2011 et 2012).

Ainsi, le risque d'érosion actuel sera considéré comme étant maximal (cote 3) pour toute infrastructure se trouvant à 5 m ou moins du trait de côte ou de la ligne de rivage de 2018, à l'exception évidemment des ouvrages de protection. Par exemple, un bâtiment ou une route se trouvant à l'intérieur de la zone de 5 m du trait de côte ou de la ligne de rivage de 2018 sera donc considéré comme étant en danger d'érosion immédiat, ou à risque d'érosion dans un avenir très rapproché (moins de 10 ans) (figure 6).

Les risques d'érosion futurs seront évalués en fonction de la position du trait de côte et de la ligne de rivage tel que projetés pour les années 2050 et 2100, et selon une marge de sécurité arbitraire de 5 m. Par exemple, les infrastructures se trouvant à l'intérieur d'une zone débutant à 5 m derrière le trait de côte de 2018 et se terminant à 5 m 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 avec celle d'un indice de 3.

De la même façon, une infrastructure à risque de cote 1 se trouvera dans une zone définie par une ligne située à 5 m derrière le trait de côte ou de la ligne de rivage de 2050 et une ligne située à 5 m derrière le trait de côte ou la ligne de rivage de 2100, et sera donc considérée à risque d'érosion entre 2050 et 2100 (figure 6).

Les décideurs de la municipalité voudront et devront peut-être établir des marges de sécurité plus larges que celles de 5 m utilisées dans cette étude, qui est très conservatrice puisqu'elle ne tient pas compte d'une possible intensification des tempêtes côtières et des taux d'érosion en lien avec le changement climatique.

L'indice de risque qui est attribué aux infrastructures est exprimé selon un code de couleur sur les produits cartographiques afin de faciliter l'interprétation des résultats (Tableau 3).

Tableau 3: Indice de risque d'érosion aux infrastructures.

3	**Risque d'érosion actuel** ***Currently at risk of erosion***
2	**Risque d'érosion d'ici 2050** ***Erosion risk before 2050***
1	**Risque d'érosion entre 2050 et 2100** ***Erosion risk between 2050 and 2100***
0	**Potentiellement sans risque avant 2100** ***Potentially no erosion risk before 2100***

Les catégories de risques définies dans le Tableau 3, sont appliquées aux infrastructures afin d'y représenter le risque d'érosion et pouvoir les identifier facilement. La figure 6 montre un exemple de l'application de ces catégories de risques aux bâtiments.

Figure 6. Exemple d'application de l'indice de risque d'érosion aux bâtiments.

(Voir Tableau 2 pour la légende)

4. RÉSULTATS ET DISCUSSION

Trait de côte

Le littoral de la zone d'étude fait 21,2 km de long (Tableau 4). Si les falaises et microfalaises meubles dominent au nord du site d'étude, on observe une forte concentration de structures de protection dans le sud, de sorte que, sur l'ensemble du territoire, environ 57 % du littoral est artificialisé.

Tableau 4: Répartition du trait de côte selon le type.

Type de trait de cote	Longueur (km)	(%)
ARTIFICIEL	10.1	47.5
ARTIFICIEL ACCES	0.6	2.7
ARTIFICIEL FIXE	1.6	7.7
DUNE	3.0	14.2
DUNE ACCES	0.1	0.3
FALAISEMEUBLE	1.9	8.9
FALAISEROCHEUSE	0.8	3.5
FERMETURE	0.2	0.8
FLECHELITTORALE	0.1	0.5
MEUBLE	2.9	13.7
PLAGE	0.0	0.2
Total	**21.2**	**100.0**

Secteurs à évolution homogène

Le trait de côte de 2018 de la zone d'étude qui couvre le littoral de Petit Rocher Sud à Pointe-Verte a été divisé en 67 secteurs à évolution homogène. Un total de 46 de ces secteurs subit de l'érosion, 8 secteurs présentent des taux moyens positifs et sont donc en accrétion, tandis que 13 secteurs sont fixes.

L'identifiant des secteurs a été établi en fonction du nom de la municipalité à laquelle il appartient, avec un numéro d'identification ainsi que de la lettre F lorsqu'il s'agit d'un secteur maintenu fixe. Les cartes suivantes (figures 7 à 10) présentent la division du territoire étudié en différents secteurs homogènes.

