Projet FFENB # 140133
Évaluation de la vulnérabilité aux changements climatiques pour la Ville de Bathurst

Contribution au rapport final du projet
Volet « Érosion côtière »

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

UNIVERSITÉ DE MONCTON
CAMPUS DE MONCTON

Géo Littoral
Consultants

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

10 mars 2015

Préambule

« Depuis [2012] la Ville de Bathurst 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 que représentent l'érosion et la submersion marines pour les biens (infrastructures publiques comprises) et les personnes. La Ville de Bathurst veut accroître sa capacité de planification en s'assurant de disposer des outils nécessaires pour aider les décideurs face à l'adaptation à ces changements climatiques sur le territoire municipal, comprenant le front de mer sur la baie de Nepisiguit et les rives du havre de Bathurst (…). La démarche en cours, qui vise l'augmentation de la résilience des ressources côtières, de la population et des activités ayant cours sur le territoire de Bathurst, comporte plusieurs étapes : l'évaluation de la vulnérabilité aux risques côtiers (érosion et submersion); l'élaboration du *Plan d'adaptation* (incluant des solutions d'adaptation); puis, la communication de son contenu à la population, la mise en œuvre du Plan et le suivi requis. »
(tiré de la demande soumise par la Ville de Bathurst au Fonds de fiducie pour l'environnement du Nouveau-Brunswick en décembre 2013)

Le projet « Évaluation de la vulnérabilité aux changements climatiques pour la Ville de Bathurst » constitue donc le début de la démarche vers la préparation d'un *Plan d'adaptation* municipal. Il adopte pour partie celle qui avait été développée en 2012 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 21^{e} 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 de Bathurst.

La contribution du Département d'histoire et de géographie de l'Université de Moncton correspond au volet « Érosion » du projet, soit le 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.

Plan du rapport

Préambule 2
Liste des figures 4
Liste des tableaux 5
Liste des annexes 6
Contenu du DVD 7

Introduction : le mandat de l'équipe du volet « Érosion » 8

1. Travaux préalables 10
   1.1 Sélection des photographies 10
   1.2 Numérisation des photographies 11
   1.3 Géocodage des photographies 11

2. Cartographie de la zone côtière 13
   2.1 Limites-repère (trait de côte et ligne de rivage) 13
   2.2 Attributs assignés aux informations dans les fichiers SIG 14

3. Calcul du taux de déplacement du trait de côte 15
   3.1 Calcul des taux 15
      3.1.1 Marge d'erreur des mesures 15
      3.1.2 Période considérée 16
   3.2 *Banque de données de taux d'érosion du Nouveau-Brunswick* (MRN) 16

4. Établissement de scénarios de la position future du trait de côte 17
   4.1 Développement des scénarios 17
      4.1.1 Segmentation du linéaire côtier et projection dans l'avenir 17
   4.2 Réserve et avertissement 19

5. Interprétation préliminaire des résultats 20
   5.1 Aperçu général des tendances de l'érosion côtière dans le territoire de la Ville de Bathurst 20
   5.2 Secteurs à fort dynamisme 24
      5.2.1 Le front ouest de la baie de Nepisiguit : le secteur « Promenade Queen Elizabeth/Plage Youghall 24
      5.2.2 Le front est de la baie de Nepisiguit : le secteur « Pointe Belloni/embouchure de la rivière Bass/Pointe Carron » 27
   5.3 Un secteur d'intérêt écologique particulier : la pointe Daly 30

Conclusion 32

Références bibliographiques 34
Annexes 36

Liste des figures

1. Localisation du territoire de la Ville de Bathurst 8

2. A. Photographies de 1944 et de 1945 utilisées pour cette étude 10
   B. Positionnement final des photographies aériennes de 1944 et de 1945 utilisées 11

