Projet FFENB # 140151
Production de données sur l'érosion et prévision de l'évolution du littoral

Rapport final du projet

UNIVERSITÉ DE MONCTON, CAMPUS DE MONCTON :

Meher Chelbi
Valerie Clement
Serge Jolicoeur
Stéphane O'Carroll (aussi Géo Littoral Consultants)
Michaël St-Pierre

MINISTÈRE DE L'ÉNERGIE ET MINES (BATHURST) :

Dominique Bérubé

30 avril 2015

Préambule

Depuis 2012, la Ville de Tracadie-Sheila est engagée dans un processus visant le développement d'un *Plan d'adaptation aux changements climatiques*, qui devrait permettre de mieux adapter la municipalité aux risques côtiers que représentent l'érosion et la submersion marines pour les biens (infrastructures publiques comprises) et les personnes. Dans sa *Planification stratégique 2015-2019*, la Municipalité régionale de Tracadie identifiait la protection de l'environnement comme un de ses buts stratégiques, deux des objectifs associés étant de *créer un plan d'adaptation aux changements climatiques* et d'*assurer la protection du littoral et des dunes* . Ce qu'il est maintenant convenu d'appeler le Grand Tracadie-Sheila veut donc accroître sa capacité de planification en s'assurant de disposer des outils nécessaires pour aider les décideurs face à l'adaptation aux changements climatiques sur le territoire municipal, comprenant le front de mer sur le Golfe du Saint-Laurent, les côtes des baies de Tracadie et de Tabusintac et les rives des estuaires des Grande et Petite rivières Tracadie.

Le projet « Production de données sur l'érosion et prévision de l'évolution du littoral » de l'UMCM est associé au projet « Évaluation de la vulnérabilité de la région de Tracadie-Sheila aux changements climatiques », soumis au FFENB en 2013 par la Ville de Tracadie-Sheila, les deux constituant la deuxième phase de la démarche vers la préparation d'un *Plan d'adaptation* municipal. Il adopte pour partie celle qui avait été développée dans le cadre d'un projet pilote dans trois municipalités de la Péninsule acadienne (Jolicoeur et O'Carroll, 2012 ; Robichaud *et al*, 2011). Il s'agissait là aussi d'augmenter le potentiel d'adaptation des collectivités côtières du Nouveau-Brunswick face à la hausse du niveau marin, grâce au développement d'outils d'aide à la décision en regard des prévisions relatives à l'*érosion côtière* et aux risques de *submersion marine* au cours du 21e siècle, notamment face aux *infrastructures*. Le même type de produits finis est prévu dans le présent projet (Simard *et al*, 2015), à l'intention des responsables de la planification durable, de l'aménagement du territoire et des mesures d'urgence sur le territoire du Grand Tracadie-Sheila.

La contribution du Département d'histoire et de géographie de l'Université de Moncton, à travers le projet # 140151, correspond au travail de photogrammétrie et de cartographie associé à la mesure de l'érosion et au développement de scénarios du déplacement du trait de côte d'ici 2100. Elle inclut aussi un examen préliminaire des conditions susceptibles d'affecter l'évolution du système de flèches littorales et d'îles-barrières du territoire municipal.

Plan du rapport

Préambule 2
Liste des figures 5
Liste des tableaux 7
Liste des annexes 8
Contenu du DVD 9

Introduction : le mandat 10

1. Travaux préalables

1.1 Sélection des photographies 12
1.2 Numérisation des photographies 12
1.3 Géocodage des photographies 12

2. Cartographie de la zone côtière

2.1 Limites-repère (trait de côte et ligne de rivage) 15
2.2 Attributs assignés aux informations dans les fichiers SIG 16

3. Calcul du taux de déplacement du trait de côte

3.1 Calcul des taux 17
3.1.1 Marge d'erreur des mesures 17
3.1.2 Période considérée 18
3.1.3 Territoire considéré 18
3.2 Établissement des transects avec le module DSAS 21
3.3 *Banque de données de taux d'érosion du Nouveau-Brunswick* (MÉ&M) 22

4. Établissement de scénarios de la position future du trait de côte

4.1 Développement des scénarios 23
4.1.1 Segmentation du linéaire côtier et projection dans l'avenir 23
4.2 Réserve et avertissement 25

5. Interprétation préliminaire des résultats

5.1 Aperçu général des tendances du déplacement de la côte dans le territoire du Grand Tracadie-Sheila entre 1944 et 2012 26
5.2 Tendances du déplacement de la côte dans les différents secteurs du Grand Tracadie-Sheila entre 1944 et 2012 28
5.2.1 Le linéaire côtier faisant face au Golfe du Saint-Laurent 28

5.2.2 Le linéaire côtier des baies de Tracadie et de Tabusintac 29
5.2.3 Le linéaire côtier des estuaires des Petite et Grande rivières Tracadie 32
5.3 Tendances du déplacement par type de côte dans les différents secteurs du Grand Tracadie-Sheila entre 1944 et 2012 36
5.3.1 Le linéaire côtier faisant face au Golfe du Saint-Laurent 36
5.3.2 Le linéaire côtier des baies de Tracadie et de Tabusintac 36
5.3.3 Le linéaire côtier des estuaires des Petite et Grande rivières Tracadie 39
5.4 Considérations préliminaires relativement aux endroits problématiques du point de vue du risque d'érosion côtière 41

6. L'évolution récente et prévisible du système de flèches littorales et d'îles-barrières 45

6.1 Objectifs et terminologie 45
6.2 Bref aperçu du dynamisme des flèches littorales et des îles-barrières 47
6.2.1 Dynamique côtière et hausse du niveau marin relatif 48
6.3 Quelques travaux antérieurs réalisés dans le sud du Golfe du Saint-Laurent 50
6.4 Avis et recommandations préliminaires, données requises 55

Conclusion 60

Références bibliographiques 62
Annexes 66

Liste des figures

1. Localisation du territoire de Grand Tracadie-Sheila 11

2. A. Photographies de 1944 consultées pour cette étude 13
   B. Positionnement final des photographies aériennes de 1944 utilisées 14

3. Division du secteur à l'étude (secteurs « BTr », « EPT », « EGT » et « BTa ») 19

4. A. Tests du déplacement de la rive entre 1944 et 2012 dans deux sites-témoins des estuaires 20
   B. Secteurs estuariens exclus de l'étude à la suite des tests sur deux sites-témoins 20

5. A. Capture d'écran de la barre d'outils du module *DSAS* 21
   B. Exemple de ligne de référence et de transects (module *DSAS*) 21

6. Segmentation du linéaire côtier : centre de Tracadie et environs 24

7. Tendance du déplacement de la côte par segments côtiers dans la baie de Tabusintac (« BTa ») entre 1944 et 2012 29

8. Tendance du déplacement de la côte par segments côtiers dans la baie de Tracadie (« BTr ») entre 1944 et 2012 31

9. Tendance du déplacement de la côte par segments côtiers dans l'estuaire de la Petite rivière Tracadie (« EPT ») entre 1944 et 2012 34

10. Tendance du déplacement de la côte par segments côtiers dans l'estuaire de la Grande rivière Tracadie(« EGT ») entre 1944 et 2012 35

11. Segment EPT 36 (rue de la Pointe à Bouleau, Pointe-à-Bouleau, Quartier 8) 41

12. Segment EGT 1 (rue Beauséjour, Pointe-à-Bouleau, Quartier 8) 42

13. Segment EGT 58 (chemin Fournier, Rivière-du-Portage-Tracadie Beach, Quartier 5) 42

14. Segment EGT 80 (ouest du quai, Val-Comeau, Quartier 5) 43

15. Segment EPT 3 (rue Leroyer, Tracadie, Quartier 7) 44

16. Terminologie employée dans cette section 46

17. Variation saisonnière du profil dunes/plage/avant-plage (Paskoff, 1998) 47

18. Île-barrière et transferts sableux vers l'arrière (Armon, 1979) 49

19. Recul d'une île-barrière par construction d'un delta de flot (Armon et McCann, 1979) 50

20. Hausse du niveau marin relatif et migration des habitats côtiers entre 1944 et 2012 à Rivière-du-Portage 52

21. Évolution du système de flèche littorale et d'îles-barrières de Tabusintac-Néguac entre 1945 et 1976 (McCann, 1979) 53

22. Ancien goulet près de la Pointe à Bouleau, en 1977 (Reinson, 1980) 54

23. Système de flèches littorales et d'îles-barrières de la baie de Tracadie et des deux estuaires, en 1977 (Reinson, 1980) 54

24. Système de flèches littorales et d'îles-barrières de la baie de Tracadie et des deux estuaires, en 1974 (Reinson, 1980) 56

Liste des tableaux

1. Répartition des transects individuels selon la tendance observée (1944-2012)
   1.1 Ensemble des transects du linéaire côtier municipal 25
   1.2 Transects du linéaire côtier faisant face au Golfe du Saint-Laurent 27
   1.3 Transects du linéaire côtier de la baie de Tracadie 29
   1.4 Transects du linéaire côtier de la baie de Tabusintac 29
   1.5 Transects du linéaire côtier de l'estuaire de la Petite rivière Tracadie 32
   1.6 Transects du linéaire côtier de l'estuaire de la Grande rivière Tracadie 32

2. Répartition des transects individuels selon la tendance observée, par secteurs et par types de côte (1944-2012)
   2.1 Transects du linéaire côtier de la baie de Tracadie 36
   2.2 Transects du linéaire côtier de la baie de Tabusintac 37
   2.3 Transects du linéaire côtier de l'estuaire de la Petite rivière Tracadie 38
   2.4 Transects du linéaire côtier de l'estuaire de la Grande rivière Tracadie 39

3. Taux moyen de déplacement et de variation de la largeur des flèches littorales et îles-barrières du Grand Tracadie entre 1944 et 2012 57

Liste des annexes

Annexe 1
Informations sur les photographies aériennes de 1944 utilisées 48

Annexe 2
Notice explicative des éléments et attributs assignés à l'information cartographiée dans les fichiers SIG
A. Carte « Tracadie TCS 2012 » (*CARIS GIS* 4.5) [Segmentation du trait de côte de 2012] 51
B. Description des attributs des autres cartes (*ArcGIS* 10.2.2) 52

Contenu du DVD

Rapport du volet « Érosion » du Projet # 140151 (ce rapport)

Planches de taux d'érosion (Ressources naturelles Nouveau-Brunswick)
- Planche 2004-12A (Tracadie, dune, 1944-1974-2002)
- Planche 2004-12B (Tracadie, plage, 1944-1974-2002)
- Planche 2004-13A (Rivière-du-Portage, dune, 1944-1974-2002)
- Planche 2004-13B (Rivière-du-Portage, plage, 1944-1974-2002)

Dossier « Excel »
- Fichier des mesures de taux d'érosion et de calcul des scénarios de la position future du trait de côte (« GRAND_TRACADIE-SHEILA_Taux_par_segments_150331 »)

Dossier « Photographies aériennes de 1944 »
- Photographies géoréférencées dans *ArcGIS 10.2.2*[1]
- Photographies orthorectifiées dans *Caris GIS 4.5*[2]

Dossier « SIG »
- Cartographie du trait de côte de 1944
- Cartographie du trait de côte de 2012
- Cartographie de la ligne de référence et des transects générés avec le module *DSAS* (dans *ArcGIS* 10.2.2) pour la mesure de l'érosion
- Carte de localisation des segments côtiers utilisés pour le développement des scénarios de la position du trait de côte au XXIe siècle (PDF)
- Cartographie des segments côtiers utilisés pour le développement des scénarios de la position du trait de côte au XXIe siècle (*Caris GIS 4.5*)
- Scénarios de la position du trait de côte en 2030, en 2050 et en 2100

[1] Les métadonnées du processus de géoréférencement (informations sur le positionnement des points d'ancrage ou « GCP ») est inclus dans les fichiers des photographies géoréférencés.
[2] Les métadonnées du processus d'orthorectification de chaque orthophoto sont incluses dans un fichier RTF.

Introduction : le mandat

Le projet #140151 soumis au *Fonds de fiducie pour l'environnement du Nouveau-Brunswick* s'insère dans une démarche visant le développement d'un Plan d'adaptation aux changements climatiques pour le Grand Tracadie-Sheila. L'objectif ultime du projet est de produire un outil géomatique d'aide à la décision renseignant sur l'exposition aux risques côtiers d'érosion et de submersion marines, dans le but de favoriser des décisions d'aménagement du territoire et de planification urbaine conformes au développement durable de la zone côtière et de pouvoir planifier les mesures d'urgence en cas d'événements extrêmes (tempêtes). Pour y arriver, plusieurs partenaires sont intervenus à différentes étapes du projet (Daigle, 2014 ; ce rapport ; Simard *et al*, 2015).

Le mandat spécifique de l'équipe du projet #140151 concernait des travaux de photogrammétrie et de cartographie en rapport avec le risque d'érosion côtière. Plus précisément, et tenant compte des modifications apportées en cours de projet, nous étions responsables :

(1) de la cartographie du trait de côte ou de la ligne de rivage (voir la section 2.1) dans la municipalité (fig. 1) pour les années 1944 et 2012, à l'aide d'un SIG [3];

(2) du calcul du taux annuel de moyen déplacement du trait de côte[4] le long du linéaire côtier de la municipalité entre 1944 et 2012;

(3) du développement de scénarios de déplacement de la position du trait de côte aux échéances temporelles de 2030, 2050 et 2100, à partir des taux calculés en (2) ;

(4) de la rédaction du présent rapport.

À noter que les outils d'aide à la décision mentionnés plus haut sont des livrables associés aux travaux de *GeoMediatix*, présentés dans un rapport distinct (Simard *et al*, 2015) qui est associé au projet « Évaluation de la vulnérabilité de la région de Tracadie-Sheila aux changements climatiques ».

[3] Cette étape a nécessité un travail préalable de photogrammétrie (géoréférencement de photographies aériennes et production d'orthophotographies), décrit dans la section 1 de ce rapport.
[4] Caractérisé par une érosion (recul du trait de côte), une progradation (avancée du trait de côte) ou une « stabilité apparente » (impossibilité de détecter une tendance au recul ou à l'avancée).

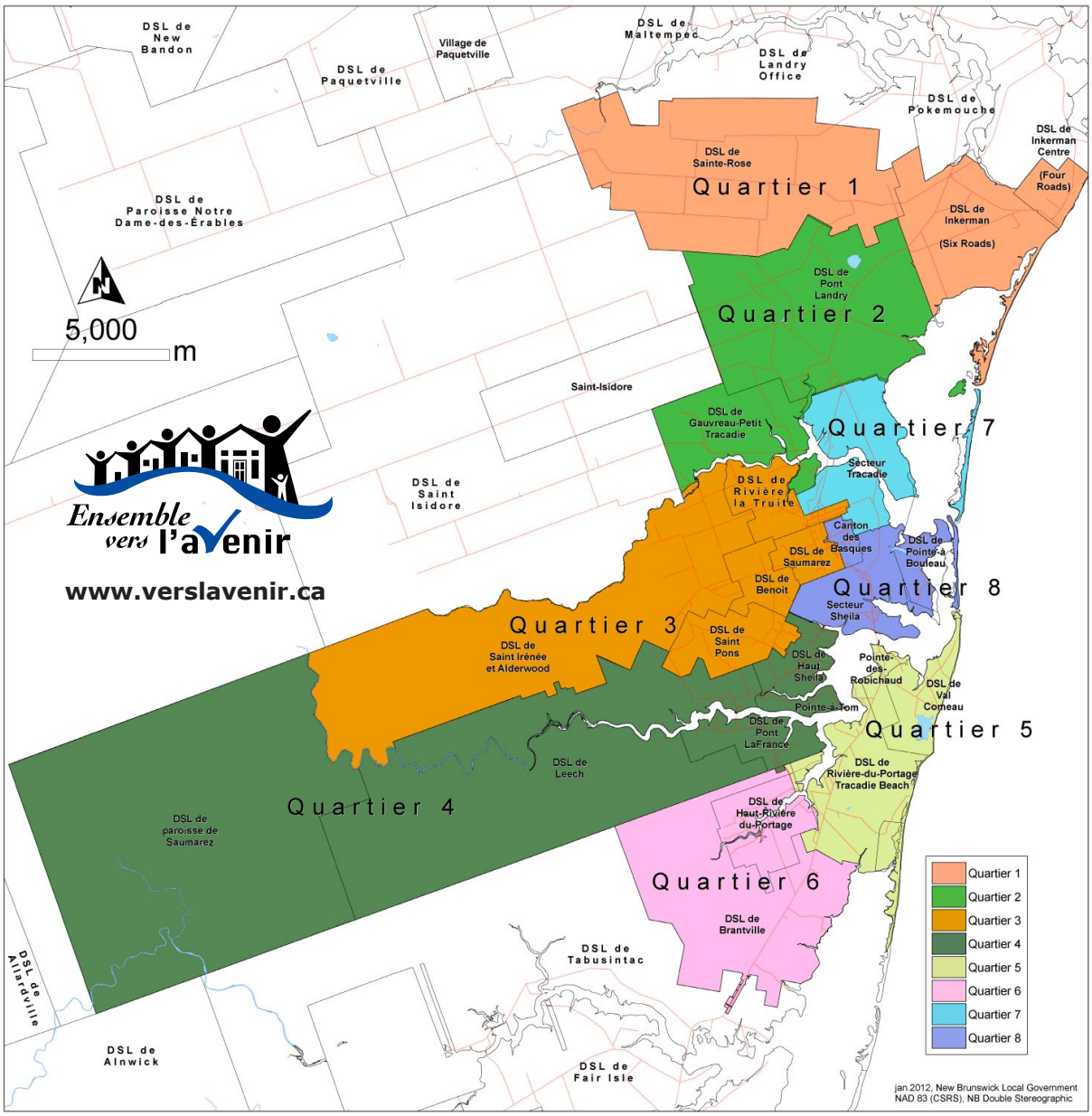


FIGURE 1
LOCALISATION DU TERRITOIRE DU GRAND TRACADIE-SHEILA

1. Travaux préalables

1.1 Sélection des photographies de 1944

Pour déterminer les photographies aériennes de 1944 nécessaires à la cartographie des secteurs (fig. 2A), les cartes-index des lignes de vol des séries disponibles ont été consultées sur Internet et en personne, à la photothèque du Ministère des Ressources naturelles (MRN, Fredericton) et à la Photothèque nationale de l'air (Ottawa). La figure 2B montre les versions orthorectifiées et/ou géoréférencées produites à partir des photographies retenues pour cette étude.

À noter qu'à cause de la couverture incomplète du territoire dans un secteur du quartier 8, une petite partie de la cartographie a été réalisée à partir de la série aérienne de 1974[5].

1.2 Numérisation des photographies

La démarche photogrammétrique retenue prévoyait la numérisation des images à une résolution uniforme (1800 pixels par pouce ou *ppp*[6]), ce qui correspond à une résolution finale moyenne au sol de 0,27 m de côté par pixel. L'Annexe 1 donne certaines informations sur les photographies retenues et leur numérisation.

1.3 Orthorectification et géoréférencement des photographies

Les photographies aériennes de 1944 incluant les points fiduciaires (17 photographies) ont été transformées en orthophotographies dans *Caris GIS 4.5*. Cette étape requiert la prise en compte des paramètres de prise de vue (distance focale, voir l'annexe 1) et la construction d'un modèle numérique de terrain (MNT). Ce dernier a été construit à partir des fichiers xyz de la BDTNB98, disponibles sur le site de Service Nouveau-Brunswick. Ces photographies ont été orthorectifiées et géoréférencées à partir de points d'ancrage identifiés à la fois sur les images numérisées et sur la série d'orthophotographies produite en 2012 par *Leading Edge Geomatics*. Les marges d'erreur du positionnement des éléments cartographiés sont donc relatives à ces orthophotographies.

Dans le cas où les points fiduciaires n'apparaissaient pas sur les photographies (12 photographies), seul un traitement de géoréférencement a été effectué, dans *ArcGIS* 10.2.

Pour chacune des 29 photographies, le nombre de points d'ancrage utilisés varie selon les photographies et leur densité est toujours plus élevée dans et près de la zone côtière, objet d'étude du projet. Les valeurs de la qualité du positionnement qui sont indiquées dans les fichiers RTF (orthophotos) et dans les fichiers des photographies géoréférencées s'appliquent donc principalement à la zone côtière, ces valeurs diminuant lorsque l'on s'en éloigne (vers l'intérieur des terres).

---

[5] Série NB74, ligne 513, pour un secteur de la rue des Chalets (segment EGT 30, transects nos 2842 à 2859, voir les sections 3.2 et 4.1.1 et le fichier Excel « Grand Tracadie-Sheila_Taux par segments_150331 »).
[6] *dpi* en anglais.