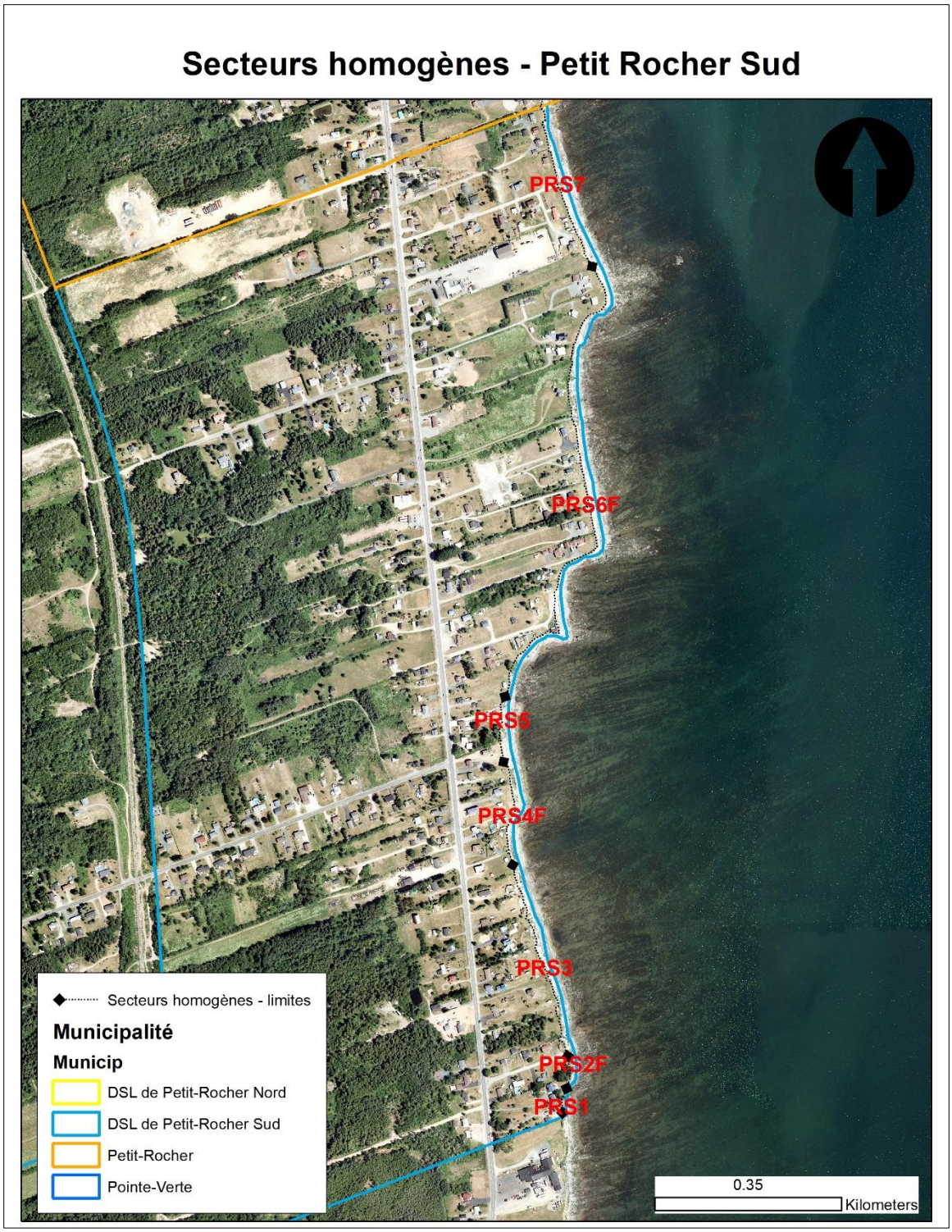

Figure 7. Carte des secteurs à évolution homogène à Petit-Rocher-Sud.

L'identifiant est en rouge et ce pour toutes les figures qui suivent.

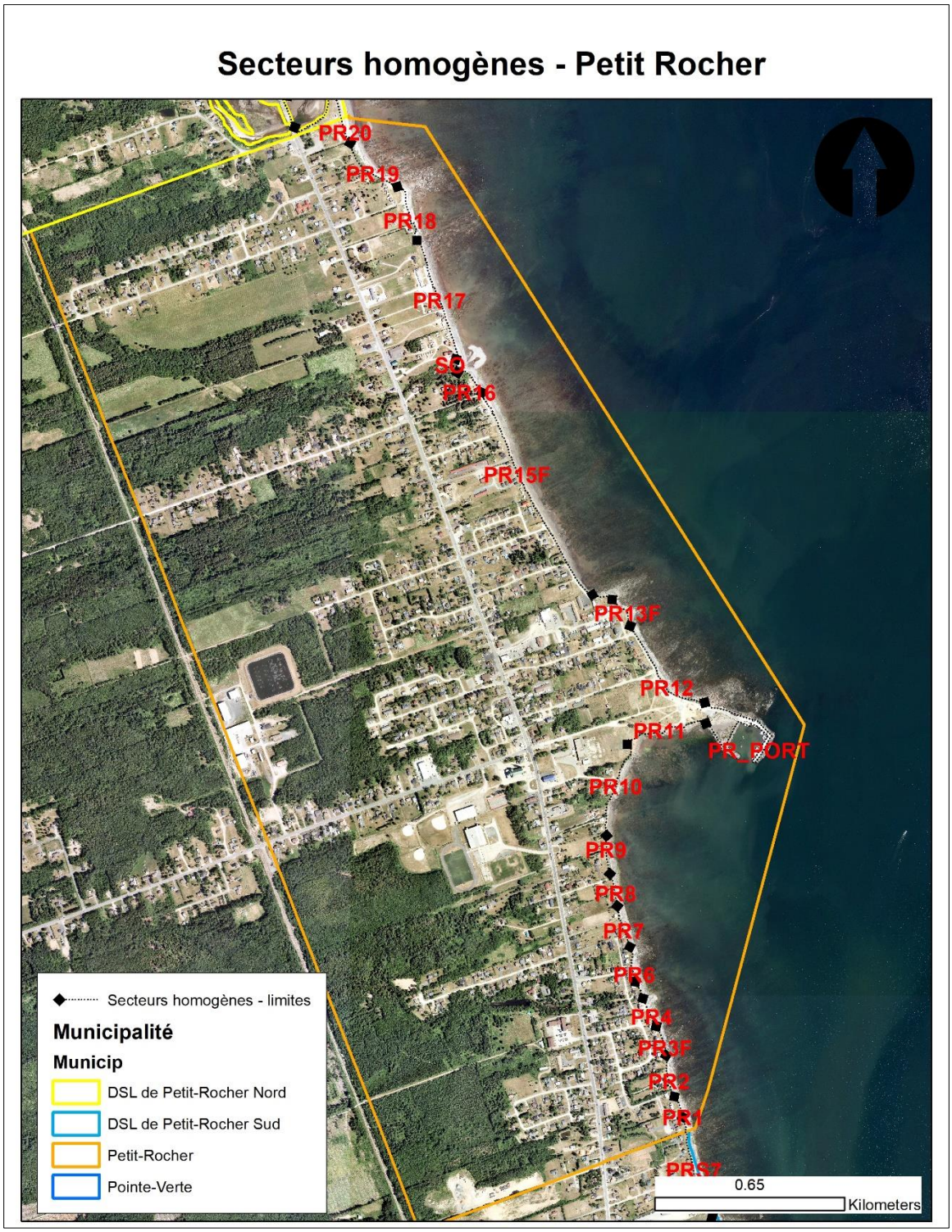

Figure 8. Carte des secteurs à évolution homogène à Petit-Rocher.