3. Segmentation du linéaire côtier : secteur de l'avenue Saint-Pierre et du golf Gowan Brae 18

4. Catégories de segments côtiers selon l'évolution entre 1944 et 2012 20

5. Remblaiements dans le secteur du centre-ville de Bathurst entre 1944 et 2012 22

6. Extrait de la Planche 2003-16 (Bérubé et al, 2003) 25

7. A. Évolution de la pointe Youghall, 1944 et 2012 26
   B. Scénarios de la position du trait de côte, 2030, 2050, 2100 26

8. Impact de la flèche de la rivière Bass sur la Pointe Carron, 1944 et 2012 28

9. Évolution de la partie ouest de la pointe Carron, 1944 et 2012 28

10. Évolution de la Pointe Belloni, 1944 et 2012 29

11. Pointe Belloni, scénarios de la position du trait de côte, 2030, 2050, 2100 29

12. Évolution de la côte de la Pointe Daly, 1944 et 2012 30

Liste des tableaux

1. RÉPARTITION DES TRANSECTS SELON LA TENDANCE OBSERVÉE (BATHURST, 1944-2012) 21

2. RÉPARTITION DES TRANSECTS SELON LA TENDANCE OBSERVÉE, PAR SECTEUR (BATHURST, 1944-2012) 23

Liste des annexes

Annexe 1
Informations sur les photographies aériennes de 1944 et de 1945 utilisées 37

Annexe 2
Notice explicative des éléments et attributs assignés à l'information cartographiée dans les fichiers SIG 40
A. Carte « Bathurst TCS 2012 » (*CARIS GIS* 4.5) [Segmentation du trait de côte de 2012] 41
B. Description des attributs des autres cartes (*ArcGIS* 10.2.2)

Contenu du DVD

Rapport du volet « Érosion » du Projet # 140133 (ce rapport)

Planches (Ressources naturelles Nouveau-Brunswick)
- Planche 2003-16
- Planche 2008-4

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

Dossier « Photographies aériennes de 1944 et de 1945 »
- 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 de 2012 utilisée pour la génération des transects par le module *DSAS* (dans *ArcGIS* 10.2.2)
- Carte de localisation des transects utilisés pour la mesure de l'érosion (PDF)
- 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*)
- Scénario de la position du trait de côte en 2030
- Scénario de la position du trait de côte en 2050
- Scénario de la position du trait de côte en 2100

Dossier « 150203 »
- Fichiers PPT et PDF de la présentation du 3 février 2015 (Centre régional K.-C.-Irving, Bathurst)

[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 de l'équipe du volet « Érosion »

Le projet no 140133 soumis au *Fonds de fiducie pour l'environnement du Nouveau-Brunswick* par la Ville de Bathurst s'insère dans une démarche visant le développement d'un Plan d'adaptation aux changements climatiques. 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 (ce rapport ; Daigle, 2014 ; Simard *et al*, 2015).

Le mandat spécifique de l'équipe du volet « Érosion » 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 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 ;

(5) de la présentation publique des résultats lors d'une rencontre organisée par la Ville de Bathurst, le 3 février 2015.

À noter que les outils d'aide à la décision mentionnés dans la demande déposée au FFENB sont des livrables associés aux travaux de GeoMediatix, présentés dans un rapport distinct (Simard *et al*, 2015).

[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 DE LA VILLE DE BATHURST
(SOURCE : GOOGLE MAPS)

1. Travaux préalables

1.1 Sélection des photographies

Pour déterminer les photographies aériennes de 1944 et de 1945 nécessaires à la cartographie des secteurs (fig. 2A), les cartes-index des lignes de vol des séries disponibles ont été consultées, à partir des documents disponibles sur Internet mais aussi en personne, au 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 de ces photographies.