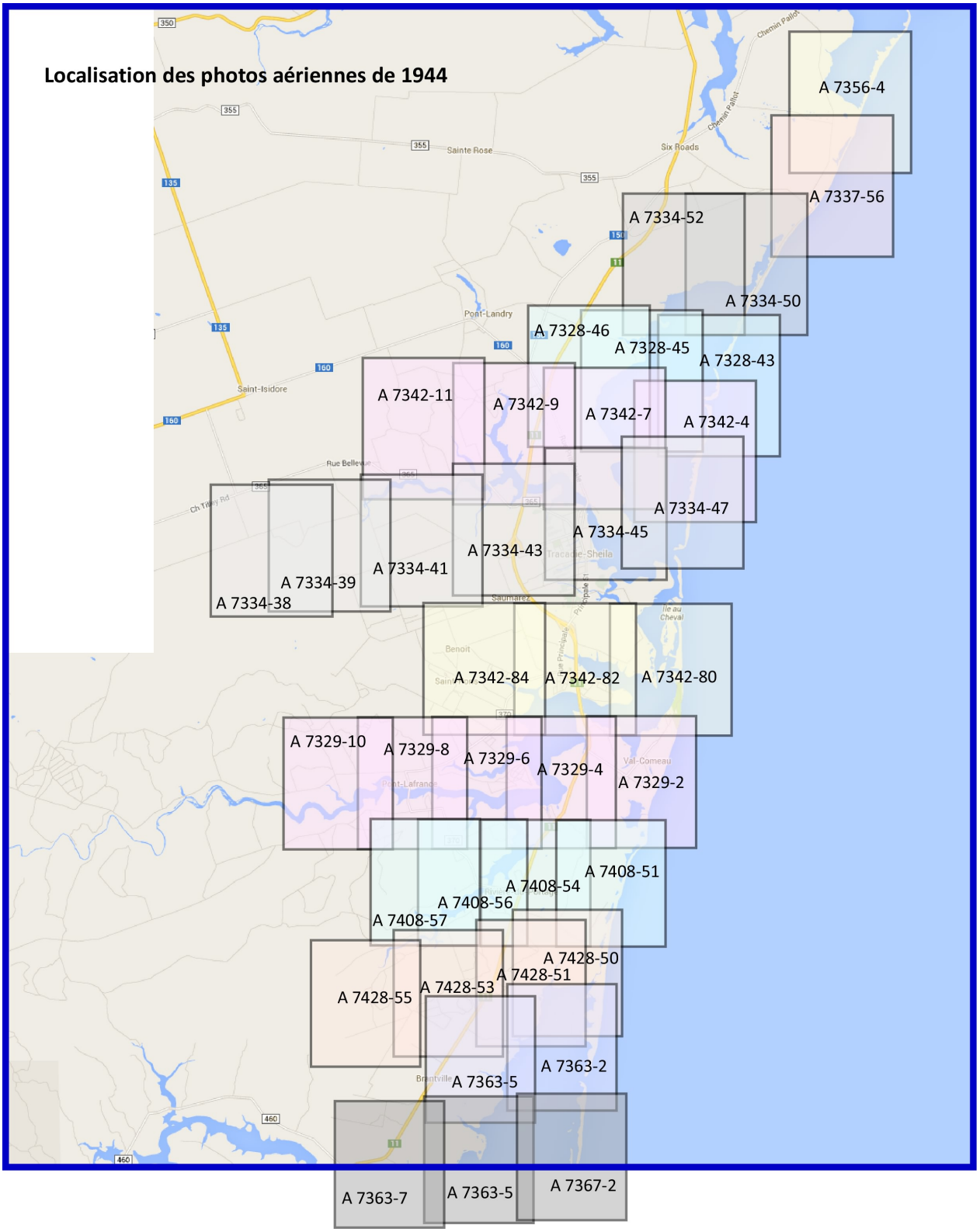


Figure 2A
PHOTOGRAPHIES DE 1944 CONSULTÉES POUR CETTE ÉTUDE

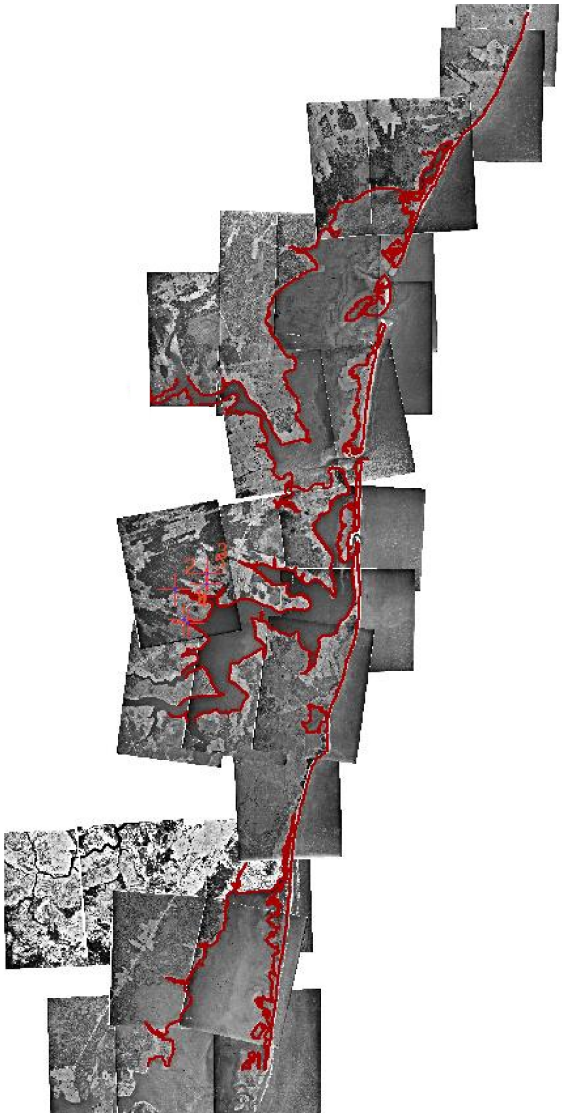


FIGURE 2B
POSITIONNEMENT FINAL DES PHOTOGRAPHIES AÉRIENNES DE 1944 UTILISÉES

2. Cartographie de la zone côtière

2.1 Limites-repères (trait de côte et ligne de rivage)

Pour le calcul de taux de déplacement de la côte (et le développement de scénarios du déplacement de ce trait de côte au cours du XXIe siècle), le principal vecteur à cartographier est le *trait de côte* (aussi parfois nommé *ligne de côte* dans les documents du MRN). C'est la limite-repère la plus communément utilisée pour le calcul de taux d'érosion au Nouveau-Brunswick.

Le **trait de côte** est souvent mis en relation avec la PMSGM (*pleine mer supérieure, grande marée*). Pour les besoins de la cartographie de la zone côtière toutefois, c'est une limite-repère correspondant par convention à différents éléments du littoral qu'il est facile d'identifier de façon fiable sur les photographies aériennes, quel que soit le photo-interprète ou la série de photographies (quoique dans le cas de photographies de moins bonne qualité, la fiabilité du positionnement de cette limite puisse évidemment être inférieure).

Sur les photographies aériennes, et pour les types de côte observés dans la région à l'étude, on a positionné le trait de côte aux endroits suivants :

(a) côte sableuse (présence de dunes littorales) : limite de l'ammophile à ligule courte (*Ammophila breviligulata*), dans le cas d'un front dunaire à profil régulier ; sommet de la falaise dunaire, dans le cas d'un front dunaire taillé en falaise ;
(b) côte à falaise: sommet de la falaise ;
(c) côte à marais : limite externe (côté de la mer) de la partie haute du marais, correspondant à la limite externe de la distribution de la spartine pectinée [*Spartina pectinata*]) et/ou à une rupture de pente.

Dans les faits, si les cas (a) et (b) ne présentent généralement pas de problème, le positionnement du trait de côte dans les marais est souvent rendu difficile, voire aléatoire, pour différentes raisons : la texture et la couleur de la végétation dépendent beaucoup de la saison à laquelle les photographies ont été prises, et en présence de dépôts de zostère marine (*Zostera marina*), la limite peut être difficile ou impossible à localiser, etc. En conséquence, pour les marais il est courant de préférer utiliser la *ligne de rivage* comme limite-repère pour étudier le déplacement de la côte.

La **ligne de rivage** (souvent mise en relation avec avec la PMMGM, *pleine mer moyenne, grande marée*) correspond, dans le cas des marais, à la limite externe du schorre (limite entre la partie végétalisée du marais et la vasière, ou slikke). Bien que le problème associé aux dépôts de zostère puisse se présenter dans ce cas aussi, c'est une limite-repère généralement facile à positionner et donc plus fiable pour le calcul du déplacement de la côte.

2.2 Attributs assignés aux informations dans les fichiers SIG

La structure des fichiers *Caris GIS* et *ArcGIS* est fondée sur la désignation d'un attribut à tout élément ajouté au fichier (vecteur, texte, symbole). Dans *Caris GIS* on peut aussi effectuer des regroupements des éléments dans différents *User Numbers* et *Source IDs*. La liste et la définition des *User Numbers*, des attributs et des *Source IDs* des fichiers *Caris GIS* et *ArcGIS* se retrouvent à l'Annexe 2.

3. Calcul du taux de déplacement du trait de côte

3.1 Calcul des taux annuels

Les taux de déplacement du trait de côte (ou de la ligne de rivage dans le cas des marais) ont été calculés selon la méthode habituelle du MRN, soit par la mesure de la distance entre deux positions du trait de côte dans le temps, puis par division de cette distance par le nombre d'années séparant les deux positions. La mesure et le calcul sont effectués le long de transects tracés perpendiculairement au trait de côte le plus récent (2012 dans ce cas). Les 5572 transects de la présente étude étaient espacés de 20 m les uns des autres. Voir la section 3.2 pour plus de détails.

3.1.1 Marge d'erreur

Chaque mesure de distance entre deux éléments dans un SIG comporte une marge d'erreur. Le calcul de cette marge a été incorporé au fichier « Grand Tracadie-Sheila_Taux par segments_150331 ». Il comprend les éléments suivants :

(1) l'écart du positionnement des photographies géoréférencées et des orthophotographies de 1944 produites dans le cadre du projet, relativement aux orthophotographies de 2012;
(2) la taille au sol du pixel des images (de 0,27 m pour les photographies géoréférencées dans *ArcGIS* 10.2 et de 0,5 m pour les photographies orthorectifiées dans *Caris GIS* 4.5; 0,3 m pour l'orthophotographie de 2012);
(3) la qualité de l'identification des éléments cartographiés, telle qu'elle peut être affectée par celle de l'image (grain, surexposition, etc.) : les valeurs accordées aux différentes séries aériennes ont été de 0,9 m (2012) et 2 m (1944) ;
(4) la taille de la maille des fichiers SIG dans le cas des orthophotos produites dans *Caris GIS* 4.5 (0,05 m)

Par exemple, au transect no 2 (segment no G0[7], sur la côte du golfe dans le quartier 1, la marge d'erreur maximale associée à la mesure de la distance entre la position du trait de côte de 1944 et la position de celui de 2012 correspond à :

(1) 0,83 m (qualité du géocodage de la photographie A7356-4) + 0 m (géocodage de l'orthophotographie de 2012 no O2626000-7626000[8])+ (2) 0,27 m + 0,3 m (taille au sol des pixels des deux images) + (3) 2 m + 0,9 m (qualité respective des deux images) = 4,3 m.

Reportée sur la période de 1944 à 2012 (68 ans), cette marge est de ± 0,06 m/an[9].

Les distances brutes mesurées et taux annuels calculés peuvent correspondre à trois cas possibles : il y a recul ou avancée du trait de côte dans le temps (distance et taux supérieurs

[7] Voir la section 4.1.1.
[8] L'orthophotographie de 2012 étant prise comme référence, la qualité de son géocodage est fixée à « 0 m », toutes les marges d'erreur lui étant relatives.
[9] Cette marge varie de 0,06 à 0,09 m/an pour l'ensemble des mesures calculées sur la période 1944-2012.

à la marge d'erreur) ou « stabilité apparente » (distance et taux égaux ou inférieurs à la marge d'erreur). Dans les fichiers Excel, ces situations ont été soulignées par la couleur des cellules : rouge dans le cas d'un recul, verte dans le cas d'une avancée et blanche (sans couleur) dans le cas d'une « stabilité apparente ».

Pour le calcul de taux d'érosion, on distingue les cas où le trait de côte est en conditions naturelles (absence de remblaiement ou de structures, incluant les ouvrages de protection contre l'érosion côtière) et celui où il y a eu artificialisation. Dans les fichiers Excel, les cellules des transects où la côte était artificielle en 1944 ou en 2012 ont été colorées en jaune.

3.1.2 Période considérée

Comme c'est généralement le cas dans les études comprenant le calcul de taux d'érosion du Ministère de l'Énergie et des Mines, on a cherché à calculer les taux sur la plus longue période possible, pour obtenir la tendance à long terme de l'évolution de la côte. La série de photographies aériennes de 1944 a donc été retenue, ce qui donne des taux traduisant la tendance du déplacement du trait de côte entre 1944 et 2012, soit sur une période de 68 ans[10].

3.1.3 Territoire considéré

Le linéaire côtier a été divisé en cinq secteurs géographiques pour les besoins de cette étude : le linéaire côtier du Golfe du Saint-Laurent, d'une part, puis, du nord au sud, la baie de Tracadie, l'estuaire de la Petite rivière Tracadie, l'estuaire de la Grande rivière Tracadie et la partie nord de la baie de Tabusintac (figure 3).

La partie estuarienne des Petite et Grande rivières Tracadie constituant une longueur de côte très importante du secteur d'étude, nous avons cherché à déterminer s'il était justifié de géocoder les photographies et de cartographier le linéaire côtier de ces estuaires dans leur partie amont dans le cadre du projet. Un test pilote a été tenté dans deux sites-témoins, où les traits de côte de 1944 et de 2012 ont été cartographiés et superposés, et des mesures du déplacement du trait de côte ont été prises le long de transects (55 transects au total).

Dans les deux sites, l'un le long de la Petite rivière Tracadie (quartiers 7 et 2 – DSL de Gauvreau-Petit-Tracadie) et l'autre le long de la rivière du Portage (quartiers 5 et 6), sauf pour certaines mesures ponctuelles et peu nombreuses, le taux de déplacement du trait de côte est toujours en-deçà de la marge d'erreur, ce qui ne permet pas d'établir de tendance (fig. 4A). À noter par ailleurs que la question se pose de la dynamique d'évolution des rives dans la partie amont de ces estuaires : les processus côtiers y laissant graduellement la place aux processus fluviaux et continentaux, la projection du déplacement des rives ne de-

[10] À noter que les taux de 1944 à 2012 ne donnent pas d'information sur d'éventuelles tendances variables (accélération, ralentissement, inversion de l'érosion ou de la progradation du trait de côte) qui ont pu se succéder sur des périodes plus courtes pendant cette période (voir la section 4.2).

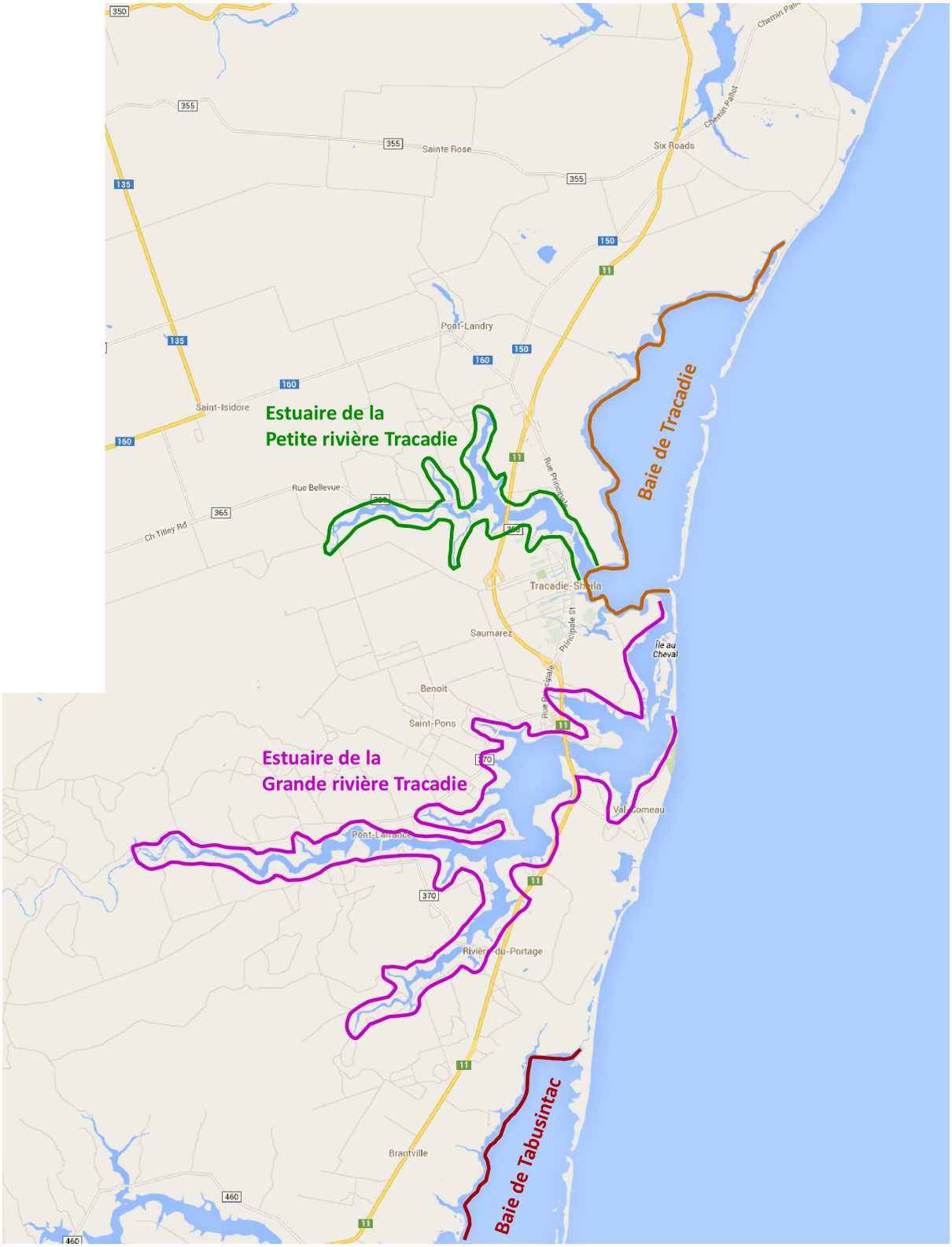


FIGURE 3
DIVISION DU TERRITOIRE À L'ÉTUDE (SECTEURS « BTR », « EPT », « EGT » ET « BTA »)

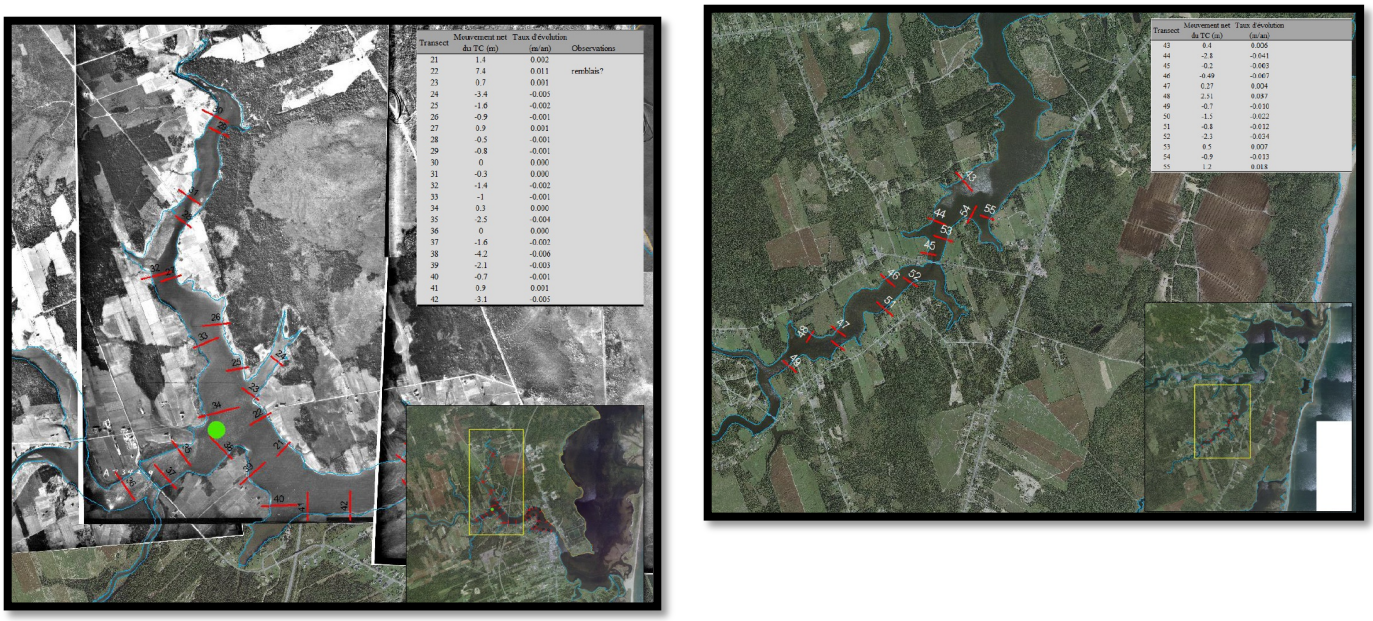


FIGURE 4A
TESTS DU DÉPLACEMENT DE LA RIVE ENTRE 1944 ET 2012 DANS DEUX SITES-TÉMOINS DES ESTUAIRES

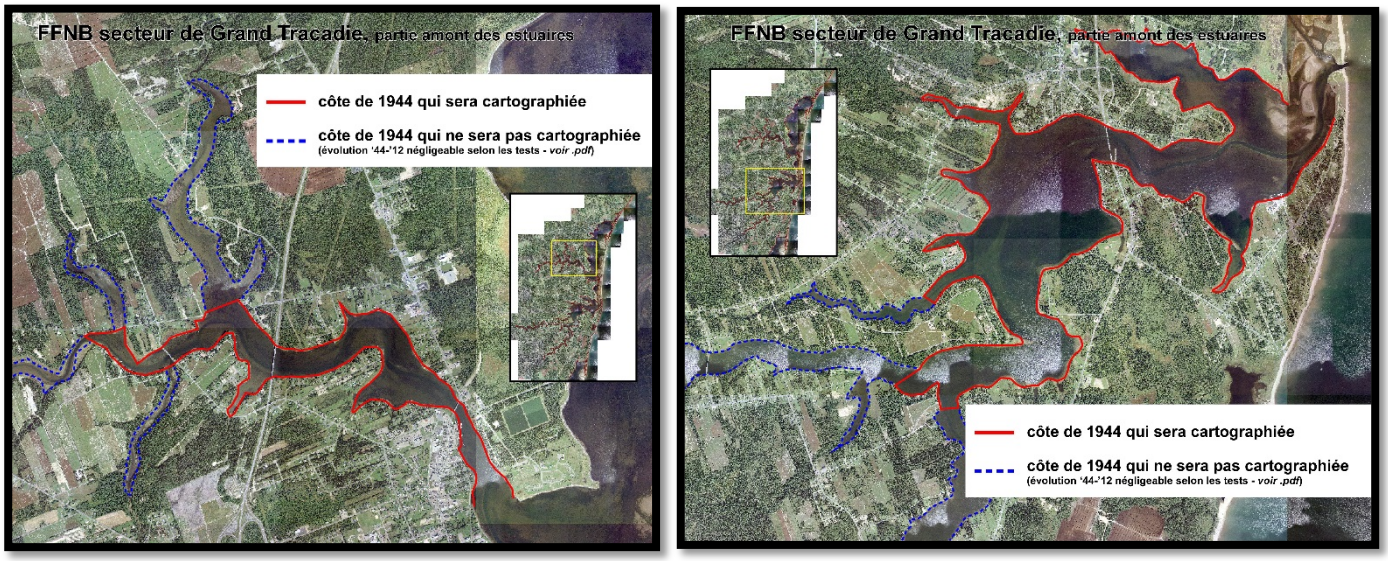


FIGURE 4B
SECTEURS ESTUARIENS EXCLUS DE L'ÉTUDE À LA SUITE DES TESTS SUR DEUX SITES-TÉMOINS

vrait sans doute pas y être conçue strictement comme elle l'est en milieu maritime. Nous avons donc exclu la partie amont des deux estuaires de la cartographie, des mesures et du développement des scénarios d'évolution de la côte (fig. 4B).