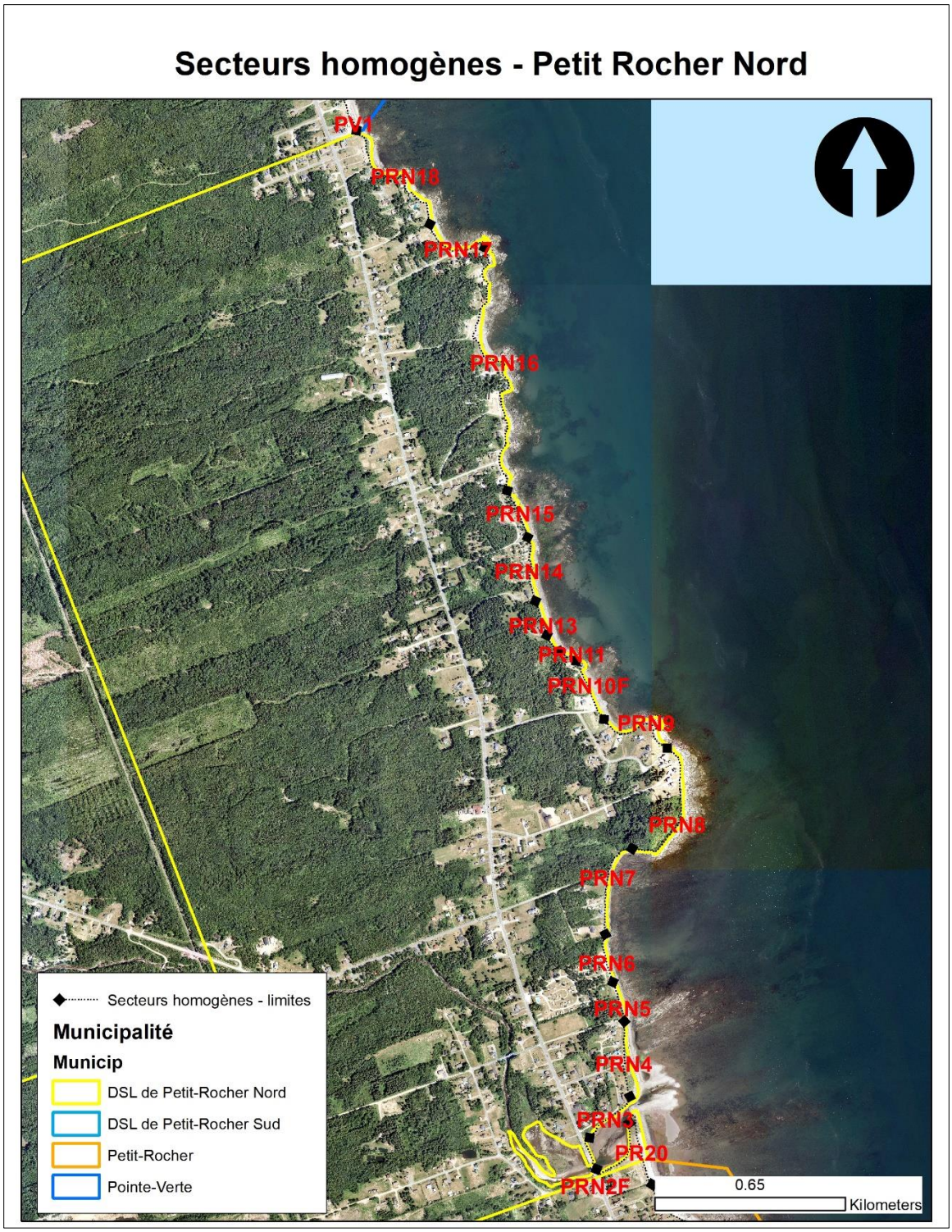

Figure 9. Carte des secteurs à évolution homogène à Petit-Rocher-Nord.

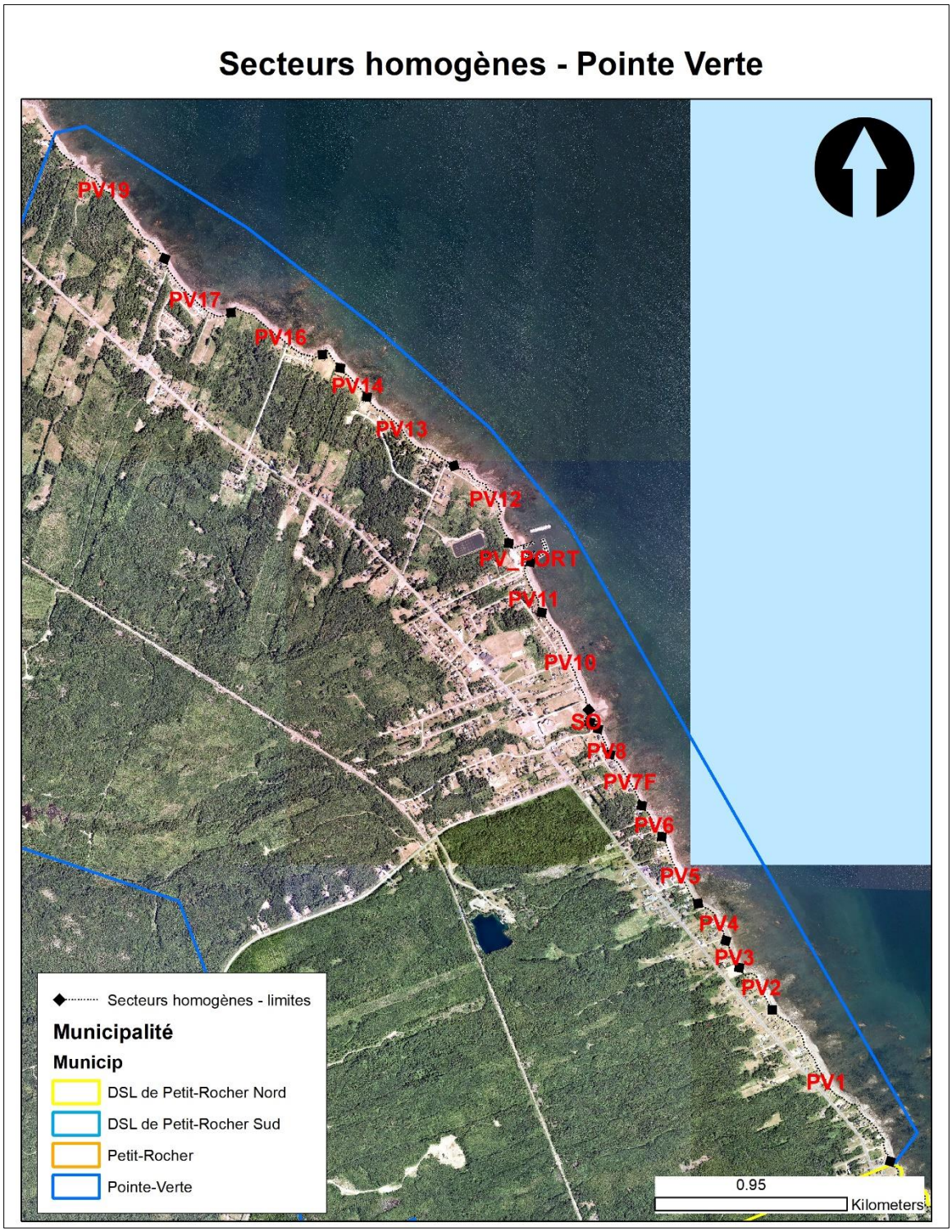

Figure 10. Carte des secteurs à évolution homogène à Pointe-Verte.

Aperçu de l'évolution passée du littoral

De façon générale, la municipalité de Pointe-Verte et le DSL de Petit-Rocher-Nord sont, dans cet ordre, les plus touchés par l'érosion. En effet les taux d'érosion par secteur les plus élevés ont été observés au niveau du secteur PV12 à Pointe-Verte (-0,3 m/an) et du secteur PRN à Petit-Rocher-Nord (-0,23 m/an)[3]. Ceci n'est pas étonnant vu que ce littoral montre des formes de recul (falaises meubles, etc.). Les taux de changement du trait de côte par secteur à évolution homogène en annexe.