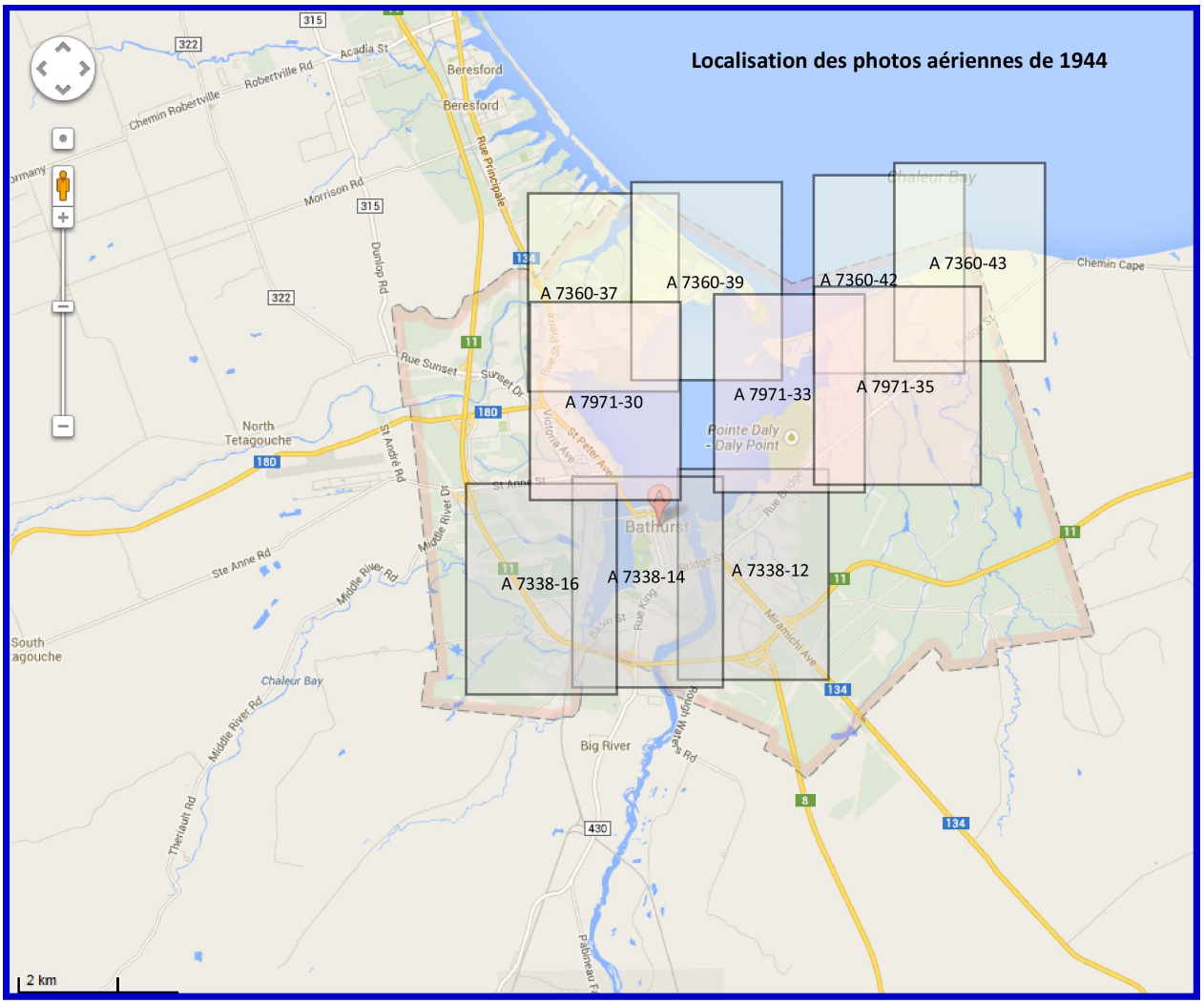

Figure 2A

PHOTOGRAPHIES DE 1944 ET DE 1945 UTILISÉES POUR CETTE ÉTUDE

N.B. La photographie A 7971 #35 n'a pas été utilisée.