3.2 Établissement des transects avec le module *DSAS*

La quantification du changement de la position du trait de côte a été effectuée dans l'extension *Digital Shoreline Analysis System 4.3* (DSAS) (Thieler et al., 2009), intégrable dans *ArcGIS*. Disposant d'une interface graphique facilitant l'utilisation (fig. 5A), ce module permet d'exploiter des bases de données géoréférencées sur les traits de côte préalablement numérisés sous format vectoriel, afin de calculer les taux historiques du changement de la position du trait de côte.

FIGURE 5A
CAPTURE D'ÉCRAN DE LA BARRE D'OUTILS DU MODULE *DSAS*

L'utilisation du module *DSAS* nécessite la numérisation d'une ligne de référence, parallèle à l'allure générale du trait de côte le plus récent, qui sert à générer automatiquement des transects perpendiculaires au trait de côte avec un espacement prédéfini (fig. 5B, illustrant la démarche pour une étude similaire dans la Ville de Bathurst).

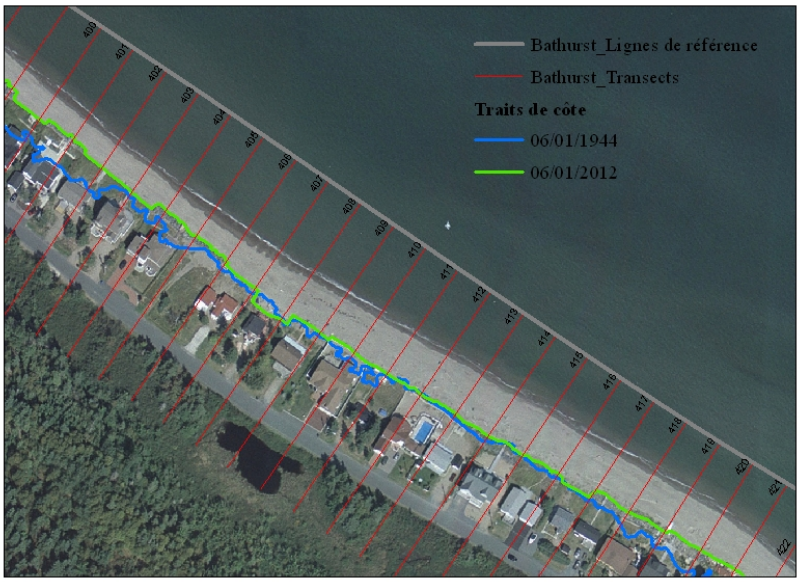


FIGURE 5B
EXEMPLE DE LIGNE DE RÉFÉRENCE ET DE TRANSECTS (MODULE *DSAS*)

La liste des données d'entrée nécessaires à l'exécution du module est composée des éléments suivants:

- Une *shapefile* contenant un minimum de deux traits de côte correspondant chacun à une date particulière et dont la table d'attributs suit le format préconisé par le manuel d'utilisateur de *DSAS*.
- Une *shapefile* correspondant à la ligne de référence utilisée pour générer les transects. Ce fichier peut contenir une seule ligne continue ou un ensemble de segments. L'utilisateur doit indiquer dans la table d'attributs si les vecteurs en question se trouvent du côté mer ou du côté terre par rapport au trait de côte.
- L'espacement entre les transects au niveau de la ligne de référence ainsi que la longueur de chaque transect.

On a ainsi généré des transects perpendiculaires au trait de côte à tous les 20 m, ce qui a permis au module de mesurer les distances entre les différents traits de côte le long de chaque transect et de calculer différents paramètres statistiques permettant de quantifier le déplacement du trait de côte. Parmi la panoplie de paramètres statistiques pouvant être calculés par le module *DSAS*, on retiendra ici les deux suivants:

- Le *Net Shoreline Movement* (NSM)[11] ou le mouvement net du trait de côte, qui désigne la ***distance*** en mètres entre deux traits de côte (dans ce projet, les traits de côte de 1944 et de 2012).
- Le *End Point Rate* (EPR)[12], qui constitue le rapport de la distance entre le trait de côte le plus ancien et le plus récent sur le temps écoulé entre les deux dates. Il représente donc le ***taux de changement moyen annuel*** de la période la plus longue[13].

Les résultats statistiques sont générés en mètres dans une table d'attributs qu'il faut joindre manuellement à la *shapefile* des transects afin de pouvoir visualiser les résultats sur la carte.

3.3 *Banque de données de taux d'érosion du Nouveau-Brunswick* (MRN)

Les données du fichier Excel « Grand Tracadie-Sheila_Taux par segments_150331 » ont été ajoutées à la *Banque de données sur les taux d'érosion du Nouveau-Brunswick*, tenue par le Ministère de l'Énergie et des Mines (Bathurst). Elles pourront donc éventuellement être visualisées sur le site *GeoNB* de Service Nouveau-Brunswick.

[11] Colonne « F » dans le fichier Excel « Grand Tracadie-Sheila_Taux par segments_150331 ».
[12] Colonne « H » dans le fichier Excel « Grand Tracadie-Sheila_Taux par segments_150331 ».
[13] Une autre valeur qui peut être calculée avec le module est le *Linear Regression Rate-of-change* (LRR), qui représente la valeur de la pente de la droite générée par la régression linéaire des mesures de distance de tous les points d'intersection de chaque transect en fonction des années des traits de côtes utilisés dans l'analyse. Cette mesure est intéressante dans le cas, non applicable pour cette étude, où on utilise plus de deux traits de côte (plus de deux années d'observation), car elle représente alors la tendance moyenne de l'évolution du trait de côte.

4. Développement de scénarios de la position future du trait de côte

4.1 Développement des scénarios

Pour les besoins d'une planification durable de la zone côtière prenant en compte le risque lié à l'érosion côtière, notre mandat était de développer des scénarios de la position future de la côte à l'horizon temporel de 2030, 2050 et 2100. *Geomediatix Innovations Inc.*, dans le cadre du projet « Évaluation de la vulnérabilité de la région de Tracadie-Sheila aux changements climatiques », a par la suite utilisé ces scénarios pour déterminer le degré de risque posé aux infrastructures par l'érosion côtière (Simard *et al*, 2015).

Les scénarios de la position future de la côte concernent principalement le trait de côte, sauf au droit des marais (ligne de rivage). Ils sont fondés sur des taux annuels moyens calculés à partir du déplacement de la côte entre 1944 et 2012, en conditions naturelles[14]. En ce sens, ce sont des taux que l'on peut qualifier de « conservateurs » puisqu'ils correspondent à une période pendant laquelle la hausse du niveau marin a été moins importante que ce qui est annoncé entre 2012 et 2100 (Daigle, 2014). Ce choix a tout de même été retenu puisque les scénarios sont fondés sur une évolution observée, l'alternative ayant été de modéliser l'évolution de la côte à partir de différents facteurs en rapport avec la topographie de la zone littorale, la nature géologique des terrains, la présence d'une dérive littorale, les conditions hydrodynamiques à la côte, etc. Cette seconde démarche exige de nombreux types de données et fait appel à des postulats et à des relations mathématiques qu'il faudrait valider localement. Pour les besoins du développement de plans tels que le *Plan d'adaptation* du Grand Tracadie-Sheila, des scénarios conservateurs développés à partir du taux de déplacement historique de la côte sont couramment utilisés (MATE, METL, 1997). Ils permettent d'apprécier le risque lié à l'érosion côtière d'ici 2100 dans la municipalité.

4.1.1 Segmentation du linéaire côtier et projection dans l'avenir

Pour établir les scénarios de la position de la côte dans l'avenir, le tracé du trait de côte de 2012 a été divisé en segments côtiers montrant une évolution d'ensemble homogène pendant la période considérée (fig. 6). La côte a ainsi été divisée en 201 segments[15] (voir le dossier « GT_Segmentation » dans le dossier « SIG » du DVD, et le fichier « Grand Tracadie-Sheila_Taux par segments_150331 » dans le dossier « Excel »).

---

[14] Les scénarios incluent donc des segments maintenus fixes jusqu'en 2100, où l'on juge que le maintien de la côte dans sa position actuelle sera souhaité, et des segments mobiles, dont le déplacement correspond au taux observé en conditions naturelles entre 1944 et 2012, projeté sur 18 ans (2030), 38 ans (2050) et 88 ans (2100). Dans le cas où des structures de protection existent en 2012, le déplacement estimé ne tient donc pas compte de l'effet de ces structures , ni depuis leur installation non plus que d'ici la fin de leur durée de vie utile. Aucun scénario sur les choix futurs de maintien, de remplacement et d'ajout de telles structures n'a été tenté dans cette étude.

[15] Sans compter le linéaire côtier non inclus dans les scénarios (voir la section 3.1.3 et plus bas). Il y a ainsi 5 segments faisant face au Golfe du Saint-Laurent, 49 segments dans les baies de Tracadie et de Tabusintac et 147 segments dans les estuaires des deux rivières Tracadie.

Là où le trait de côte de 2012 était très irrégulier dans le détail, on a dû le redessiner, de façon à réduire ces irrégularités. C'est alors ce trait de côte « lissé » qui a par la suite éventuellement été projeté vers l'avant (progradation) ou vers l'arrière (érosion), selon le taux de déplacement annuel moyen local de la période 1944-2012.

Pour chaque segment, le déplacement dans l'avenir correspond à la moyenne des taux annuels moyens de déplacement des transects individuels situés dans ce segment, multipliée par le nombre d'années d'ici l'horizon temporel choisi. Par exemple, le segment EPT 1 (fig. 6) correspond aux transects nos 1299 à 1336, dont le taux de déplacement moyen a été de +0,07 ± 0,09 m/an entre 1944 et 2012. Ce taux indique une « stabilité apparente » de la côte puisque le déplacement mesuré est inférieur à la marge d'erreur. Par contre, le segment BTr 31, situé juste à l'est, montre un déplacement moyen de -0,27 ± 0,09 m/an, ce qui correspondrait à un recul moyen de la côte de 4,86 (± 1,62) mètres d'ici 2030 si ce rythme se maintenant.

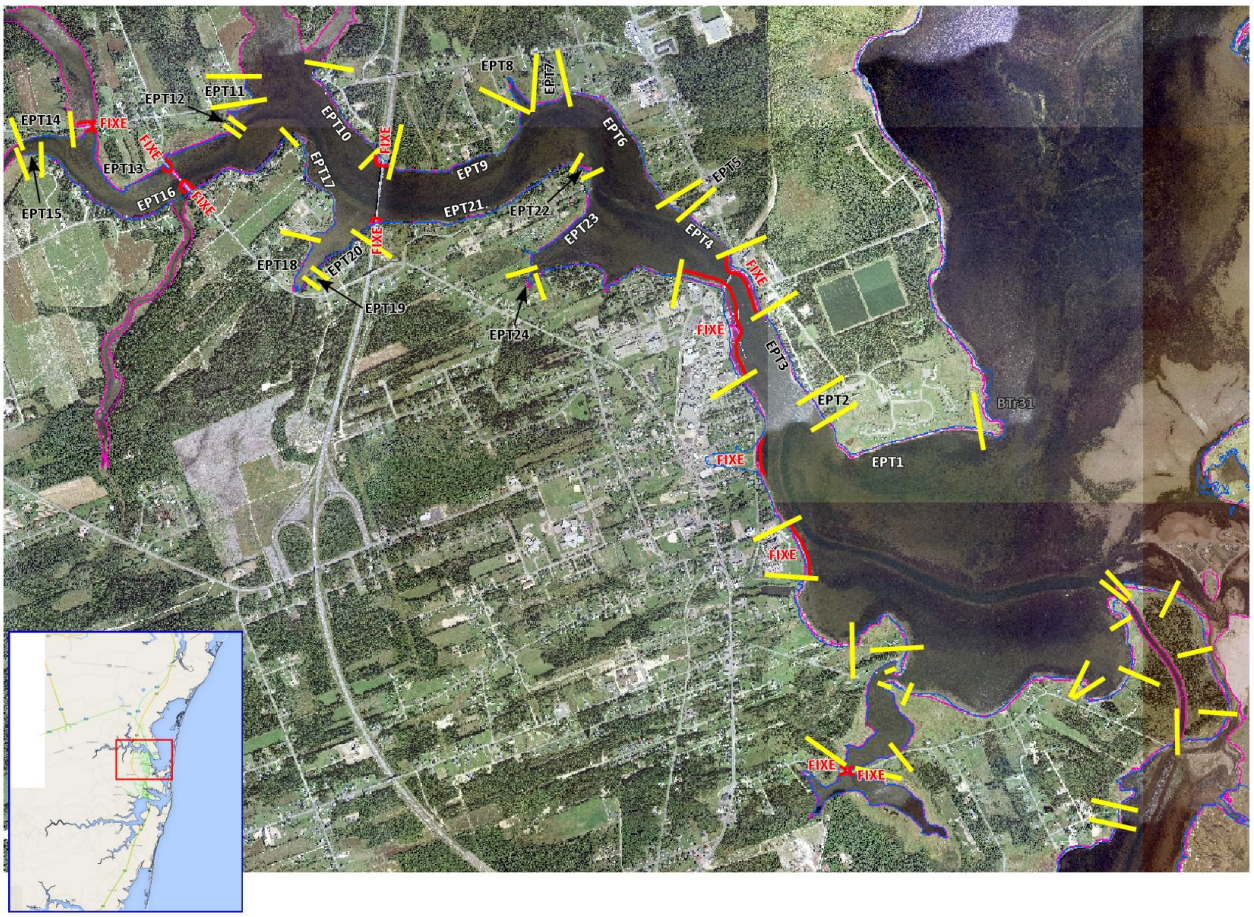


FIGURE 6
SEGMENTATION DU LINÉAIRE CÔTIER : CENTRE DE TRACADIE ET ENVIRONS

Certains segments côtiers ont été jugés fixes ou stables dans les scénarios de la position future de la côte (fig. 6 et fichier « GT_Segmentation » du dossier « SIG » du DVD). En effet,

en l'absence d'indication ou d'études prospectives prévoyant les décisions qui seront prises concernant les infrastructures publiques dans la municipalité (ponts, ponts-chaussée, structures de protection de secteurs densément urbanisés, installations portuaires) d'ici l'an 2100, on a postulé qu'il serait décidé de les maintenir dans leur position actuelle.

Pour le scénario de 2030, dans le cas de taux moyens correspondant à une « stabilité apparente » de la côte (taux inférieurs à la marge d'erreur, voir la section 3.1.1), la position du trait de côte et de la ligne de rivage (marais) de 2012 a tout de même été modifiée dans les scénarios en tenant compte des taux calculés (plutôt qu'en postulant une valeur de 0 m/an). Cette décision nous a semblé justifiée dans la mesure où il ne s'agit jamais d'un déplacement important (par exemple, 1,62 m au maximum d'ici 2030).

Pour le scénario de 2050, tout segment dont le taux moyen de déplacement sur la période 1944-2012 ne dépassait pas 0,02 mm/an a été maintenu fixe. Cette valeur, de toute façon située en dessous de la marge d'erreur, correspond à une avancée ou à un recul moyen de 0,76 m, ce qui ne nous a pas semblé significatif sur une période de 38 ans.

Pour le scénario de 2100, tout segment dont le taux moyen annuel de déplacement était en dessous de 0,05 mm/an sur la période 1944-2012 a été maintenu fixe. Cette valeur, de toute façon située en dessous de la marge d'erreur, correspond à une avancée ou à un recul moyen de 4,4 m, ce qui ne nous a pas semblé significatif sur une période de 88 ans.

Dans les scénarios, les segments côtiers adjacents qui ont été projetés vers l'avant (progradation) ou vers l'arrière (recul) selon des taux moyens de déplacement différents ont été raccordés les uns aux autres par des lignes au tracé arbitraire. Il est d'ailleurs important de noter que les scénarios (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**. D'autres réserves relatives aux scénarios sont présentées à la section suivante.

4.2 Réserve et avertissement

Au-delà de leur caractère « conservateur », les scénarios de déplacement du trait de côte développés dans le cadre de cette étude ne constituent qu'une première approximation. L'objectif de ces scénarios est d'obtenir un ordre de grandeur du déplacement éventuel de la côte d'ici 2100 si son évolution se poursuivait à un rythme semblable à celui observé entre 1944 et 2012. Ils permettent d'identifier certains endroits de la municipalité où des développements actuels ou futurs pourraient se retrouver en situation exposée, mais il faut garder en tête que la hausse du niveau marin et la réduction de la période du couvert de glace saisonnier prévues au XXIe siècle (GIEC, 2013 ; Daigle, 2014) devraient se traduire par une accélération des processus côtiers tels que l'érosion et la progradation. La position du trait de côte (et de la ligne de rivage des marais) des scénarios de 2030, 2050 et 2100 pourrait donc être dépassée et il serait prudent de les considérer en tenant compte d'une certaine marge de sûreté lorsque des bâtiments ou infrastructures en sont ou en seraient trop près.

5. Interprétation préliminaire des résultats

5.1 Aperçu général des tendances du déplacement de la côte dans le territoire du Grand Tracadie-Sheila entre 1944 et 2012

Le linéaire côtier du Grand Tracadie-Sheila peut être divisé en trois types de milieux du point de vue de l'énergie reçue à la côte[16] : la côte faisant face au Golfe du Saint-Laurent (segments « G » du fichier « Grand Tracadie-Sheila_Taux par segments_150331 » du DVD), où l'on peut observer les vagues les plus hautes sur le territoire lorsque le temps est mauvais, les baies de Tracadie et de Tabusintac (segments « BTr » et « BTa »), protégées par les flèches et îles-barrières et où les vagues sont moins fortes dans l'ensemble, et finalement les estuaires des Petite et Grande rivières Tracadie (segments « EPT » et « EGT »).

Tendance observée	Nombre de transects[17]	Déplacement moyen entre 1944 et 2012 (m)	Taux annuel moyen (m/an)
Avancée du trait de côte	214[18] (5,2%)	**+16,5 ± 5,1[19]**	**+0,25 ± 0,08**
Stabilité apparente	**1888**[19] (45,5%)	-1,2 ± 5,1	-0,02 ± 0,08
Recul du trait de côte	1474[19] (35,5%)	**-32,9 ± 5,1**	**-0,48 ± 0,07**
Transects avec présence de structures de protection	574 (13,8%)	+0,26 ± 5,5	*n/a*[20]
	4150		

Tableau 1.1 RÉPARTITION DES TRANSECTS INDIVIDUELS SELON LA TENDANCE OBSERVÉE (1944-2012) : ENSEMBLE DES TRANSECTS DU LINÉAIRE CÔTIER MUNICIPAL.