D'autre part, Petit-Rocher-Sud et Petit-Rocher comprennent les secteurs où on observe les taux d'érosion les plus faibles. Ceci est dû au fait que le littoral de ces deux municipalités est très artificialisé et protégé par d'imposantes structures de protection. Rappelons que, comme le montre le tableau 4, l'ensemble du territoire a environ 57 % de son littoral protégé et une grande proportion de ces structures de protections, qui se présentent souvent sous forme d'enrochements ou de murs de rétention, se trouve dans la partie sud de la zone d'étude (Figure 11).

En raison de l'artificialisation et des aménagements du littoral de la zone d'étude, huit secteurs ont été maintenus fixes selon nos scénarios. Comme mentionné plus haut, ces secteurs sont identifiés par la lettre F (pour « fixe ») à la fin de leur nom. En accord avec notre méthode, la décision de déterminer un secteur comme étant fixe est prise si, sur un long tronçon de côte, on observe une « avancée » artificielle du trait de côte. Il est essentiel de ne pas interpréter ces cas-là comme de l'accrétion naturelle.

[3] Une valeur négative indique un recul et une valeur positive une avancée.

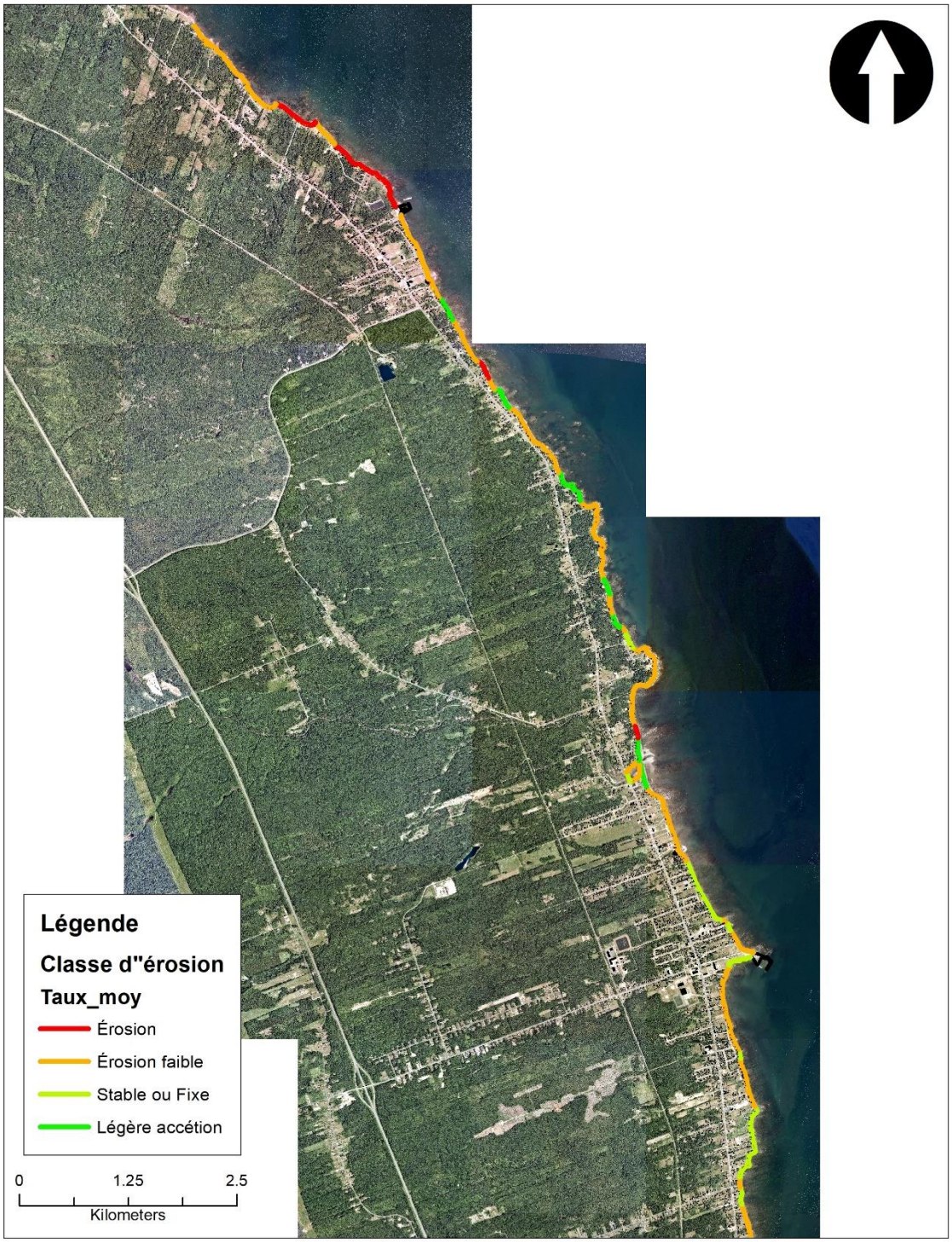

Figure 11. Évolution du trait de côte dans la région de Petit Rocher – Pointe-Verte entre 1944 et 2018. Érosion : un recul > -0,15 m/an; Érosion faible : recul entre 0,15 et 0 m/année; Stable ou Fixe : taux de changement = 0 m/an; Légère accrétion : avancée de 0 à 0.06 m/an.

Présentation des résultats de l'analyse de risque d'érosion

L'analyse de risque d'érosion a été effectuée sur l'ensemble des couches d'infrastructures disponibles pour la zone d'étude. Elle est basée sur la position des infrastructures par rapport aux traits de côtes projetés en 2050 et 2100 selon l'indice décrit dans les méthodes. Ci-dessous, nous présentons les infrastructures à risque d'érosion selon le type d'infrastructure.

Il est à noter que les résultats décrits ci-dessous sont des résultats sommaires et sous forme tabulaire. Cependant, la géobase de données produites dans le cadre de ce projet ainsi que la carte ArcMap (extension .mxd) générée permettent de réaliser une analyse géographique plus fine et de localiser avec précision les infrastructures à risque.

a. Bâtiments

Au total, 80 bâtiments, relevés lors de cette étude, ont été identifiés comme étant des infrastructures pouvant éventuellement faire face à un risque d'érosion d'ici 2100, dont 37 font face à un risque actuel, selon leur proximité au trait de côte de 2018 (tableau 5).

Tableau 5: Nombre de bâtiments par indice de risque d'érosion.