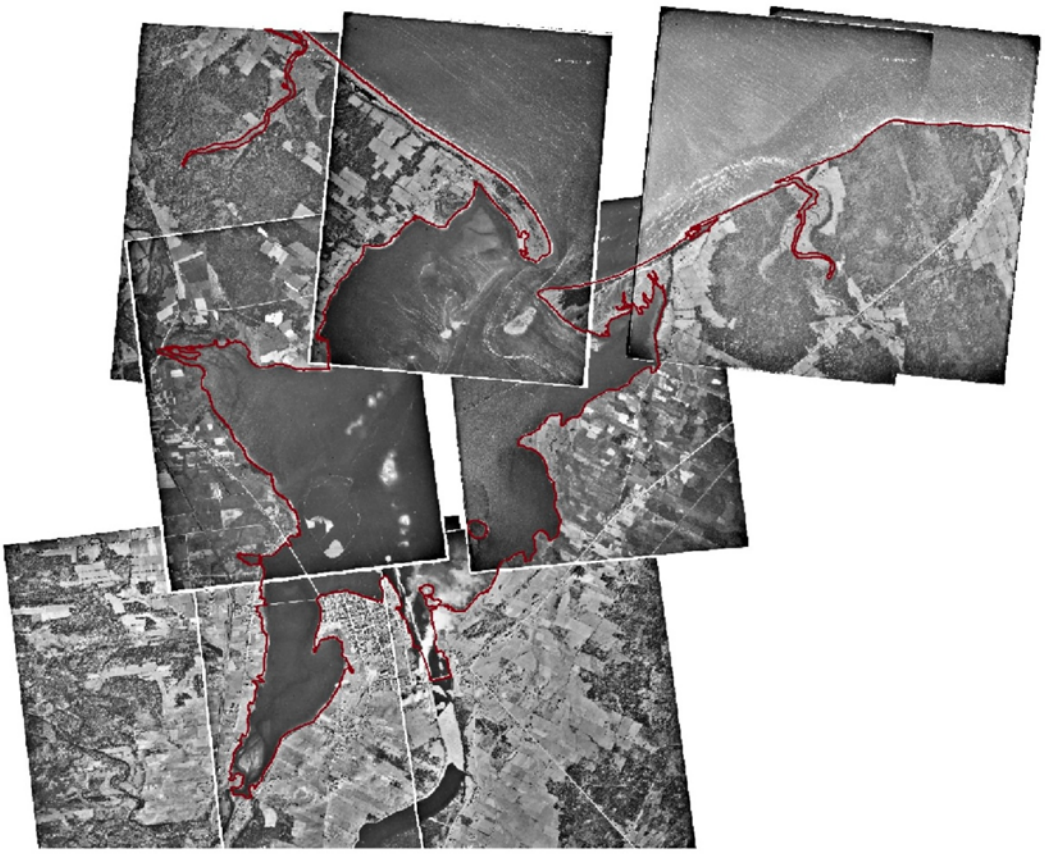

FIGURE 2B
POSITIONNEMENT FINAL DES PHOTOGRAPHIES AÉRIENNES DE 1944 ET DE 1945 UTILISÉES

1.2 Numérisation des photographies

La démarche photogrammétrique retenue prévoyait la numérisation des images à une résolution uniforme (1800 pixels par pouce ou *ppp*[5]), ce qui correspond à une résolution 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 (A 7338 #12, 14 et 16) 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 trois photographies ont été orthorectifiées et géoréférencées à partir de points d'ancrage

[5] *dpi* en anglais.

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, seul un traitement de géoréférencement a été effectué, dans ArcGIS 10.2.

Tant dans le cas des six photographies géoréférencées[6] que dans celui des trois photographies orthorectifiées (Annexe 1), 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).

[6] Sept si l'on compte séparément les deux versions de la photographie A7971-33.

2. Cartographie de la zone côtière

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

Pour le calcul de taux de déplacement du trait de côte (et le développement de scénarios du déplacement de ce trait de côte au cours du XXI^{e} 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 Notice explicative des *User Numbers*, des attributs (*Feature Codes*) et des *Source Ids* utilisés dans *Caris GIS* et des attributs utilisés dans *ArcGIS*

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 retrouve 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 2690 transects de la présente étude étaient espacés de 20 m les uns des autres[7].