Le calcul des taux d'érosion fait apparaître cette division, mais si l'on prend d'abord l'ensemble des taux (tabl. 1.1), ce qui ressort est l'importance des transects où aucune tendance au recul ou à l'avancée de la côte n'a pu être détectée entre 1944 et 2012, soit

[16] Le terme « rive » est sans doute plus approprié dans le cas de la section amont des estuaires.
[17] Les transects des segments maintenus fixes dans les scénarios (voir la section 4.1.1 et le fichier « GT_Segmentation » du dossier « SIG » du DVD) n'ont pas été comptabilisés.
[18] Transects en conditions naturelles seulement.
[19] Les valeurs concluantes (supérieures à la marge d'erreur) sont indiquées en gras.
[20] Le taux annuel moyen ne traduit généralement pas la réalité (déplacement progressif fictif) d'un trait de côte artificialisé: mieux vaut y retenir la valeur brute du déplacement entre 1944 et 2012.

1888 transects (52,8% des taux calculés en conditions naturelles, c'est-à-dire en l'absence de structure artificielle à la côte en 1944 ou en 2012). Bien que ce résultat pourrait cacher des tendances nettes au recul et à l'avancée sur de plus petites périodes comprises entre 1944 et 2012, il est peu probable que ce soit le cas sinon ponctuellement et ce résultat est jugé représentatif de la situation : le risque d'érosion côtière n'a pas été chronique pendant ces 68 années sur une grande partie du territoire municipal. Il n'en demeure pas moins que le trait de côte montre un recul sur 1474 transects (41,2% des taux calculés en conditions naturelles), à un rythme annuel moyen de -48 ± 7 cm. La localisation de ces secteurs en érosion sera précisée dans les sections suivantes.

13,8% du linéaire côtier de la municipalité était artificialisé en 2012, ce qui inclut tant les structures « institutionnelles » et publiques que les ouvrages privés de protection contre les risques côtiers.

5.2 Tendances du déplacement de la côte dans les différents secteurs du Grand Tracadie-Sheila entre 1944 et 2012

Dans cette section, nous présentons les données du tableau 1.1 pour chacun des cinq secteurs précisés à la section 3.1.3.

5.2.1 Le linéaire côtier faisant face au Golfe du Saint-Laurent[21]

Mis à part le segment G0, situé à la limite nord de la municipalité, la côte sableuse faisant face au Golfe du Saint-Laurent est en recul prononcé, au rythme annuel moyen de -1,1 ± 0,08 m (tabl. 1.2). On y retrouve par contre peu d'aménagements : à part les jetées d'accès au chenal menant à l'estuaire de la Grande rivière Tracadie, seule la présence d'habitations sur la côte à Val Comeau (Quartier 5) et à Four Roads (Quartier 1) a provoqué une artificialisation du linéaire côtier.

Tendance observée	Nombre de transects[22]	Déplacement moyen entre 1944 et 2012 (m)	Taux annuel moyen (m/an)
Avancée du trait de côte	44 (8,7%)	**+33,2 ± 5**[23]	**+0,49 ± 0,07**
Stabilité apparente	60 (11,9%)	-1,1 ± 5,2	-0,02 ± 0,08
Recul du trait de côte	**357** (70,6%)	**-62 ± 5,4**	**-0,91 ± 0,08**
Transects avec présence de structures de protection ou de remblaiement	44 (8,7%)	**-22,4 ± 5,2**	*n/a*[24]
	505		

Tableau 1.2: RÉPARTITION DES TRANSECTS INDIVIDUELS SELON LA TENDANCE OBSERVÉE (1944-2012) : TRANSECTS DU LINÉAIRE CÔTIER FAISANT FACE AU GOLFE DU SAINT-LAURENT[25]

[21] Cette section ne traite pas des flèches littorales et des îles-barrières, qui sont l'objet de la section 6. Elle ne concerne que les segments G0, G1, G2 et G3, inclus dans les scénarios.
[22] Les transects des segments maintenus fixes dans les scénarios (voir la section 4.1.1 et le fichier « GT_Segmentation » du dossier « SIG » du DVD) n'ont pas été comptabilisés.
[23] Les valeurs concluantes (supérieures à la marge d'erreur) sont indiquées en gras.
[24] Le taux annuel moyen ne traduit généralement pas la réalité (déplacement progressif fictif) d'un trait de côte artificialisé: mieux vaut retenir la valeur brute du déplacement entre 1944 et 2012.
[25] N'inclut que les segments inclus dans les scénarios. N'inclut pas la rive arrière des flèches et îles-barrières.

5.2.2 Le linéaire côtier des baies de Tracadie et de Tabusintac[26]

La côte des baies du Grand Tracadie-Sheila est peu occupée : 1,8% (13) des transects de la baie de Tracadie (tabl. 1.3) et 0,3% (1) de ceux du nord de la baie de Tabusintac (tabl. 1.4) correspondent à un trait de côte artificialisé. La côte y évolue donc essentiellement en conditions naturelles, la tendance entre 1944 et 2012 ayant principalement été la stabilité apparente (51%, BTr; 36,5%, BTa) et au recul (43,9%, BTr; 54,8%, BTa). À noter les taux de recul annuel moyens nettement moins élevés que ceux de la côte faisant face au golfe : -0,21 ± 0,07 m (BTr) et -0,25 ± 0,06 m/an (BTa) contre -1,1 ± 0,08 m (tabl. 1.2).

Si on exprime la tendance du déplacement de la côte par celle des segments côtiers ayant montré une évolution d'ensemble homogène entre 1944 et 2012, le nord de la baie de Tabusintac inclut huit segments en stabilité apparente, sept segments en recul et un segment (BTa1) en progradation pendant cette période (fig. 7)[27], alors que la baie de Tracadie inclut dix-huit segments en stabilité apparente et treize segments en recul (fig. 8).

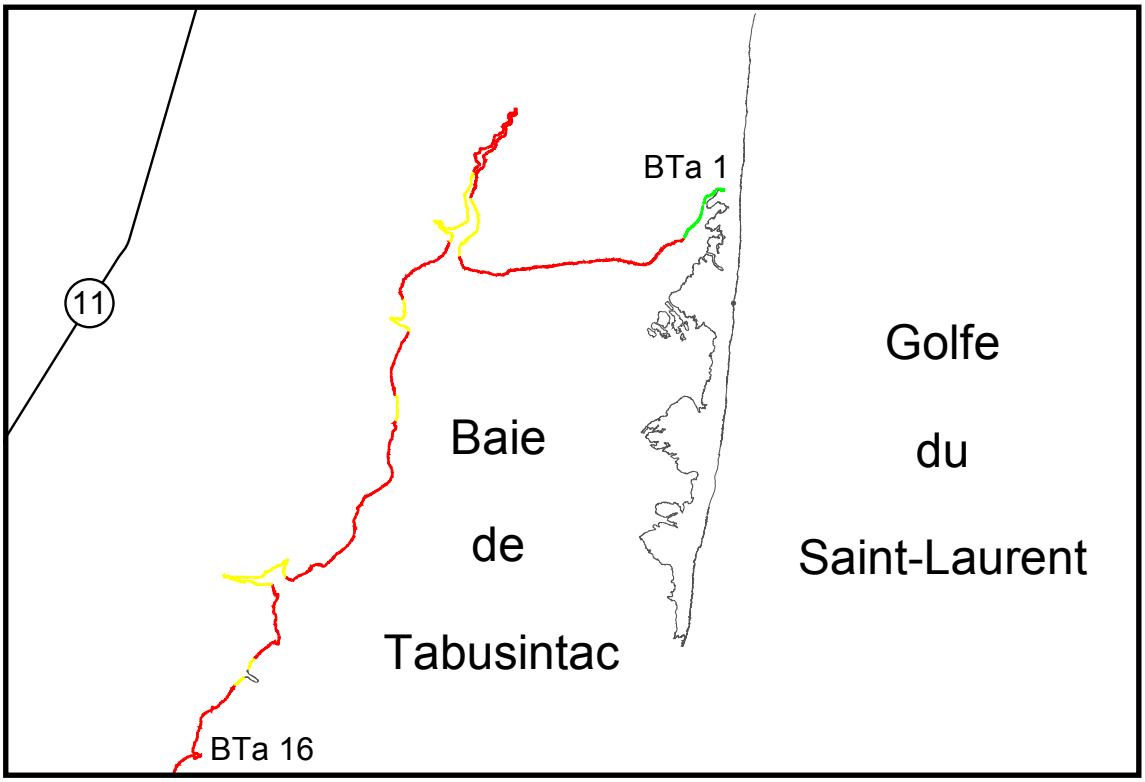


Figure 7. TENDANCE DU DÉPLACEMENT DE LA CÔTE PAR SEGMENTS CÔTIERS DANS LA BAIE DE TABUSINTAC (« BTA ») ENTRE 1944 ET 2012
(jaune : stabilité apparente (8); rouge : recul (7); vert : avancée (1); gris : segments fixes, hors-scénarios et hors BTa)

[26] Cette section ne traite pas des flèches littorales et des îles-barrières, qui sont l'objet de la section 6.
[27] La tendance d'un segment côtier à évolution d'ensemble homogène est déterminée par le taux moyen calculé à partir des taux de tous les transects individuels qui s'y retrouvent (que ces transects indiquent une avancée, une stabilité ou un recul du trait de côte ponctuel).

Tendance observée	Nombre de transects[28]	Déplacement moyen entre 1944 et 2012 (m)	Taux annuel moyen (m/an)
Avancée du trait de côte	24 (3,3%)	**+11,5 ± 5**[29]	**+0,17 ± 0,07**
Stabilité apparente	**365** (51%)	-1,4 ± 4,7	-0,02 ± 0,07
Recul du trait de côte	314 (43,9%)	**-14,4 ± 4,7**	**-0,21 ± 0,07**
Transects avec présence de structures de protection ou de remblaiement	13 (1,8%)	-3,8 ± 4,5	*n/a*[30]
	716		

Tableau 1.3 : RÉPARTITION DES TRANSECTS INDIVIDUELS SELON LA TENDANCE OBSERVÉE (1944-2012) : TRANSECTS DU LINÉAIRE CÔTIER DE LA BAIE DE TRACADIE[31]

Tendance observée	Nombre de Transects[29]	Déplacement moyen entre 1944 et 2012 (m)	Taux annuel moyen (m/an)
Avancée du trait de côte	27 (8,4%)	**+7,7 ± 4,3**[30]	**+0,11 ± 0,06**
Stabilité apparente	118 (36,5%)	-0,9 ± 4,3	-0,01 ± 0,06
Recul du trait de côte	**177** (54,8%)	**-17 ± 4,3**	**-0,25 ± 0,06**
Transects avec présence de structures de protection ou de remblaiement	1 (0,3%)	-22 ± 4,7	*n/a*[31]
	323		

Tableau 1.4 : RÉPARTITION DES TRANSECTS INDIVIDUELS SELON LA TENDANCE OBSERVÉE (1944-2012) : TRANSECTS DU LINÉAIRE CÔTIER DE LA BAIE DE TABUSINTAC[31]

[28] Les transects des segments maintenus fixes dans les scénarios (voir la section 4.1.1 et le fichier « GT_Segmentation » du dossier « SIG » du DVD) n'ont pas été comptabilisés.
[29] Les valeurs concluantes (supérieures à la marge d'erreur) sont indiquées en gras.
[30] Le taux annuel moyen ne traduit généralement pas la réalité (déplacement progressif fictif) d'un trait de côte artificialisé: mieux vaut retenir la valeur brute du déplacement entre 1944 et 2012.

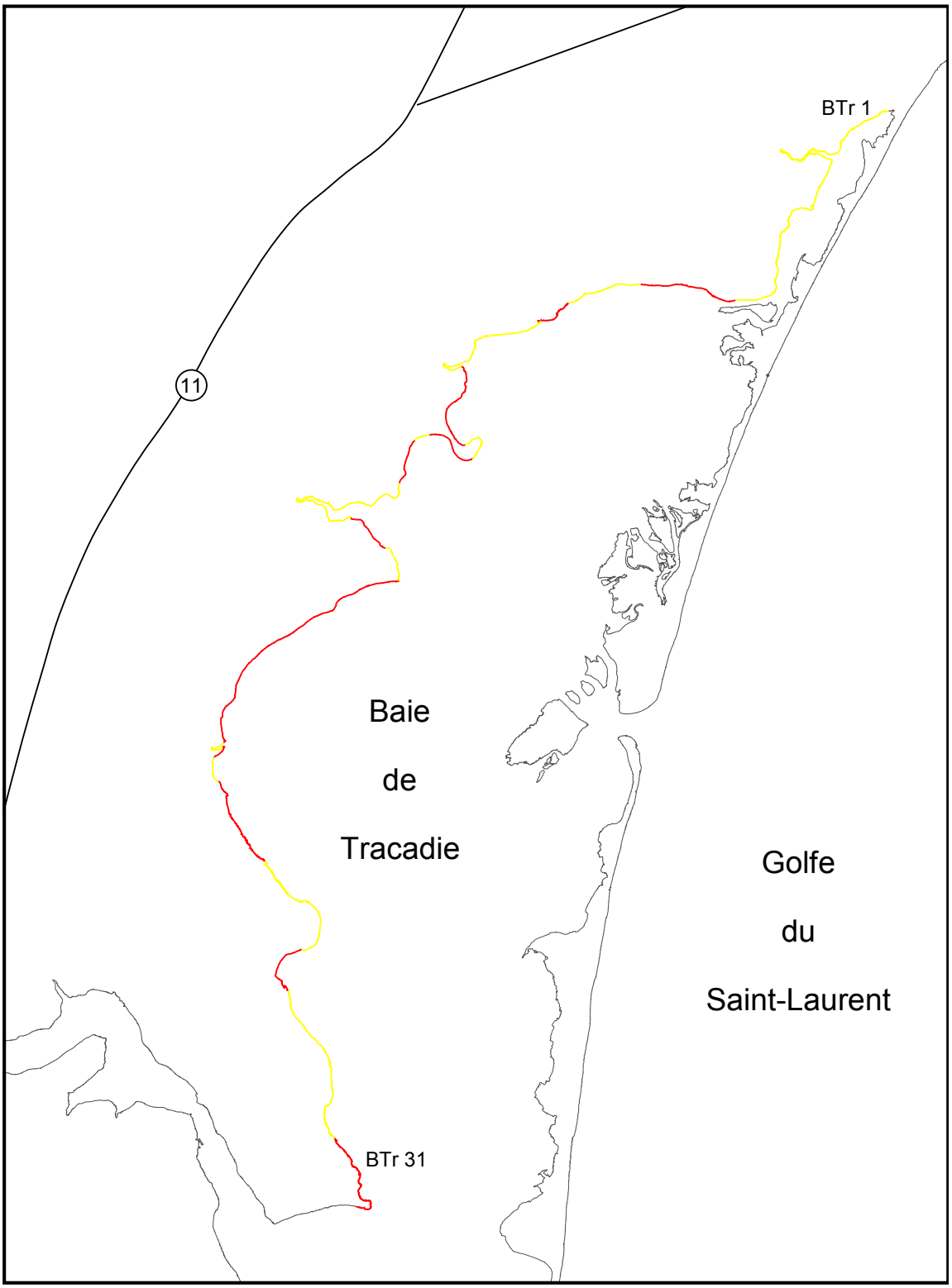


Figure 8. TENDANCE DU DÉPLACEMENT DE LA CÔTE PAR SEGMENTS CÔTIERS DANS LA BAIE DE TRACADIE (« BTR ») ENTRE 1944 ET 2012
(jaune : stabilité apparente (18); rouge : recul (13); gris : segments fixes, hors-scénarios et hors BTr)

5.2.3 Le linéaire côtier des estuaires des Petite et Grande rivières Tracadie[31]

Dans la partie des estuaires pour laquelle le taux de déplacement du trait de côte a été calculé (fig. 4B), plus de la moitié des transects *où ce dernier est en conditions naturelles* (773 et 1203 tr., respectivement) montre une stabilité apparente (tabl. 1.5 et 1.6) : 71,4% (EPT) et 65,9% (EGT). Toujours concernant la côte à marais *en conditions naturelles*, 19,3% des transects dans l'EPT et 30,2% dans l'EGT montrent un recul du trait de côte entre 1944 et 2012, à un rythme annuel moyen comparable dans les deux cas : -0,16 ± 0,08 m et -0,17 ± 0,08 m et inférieur à celui des baies (-0,21 ± 0,07 m et -0,25 ± 0,06 m, BTr et BTa). Le gradient en terme d'énergie reçue à la côte est donc clair, maximal sur la côte du golfe, intermédiaire et nettement moindre dans les baies, minimal dans les estuaires et à mesure que l'on remonte vers l'amont[32].

Dans le territoire du Grand Tracadie-Sheila, les estuaires sont les secteurs où le linéaire côtier est le plus aménagé : 146 transects (15,9%, EPT) et 370 transects (23,5%, EGT), représentant 89,9% des transects de la municipalité où le trait de côte est artificialisé (516 tr. sur un nombre total de 574, voir tabl. 1.1). Par contre, contrairement aux 44 transects artificialisés de la côte faisant face au Golfe du Saint-Laurent (tabl. 1.2), ceux des estuaires (et des baies) n'indiquent pas de tendance moyenne au recul entre les positions de la côte en 1944 et 2012 : dans les deux cas, le déplacement moyen total est compris dans la marge d'erreur et indique une stabilité apparente (+ 2,7 ± 5,7 m et + 2,2 ± 5,5 m).

Si on exprime la tendance du déplacement de la côte par celle des segments côtiers ayant montré une évolution d'ensemble homogène entre 1944 et 2012, l'estuaire de la Petite rivière Tracadie inclut 34 segments en stabilité apparente, sept segments en recul et cinq segments en progradation (fig. 9). L'estuaire de la Grande rivière Tracadie inclut 54 segments en stabilité apparente, 22 segments en recul et sept segments en progradation (fig. 10).

---

[31] Voir la section 3.1.3 et la figure 4B pour la localisation du linéaire côtier des estuaires inclus dans la cartographie, le calcul des taux de déplacement et le développement des scénarios.

[32] Dans les sections proprements fluviales, la problématique devient celle de l'érosion des berges en cours d'eau, non abordée dans cette étude.

Tendance observée	Nombre de transects[33]	Déplacement entre 1944 et 2012 (m)	Taux annuel moyen (m/an)
Avancée du trait de côte	72 (7,8%)	**+13,3 ± 5,3**[34]	**+0,2 ± 0,08**
Stabilité apparente	552 (60,1%)	-1,1 ± 5,3	-0,02 ± 0,08
Recul du trait de côte	149 (16,2%)	**-10,7 ± 5,4**	**-0,16 ± 0,08**
Transects avec présence de structures de protection ou de remblaiement	146 (15,9%)	+2,7 ± 5,7	*n/a*[35]
	919		

Tableau 1.5 : RÉPARTITION DES TRANSECTS INDIVIDUELS SELON LA TENDANCE OBSERVÉE (1944-2012) : TRANSECTS DU LINÉAIRE CÔTIER DE L'ESTUAIRE DE LA PETITE RIVIÈRE TRACADIE[36]

Tendance observée	Nombre de Transects[34]	Déplacement moyen entre 1944 et 2012 (m)	Taux annuel moyen (m/an)
Avancée du trait de côte	47 (3%)	**+13,1 ± 5,3**[35]	**+0,19 ± 0,08**
Stabilité apparente	793 (50,4%)	-1,2 ± 5,4	-0,02 ± 0,08
Recul du trait de côte	363 (23,1%)	**-11,4 ± 5,4**	**-0,17 ± 0,08**
Transects avec présence de structures de protection ou de remblaiement	370 (23,5%)	+2,2 ± 5,5	*n/a*[36]
	1573		

Tableau 1.6 : RÉPARTITION DES TRANSECTS INDIVIDUELS SELON LA TENDANCE OBSERVÉE (1944-2012) : TRANSECTS DU LINÉAIRE CÔTIER DE L'ESTUAIRE DE LA GRANDE RIVIÈRE TRACADIE[37]

[33] Les transects des segments maintenus fixes dans les scénarios (voir la section 4.1.1 et le fichier « GT_Segmentation » du dossier « SIG » du DVD) n'ont pas été comptabilisés.
[34] Les valeurs concluantes (supérieures à la marge d'erreur) sont indiquées en gras.
[35] Le taux annuel moyen ne traduit généralement pas la réalité (déplacement progressif fictif) d'un trait de côte artificialisé: mieux vaut retenir la valeur brute du déplacement entre 1944 et 2012.
[36] Voir les figures 3 et 4B pour la localisation de ce secteur.