Indice	Risque d'érosion	Bâtiments
0	*Potentiellement sans risque avant 2100*	*2772*
1	Risque d'érosion entre 2050 et 2100	25
2	Risque d'érosion d'ici 2050	18
3	Risque actuel d'érosion	37
Bâtiments affectés		**80**

Note : À titre d'indication le nombre d'infrastructures non affectées par les scénarios d'érosion est aussi présenté (en italique).

b. Égouts

L'analyse d'érosion sur le réseau d'égouts de la zone d'étude a été effectuée sur des tronçons de 5 m (Tableau 6). Les résultats de cette analyse montrent que 197 tronçons de 5 m, soit l'équivalent 0,98 km, du réseau sont à risque d'érosion d'ici 2100.

Tableau 6: Nombre de tronçons de 5 m d'égouts par indice de risque d'érosion.

Indice	Risque d'érosion	Égouts (5m)
0	*Potentiellement sans risque avant 2100*	*6983*
1	Risque d'érosion entre 2050 et 2100	42
2	Risque d'érosion d'ici 2050	64
3	Risque actuel d'érosion	91
Égouts affectés		**197**

c. Poteaux électriques

Au total, 31 poteaux électriques ont été identifiés comme étant à risque d'érosion d'ici 2100 (Tableau 7).

Tableau 7: Nombre de poteaux électriques par indice de risque d'érosion.

Indice	Risque d'érosion	Poteaux électriques
0	*Potentiellement sans risque avant 2100*	*2220*
1	Risque d'érosion entre 2050 et 2100	8
2	Risque d'érosion d'ici 2050	5
3	Risque actuel d'érosion	18
Poteaux électriques affectés		**31**

d. Puisards

Selon l'analyse de risques d'érosion (Tableau 8), les 485 puisards qui se trouvent dans la zone d'étude ne seront pas affectés par l'érosion d'ici 2100.

Tableau 8: Nombre de puisards par indice de risque d'érosion.

Indice	Risque d'érosion	Puisards
0	*Potentiellement sans risque avant 2100*	*485*
1	Risque d'érosion entre 2050 et 2100	0
2	Risque d'érosion d'ici 2050	0
3	Risque actuel d'érosion	0
Puisards affectés		**0**

e. Regards d'égouts

L'analyse d'érosion sur les regards qui se trouvent dans la zone d'étude montre que la plupart de ceux-ci sont à l'abri des risques d'érosion (Tableau 9). En effet, sur 340 regards installés sur le territoire, neuf se trouvent à risque d'érosion d'ici 2100 dont six sont actuellement préoccupants.

Tableau 9: Nombre de regards par indice de risque d'érosion.

Indice	Risque d'érosion	Regards
0	*Potentiellement sans risque avant 2100*	*340*
1	Risque d'érosion entre 2050 et 2100	1
2	Risque d'érosion d'ici 2050	2
3	Risque actuel d'érosion	6
Regards affectés		**9**

f. Routes

L'indice de risque au niveau des routes a été appliqué à des tronçons de 5 mètres de longueur. Ainsi, 250 tronçons de route, soit l'équivalent de 1,25 km, ont été identifiés comme étant à risque d'érosion d'ici 2100. Un total de 188 tronçons, soit 0.94 km de routes, sont menacés d'érosion d'ici 2100 (Tableau 10).

Tableau 10: Nombre de tronçons de route par indice de risque d'érosion.

Indice	Risque d'érosion	Routes (5m)
0	*Potentiellement sans risque avant 2100*	*12384*
1	Risque d'érosion entre 2050 et 2100	38
2	Risque d'érosion d'ici 2050	24
3	Risque actuel d'érosion	188
Routes affectées		**250**

Sommaire des résultats

Les données présentées dans ce rapport permettront aux utilisateurs de mieux comprendre la portée et l'étendue des dommages aux infrastructures qui pourraient être potentiellement attribués à l'érosion côtière sur les territoires des municipalités de Petit-Rocher, Pointe-Verte et des DSL de Petit-Rocher-Sud et Petit-Rocher-Nord. Il est également possible de créer des cartes montrant la répartition des infrastructures à risque d'érosion par secteur de la zone d'étude à partir des données géospatiales mises à la disposition de la CSRC.

Le tableau sommaire suivant présente le nombre d'infrastructures qui seront affectées selon les scénarios d'érosion.

Tableau 11: Nombre d'infrastructures à risque d'érosion par indice d'érosion.

Infrastructures	Indice 0	Indice 1	Indice 2	Indice 3	Total
Bâtiments	2772	25	18	37	2852
Bornes	81	0	0	0	81
Égouts (5m)	6983	42	64	91	7180
Enfouissement	1	0	0	0	1
Pompage	5	1	1	0	7
Poteaux électriques	2220	8	5	18	2251
Puisards	485	0	0	0	485
Regards	340	1	2	6	349
Route (5m)	12384	38	24	188	12634
Vannes	68	0	0	0	68

*Indice 0 : Potentiellement sans risque avant 2100.

*Indice 1 : Risque d'érosion entre 2050 et 2100.

*Indice 2 : Risque d'érosion d'ici 2050.

*Indice 3 : Risque d'érosion actuel.

5. CONCLUSION

Cette étude porte sur le développement de scénarios d'érosion et la détermination des infrastructures à risque d'ici l'an 2100 pour les municipalités de Petit Rocher et Pointe-Verte et les DSL de Petit-Rocher-Sud et Petit-Rocher-Nord. Elle a utilisé les données les plus récentes disponibles, notamment les couches de données des infrastructures de la CSR Chaleur, et des techniques éprouvées et actuelles.

Selon les scénarios de projection du trait de côte, on peut constater que le risque d'érosion varie d'un secteur à l'autre de la zone d'étude. Les secteurs au sud sont, en grande partie, protégés par des infrastructures côtières « dures » incluant les murs de rétentions et les enrochements. Les taux d'érosion historiques mesurés dans ces secteurs sont plus faibles que ceux mesurés au nord où le trait de côte est naturel (non protégé) et composé principalement de falaises meubles en recul.

Bien que, de façon générale, les taux d'érosion observés dans l'ensemble du territoire soient relativement faibles, un certain intérêt devrait être accordé aux conditions extrêmes prévues dans l'avenir. En particulier, les tempêtes causent une grande altération du littoral et arrachent beaucoup de matériaux sédimentaires à la côte. Il est prévu que l'érosion sera plus rapide en raison d'une hausse du niveau marin accru, des tempêtes plus fortes, un déficit sédimentaire (parfois provoqué par la suppression de l'érosion par des structures rigides le long de la côte ou par des extractions de granulats passées ou actuelles) et une diminution du couvert de glace en hiver. Les taux historiques de déplacement du trait de côte présentés dans ce rapport reflètent les conditions environnementales du passé, mais ils pourraient être plus élevés au cours du prochain siècle. Le fait que des structures de protection aient été établies dans la zone d'étude indique qu'il y a déjà un problème d'érosion dans la région.