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 « Bathurst_Taux par segments_150223 ». Il comprend les éléments suivants :

(1) l'écart du positionnement des orthophotographies de 1944 produites dans le cadre du projet, relativement à celles 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 dansle cas des trois orthophotos produites dans *Caris GIS* 4.5 (0,05 m)

Par exemple, au transect no 1177 (segment no 24, sur la rive ouest du havre, un peu au sud de la Promenade Squire Green), la marge d'erreur maximale associée à la mesure de la distance entre la position du trait de côte de 1944 et celui de 2012 correspond à :

(1) 1,65 m (qualité du géocodage de l'orthophotographie de 1945 no 7338-14) + 0 m (géocodage de orthophotographie de 2012 no O2562000-7622000[8])+ (2) 0,5 m + 0,3 m (taille au sol des pixels des deux images) + (3) 2 m + 0,9 m (qualité respective des deux images) + (4) 0,05 m (taille de la maille du fichier *Caris GIS*) = 5,4 m.

Reportée sur la période de 1944 à 2012 (68 ans), cette marge est de ± 0,08 m/an[9].

[7] 515 de ces transects, localisés dans les marais des rivières Peters et Bass et le long de la flèche de la rivière Bass, n'ont pas servi au développement des scénarios du déplacement du trait de côte d'ici 2100.
[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 0,7 à 0,9 m/an pour l'ensemble des 2690 mesures.

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 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 de protection contre l'érosion côtière) et celui où il y a eu artificialisation. Les fichiers Excel (DVD) incluent des valeurs de taux de déplacement dits « bruts » (tous transects confondus) et des taux dits « en conditions naturelles » (pour lesquels les transects où la côte était artificielle en 1944 et/ou en 2012 n'ont pas été pris en compte lors du calcul). Dans les fichiers Excel, les transects où la côte était artificielle en 1944 ou en 2012 ont été colorés en rose.

3.1.2 Période considérée

Comme c'est généralement le cas dans les études comprenant le calcul de taux d'érosion de Énergie & 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. Théoriquement, il aurait dû s'agir de la période de 1939 à 2012 (73 ans). Toutefois, la qualité des photographies de 1939, leur couverture incomplète du secteur et le fait qu'elles ne comprennent pas les points fiduciaires nécessaires à leur conversion en orthophotographies nous ont incités à ne pas retenir cette série[10]. Celle 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[11].

La série de photographies de 1944 et 1945 pose en partie le même problème car à l'exception des deux photographies utilisées, les points fiduciaires y sont aussi absents.

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

Les données du fichier « Bathurst_Taux par segments_150223 » ont été ajoutées à la *Banque de données sur les taux d'érosion du Nouveau-Brunswick*, tenue par Énergie et Mines (Bathurst). Elles pourront donc éventuellement être visualisées sur le site GeoNB de Service Nouveau-Brunswick.

[10] La série de photographies de 1944 et 1945 pose en partie le même problème car à l'exception des trois photographies de la ligne de vol A7338 (1944), les points fiduciaires y sont aussi absents.

[11] 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 section 4.2).

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, l'équipe du volet « Érosion » était responsable de développer des scénarios de la position future de la côte à l'horizon temporel de 2030, 2050 et 2100. Geomediatix Innovations Inc. 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[12]. 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* de la Ville de Bathurst, 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 (2030, 2050 et 2100)

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 homogène pendant la période considérée (fig. 3). La côte a ainsi été divisée en 49 segments[13] (voir le fichier « Bathurst_SegmentationCote_VF » dans le dossier « SIG » du DVD, et le fichier « Bathurst_Taux par segment_150223 » dans le dossier « Excel »).

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 été projeté vers la baie ou le havre (progradation) ou vers l'intérieur des terres (recul), selon les taux de déplacement moyens locaux de la période 1944-2012.

---

[12] 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 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.

[13] Dont dix segments maintenus fixes dans les scénarios.