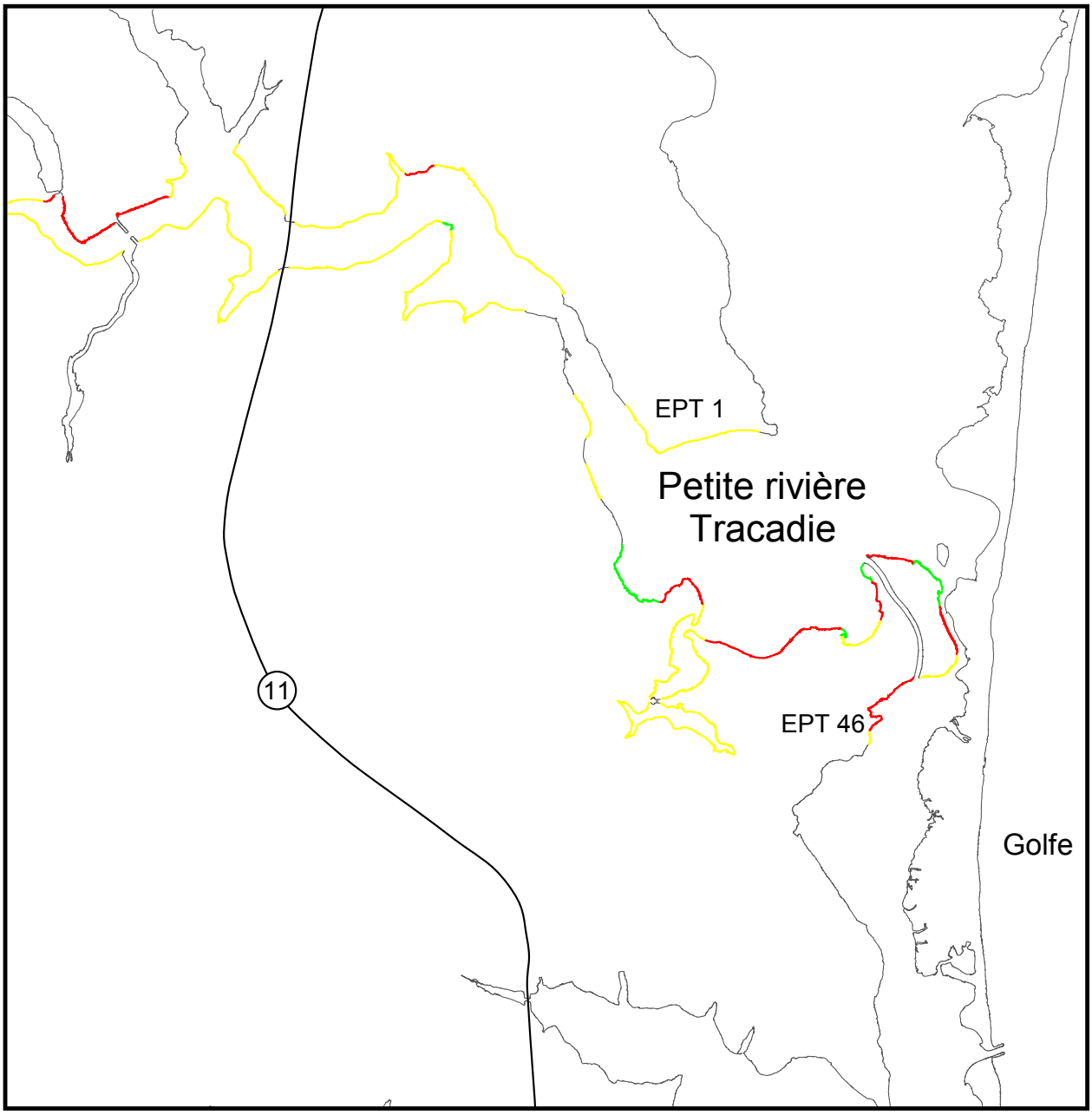


Figure 9. TENDANCE DU DÉPLACEMENT DE LA CÔTE PAR SEGMENTS CÔTIERS DANS L'ESTUAIRE DE LA PETITE RIVIÈRE TRACADIE (« EPT ») ENTRE 1944 ET 2012
(jaune : stabilité apparente (34); rouge : recul (7); vert : avancée (5);
gris : segments fixes, hors-scénarios et hors EPT)

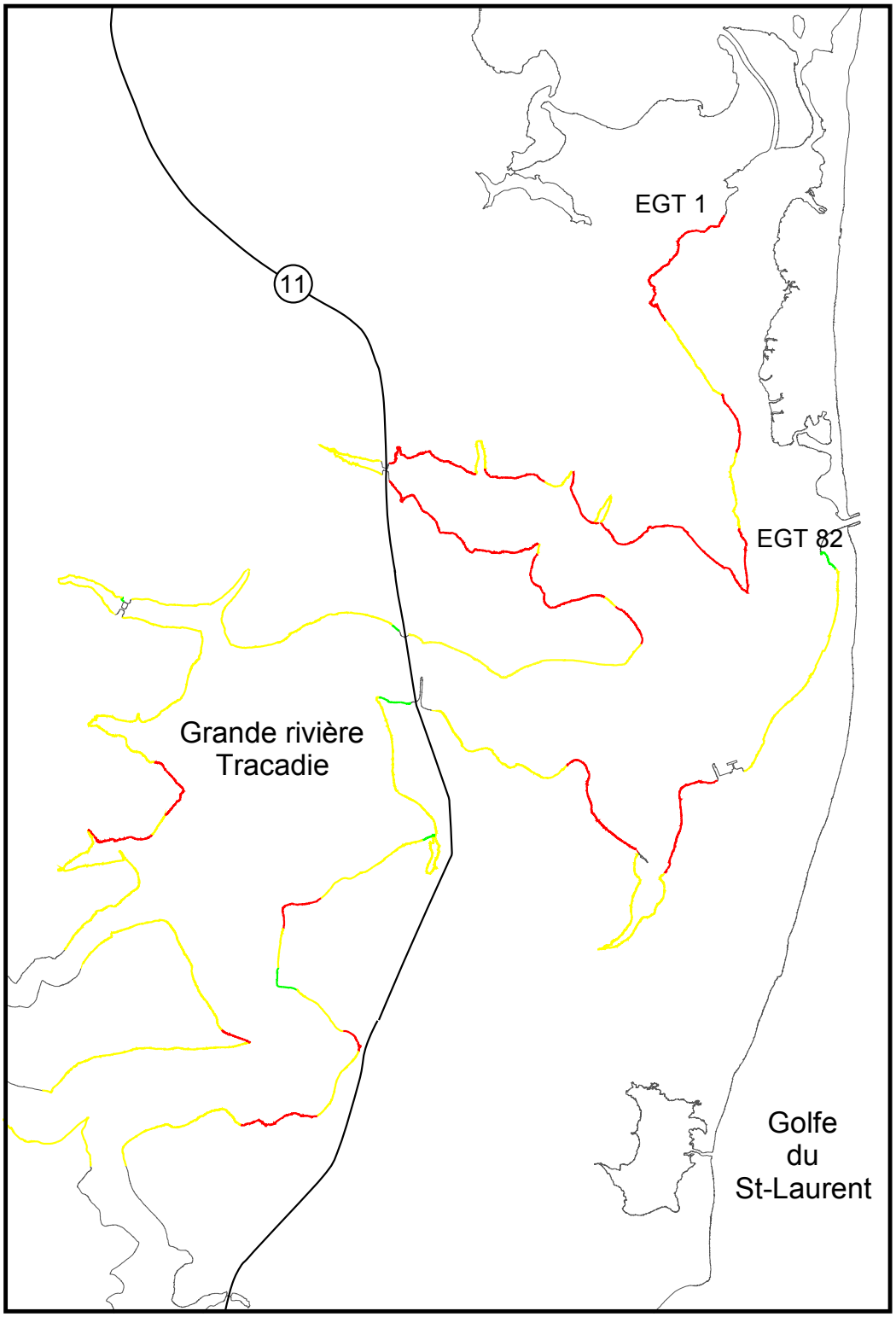


Figure 10. TENDANCE DU DÉPLACEMENT DE LA CÔTE PAR SEGMENTS CÔTIERS DANS L'ESTUAIRE DE LA GRANDE RIVIÈRE TRACADIE (« EGT ») ENTRE 1944 ET 2012
(jaune : stabilité apparente (54); rouge : recul (22); vert : avancée (7);
gris : segments fixes, hors-scénarios et hors EGT)

5.3 Tendances du déplacement de la côte dans les différents secteurs du Grand Tracadie-Sheila entre 1944 et 2012

Dans cette section, nous présentons les données du tableau 1.1 pour chacun des cinq secteurs précisés à la section 3.1.3, regroupées par types de côte (en 2012).

5.3.1 Le linéaire côtier faisant face au Golfe du Saint-Laurent[37]

Le trait de côte n'y correspond qu'à une **côte sableuse** (plage, avec ou sans front dunaire). Son évolution sera traitée dans la section 6.

5.3.2 Le linéaire côtier des baies de Tracadie et de Tabusintac[38]

Les **côtes à marais** y dominent nettement : 84,8% (BTr, tabl. 2.1) et 98,8% (BTa, tabl. 2.2) des transects où le trait de côte est en conditions naturelles. Dans les deux baies elles montrent surtout une stabilité apparente ou un recul entre 1944 et 2012, le premier cas dominant dans la baie de Tracadie (54%) et le second dans la partie nord de la baie de Tabusintac (54,4%).

Lorsqu'il y a eu recul des marais entre 1944 et 2012, il s'est fait à un rythme annuel moyen de -0,2 ± 0,07 m (BTr) et de -0,25 ± 0,06 m (BTa), ce qui se compare au taux moyen de recul des côtes à marais du Golfe du Saint-Laurent selon la *Banque de données de taux d'érosion du Nouveau-Brunswick* du Ministère de l'Énergie et des Mines (v.11.9), soit -0,17 ± 0,06 m/an (1915 taux, correspondant à 82,8% des valeurs non neutres calculées dans ce type de côte). Dans la présente étude, les valeurs extrêmes de taux annuels moyens de déplacement des côtes à marais ont été calculées dans la baie de Tracadie : + 1,1 ± 0,07 m et -0,73 ± 0,06 m.

À noter la présence de 58 transects en **tourbière** dans la baie de Tracadie (tabl. 2.1), le recul affectant la côte à 34 de ces transects, à un rythme annuel moyen de -0,33 ± 0,07 m entre 1944 et 2012. Cette tendance n'est pas surprenante dans ce matériau organique peu résistant. Par contre, la présence même de tourbe à la côte témoigne du recul du trait de côte depuis sa formation.

Le linéaire côtier en dépôts glaciaires[39] (**côte meuble – till** dans les tableaux 2.1 et 2.2) correspond à 7% (49 transects, BTr) et 1,2% (4 tr., BTa). La tendance a été au recul entre 1944 et 2012, à un rythme annuel moyen de -0,13 ± 0,07 m dans les deux baies.

---

[37] Cette section ne traite pas des flèches littorales et des îles-barrières, qui sont l'objet de la section 6. Elle ne concerne que les segments G0, G1, G2 et G3, inclus dans les scénarios.

[38] Cette section ne traite pas des flèches littorales et des îles-barrières, qui sont l'objet de la section 6.

[39] Dans les faits le trait de côte de certains transects placés dans cette catégorie pourrait correspondre à d'autres types de dépôts meubles quaternaires mais cette catégorie exclut toujours les plages, dunes et marais actuels.

Type de côte en 2012	Tendance observée (1944-2012)	Nombre de transects	Déplacement moyen annuel (m/an)	Taux maximal (m/an)
Côte à marais 596 transects (84,8%)	Avancée	21	+0,18 ± 0,07	+1,11 ± 0,07
	Stabilité apparente	**322**	-	-
	Recul	253	-0,2 ± 0,07	-0,73 ± 0,06
Côte meuble (till[40]) 49 transects (7%)	Avancée	*1*[41]	-	*+0,13 ± 0,09*
	Stabilité apparente	21	-	-
	Recul	**27**	-0,13 ± 0,07	-0,26 ± 0,09
Côte à tourbière 58 transects (8,2%)	Avancée	2	*+0,1 ± 0,09*	*+0,1 ± 0,09*
	Stabilité apparente	22	-	-
	Recul	**34**	-0,33 ± 0,07	-0,87 ± 0,07

Tableau 2.1 RÉPARTITION DES TRANSECTS INDIVIDUELS SELON LA TENDANCE OBSERVÉE, PAR SECTEURS ET PAR TYPES DE CÔTE (1944-2012) : TRANSECTS DU LINÉAIRE CÔTIER DE LA BAIE DE TRACADIE[42]

[40] Peut inclure d'autres types de dépôts quaternaires mais n'inclut pas les plages, les dunes ou les marais actuels, ni les dépôts de tourbe.
[41] Un déplacement vers l'avant en dépôts quaternaires peut correspondre à une erreur d'identification du type de côte ou encore à une accumulation de matériau à la base du trait de côte lors du recul d'une falaise. La marge d'erreur peut aussi expliquer ce déplacement apparent mais il est entendu qu'un tel type de côte ne peut pas avancer, d'où la figuration des valeurs positives en italique dans les tableaux 2.1 à 2.4.
[42] N'inclut que les transects en conditions naturelles pris en compte pour le développement des scénarios. N'inclut pas la rive arrière des flèches et îles-barrières. Voir la figure 3 pour la localisation de ce secteur.

Type de côte en 2012	Tendance observée (1944-2012)	Nombre de transects	Déplacement moyen annuel (m/an)	Taux maximal (m/an)
Côte à marais 318 transects (98,8%)	Avancée	27	+0,11 ± 0,06	+0,17 ± 0,06
	Stabilité apparente	118	-	-
	Recul	**173**	-0,25 ± 0,06	-0,71 ± 0,06
Côte meuble (till[43]) 4 transects (1,2%)	Avancée	0	-	-
	Stabilité apparente	0	-	-
	Recul	**4**	-0,13 ± 0,07	-0,18 ± 0,07

Tableau 2.2 RÉPARTITION DES TRANSECTS INDIVIDUELS SELON LA TENDANCE OBSERVÉE, PAR SECTEURS ET PAR TYPES DE CÔTE (1944-2012) : TRANSECTS DU LINÉAIRE CÔTIER DE LA BAIE DE TABUSINTAC[44]

[43] Peut inclure d'autres types de dépôts quaternaires mais n'inclut pas les plages, les dunes ou les marais actuels, ni les dépôts de tourbe.
[44] N'inclut que les transects en conditions naturelles pris en compte pour le développement des scénarios. N'inclut pas la rive arrière des flèches et îles-barrières. Voir la figure 3 pour la localisation de ce secteur.

5.3.3 Le linéaire côtier des estuaires des Petite et Grande rivières Tracadie[45]

Dans la partie des estuaires comprise dans les scénarios, le linéaire côtier est majoritairement occupé par les **marais** (70,4% des transects, EPT, tabl. 2.3; 57,4%, EGT, tabl. 2.4). Ce trait de côte est principalement en stabilité apparente depuis 1944 (63,2% et 50,9% des transects, respectivement) mais on y trouve 135 tr. (24,8%, EPT) et 306 tr. (44,3%, EGT) en recul, à des taux annuels moyens de -0,16 ± 0,08 m et de -0,17 ± 0,08 m. Les valeurs extrêmes du taux de déplacement annuel moyen des côtes à marais entre 1944 et 2012 ont été calculées dans l'estuaire de la Grande rivière Tracadie : +0,68 ± 0,08 m et -0,69 ± 0,07 m (tabl. 2.4).

Type de côte en 2012	Tendance observée (1944-2012)	Nombre de transects	Déplacement moyen annuel (m/an)	Taux maximal (m/an)
Côte à marais 544 transects (70,4%)	Avancée	65	+0,2 ± 0,08	+0,53 ± 0,07
	Stabilité apparente	**344**	-	-
	Recul	135	-0,16 ± 0,08	-0,43 ± 0,09
Côte meuble (till[46]) 229 transects (29,6%)	Avancée	*7*[47]	*+0,18 ± 0,07*	*+0,59 ± 0,07*
	Stabilité apparente	**208**	-	-
	Recul	14	-0,12 ± 0,09	-0,21 ± 0,09

Tableau 2.3 RÉPARTITION DES TRANSECTS INDIVIDUELS SELON LA TENDANCE OBSERVÉE, PAR SECTEURS ET PAR TYPES DE CÔTE (1944-2012) : TRANSECTS DU LINÉAIRE CÔTIER DE L'ESTUAIRE DE LA PETITE RIVIÈRE TRACADIE[48]

Le linéaire côtier en dépôts glaciaires (**côte meuble – till** dans les tableaux 2.3 et 2.4) constitue l'essentiel du reste des rives des estuaires (29,6% des transects, EPT; 40,4% des tr., EGT), principalement en stabilité apparente depuis 1944 (90,8% et 87,9% des tr.,

[45] Voir la section 3.1.3 et la figure 4B pour la localisation du linéaire côtier des estuaires inclut dans la cartographie, le calcul des taux de déplacement et le développement des scénarios.
[46] Peut inclure d'autres types de dépôts quaternaires mais n'inclut pas les plages, les dunes ou les marais actuels, ni les dépôts de tourbe.
[47] Un déplacement vers l'avant en dépôts quaternaires peut correspondre à une erreur d'identification du type de côte ou encore à une accumulation de matériau à la base du trait de côte lors du recul d'une falaise. La marge d'erreur peut aussi expliquer ce déplacement apparent mais il est entendu qu'un tel type de côte ne peut pas avancer, d'où la figuration des valeurs positives en italique dans les tableaux 2.1 à 2.4.
[48] N'inclut que les transects en conditions naturelles pris en compte pour le développement des scénarios. N'inclut pas la rive arrière des flèches et îles-barrières. Voir la figure 3 pour la localisation de ce secteur.

respectivement), quoique jusqu'à 11,1% (54 tr.) montrent un recul annuel moyen de -0,15 ± 0,08 m dans l'estuaire de la Grande rivière Tracadie.

À noter la présence de **côtes sableuses** au droit de 26 transects dans l'estuaire de la Grande rivière Tracadie, dont la majorité (14) est en stabilité apparente et en progradation (9).

Type de côte en 2012	Tendance observée (1944-2012)	Nombre de transects	Déplacement moyen annuel (m/an)	Taux maximal (m/an)
Côte à marais 691 transects (57,4%)	Avancée	33	+0,19 ± 0,08	+0,68 ± 0,08
	Stabilité apparente	**352**	-	-
	Recul	306	-0,17 ± 0,08	-0,69 ± 0,07
Côte meuble (till[49]) 486 transects (40,4%)	Avancée	*5*[50]	*+0,15 ± 0,08*	*+0,34 ± 0,1*
	Stabilité apparente	**427**	-	-
	Recul	54	-0,15 ± 0,07	-0,38 ± 0,08
Côte sableuse[51] 26 transects (2,2%)	Avancée	9	+0,2 ± 0,07	+0,83 ± 0,07
	Stabilité apparente	**14**	-	-
	Recul	3	-0,12 ± 0,08	-0,13 ± 0,08

Tableau 2.4 RÉPARTITION DES TRANSECTS INDIVIDUELS SELON LA TENDANCE OBSERVÉE, PAR SECTEURS ET PAR TYPES DE CÔTE (1944-2012) : TRANSECTS DU LINÉAIRE CÔTIER DE L'ESTUAIRE DE LA GRANDE RIVIÈRE TRACADIE[52]

[49] Peut inclure d'autres types de dépôts quaternaires mais n'inclut pas les plages, les dunes ou les marais actuels, ni les dépôts de tourbe.
[50] Un déplacement vers l'avant en dépôts quaternaires peut correspondre à une erreur d'identification du type de côte ou encore à une accumulation de matériau à la base du trait de côte lors du recul d'une falaise. La marge d'erreur peut aussi expliquer ce déplacement apparent mais il est entendu qu'un tel type de côte ne peut pas avancer, d'où la figuration des valeurs positives en italique dans les tableaux 2.1 à 2.4.
[51] Plages et dunes.
[52] N'inclut que les transects en conditions naturelles pris en compte pour le développement des scénarios. N'inclut pas la rive arrière des flèches et îles-barrières. Voir la figure 3 pour la localisation de ce secteur.

5.4 Considérations préliminaires relativement aux endroits problématiques du point de vue du risque d'érosion côtière

Mis à part le secteur de Four Roads (Quartier 1) où un lotissement fait face au Golfe du Saint-Laurent (segment G1) et où de forts taux de recul indiquent une érosion chronique (ce qui était prévisible étant donné l'exposition de la côte aux fortes vagues du golfe), relativement peu de segments côtiers du territoire municipal combinent la présence d'aménagements et une tendance moyenne au recul pouvant poser problème. On peut en retenir quatre, six à la rigueur, sans doute plus selon les critères retenus, tous localisés dans les estuaires :

ESTUAIRE DE LA PETITE RIVIÈRE TRACADIE

Segment EPT 36 : rue de la Pointe à Bouleau, Pointe-à-Bouleau (Quartier 8) (fig. 11)
Le taux annuel moyen de déplacement entre 1944 et 2012 était de -0,16 ± 0,09 m mais des habitations y sont localisées près de la côte.

Figure 11
Segment EPT 36 (rue de la Pointe à Bouleau, Pointe-à-Bouleau, Quartier 8)

À la rigueur, on peut considérer qu'il y a aussi problème potentiel d'érosion à certains endroits dans les segments EPT 7 (rue Dignard, à l'est de la rue Sylvère, Tracadie, Quartier 7) et EPT 29 (rue Saulnier est, Quartier 8), quoique la distance entre les bâtiments et le trait de côte y soit encore assez importante.

ESTUAIRE DE LA GRANDE RIVIÈRE TRACADIE

Segment EGT 1 : rue Beauséjour, Pointe-à-Bouleau (Quartier 8) (fig. 12)
Le taux annuel moyen de déplacement entre 1944 et 2012 était de -0,09 ± 0,07 m mais des habitations y sont localisées près de la côte.

Figure 12
Segment EGT 1 (rue Beauséjour, Pointe-à-Bouleau, Quartier 8)

Segment EGT 58 : ch. Fournier, Rivière-du-Portage-Tracadie Beach (Quartier 5) (fig. 13)
Le taux annuel moyen de déplacement entre 1944 et 2012 était de -0,10 ± 0,07 m mais des habitations y sont localisées près de la côte.