Il convient alors de noter que les scénarios de projection du trait de côte développés dans le cadre de ce projet et de projets similaires qui ont eu lieu dans le nord-est du Nouveau-Brunswick sont plutôt conservateurs, car ils reposent sur des données du passé et que des scénarios plus problématiques, voire catastrophiques, sont possibles. Cela est aussi en partie dû à la méthode de projection par secteur à évolution homogène utilisée qui masque les taux d'érosion plus élevés ou extrêmes et généralise le déplacement du trait de côte. Les scénarios produits par cette méthode supposent une évolution se poursuivant au même rythme observé avant 2018, alors que la probabilité est que les taux d'érosion seront plus élevés à l'avenir, peut-être jusqu'à 1,5 fois plus (ou 50% de plus) (Davidson-Arnott et Ollerhead, 2011). De plus, il ne faut pas exclure la possibilité d'un événement exceptionnel et garder en tête qu'un scénario extrême du type Xynthia (France) (Péret et Sauzeau, 2014) puisse survenir.

Les communautés côtières du monde, y compris celles de la présente étude, devront prendre le temps de se préparer et prévoir des aménagements en conséquence et surtout éviter le développement dans les zones à risque actuelles et futures dont certains avancent que c'est le principal problème auquel font face

les sociétés. Un avantage par rapport à des régions surpeuplées est que les municipalités et DSL de la CSRC ont dans plusieurs cas suffisamment d'espace dans l'arrière-pays pour permettre un développement de son territoire. Le plan d'adaptation de la CSRC pourra tenir compte de cet avantage et des connaissances acquises lors des projets comme celui-ci et ceux à venir.

Peu importe le secteur considéré, il serait judicieux dans la plupart des cas de ne pas céder à la tentation de vouloir s'établir trop près des côtes « là où il fait si bon vivre » ou d'y permettre le développement d'installations commerciales ou industrielles ou d'infrastructures et activités menant à une vulnérabilité élevée comme l'établissement de foyers de soin près de la mer. L'adaptation au changement climatique requiert d'envisager maintenant que certains risques vont s'accroître et atteindre des degrés inconnus jusqu'ici. L'exemple des inondations fluviales récentes dans l'est du Canada en est une démonstration évocatrice. Il faut développer le réflexe de penser que les choses ne seront plus comme avant, ce qui est souvent difficile à imaginer quand on a habité un lieu pendant longtemps, que les habitudes sont bien établies et qu'on n'a jamais vu certains événements se produire comme de l'eau de mer sur son terrain. Les données de risque présentées dans cette étude ont pour but d'aider à prévoir les risques futurs d'inondation et d'érosion de façon réaliste d'une localité côtière comme il y en a tant au Nouveau-Brunswick, avec toutefois un avertissement que les projections proposées sont très conservatrices.

Pour terminer, les données géospatiales produites dans cette étude pourront être utilisées comme outil d'aide à la décision afin de déterminer les infrastructures à risque d'érosion, identifier les secteurs les plus vulnérables et ainsi aider la CSRC, les municipalités et les DSL étudiés dans leurs efforts d'adaptation et de résilience face aux effets des changements climatiques.

RÉFÉRENCES

Ouvrages cités

Chelbi, M., Clement, V., Jolicoeur, S., O'Carroll, S., St-Pierre, M., et Bérubé, D. (2015) *Évaluation de la vulnérabilité aux changements climatiques pour la Ville de Bathurst. Volet « Érosion côtière ».* Rapport remis à la ville de Bathurst.

Daigle, R. J. (2014*) Rapport Final Scénarios : Élévation du Niveau marin et Inondations Bathurst*, 16 p.

Davidson-Arnott R. et J. Ollerhead (2011). *Coastal erosion and climate change*; report prepared for the PEI Department of Environment, labour and Justice, 41 p.

Diouf, S., A. Robichaud et D. Bérubé (2019). *Impacts des structures rigides de protection côtière sur l'évolution du littoral de la Commission des services régionaux Chaleur*. Rapport préparé pour le Fonds de fiducie en environnement du Nouveau-Brunswick et *la CSR Chaleur*; 32 pp.

Himmelstoss, E.A., Henderson, R.E., Kratzmann, M.G., and Farris, A.S., (2018). Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 5.0 user guide: U.S. Geological Survey Open-File Report 2018–1179, 110 p., https://doi.org/10.3133/ofr20181179.

Ministère des Ressources Naturelles (2009). *Données d'érosion côtière - application cartographique en ligne donnant accès à la base de données provinciale sur l'érosion des côtes. (http://geonb.snb.ca/erosion/index_fr*)

Péret, J. et T. Sauzeau (2014) *Xynthia ou la mémoire réveillée. Des villages charentais et vendéens face à l'océan (XVIIIe-XXIe siècles)*; Geste éditions, La Crèche, Deux-Sèvres, 296 p.

Robichaud, A., I. Simard et F. Savoie-Ferron (2014) *Inondations côtières et infrastructures à risque, Ville de Lamèque, Nouveau-Brunswick.* Rapport préparé pour la municipalité de Lamèque et le Fonds en fiducie pour l'environnement du Nouveau-Brunswick; 34 p.

Robichaud, A., I. Simard et M. Chelbi (2012) *Érosion et infrastructures à risque d'érosion à Sainte-Marie-Saint-Raphaël, Péninsule acadienne, Nouveau-Brunswick.* Rapport préparé pour l'association interprovinciale Solutions d'adaptation aux changements climatiques pour l'Atlantique (SACCA) dans le cadre du programme d'Initiatives de collaboration pour l'adaptation régionale (ICAR - Ressources naturelles Canada) de l'Atlantique; 36 p.

Robichaud, A., I. Simard, A. Doiron et M. Chelbi (2011) *Infrastructures à risque dans trois municipalités de la Péninsule acadienne; volet 3 du projet SACCA-*

Péninsule acadienne. Rapport préparé pour l'association interprovinciale Solutions d'adaptation aux changements climatiques pour l'Atlantique (SACCA) dans le cadre du programme d'Initiatives de collaboration pour l'adaptation régionale (ICAR - Ressources naturelles Canada) de l'Atlantique; 54 p.

Simard, I., A. Robichaud, et F. Savoie-Ferron (2015). *Infrastructures à risque face aux inondations et à l'érosion côtières pour la municipalité de Bathurst, Nouveau-Brunswick*. Rapport préparé pour la municipalité de Bathurst et le Fonds de fiducie en environnement du Nouveau-Brunswick; 32 pages. Comprend des cartes numériques des infrastructures à risque d'inondation et d'érosion.

Principaux ouvrages consultés (liste non exhaustive)

Clus-Auby, C., R. Paskoff et F. Verger (2006) Le patrimoine foncier du Conservatoire du littoral et le changement climatique : scénarios et évolution par érosion et submersion; *Annales de géographie*, 2(648), p. 115-132.