Pour chaque segment, le déplacement dans l'avenir correspond à la moyenne des taux de déplacement pour les transects situés dans ce segment, multipliée par le nombre d'années d'ici l'horizon temporel choisi. Par exemple, le segment 13 (fig. 3) correspond aux transects nos 738 à 751, dont le taux de déplacement moyen a été de -0,13 ± 0,09 m/an entre 1944 et 2012. Projeté sur dix-huit ans (2012-2030), ce taux d'érosion correspondrait à un recul moyen de la côte de 2,34 (± 1,65) mètres.

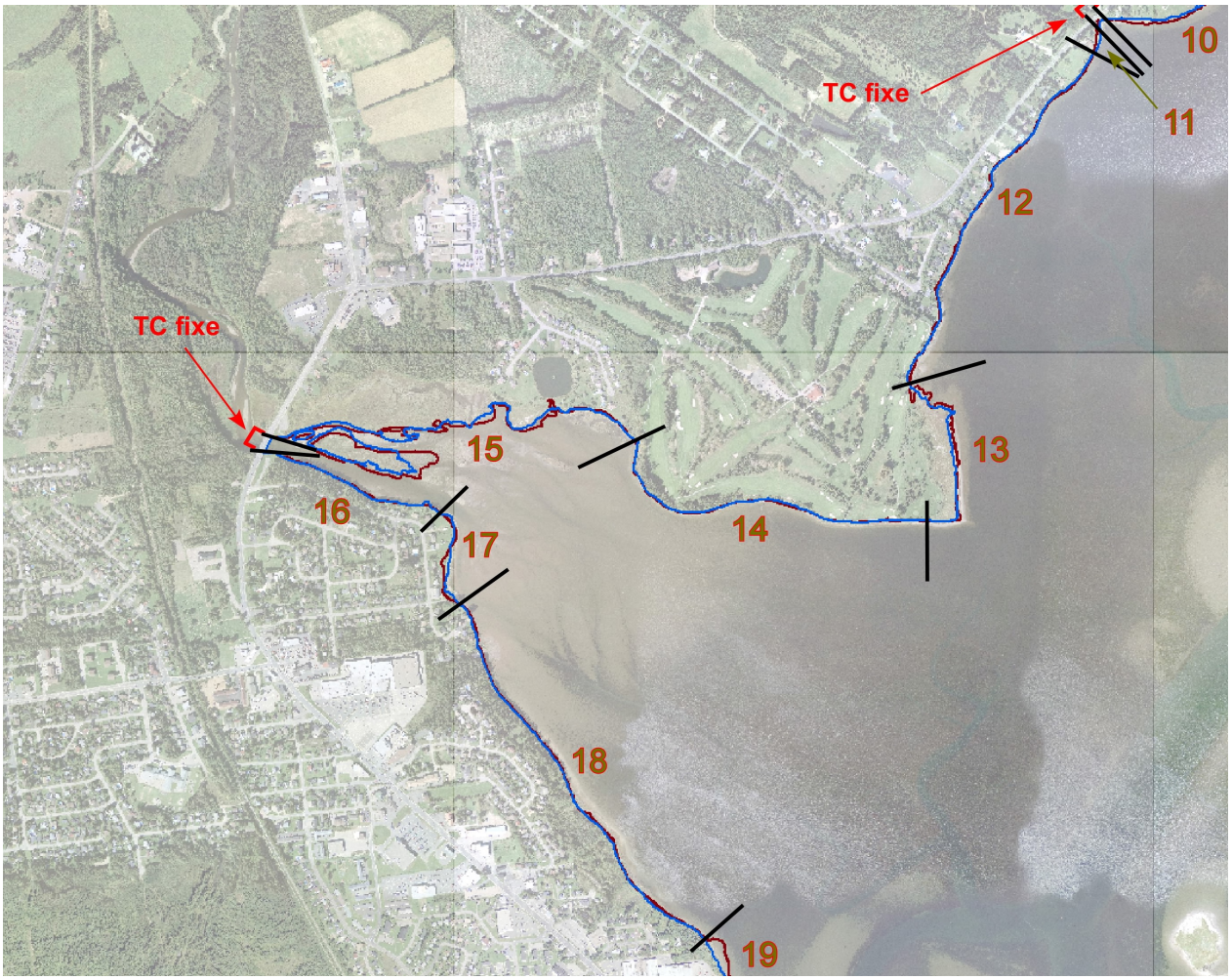

FIGURE 3
SEGMENTATION DU LINÉAIRE CÔTIER : SECTEUR DE L'AVENUE SAINT-PIERRE ET DU GOLF GOWAN BRAE

Certains segments côtiers ont été jugés fixes ou stables dans les scénarios de la position future de la côte (fig. 4, DVD). En effet, en l'absence d'indication ou d'études prospectives prévoyant les décisions qui seront prises concernant les infrastructures publiques (ponts, ponts-chaussée, structures de protection de secteurs densément urbanisés, installations portuaires) dans la municipalité d'ici l'an 2100, on a postulé qu'il serait décidé de les maintenir dans leur position actuelle.

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).

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 4.2.

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 XXI^{e} 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 de l'érosion côtière dans le territoire de la Ville de Bathurst

Le linéaire côtier de la Ville de Bathurst peut être divisé en deux types de milieux du point de vue de l'énergie reçue à la côte : la baie de Nepisiguit, ouverte à la Baie des Chaleurs et où l'on peut observer les vagues les plus hautes sur le territoire lorsque le temps est mauvais, et le havre de Bathurst, dont l'entrée est protégée par les flèches de la Pointe Carron et de la Plage Youghall et où les vagues sont moins fortes dans l'ensemble (quoique les vents du sud ou du nord-est puissent tout de même développer des vagues pouvant y être efficaces).