Figure 13
Segment EGT 58 (chemin Fournier, Rivière-du-Portage-Tracadie Beach, Quartier 5)

Segment EPT 80 : ouest du quai, Val-Comeau (Quartier 5) (fig. 14)
Le taux annuel moyen de déplacement entre 1944 et 2012 était de -0,17 ± 0,08 m et des habitations y sont localisées près de la côte.

Figure 14
Segment EGT 80 (ouest du quai, Val-Comeau, Quartier 5)

D'autres endroits pourraient être identifiés, en fonction de critères spécifiques. L'exercice pourrait aussi être réalisé en tenant compte des taux de déplacement de transects individuels (plutôt que les taux de déplacement moyens des segments côtiers). Dans tous les cas, il faut toutefois 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.

L'identification des endroits où il y a (ou pourrait y avoir) un « problème d'érosion », c'est-à-dire où l'érosion côtière menace un aménagement situé aujourd'hui (ou bientôt) trop près du trait de côte, est directement liée au choix d'un seuil, par exemple la perte annuelle moyenne de terrain par érosion qui est jugée acceptable, ou encore la distance minimale acceptable entre un bâtiment et le trait de côte.

Tenant compte de ces considérations, certains secteurs du Grand Tracadie-Sheila présentent un fort potentiel de risque à l'érosion côtière même s'il sont localisés dans des segments côtiers en stabilité apparente depuis 1944. Prenons l'exemple de la rue Leroyer, à Tracadie (segment EPT 3, Quartier 7, fig. 15). Le taux annuel moyen de déplacement entre 1944 et 2012 était de -0,07 ± 0,09 m, ce qui n'est pas concluant. Par contre, l'occupation du sol n'y laisse pas de place à des mesures d'adaptation car les bâtiments sont localisés si près

du trait de côte qu'aucune flexibilité n'est possible et qu'aucune tolérance au recul n'y serait sans doute envisagée par les riverains. C'est la raison pour laquelle ce segment côtier a été maintenu fixe dans les scénarios (alors que normalement on aurait dû y faire reculer le trait de côte de 1,3 m, 2,7 m et 6,2 m, en 2030, 2050 et 2100).

Figure 15
Segment EPT 3 (rue Leroyer, Tracadie, Quartier 7)

Les données de ce rapport permettent ainsi une réflexion sur ces enjeux, les choix à faire et les mesures à prendre.

6. L'évolution récente et prévisible du système de flèches littorales et d'îles-barrières

6.1 Objectifs et terminologie

En plus du calcul du taux de déplacement à long terme du linéaire côtier municipal et du développement de scénarios du déplacement possible du trait de côte d'ici 2030, 2050 et 2100 (en vue de la détermination et de la cartographie de l'indice des risques côtiers de submersion et d'érosion par Simard *et al*, 2015), les responsables du Grand Tracadie-Sheila nous ont demandé que soient spécifiquement considérées les perspectives d'évolution, au XXIe siècle, du système de flèches littorales et d'îles-barrières compris dans la municipalité.

Dans le cadre d'un projet annuel incluant par ailleurs un important volet de photogrammétrie, l'objectif de cette investigation est forcément limité et elle doit être vue comme un examen préliminaire de la question. La problématique de la stabilité des flèches littorales et des îles-barrières du littoral acadien des Maritimes constitue un dossier d'actualité, tant à cause de la présence d'infrastructures et de développements résidentiels ou commerciaux sur certaines de ces formes elles-mêmes qu'à cause de la protection qu'elles assurent actuellement aux milieux situés derrière (lagunes et baies, estuaires), dont dépendent certaines activités ou dont les rives sont aménagées et donc potentiellement exposées aux risques côtiers. Il n'est donc pas surprenant de retrouver cette inquiétude dans le Grand Tracadie-Sheila, « abrité » du Golfe du Saint-Laurent par un tel système.

La présente section vise donc :

(1) à préciser certains termes et concepts utiles à la compréhension de l'évolution des flèches littorales et îles-barrières, tant face à des évènements ponctuels ou saisonniers, tels les tempêtes, que face à une tendance à long terme comme la hausse relative du niveau marin;

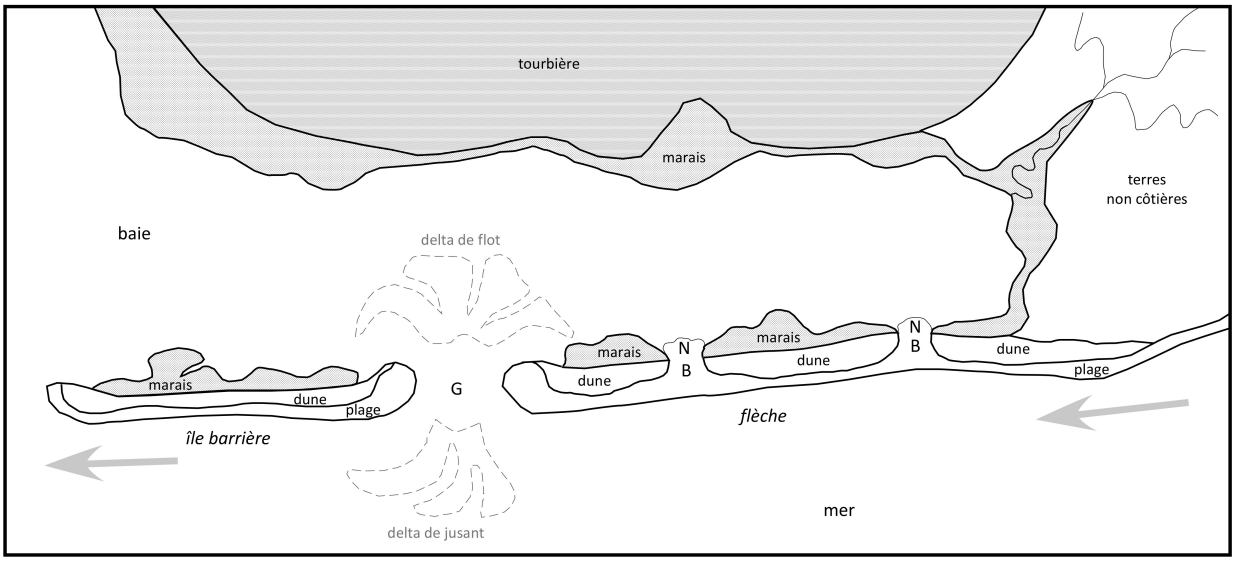
(2) à rappeler certains résultats d'études régionales et locales portant sur le développement, l'évolution et la dynamique des flèches littorales et des îles-barrières du Grand Tracadie-Sheila et des Maritimes;

(3) à formuler un avis préliminaire quant à l'évolution du système de flèches littorales et d'îles-barrières du Grand Tracadie-Sheila d'ici 2100, en vue du développement d'un *Plan d'adaptation aux changements climatiques* du Grand Tracadie-Sheila et en application du principe de précaution. Cet avis tiendra compte des connaissances actuelles de ce type de formes et des éléments présentés en (2);

(4) à identifier les besoins en termes de connaissances additionnelles si jamais les responsables municipaux de l'urbanisme souhaitaient approfondir cette question.

Dans le reste de cette section, différents termes seront employés, qui sont explicités graphiquement dans la figure 16.

A



B

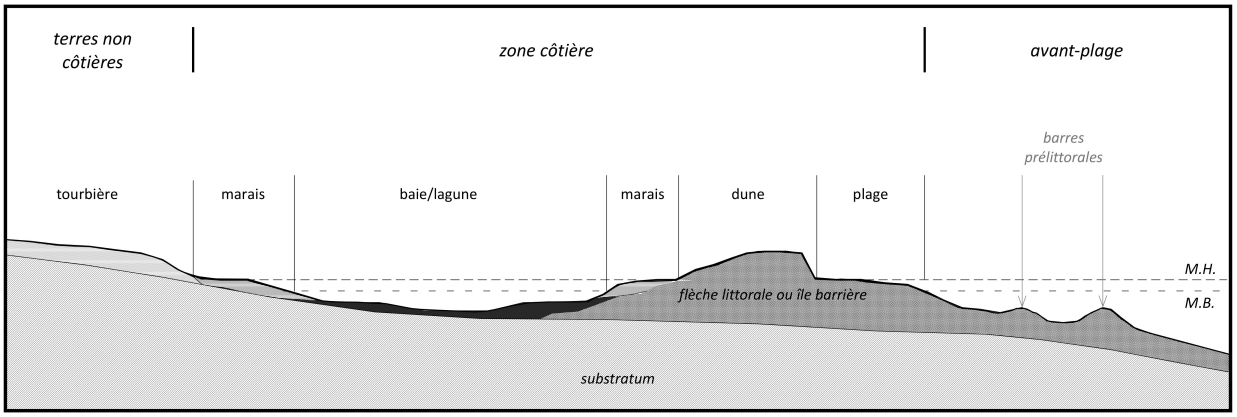


Figure 16

TERMINOLOGIE EMPLOYÉE DANS CETTE SECTION. A. VUE EN PLAN. B. VUE EN PROFIL (TRANSECT DE LA TOURBIÈRE VERS L'ÎLE-BARRIÈRE OU LA FLÈCHE LITTORALE DE LA FIGURE 16A).

« B » : brèche; « G » : goulet; « N » : nappe de débordement; flèche : sens de la dérive littorale; « M.H. » niveau moyen des marées hautes; « M.B. » niv. moyen des marées basses.

6.2 Bref aperçu du dynamisme des flèches littorales et des îles-barrières

Les flèches littorales et les îles-barrières sont des ensembles sableux dont la forme et le volume cherchent constamment à s'ajuster aux conditions hydrodynamiques (vagues et courants, associés aux vents, aux marées et à la houle). Cet ajustement vise à assurer la pérennité de la forme (dans la mesure où elle est possible), d'où l'importance de viser la préservation de la flexibilité des systèmes naturels lors de la planification de l'aménagement du territoire.

Les flèches littorales et les îles-barrières comprennent plusieurs sous-ensembles en interaction dynamique les uns avec les autres (fig; 16). Par exemple, il y a des transferts de sable entre l'avant-plage (ou avant-côte), la plage, les dunes littorales[53], le marais maritime[53] et le plan d'eau arrière (baie ou lagune)[53]. On peut illustrer ce fonctionnement en système par la variation saisonnière du profil du triptyque dunes littorales plage/avant-plage aux moyennes latitudes (fig; 17).

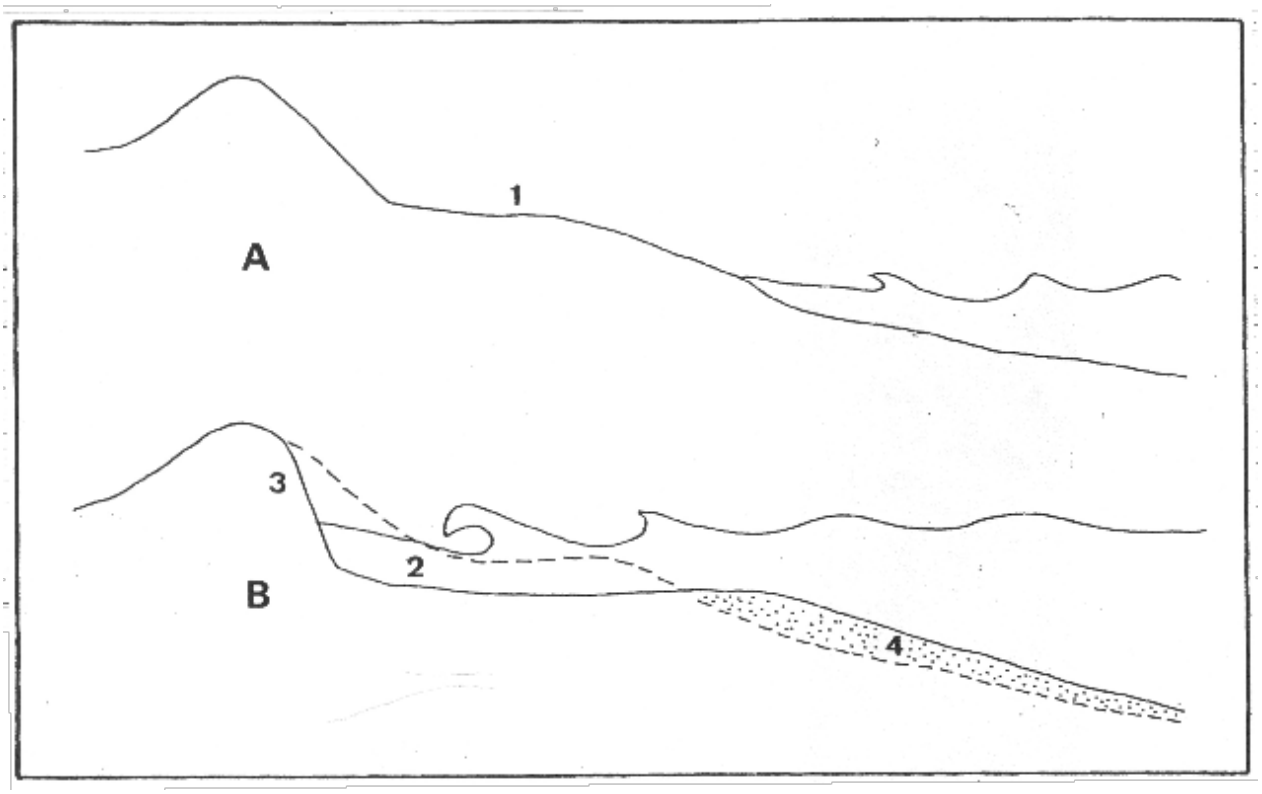


Figure 17
VARIATION SAISONNIÈRE DU PROFIL DUNES/PLAGE/AVANT-PLAGE (PASKOFF, 1998, FIG. 22)

Face aux fortes vagues d'automne (en l'absence d'un couvert de glace), une partie du sable du front des dunes littorales et de la plage est transféré vers l'avant-plage, où se construisent des barres pré-littorales favorisant le déferlement des vagues à une plus grande distance du rivage. Le « profil d'hiver qui en résulte est marqué par la présence

[53] Lorsque cet habitat est présent.

d'une falaise dunaire et d'une plage surbaissée. Le retour de la saison « calme » permet la migration des barres pré-littorales vers la plage, le transfert de sable de l'avant-plage vers la plage et les dunes littorales, d'où le rétablissement du « profil d'été », avec rehaussement de la plage et cicatrisation partielle ou complète du front dunaire.

Dans le cas de tempêtes particulièrement fortes, ou d'un groupe de tempêtes rapprochées dans le temps (pendant une année donnée ou un groupe d'années tempétueuses), le rétablissement du profil estival pourra prendre plus de temps à se réaliser, dans certains cas plusieurs années. Au Nouveau-Brunswick et dans différents secteurs du Golfe du Saint-Laurent, dans de tels cas les séries de photographies aériennes montrent souvent un retour du trait de côte (front de la dune) à sa position initiale.

Ce cycle est lié à des tempêtes individuelles ou aux saisons, ou encore à des périodes pluriannuelles alternativement tempétueuses et plus calmes. Les déplacements du trait de côte qui lui sont associés n'indiquent pas *a fortiori* une tendance à long terme, tant au recul de la côte (phase d'érosion, pendant les tempêtes) qu'à son avancée (phase d'engraissement, après les tempêtes). En termes d'occupation du territoire, il exige surtout de bien identifier la limite habituelle de l'action directe des vagues de tempête, afin d'en rester en retrait et d'éviter l'exposition des personnes et des biens aux risques côtiers pendant ces évènements ponctuels.

6.2.1 Dynamique côtière et hausse du niveau marin relatif

À l'échelle de temps pertinente au sujet de ce rapport, à savoir plusieurs décennies, voire le siècle, les sous-ensembles du système côtier interagiront aussi pour s'ajuster à la hausse du niveau marin[54]. Cette interaction fera encore intervenir des échanges de sable.

Face au niveau marin qui s'élève, la réponse courante des formes littorales et des habitats côtiers est de migrer vers l'intérieur des terres, dans la mesure bien sûr où c'est possible, c'est-à-dire s'il n'y a pas d'obstacle naturel (une falaise, par exemple) ou artificiel (un aménagement dont on maintiendrait la position face à la hausse du niveau marin et au recul de la côte).

Dans le cas des flèches littorales et des îles-barrières, la migration vers l'intérieur des terres implique le transfert de sable vers l'arrière, c'est-à-dire de l'avant-plage vers la plage, de la plage vers les dunes littorales, des dunes vers le marais, de l'ensemble de la flèche littorale ou de l'île-barrière vers le plan d'eau arrière, baie ou lagune (d'abord pour créer une plateforme submergée puis pour y développer ses parties subaériennes). Mais comme il y a hausse du niveau marin relatif en même temps qu'avancée de la mer, les flèches littorales et les îles-barrières doivent aussi se rehausser pendant ce recul pour ne pas être éventuellement submergées.

[54] Hausse du niveau marin *relatif* en pratique, la variation du niveau des terres face à la mer intervenant aussi (voir Daigle, 2014, pour plus d'information).

Un ensemble de processus permettent ces deux actions (transfert de sable vers l'arrière et rehaussement de la surface du sol des flèches et des îles) (fig. 18) :

- La **déflation éolienne**, par laquelle le vent entraine le sable de la plage vers les dunes et le marais, où la végétation le piège. Ce processus permet le développement des dunes littorales et la cicatrisation des brèches que peuvent parfois causer les tempêtes dans le front dunaire. Il cause un gain net de volume sableux des dunes littorales et permet de les rehausser.

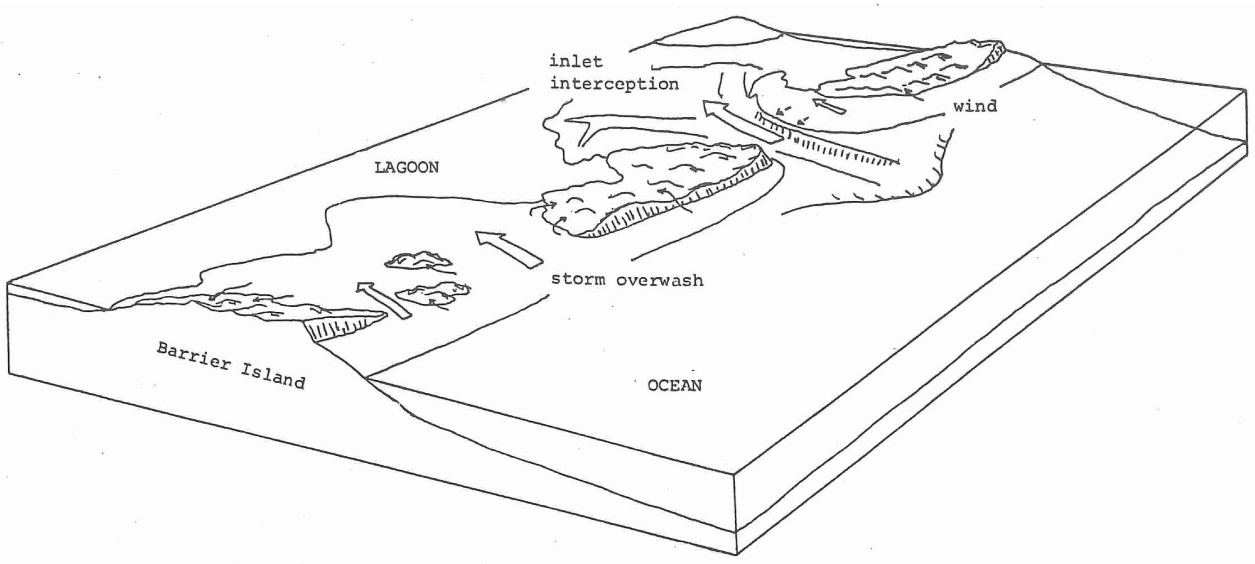


Figure 18
ÎLE-BARRIÈRE ET TRANSFERTS SABLEUX VERS L'ARRIÈRE. *Overwash* : débordement; *inlet* : goulet (ARMON, 1979, FIG. 2)

- Les **processus de débordement** associés aux vagues de tempête qui parviennent à franchir le front des dunes littorales : ces vagues déposent du sable dans les dunes, voire dans le marais ou même la baie ou la lagune si une brèche a été créée et permet le passage de l'eau jusque là. Il peut ne s'agir que de minces placages sur le revers de la première crête de dune mais aussi de dépôts allongés ou plus ou moins évasés (« nappes de débordement ») formant ce qu'on décrit parfois comme des « terrasses » dunaires, niveaux plans pouvant atteindre plusieurs dizaines ou centaines de largeur. Leur épaisseur peut être décimétrique : Rosen (1979) mentionne des nappes faisant jusqu'à 20 cm sur les flèches de Tabusintac après la tempête du 27 septembre 1977; Jolicoeur *et al* (2010) en ont observé qui faisaient plus de 30 cm sur la flèche de Bouctouche après la tempête du 29 octobre 2000.

- La **formation de deltas de flot**[55], associés aux goulets temporaires ou permanents qui recoupent les flèches littorales ou limitent les îles-barrières, permet le comblement des baies et des lagunes et le développement de plateformes sableuses (fig. 19). Au gré des marées, qui causent des courants (de marée) dans les goulets, ces derniers peuvent ainsi capter une partie du sable transporté le long de la côte par la dérive littorale (*inlet interception* dans la figure 18). On observe souvent le développement de marais dès que la surface de ces deltas se trouve dans la zone de battement des marées. Ces surfaces peuvent par la suite accueillir la flèche littorale ou l'île-barrière en recul.