Department for Environment, Food and Rural Affairs (2010) *Understanding the risks, empowering communities, building resilience: the national flood and coastal erosion risk management strategy for England*; UK government document, 52 p.

Drejza, S. (2010) *Impacts et efficacité des zonages des risques côtiers dans un contexte de changements climatiques : exemple de Percé*, Québec; Mémoire de Maîtrise, Université du Québec à Montréal, 177 p.

Gourmelon, F. et M. Robin (2005) *SIG et littoral*, Hermes-Science, Paris, 328 p.

Hénaff, A. (Ed.), Philippe, M. (2014) *Gestion des risques d'érosion et de submersion marines – Guide méthodologique*, Projet Cocorisco, 156 p.

Lemmen D.S., F.J. Warren, T.S. James et C.S.L. Mercer Clarke (eds) (2016) Le littoral maritime du Canada face à l'évolution du climat; Gouvernement du Canada, Ottawa, 280 p.

Ministère de l'Aménagement du territoire et de l'Environnement (1997) *Plans de prévention des risques littoraux – Guide méthodologique*; La Documentation française, Paris, 54 p.

Ministère de l'Écologie, de l'énergie, du développement durable et de l'aménagement du territoire (2009) *Agir ensemble pour le littoral*; ouvrage collectif, coordination : X. Lafon et S. Treyer; La Documentation française, Paris, 291 p.

Paskoff R. (2006). *Les littoraux – Impact des aménagements sur leur évolution (3e édition)*; Armand Colin, Paris, 260 p.

Pêches et Océans Canada (2013) *Marées, courants et niveaux d'eau*; Service hydrographique du Canada. (*http://www.marees.gc.ca/fra/accueil*)

PNUD (2004) *La réduction des risques de catastrophes; un défi pour le développement* – Un rapport mondial; Programme des Nations Unies pour le développement (PNUD), Bureau pour la prévention des crises et du relèvement; 148 p.

Robin, M. (2002) Étude des risques côtiers sous l'angle de la géomatique; *Annales de géographie*, 5(627-628), 2002, p. 471-502.

Salomon, J.-N. (2008) *Géomorphologie sous-marine et littorale*. Presses Universitaires de Bordeaux.

GLOSSAIRE

« Arc GIS »	signifie Arc GIS (version ≥ 10.3.1) de ESRI;
« Comité »	désigne le Comité consultatif régional sur l'adaptation aux changements climatiques pour la région Chaleur (CCRACC);
« Commission »	désigne la Commission de services régionaux Chaleur;
« CSR »	désigne la Commission de services régionaux;
« CSRC »	désigne la Commission de services régionaux Chaleur;
« DDP »	signifie Demande de proposition;
« DSL »	signifie District de services locaux;
« DSAS »	signifie « Digital Shoreline Analysis System »
« Direction »	désigne le directeur de l'urbanisme de la commission;
« ESRI »	signifie « Environmental Systems Research Institute »;
« IRZC »	signifie « Institut de recherche sur les zones côtières », maintenant connu sous le nom de « Valores »;
« Ligne de rivage »	est définie comme étant la limite de la pleine mer supérieure de marée moyenne en situation de jet de rive normal. Par conséquent, la ligne de rivage représente la limite du côté mer des plateformes rocheuses, marais salés, plages sableuses ou graveleuses, ou structures riveraines construites par l'homme;
« NAD83 »	signifie « North-American Datum 1983 »;
« Projet »	désigne les services et les livrables à être réalisés par le consultant dans le cadre des présentes demandes de proposition;
« Soumissionnaire »	désigne toute personne ou entreprise qui dépose ou a l'intention de déposer une proposition en réponse à la présente DDP;
« Trait de côte »	est défini comme étant la limite de la pleine mer supérieure de grande marée en situation de jet de rive normal. Par conséquent, le trait de côte représente la limite du côté mer des falaises rocheuses ou meubles, pentes végétalisées (le long des marais salés), dunes sableuses, ou structures côtières construites par l'homme;
« USGS » désigne	« United States Geological Survey »; et
« Valores »	anciennement connu en tant qu'« Institut de recherche sur les zones côtières ».

ANNEXES

ANNEXE 1 – Description des attributs du trait de côte de 1944

Trait de côte de 1944				
Fichier	**Description**	**Attribut**	**Type**	**Valeur**
*_TC1944	Type du trait de côte	***TC_TYPE***	Texte	*ARTIFICIEL* *ARTIFICIELACCES* *ARTIFICIELFIXE* *DUNE* *DUNEACCES* *FALAISEMEUBLE* *FALAISEROCHEUSE* *FERMETURE* *FLECHELITTORALE* *MARAIS* *MEUBLE*
*_TC1944	Photo aérienne utilisée pour numériser le TC	***PH_source***	Texte	Le nom de la photographie aérienne de 1944 utilisée dans la numérisation. Composé de la lettre A, le numéro de la ligne de vol, d'un Tiret bas '_' et du numéro de la photo. Ex. A7387_37
*_TC1944	Année du TC	***Year***	Entier court	1944
*_TC1944	Zone de numérisation	***NUM_ZONE***	Texte	Centre : la numérisation a été effectuée à partir du centre de la photographie aérienne. Marge : la numérisation a été effectuée à partir des marges de la photographie aérienne.
*_TC1944	Longueur du vecteur	***Shape_len***	Double	Longueur du vecteur en mètres.

ANNEXE 2 – Description des attributs du trait de côte de 2018

Trait de côte de 2018				
Fichier	**Description**	**Attribut**	**Type**	**Valeur**
*_TC2018	Type du trait de côte	***TC_TYPE***	Texte	*ARTIFICIEL* *ARTIFICIELACCES* *ARTIFICIELFIXE* *DUNE* *DUNEACCES* *FALAISEMEUBLE* *FALAISEROCHEUSE* *FERMETURE* *FLECHELITTORALE* *MARAIS* *MEUBLE*
*_TC2018	Niveau de protection	***PROTECTION***	Entier Court	Le nom de la photographie aérienne de 1944 utilisée dans la numérisation. Composé de la lettre A, le numéro de la ligne de vol, d'un Tiret bas '_' et du numéro de la photo. Ex. A7387_37
*_TC2018	Comportement lors des projections	***FIXE***	Entier Court	***0*** : Mobile dans les projections ***1*** : fixe dans les projections car protégé
*_TC2018	Longueur du vecteur	***Shape_len***	Double	Longueur du vecteur en mètres.