Le calcul des taux d'érosion fait apparaître cette division, mais si l'on prend d'abord l'ensemble des taux (fig. 4 et tabl. 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 1202 transects. 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 très ponctuellement et ce résultat est jugé représentatif de la situation : le risque d'érosion côtière n'a pas été chronique pendant les 68 dernières années sur une grande partie du territoire municipal.

FIGURE 4. CATÉGORIES DE SEGMENTS CÔTIERS SELON L'ÉVOLUTION ENTRE 1944 ET 2012
(jaune : stabilité apparente ; rouge : recul ; vert : avancée ; noir :fixe ; gris : hors-scénario)

TABLEAU 1 : RÉPARTITION DES TRANSECTS SELON LA TENDANCE OBSERVÉE (BATHURST, 1944-2012)

Tendance observée	Nombre de transects[14]	Déplacement entre 1944 et 2012 (m)	Taux annuel moyen (m/an)
Avancée du trait de côte	200	**+22,2 ± 5,5[15]**	**+0,33 ± 0,08**
Recul du trait de côte	556	**-16,3 ± 5,6**	**-0,24 ± 0,08**
Stabilité apparente	1202	-0,9 ± 5,5	-0,02 ± 0,08
Transects avec présence de structures de protection	238	+4,1 ± 5,3	*+0,06 ± 0,08[16]*

556 transects montrent un recul de la côte, avec un recul moyen de plus de 16 m (± 5,6 m), soit une perte annuelle moyenne de 0,24 (± 0,08) m. Souvent en corollaire (ce qui est érodé quelque part s'accumule ailleurs), 200 transects montrent une avancée de la côte, avec des valeurs moyennes de plus de 22 m et de + 0,33 m/an. Finalement, en 2012, et en excluant les segments côtiers maintenus fixes dans les scénarios (où se retrouvent la plupart des importants remblais[17] et des structures de protection publiques ou institutionnelles), la côte était artificialisée le long de 238 transects, sans que le sens du déplacement puisse y être attesté (la valeur de + 4,1 m reste comprise dans la marge d'erreur de la mesure).

[14] Les transects des segments maintenus fixes dans les scénarios (fig. 4, DVD) n'ont pas été comptabilisés.
[15] Les valeurs concluantes (supérieures à la marge d'erreur) sont indiquées en gras.
[16] Le taux annuel moyen ne traduit généralement pas la réalité (déplacement progressif fictif) dans le cas d'un trait de côte artificialisé pendant la période d'étude : mieux vaut y retenir la valeur brute du déplacement entre 1944 et 2012.
[17] Voir fig. 5.