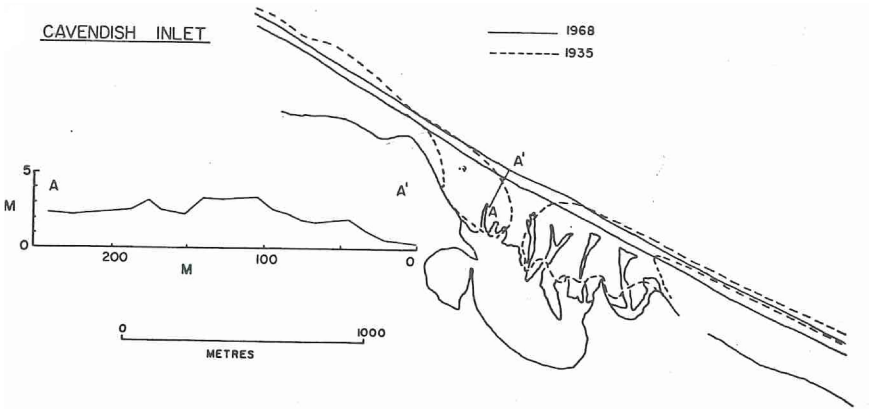


Figure 19
RECUL D'UNE ÎLE-BARRIÈRE : DÉVELOPPEMENT D'UNE PLATE-FORME SABLEUSE DANS LA LAGUNE (« THE NARROWS ») PAR CONSTRUCTION D'UN DELTA DE FLOT À L'EMPLACEMENT DE L'ANCIEN GOULET DE CAVENDISH, ÎLE-DU-PRINCE-ÉDOUQRD (ARMON ET MCCANN, 1979, FIG. 3)

6.3 Quelques travaux antérieurs réalisés dans le sud du Golfe du Saint-Laurent

Plusieurs études portant sur les flèches littorales et les îles-barrières et présentant un intérêt pour notre sujet, ont été réalisées dans les Maritimes (Owens, 1974, 1975; Owens et Bowen, 1977; Armon, 1979 ; Armon et McCann, 1979; McCann, 1990; Ollerhead et Davidson-Arnott, 1995; Dagneau *et al*, 1996, 2004; Forbes *et al*, 2004; Jolicoeur *et al*, 2010), certaines concernant des secteurs situés dans le - ou étant immédiatement adjacents au - Grand Tracadie-Sheila (Hunter, 1975; McCann, 1979; Reinson, 1979; Rosen, 1979; O'Carroll *et al*, 2004a, 2004b, 2004c, 2004d).

Parmi les principaux facteurs pouvant affecter l'évolution des flèches littorales et îles-barrières en contexte de hausse du niveau marin relatif, on retrouve :

- La disponibilité des sédiments sableux dans le système littoral
  À cet égard, les sources de sédiments semblent limitées dans le Grand Tracadie-Sheila :

[55] De marée montante.

- Les apports fluviaux sont sans doute peu importants, les estuaires et les baies jouant le rôle de bassins de réception prévenant le transfert d'une grande partie des sédiments vers le golfe (Owens, 1977).
- Le linéaire côtier de la municipalité, qui correspondrait selon Reinson (1980) à une cellule sédimentaire distincte de la côte située plus au nord-est et plus au sud, comprend peu de secteurs où l'érosion côtière peut introduire de nouveaux sédiments dans le système littoral (seule la côte de la « péninsule de Val Comeau », selon la figure 3.1 de cet auteur).
- L'avant-côte ne contiendrait pas de dépôts sableux en volumes significatifs pouvant être ramenés vers la côte par les vagues pour alimenter la dérive littorale et le reste du système côtier (McCann, 1979; Reinson, 1980).

Dans ce contexte, on peut comprendre la recommandation de Hunter (1975) relativement aux impacts potentiels du dragage et de l'extraction de sable sur la stabilité des flèches littorales et des îles-barrières. En l'absence de données additionnelles, on peut considérer que tout comme dans plusieurs autres régions du monde, ces dernières correspondent principalement à un stock de sable hérité de la transgression marine postglaciaire, sans apports additionnels significatifs depuis ce temps (McCann, 1979; Paskoff, 1998). Il importe donc de bien comprendre l'impact de l'évolution naturelle et des éventuelles actions anthropiques sur le bilan sédimentaire des flèches littorales et des îles-barrières. Hunter (1975) insistait d'ailleurs sur leur équilibre dynamique, notamment leur réponse cyclique aux fortes tempêtes (épisodes de destruction rapide suivis de périodes de reconstruction), mais aussi sur la sensibilité de cet équilibre aux perturbations.

- Le rythme de la hausse du niveau marin relatif et le climat des vagues
  Dans la région, l'accélération de la montée du niveau moyen de l'Océan mondial d'ici 2100 devrait se faire à un rythme 3,7 fois plus rapide qu'au XXe siècle[56]. Par ailleurs, si les prévisions concernant la trajectoire, la fréquence et l'intensité des tempêtes ne sont pas concluantes pour l'instant (IPCC, 2013), celles concernant la réduction de la période et de l'étendue du couvert de glace saisonnier sur le golfe (Senneville *et al*, 2013) suffirait à elle seule à allonger la période de l'action directe des vagues et des courants à la côte, donc à stimuler la dynamique littorale.
  Dans un tel contexte, la flexibilité dont ont besoin les flèches sableuses et les îles-barrières pour s'ajuster aux nouvelles conditions hydrodynamiques sera cruciale à leur maintien.

[56] Ordre de grandeur calculé à partir des valeurs de hausse du niveau marin relatif enregistrées à la station marégraphique d'Escuminac pendant la période 1973-2005 (et calculée en taux par siècle à 23,8 cm ; Daigle *et al*, 2006) et de la projection de la hausse entre 2010 et 2100 pour cette même station (78,8 cm dans Daigle, 2014, ce qui correspond à une hausse de 87,5 cm pour un siècle).

Les chercheurs qui ont étudié les flèches littorales et les îles-barrières des environs du Grand Tracadie-Sheila ont constaté :

1. Le recul de la côte, y compris le long du littoral nord-est du Nouveau-Brunswick. À preuve la présence de tourbe au trait de côte dans les *Black Lands*, plus au sud de notre secteur (Ganong, 1908, dans Reinson, 1980), et de végétation de marais ou de tourbe sous les plages (Owens, 1974). Les fortes valeurs de recul en côte sableuse souligneraient la faible disponibilité de sédiments sableux en dehors des plages et des dunes littorales elles-mêmes (Reinson, 1980) mais McCann (1990) souligne le fait que ce recul se ferait en conservant le profil de la dune bordière (celle qui jouxte directement la plage) et de la plage, ce qui correspond donc à une migration des habitats côtiers vers l'intérieur des terres et non à une perte de ces habitats (fig. 20).

2. La présence d'une dérive littorale, qu'Owens (1974, 1975) et Owens et Bowen (1977) dirigent vers le sud[57] alors que Reinson (1980) la dirige vers le nord entre la Pointe-à-Barreau la limite nord de la baie de Tracadie. À l'appui de cette direction nord, cet auteur mentionne la migration vers le nord des anciens goulets sud et nord de la baie de Tracadie, sur des distances respectives de 1700 m (entre 1945 et 1963) et de 250 m (entre 1945 et 1977).

Figure 20

HAUSSE DU NIVEAU MARIN RELATIF ET MIGRATION DES HABITATS CÔTIERS ENTRE 1944 (TRAIT BLEU) ET 2012 (TRAIT ROUGE) À RIVIÈRE-DU-PORTAGE (PHOTOS #7408-51 [1944] ET O2620000_7602000 [2012]). Le trait représente la limite de la plage avec la dune littorale, du côté du golfe (1944 et 2012), et le rivage de la lagune à l'arrière de la dune (en 1944).

[57] Information reprise par McCann (1979).

3. La présence d'une dérive littorale dirigée vers le sud le long de la flèche littorale et des îles-barrières du système de Tabusintac-Néguac (fig. 21). L'inversion de la dérive dans ce secteur fixerait la limite entre deux cellules sédimentaires distinctes, celle de Tabusintac-Néguac au sud, et celle de Tracadie au nord (suivie plus au nord par la cellule de Petit-Pokemouche). La localisation de cette limite près de la Pointe-à-Barreau expliquerait les fortes valeurs de recul du trait de côte observées à Val-Comeau (O'Carroll *et al*, 2004a, b, c, d): la dérive littorale s'y chargerait en sable, qu'elle transporterait ensuite vers le nord (et dont une partie serait immédiatement piégée par le goulet de Val Comeau). Cette explication est plausible mais Hunter (1975) soulignait aussi l'impact qu'ont pu avoir le dragage et l'extraction de sable sur l'évolution de ce segment côtier (qu'il s'agisse d'une aggravation d'une tendance au recul préexistante ou le déclenchement d'une déstabilisation de l'évolution du trait de côte).

4. L'intervention des processus de débordement (fig. 22 et 23) et du développement de deltas de flot dans le recul des flèches littorales et des îles-barrières des Maritimes (Reinson, 1980).

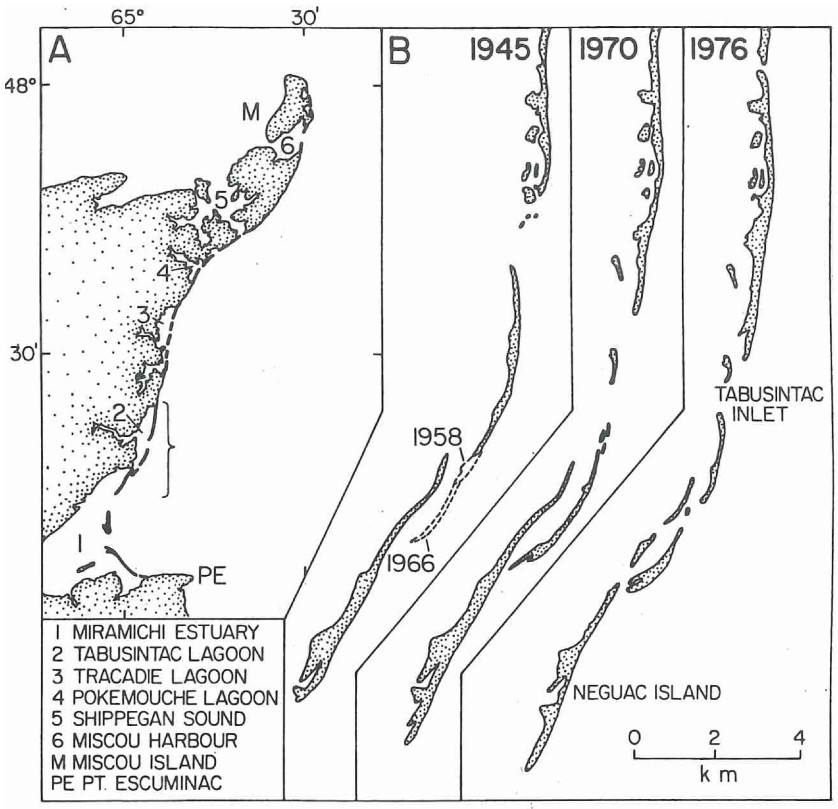


Figure 21
ÉVOLUTION DU SYSTÈME DE FLÈCHE LITTORALE ET D'ÎLES-BARRIÈRES DE TABUSINTAC-NÉGUAC ENTRE 1945 ET 1976 (MCCANN, 1979, FIG. 7)

Figure 22
ANCIEN GOULET PRÈS DE LA POINTE À BOULEAU, EN 1977. À NOTER LES INDICES DE PROCESSUS DE DÉBORDEMENT SUR L'ÎLE-BARRIÈRE AU SUD DU GOULET CENTRAL (REINSON, 1980, FIG. 3.5)

Figure 23
SYSTÈME DE FLÈCHES LITTORALES ET D'ÎLES-BARRIÈRES DE LA BAIE DE TRACADIE ET DES DEUX ESTUAIRES, EN 1977. VUE OBLIQUE VERS LE NORD À PARTIR DE VAL COMEAU (REINSON, 1980, FIG. 3.16)

6.4 Avis et recommandations préliminaires

La question qui est posée est de savoir ce qu'il adviendra du système de flèches littorales et d'îles-barrières du territoire du Grand Tracadie-Sheila pendant le XXIe siècle, alors que l'accélération de la hausse du niveau marin et la réduction de la période et de l'étendue du couvert de glace « protecteur » saisonnier se poursuivront. Les données dont nous disposons ne permettent pas de répondre à cette question pour l'instant mais nous apprennent certaines choses.

Nous savons que les flèches littorales et les îles-barrières sont dynamiques et qu'elles « répondent » aux perturbations naturelles et anthropiques. L'effet des tempêtes a beaucoup été étudié et est bien connu, lié à l'érosion des fronts dunaires; à la mise en place de dépôts de débordement, là et quand c'est possible; à la formation de brèches, temporaires; à l'ouverture de goulets, souvent temporaires. Ces moments forts de l'évolution littorale redistribuent les sédiments de certains endroits à d'autres, provoquant des transferts de sable, sur l'avant-plage, le long de la côte, dans les dunes et les marais, dans les goulets ou les baies et lagunes. Les observations locales confirment la plupart de ces constats, notamment la réponse rapide de la côte à de fortes tempêtes, surtout si elles sont groupées (Comeau, 2011). Le résultat d'ensemble est normalement le maintien d'un système de flèches et d'îles sableuses, dont la forme et la position sont changeantes et, dans le contexte du Nouveau-Brunswick et du Grand Tracadie, relèvent d'un équilibre sinon précaire, du moins délicat. C'est ce que notait Hunter il y a quarante ans (Hunter, 1975). Cet auteur, dont les travaux avaient été commandés en rapport avec le dossier de l'impact de l'extraction de sable dans les dunes littorales et sur les plages, recommandait aussi d'être prudent avant toute action potentiellement perturbatrice des équilibres naturels sur les flèches littorales, les îles-barrières et les plans d'eau adjacents, l'extraction de sable bien sûr (essentiellement disparue depuis) mais aussi le dragage. Il recommandait de ne pas accorder de permis de construction sur les flèches et les îles et de plutôt les préserver à des fins de conservation, de récréotourisme et de protection contre les actions marines du golfe.

Nos données confirment que le système de flèches littorales et d'îles-barrières de Grand Tracadie-Sheila (fig. 24) s'est modifié depuis 1944 (par ex., la migration de goulets et la fermeture de celui de Tracadie, en 2009 selon Comeau, 2011), par l'action de processus naturels et différentes actions d'aménagement (par ex., l'ouverture d'un goulet à Val Comeau, en 1964 selon Reinson, 1980). Sur cette période, si on s'en tient aux segments côtiers des flèches et de l'île-barrière situées au nord du goulet de Val Comeau, elles confirment un recul moyen du trait de côte tout le long du golfe (- 0,28 à – 1,36 ± 0,07 m/an) et un recul ou une avancée moyenne du rivage de la baie selon l'endroit (- 0,25 à + 1,13 ± 0,07 m/an) (tab. 3). Dans tous les cas il y a eu rétrécissement des flèches et de l'île, à un rythme moyen de - 0,23 à – 1,22 ± 0,07 m/an entre 1944 et 2012, mais cette information est incomplète sans prise en compte du volume émergé car les stocks de sable sont tout aussi importants. Un recul du trait de côte de la baie pourrait ne correspondre qu'à la situation où le front dunaire est pour l'instant trop haut du côté du golfe pour permettre la mise en place de nappes de débordement sur et derrière la dune par les vagues de tempêtes. Il ne faut donc pas interpréter trop rapidement les chiffres du tableau 3: la réponse des flèches et des îles-barrières se fait à un rythme variable le long du linéaire côtier, selon la

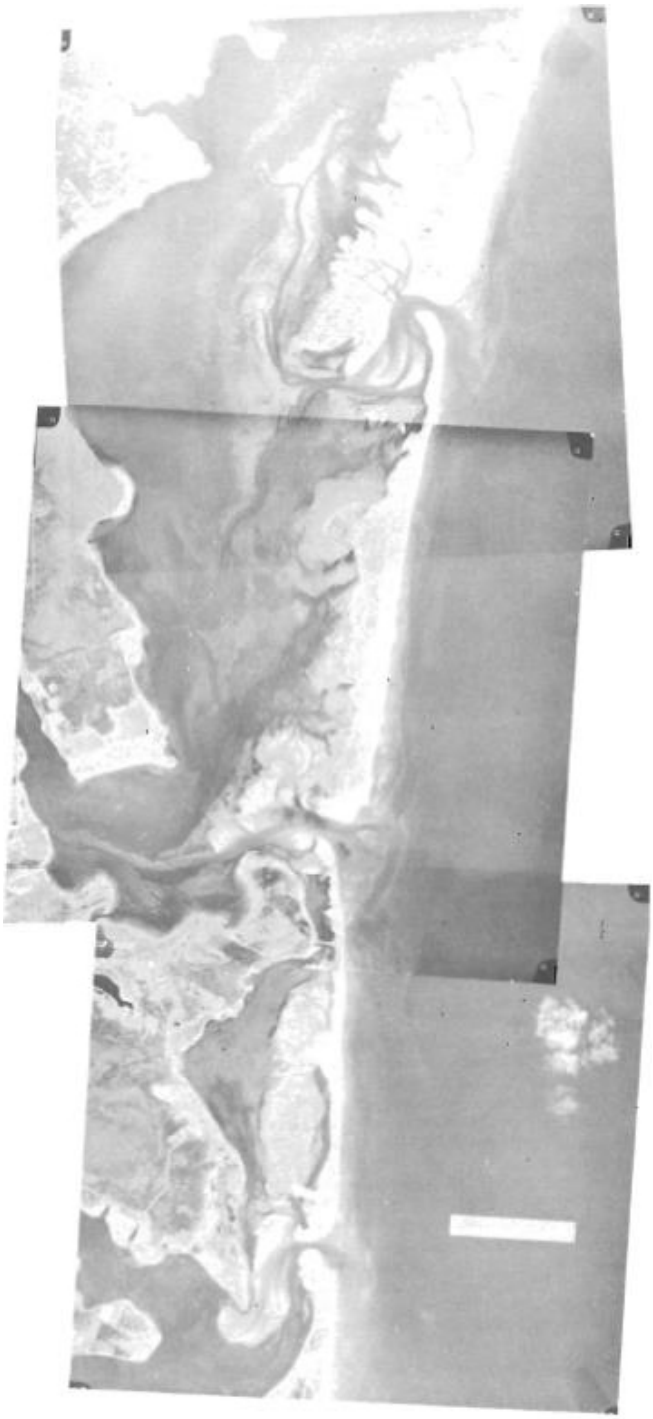


Figure 24
SYSTÈME DE FLÈCHES LITTORALES ET D'ÎLES-BARRIÈRES DE LA BAIE DE TRACADIE ET DES DEUX ESTUAIRES, EN 1974 (REINSON, 1980, FIG. 3.17)

Forme	Taux de déplacement (m/an) du trait de côte du golfe (transects)	Taux de déplacement (m/an) du trait de côte de la baie (transects)	Bilan moyen en largeur (m/an)
Flèche nord [GFN][58]	-0,40 ± 0,07 (#129-#290)	-0,25 ± 0,07 (#399-#575)	-0,65 ± 0,07
Île-barrière nord (1944) [GIBN]	-0,28 ± 0,07 (#4251-#4403)	+0,04 ± 0,07 (#4062-#4218)	-0,24 ± 0,07
Île-barrière centrale (1944) [GIBC]	-1,36 ± 0,07 (#4422-#4497)	+1,13 ± 0,07 (#3976-#4046)	-0,23 ± 0,07
Flèche de Val Comeau + île barrière centrale interne (côté baie) (1944) [GIBC-VCN]	-1,35 ± 0,07 (#4519-#5587)	+0,13 ± 0,07 (#3909-#3952)	-1,22 ± 0,07
Flèche de Tabusintac [GFTa]	-2,20 ± 0,07 (#4972-#5147)	-0,23 ± 0,06 (#5148-#5242)	-2,43 ± 0,07

Tableau 3 TAUX MOYEN DE DÉPLACEMENT ET DE VARIATION DE LA LARGEUR DES FLÈCHES LITTORALES ET ÎLES-BARRIÈRES DU GRAND TRACADIE ENTRE 1944 ET 2012[59]

forme qu'y a le profil émergé et submergé, de l'avant-plage jusqu'à la baie, et ce qui importe c'est qu'aucun des auteurs qui les ont étudiées jusqu'ici n'a jugé nécessaire de remettre en cause leur maintien d'ici 2100.

[58] Code du segment dans le fichier Excel « GRAND_TRACADIE-SHEILA_Taux_par_segments_150331 ».
[59] N'inclut que les transects en conditions naturelles pour lesquels le trait de côte d'une même île ou flèche était présent en 1944 et en 2012 (les traits de côte de flèches ou d'îles entièrement différentes mais développées au même endroit entre ces deux années n'ont pas été considérés dans ce calcul).

Nonobstant la conclusion du paragraphe précédent, il n'en demeure pas moins que les informations plus récentes sur l'accélération de la hausse du niveau marin obligent à poser la question de la réponse des flèches littorales et îles-barrières au XXIe siècle puisque les conditions hydrodynamiques de la période 2015-2100 seront sans doute bien différentes de celles de la période 1944-2012, sur laquelle reposent nos observations. Malheureusement, nos connaissances partielles sont un handicap et pour bien faire les choses, il faudrait pouvoir avoir recours à des exercices de modélisation numérique.