ANNEXE 3 – Description des attributs des transects

FIELD	TYPE	DESCRIPTION
FID	Object ID	Identifiant unique généré automatiquement par Arc Map.
Shape	Géométrie	Généré automatiquement par Arc Map. Valeur : Polyligne
TransOrder	Long	L'ordre des transects tels qu'ils ont été créés.
TCTYPE1944	Texte (25 Chr)	Type du trait de côte de 1944 qui intersecte le transect. (Voir les métadonnées des traits de côte pour une description complète des valeurs utilisées).
TCTYPE2018	Texte (25 Chr)	Type du trait de côte de 2018 qui intersecte le transect. (Voir les métadonnées des traits de côte pour une description complète des valeurs utilisées).
PROTECTION	Entier court	0 : Trait de côte de 2018 qui intersecte le transect n'est pas protégé par une structure artificielle. 1 : Trait de côte de 2018 qui intersecte le transect est protégé par une structure artificielle.
FIXE	Entier court	0 : Le trait de côte de 2018 qui intersecte le transect n'est pas maintenu fixe dans les projections. 1 : Le trait de côte de 2018 qui intersecte le transect est maintenu fixe dans les projections.
EXCLUSION	Entier court	0 : Le transect n'est pas exclu du calcul du taux de changement moyen du secteur homogène auquel il appartient. 1 : Le transect est exclu du calcul du taux de changement moyen du secteur homogène auquel il appartient.
EPR	Double	Le EPR ou *End Point Rate* (mètres/année) correspond au taux de changement du transect individuel. Il est obtenu par la division de la distance de mouvement du trait de côte par le nombre d'années utilisées dans l'étude (2018 – 1944).
SCE	Double	Le SCE ou *Shoreline Change Envelope* correspond à la distance réelle (en mètres) de mouvement du trait de côte entre les deux dates utilisées dans l'étude.

NSM	Double	Le NSM ou *Net Shoreline Movement* (en mètres) correspond à la distance de mouvement entre le trait de côte le plus ancien (1944) et le trait de côte le plus récent (2018). Une valeur de NSM négative correspond à un phénomène d'érosion, tandis qu'une valeur positive correspond à un phénomène d'accrétion.
SECTEUR	Texte	Nom du secteur à évolution homogène auquel appartient le transect en question. Le nom de secteur constitue une concaténation entre une série de lettres qui représente le nom de la localité, suivi d'un chiffre pour distinguer les différents secteurs d'une même localité et éventuellement la lettre F pour indiquer si le secteur est maintenu fixe dans les projections. EX1 : PR1 –> Petit Rocher – secteur 1 EX2 : PV11F –> Pointe Verte – secteur 11 – fixe dans les projections.

ANNEXE 4 – Taux moyens du changement de la position du trait de côte

Les tableaux suivants montrent les taux moyens de changement de la position du trait de côte par secteur à évolution homogène.

Tableau I. Taux moyens de la position du trait de côte par secteur à évolution homogène dans la municipalité de Petit-Rocher.

Zone	Secteur	Longueur (m)	Taux moyen (m/an)
Petit-Rocher	PR_PORT	838	S.O.
Petit-Rocher	PR1	77	0.00
Petit-Rocher	PR2	163	-0.07
Petit-Rocher	PR3F	117	0.00
Petit-Rocher	PR4	110	-0.07
Petit-Rocher	PR5	65	-0.02
Petit-Rocher	PR6	130	-0.05
Petit-Rocher	PR7	156	-0.13
Petit-Rocher	PR8	125	-0.03
Petit-Rocher	PR9	135	-0.06
Petit-Rocher	PR10	364	-0.01
Petit-Rocher	PR11	312	0.00
Petit-Rocher	PR12	407	-0.08
Petit-Rocher	PR13F	127	0.00
Petit-Rocher	PR14	78	-0.07
Petit-Rocher	PR15F	853	0.00
Petit-Rocher	PR16	129	-0.03
Petit-Rocher	PR17	471	-0.03
Petit-Rocher	PR18	233	-0.05
Petit-Rocher	PR19	237	-0.04
Petit-Rocher	PR20	307	0.05

Tableau II. Taux moyens de la position du trait de côte par secteur à évolution homogène dans la municipalité de Petit-Rocher Nord.

Zone	Secteur	Longueur (m)	Taux moyen (m/an)
Petit-Rocher Nord	PRN1	259	-0.07
Petit-Rocher Nord	PRN2F	130	0.00
Petit-Rocher Nord	PRN3	208	-0.01
Petit-Rocher Nord	PRN4	269	0.06
Petit-Rocher Nord	PRN5	144	-0.23
Petit-Rocher Nord	PRN6	173	-0.13
Petit-Rocher Nord	PRN7	346	-0.09
Petit-Rocher Nord	PRN8	497	0.00
Petit-Rocher Nord	PRN9	322	-0.05
Petit-Rocher Nord	PRN10F	236	0.00
Petit-Rocher Nord	PRN11	84	-0.05
Petit-Rocher Nord	PRN12	72	0.03
Petit-Rocher Nord	PRN13	125	0.00
Petit-Rocher Nord	PRN14	245	-0.03
Petit-Rocher Nord	PRN15	199	0.01
Petit-Rocher Nord	PRN16	1045	-0.06
Petit-Rocher Nord	PRN17	269	-0.01
Petit-Rocher Nord	PRN18	512	0.02

Tableau III. Taux moyens de la position du trait de côte par secteur à évolution homogène dans la municipalité de Petit-Rocher Sud.

Zone	Secteur	Longueur (m)	Taux moyen (m/an)
Petit Rocher Sud	PRS1	53	-0.05
Petit Rocher Sud	PRS2F	64	0.00
Petit Rocher Sud	PRS3	421	-0.05
Petit Rocher Sud	PRS4F	223	0.00
Petit Rocher Sud	PRS5	134	-0.03
Petit Rocher Sud	PRS6F	1011	0.00
Petit Rocher Sud	PRS7	390	-0.05

Tableau IV. Taux moyens de la position du trait de côte par secteur à évolution homogène dans la municipalité de Pointe Verte.

Zone	Secteur	Longueur (m)	Taux moyen (m/an)
Pointe Verte	PV_PORT	761	S.O.
Pointe Verte	PV1	1058	-0.02
Pointe Verte	PV2	298	0.01
Pointe Verte	PV3	151	-0.04
Pointe Verte	PV4	248	-0.17
Pointe Verte	PV5	389	-0.05
Pointe Verte	PV6	192	-0.11
Pointe Verte	PV7F	316	0.01
Pointe Verte	PV8	148	-0.05
Pointe Verte	PV9	81	-0.13
Pointe Verte	PV10	608	-0.06
Pointe Verte	PV11	302	-0.14
Pointe Verte	PV12	574	-0.30
Pointe Verte	PV13	582	-0.18
Pointe Verte	PV14	203	-0.14
Pointe Verte	PV15	146	-0.06
Pointe Verte	PV16	559	-0.17
Pointe Verte	PV17	483	-0.06
Pointe Verte	PV19	1013	-0.06