Les modèles existent depuis longtemps mais ils exigent tous des données sur les conditions d'évolution du système côtier : bathymétrie de l'avant-côte et des baies; sens et force de la dérive littorale (tant le sens et la force du courant lui-même, variables dans l'année, que les volumes de sédiments effectivement déplacés), scénarios du climat des vagues et du niveau marin (incluant les ondes de tempêtes). Les informations nécessaires peuvent être limitées selon les objectifs et la complexité de la modélisation envisagée, mais déjà le seul fait de ne pas bien connaître le bilan sédimentaire du système de flèches littorales et d'îles-barrières ne nous permet pas de nous avancer beaucoup. Par exemple, un des effets possibles d'une hausse du niveau marin serait selon certains auteurs d'augmenter les transferts sableux de la côte vers l'avant-côte, au détriment des stocks disponibles pour la dérive littorale, donc pour les flèches littorales et les îles-barrières (Roy *et al*, 1994). Sachant que le système de flèches littorales et d'îles-barrières du Grand Tracadie-Sheila reçoit peu de sable d'autres sources et ne compte surtout que sur son stock actuel, l'impact sur le système de telles pertes vers le large devrait être évalué. C'est un exemple d'élément qui pourrait être étudié dans le cadre d'une modélisation numérique.

Parmi les résultats des chercheurs qui ont réalisé des modélisations numériques pour établir les relations entre les formes littorales et les conditions hydrodynamiques, nous pouvons en retenir une qui est particulièrement pertinente dans le cadre de ce rapport. Bien que la réponse des flèches littorales et des îles-barrières aux changement naturels des conditions hydrodynamiques puisse inclure des seuils, c'est-à-dire des périodes de changements rapides (plutôt que graduels), dans l'ensemble les modélisations montrent que les perturbations d'origine anthropique ont un effet immédiat la plupart du temps bien plus important que les forçages naturels (Cowell *et al*, 1994). Ces perturbations, qu'il s'agisse de dragage, d'extraction de sable sur la côte ou l'avant-côte, la construction de jetées ou l'enrochement du trait de côte, ont toutes un effet direct sur le bilan sédimentaire du système côtier, qui se doit donc forcément d'y réagir pour rétablir un équilibre. Certaines de ces perturbations ont en plus l'effet d'éliminer une partie de la flexibilité dont la côte a besoin pour s'ajuster aux conditions changeantes, par exemple en provoquant un trait de côte fixe (et aussi en retirant du système les stocks sableux « protégés »). Ces résultats confirment ce qu'affirmait Hunter (1975) quant à l'équilibre sensible des côtes sableuses et confortent ses recommandations pour les secteurs de Tabusintac, Val Comeau, Tracadie et Four Roads.

Nous nous limiterons dans le cadre de ce rapport à deux recommandations préliminaires :

1) **Appliquer les recommandations de Hunter (1975).**
   Cet auteur, bien que disposant de moyens techniques moins avancés que ceux d'aujourd'hui, et ayant produit son rapport bien avant que le dossier des changements climatiques ne soit à l'ordre du jour, s'en est tenu aux principes élémentaires d'une bonne gestion de la zone côtière : adapter nos actions à la dynamique naturelle des milieux que nous occupons ou dont nous retirons un bénéfice (ce qu'il est maintenant convenu d'appeler un « service écologique »). Son rapport a déjà eu un impact important puisque l'extraction de sable dans les dunes littorales et sur les plages a été règlementée depuis, mais ses autres recommandations relatives à la gestion de la zone côtière, notamment celles ayant un rapport direct avec son aménagement, comportent l'essentiel de ce que nous pourrions ajouter encore aujourd'hui.

2) Notre deuxième recommandation est en fait une forme plus explicite de la première : la meilleure façon de le protéger est de **laisser le système de flèches littorales et d'îles-barrières s'ajuster aux changements naturels des conditions hydrodynamiques**. En l'absence d'une meilleure compréhension de son évolution à venir, dans le contexte des changements climatiques, mieux vaut ne pas risquer de déstabiliser ce système par des interventions prématurées (en regard de notre manque de connaissance précise de son évolution actuelle). Ceci inclut évidemment de prendre les mesures nécessaires pour **ne pas accroître les perturbations de la dynamique littorale le long du Golfe du Saint-Laurent**, par exemple par l'artificialisation le long de la côte (qui modifie le bilan sédimentaire et provoque donc une réponse du système littoral, incluant parfois une recrudescence de l'érosion).

Nous terminerons cette section avec un souhait. Il est assez clair dans le texte qui précède que nous avons besoin de meilleures connaissances pour répondre à la question posée par les responsables du Grand Tracadie-Sheila. Nous croyons aussi que cette question est pertinente car les Maritimes, et le Nouveau-Brunswick tout particulièrement, comprennent de nombreux systèmes de flèches littorales et d'îles-barrières, qui jouent un rôle protecteur pour les milieux et les côtes situés derrière, or nous ne savons pas comment ils seront affectés par l'accélération de la hausse du niveau marin et par la réduction du couvert de glace saisonnier. Il est donc à espérer qu'un effort concerté sera entrepris éventuellement pour faire cette étude. Une chose est sûre, c'est que les ressources humaines et techniques existent dans les Maritimes et que les enjeux sont grands (celui que nous avons mentionné plus haut, mais aussi la conservation des habitats et des espèces, le potentiel écologique et économique des baies et des lagunes, etc.).

Conclusion

Le travail réalisé a correspondu à la production d'une importante quantité d'information brute sur l'évolution de la côte du territoire du Grand Tracadie-Sheila entre 1944 et 2012, à partir du traitement photogrammétrique de deux séries de photographies aériennes. Il a aussi permis de préparer des scénarios simples et conservateurs du déplacement de la côte d'ici 2100, afin de permettre aux responsables de l'urbanisme et de l'aménagement du territoire de développer un Plan d'adaptation et de réaliser une planification à long terme de l'occupation durable du territoire.

Concernant le risque associé à l'érosion côtière, les principaux éléments à retenir de nos travaux sont :

(1) Le gradient décroissant très net de l'énergie reçue à la côte, de la côte du Golfe du Saint-Laurent à celle du fond des baies puis aux rives des estuaires et à mesure que l'on se dirige vers l'amont.

(2) Le caractère naturel de la côte des baies de Tracadie et de Tabusintac (partie nord) : ces secteurs ont jusqu'ici été peu artificialisés et le potentiel d'ajustement naturel des milieux côtiers à la hausse du niveau marin y est élevé.

(3) L'importance des marais dans les baies et les estuaires des Petite et Grande rivières Tracadie : le potentiel de sauvegarde de ces habitats à forte valeur écologique et des services écologiques qui leur sont associés est élevé.

(4) La présence d'un littoral artificialisé dans les secteurs de Val Comeau et de Four Roads, où l'érosion est chronique, en relation avec la forte énergie reçue à la côte dans cette partie de la municipalité directement exposée aux actions marines du Golfe du Saint-Laurent. Heureusement, la partie occupée de la côte y était encore limitée en 2012 (un linéaire d'environ 1300 m à Val Comeau, en excluant le secteur du Parc provincial, et d'un peu plus de 1600 m à Four Roads). Rappelons que Hunter (1975) recommandait une servitude de 45 m (150 pieds) dans ces deux secteurs pour tenir compte du fort recul de la côte. Cette valeur pourrait être revue à la lueur des taux d'érosion fournis dans cette étude et devrait tenir compte de la durée de vie économique d'un bâtiment, de façon à s'assurer de ne pas recevoir un jour une demande d'artificialisation du trait de côte sous prétexte qu'il faudrait protéger un bâtiment devenu trop près de la côte.

(5) La présence de structures de protection dans les estuaires des Grande et Petite rivières Tracadie, alors qu'il s'agit de milieux de faible énergie et que l'évolution des rives entre 1944 et 2012 y montre principalement une stabilité apparente du trait de côte. Il y a bien sûr des secteurs où le recul est avéré mais ils ne sont généralement pas occupés. L'impression qui se dégage de l'examen préliminaire de l'occupation du territoire municipal est que le respect d'une distance raisonnable entre les bâtiments et le trait de côte permettrait dans beaucoup de cas d'éviter une

artificialisation de la côte et les pertes d'habitats côtiers (et le phénomène de *coastal squeeze*) qui lui sont associées, avec ou sans hausse du niveau marin à venir.[60]

[60] Comeau (2011) semble lui aussi dubitatif face à la perception d'une recrudescence de l'érosion le long des berges des estuaires. Son rapport mentionne toutefois un élément intéressant et qui mériterait peut-être qu'on le vérifie : la possibilité que la fermeture du goulet de Tracadie ait pu provoquer un drainage moins efficace de la baie et des estuaires, d'où un niveau plus élevé de l'eau entre les marées hautes, et donc une certaine érosion des berges [ce dernier lien entre niveau de l'eau et érosion est de nous].

Références bibliographiques

Armon, J.W., 1979. Landward Sediment Transfers in a Transgressive Barrier Island System, Canada. *In* Leatherman, S.P. (dir.), *Barrier Islands – From the Gulf of St. Lawrence to the Gulf of Mexico, Academic Press*, New York, p. 65-80.

Armon, J.W. et McCann, S.B., 1979. Morphology and Landward Sediment Transfer in a Transgressive Barrier Island System, Southern Gulf of St. Lawrence, Canada. *Marine Geology*, 31, p. 333-344.

Comeau, O., 2011. *Rapport final. Étude sur l'érosion du littoral du golfe du Saint-Laurent et de l'estuaire. Région : Six Roads, Tracadie-Sheila, Pointe-à-Bouleau, Val Comeau et un aperçu de la péninsule acadienne*. Rapport présenté au Fonds de fiducie pour l'environnement du Nouveau-Brunswick, La Société des Estuaires et du Littoral, 48 p.

Cowell, P.J. et Thom, B.G., 1994. Morphodynamics of coastal evolution. *In* Carter, R.W.G. et Woodroffe, C.D. (dir.), *Coastal Evolution. Late Quaternary shoreline morphodynamics*. Cambridge University Press, Cambridge, p. 33-86.

Dagneau, B., Provencher, L. et Poulin, A., 1996. Évolution du système d'îles-barrières du Parc national Kouchibouguac, au Nouveau-Brunwick, par photo-interprétation multidate (1930-1991). Bulletin de recherche nos 124-126, Département de géographie et télédétection, Université de Sherbrooke, Sherbrooke, 103 p.

Dagneau, B., Dionne, J.-C. et Dubois, J.-M., 2004. *Évolution holocène récente et dynamique actuelle des système de barrières sableuses dunifiées de Parcs nationaux canadiens des Maritimes*. Bulletin de recherche nos 173-175, Département de géographie et télédétection, Université de Sherbrooke, Sherbrooke, 184 p.

Daigle, R. (dir.), 2006. *Impacts de l'élévation du niveau de la mer et du changement climatique sur la zone côtière du sud-est du Nouveau-Brunswick*. Environnement Canada, Ottawa, 644 p.

_____, 2014. *Rapport final. Scénarios : Élévation du niveau marin et inondations, Baie de Tracadie*. Rapport de R.J. Daigle Enviro préparé pour la Municipalité de Bathurst, 15 p.

Forbes, D.L., Parkes, G., Manson, G.K., Ketch, L.A., 2004. Storms ans shoreline retreat in the southern Gulf of St. Lawrence. *Marine Geology*, 210, p. 169-204.

Hunter, G.T., 1975. *Beach resources, eastern New Brunswick*. Airphoto Analysis Associates Consultants Limited, Toronto, 215 p.

IPCC, 2013. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley

(eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp, doi:10.1017/CBO9781107415324.

Jolicoeur, S., Giangioppi, M. et Bérubé, D., 2010. Réponses de la flèche littorale de Bouctouche (Nouveau-Brunswick, Canada) à la hausse du niveau marin relatif et aux tempêtes entre 1944 et 2000. *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, 1, p. 91-108.

Jolicoeur, S. et O'Carroll, S., 2012. *Projet de la Péninsule acadienne. Rapport de recherche technique. Équipe « Photogrammétrie et cartographie »*. Rapport remis à *Solutions d'adaptation aux changements climatiques pour l'Atlantique*, 63 p.

McCann, S.B., 1979. Barrier Islands in the Southern Gulf of St. Lawrence, Canada. *In* Leatherman, S.P. (dir.), *Barrier Islands – From the Gulf of St. Lawrence to the Gulf of Mexico, Academic Press*, New York, p. 29-63.

_____, 1990. An introduction to the coastal dunes of Atlantic Canada. *Proceedings of the Canadian Symposium on Coastal Sand Dunes*, Guelph, National Research Council, Associate Committee on Shorelines, Ottawa, p. 89-107.

Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement, Ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement, 1997. *Plan de prévention des risques littoraux (PPR). Guide méthodologique*. La documentation française, Paris, 54 p.

O'Carroll, S., Bérubé, D. et Evans, P., 2004a. *Taux d'érosion de la dune dans le secteur de Tracadie, Nouveau-Brunswick, entre 1944, 1974 et 2002. Planche 2004-12A*, Ministère des Ressources naturelles du Nouveau-Brunswick, Division des minéraux, des politiques et de la planification, Fredericton.

_____, 2004b. *Taux d'érosion de la plage dans le secteur de Tracadie, Nouveau-Brunswick, entre 1944, 1974 et 2002. Planche 2004-12B*, Ministère des Ressources naturelles du Nouveau-Brunswick, Division des minéraux, des politiques et de la planification, Fredericton.

_____, 2004c. *Taux d'érosion de la dune dans le secteur de Rivière-du-Portage, Nouveau-Brunswick, entre 1944, 1974 et 2002. Planche 2004-13A*, Ministère des Ressources naturelles du Nouveau-Brunswick, Division des minéraux, des politiques et de la planification, Fredericton.

_____, 2004d. *Taux d'érosion de la plage dans le secteur de Rivière-du-Portage, Nouveau-Brunswick, entre 1944, 1974 et 2002. Planche 2004-13B*, Ministère des Ressources naturelles du Nouveau-Brunswick, Division des minéraux, des politiques et de la planification, Fredericton.

Ollerhead, J. et Davidson-Arnott, R.G.D., 1995. The evolution of Buctouche Spit, New Brunswick, Canada. *Marine Geology*, 124, p. 215-236.

Owens, E.H., 1974. A framework for the definition of coastal environments in the southern Gulf of St. Lawrence. In Pelletier, B.R. (dir.), *Offshore Geology of Eastern Canada*, Geological Survey of Canada, Ottawa, Paper 74-30, vol. 1, p. 47-76.

_____, 1975. Barrier beaches and sediment transport in the southern Gulf of St. Lawrence. *In Proceedings of the 14th Conference on Coastal Engineering, Copenhague, Danemark*, American Society of Civil Engineers, New York, p. 1177-1193.

Owens E.H. et Bowen, A.J., 1977. Coastal environments of the Maritime Provinces. *Maritime Sediments*, 13/1, p. 1-31.

Paskoff, R., 1998. *Les littoraux. Impact des aménagements sur leur évolution*. Armand Colin, Paris, 260 p.

Reinson, G.E., 1980. Variations in tidal-inlet morphology and stability, northeast New Brunswick. *In* McCann, S.B. (dir.), *The Coastline of Canada*, Geological Survey of Canada, Ottawa, Paper 80-10, p. 23-39.

Rosen, P.S., 1979. Aeolian dynamics of a barrier island system. *In* Leatherman, S.P. (dir.), *Barrier Islands – From the Gulf of St. Lawrence to the Gulf of Mexico, Academic Press*, New York, p. 81-98.

Robichaud, A., Simard, I., Doiron, A. et Chjelbi, 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*, 56 p.

Roy, P.S., Cowell, P.J., Ferland, M.A. et Thom, B.G., 1994. Wave-dominated coasts. *In* Carter, R.W.G. et Woodroffe, C.D. (dir.), *Coastal Evolution. Late Quaternary shoreline morphodynamics*. Cambridge University Press, Cambridge, p. 121-186.

Senneville, S., St-Onge, S., Dumont, D., Bihan-Poudec, M.-C., Belemaalem, Z., Corriveau, M., Bernatchez, P., Bélanger, S., Tolszcuzuk-Leclerc, S. et Villeneuve, R., 2013. *Modélisation des glaces dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent dans la perspective des changements climatiques*. Rapport final remis au ministère des Transport du Québec. Institut des sciences de la mer de Rimouski, Université du Québec à Rimouski, 370 p.

Simard, I., Robichaud, A. et F. Savoie-Ferron, 2015. *Infrastructures à risque face aux inondations et à l'érosion côtières pour la municipalité régionale de Grand Tracadie-Sheila, Nouveau-Brunswick*. Rapport remis au Fonds en fiducie pour l'Environnement du Nouveau-Brunswick. 36p.

Thieler, E.R., Himmelstoss, E.A., Zichichi, J.L., and Ergul, Ayhan, 2008. *Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 4.0—An ArcGIS extension for calculating shoreline change*. United States

Geological Survey Open-File Report 2008-1278. En ligne: http://woodshole.er.usgs.gov/project-pages/DSAS/version4/index.html

Annexe 1

Informations sur les photographies aériennes de 1944 utilisées

Informations sur les photographies aériennes de 1944 utilisées

Numéro de la photographie	Dimension du pixel au sol (m)	Autres informations
1944 A 7328-43, 45 et 46 Échelle officielle moyenne : 1:20 000 Résolution de la numérisation: 1800 ppp Traitement: géoréférencement *(ArcGIS)*	0,27[61]	Date : 20 octobre 1944 Distance focale : 209,55 mm Émulsion : noir et blanc
1944 A 7329-2, 4 et 6 Échelle officielle moyenne : 1:20 000 Résolution de la numérisation: 1800 ppp Traitement: orthorectification *(Caris GIS)*	0,5	Date : 20 octobre 1944 Distance focale : 209,55 mm Émulsion : noir et blanc
1944 A 7334-42, 43, 45, 47, 50 et 52 Échelle officielle moyenne : 1:20 000 Résolution de la numérisation: 1800 ppp Traitement: orthorectification *(Caris GIS)*	0,5	Date : 20 octobre 1944 Distance focale : 209,55 mm Émulsion : noir et blanc
1944 A 7334-46 Échelle officielle moyenne : 1:20 000 Résolution de la numérisation: 1800 ppp Traitement: géoréférencement *(ArcGIS)*	0,27	Date : 20 octobre 1944 Distance focale : 209,55 mm Émulsion : noir et blanc
1944 A 7337-39, 41 et 56 Échelle officielle moyenne : 1:20 000 Résolution de la numérisation: 1800 ppp Traitement: orthorectification *(Caris GIS)*	0,5	Date : 20 octobre 1944 Distance focale : 209,55 mm Émulsion : noir et blanc
1944 A 7342-4, 7 et 84 Échelle officielle moyenne : 1:20 000 Résolution de la numérisation: 1800 ppp Traitement: géoréférencement *(ArcGIS)*	0,27	Date : 20 octobre 1944 Distance focale : 209,55 mm Émulsion : noir et blanc
1944 A 7342-80 et 82[62] Échelle officielle moyenne : 1:20 000 Résolution de la numérisation: 1800 ppp Traitement: orthorectification *(Caris GIS)*	0,5	Date : 20 octobre 1944 Distance focale : 209,55 mm Émulsion : noir et blanc
1944 A 7356-4 Échelle officielle moyenne : 1:20 000 Résolution de la numérisation: 1800 ppp Traitement: géoréférencement *(ArcGIS)*	0,27	Date : 23 octobre 1944 Distance focale : 209,55 mm Émulsion : noir et blanc

[61] Valeur moyenne effective vérifiée dans *ArcGIS*.
[62] Une version simplement géoréférencée de la partie nord de cette photographie a aussi été réalisée, pour les besoins d'un meilleur géocodage dans ce secteur.

Numéro de la photographie	Dimension du pixel au sol (m)	Autres informations
1944 A 7363-2 et 5 Échelle officielle moyenne : 1:20 000 Résolution de la numérisation: 1800 ppp Traitement: orthorectification *(Caris GIS)*	0,5	Date : 27 octobre 1944 Distance focale : 209,55 mm Émulsion : noir et blanc
1944 A 7408-51 Échelle officielle moyenne : 1:20 000 Résolution de la numérisation: 1800 ppp Traitement: orthorectification *(Caris GIS)*	0,5	Date : 05 novembre 1944 Distance focale : 209,55 mm Émulsion : noir et blanc
1944 A 7428-50 et 51 Échelle officielle moyenne : 1:20 000 Résolution de la numérisation: 1800 ppp Traitement: géoréférencement *(ArcGIS)*	0,27	Date : 09 novembre 1944 Distance focale : 209,55 mm Émulsion : noir et blanc
1974 NB74513-153[63] Échelle officielle moyenne : 1:20 000 Résolution de la numérisation: 1800 ppp Traitement: géoréférencement *(ArcGIS)*	0,27	Date : 09 octobre 1974 Distance focale : 151,98 mm Émulsion : couleur

[63] L'utilisation de cette photographie a été nécessaire à cause de la couverture incomplète du territoire à l'étude par la couverture de 1944 (voir la section 1.1).

Annexe 2

Notice explicative des éléments et attributs assignés à l'information cartographiée dans les fichiers SIG