FIGURE 5A. REMBLAIEMENTS DANS LE CENTRE-VILLE ENTRE 1944 (JAUNE) ET 2012 (ROUGE)

FIGURE 5B. REMBLAIEMENTS DANS LE CENTRE-VILLE DE BATHURST ENTRE 1944 ET 2012

Si l'on distingue les taux de la baie de ceux du havre et des marais des rivières Peters et Bass, un portrait plus précis se dégage (tabl. 2). Comme on pouvait s'y attendre, la côte de la baie est nettement plus dynamique que celle des secteurs protégés des vagues de la Baie des Chaleurs. 1030 des 1202 transects montrant une stabilité apparente se retrouvent dans le havre et les deux marais. Les taux moyens d'avancée et de recul y sont respectivement de +0,25 et – 0,18 m/an, contre +0,38 m et -0,31 m (± 0,08 m) face à la baie. La seule autre tendance concluante pendant cette période est *l'avancée* du trait de côte là où des structures de protection privées ont été installées : toujours en excluant les segments

TABLEAU 2 : RÉPARTITION DES TRANSECTS SELON LA TENDANCE OBSERVÉE, PAR SECTEUR (BATHURST, 1944-2012)

Tendance observée	Secteur	Nombre de transects[18]	Déplacement entre 1944 et 2012 (m)	Taux annuel moyen (m/an)
Avancée du trait de côte	baie	117	**+26 ± 5,6[19]**	**+0,38 ± 0,08**
	havre et marais[20]	83	**+16,9 ± 5,3**	**+0,25 ± 0,08**
Recul du trait de côte	baie	143	**-21,1 ± 5,7**	**-0,31 ± 0,08**
	havre et marais[21]	367	**-12 ± 5,5**	**-0,18 ± 0,08**
Stabilité apparente	baie	172	+0,28 ± 5,6	0,0 ± 0,08
	havre et marais	1030	-1,1 ± 5,5	-0,02 ± 0,08
Transects avec présence de structures de protection ou de remblaiement	baie	110	-1,9 ± 5,3	*-0,03 ± 0,08*
	havre[22] et marais	128	**+9,4 ± 5,4**	*+0,14 ± 0,08*[23]

[18] Les transects des segments maintenus fixes dans les scénarios (fig. 4, DVD) n'ont pas été comptabilisés.
[19] Les valeurs concluantes (supérieures à la marge d'erreur) sont indiquées en gras.
[20] Marais des rivières Peters (segment côtier « 0 ») et Bass (segment côtier « 35B »).
[21] Ces valeurs n'incluent pas le segment 27 (abords de l'embouchure de la rivière Nepisiguit, fig. 5A). En incluant ses 46 transects, les valeurs deviennent -14,7 ± 5,5 m et -0,22 ± 0,08 m/an.
[22] À l'exclusion du segment 26 (Parc Coronation).
[23] Le taux annuel moyen ne traduit généralement pas la réalité (déplacement progressif fictif) dans le cas d'un trait de côte artificialisé pendant la période d'étude : mieux vaut retenir la valeur brute du déplacement entre 1944 et 2012.

côtiers maintenus fixes dans les scénarios[24], la valeur moyenne des terres gagnées sur le havre par rapport à 1944 était de +9,4 ± 5,4 m en 2012.

À l'intérieur du havre, on distingue sept segments côtiers où la comparaison 1944-2012 indique un recul de la côte (fichier « Bathurst_Calcul des scénarios_150223 » dans le dossier « Excel » du DVD), un seul d'entre eux montrant des valeurs qui pourraient exiger une action selon nous :

1. Segment 8 (côte exposée au sud de Anderson Point), recul moyen de -0,8 ± 0,07 m/an
2. Segment 10[25] (côte exposée au sud, Promenade Youghall), -0,12 ± 0,07 m/an
3. Segment 13[24] (côte exposée à l'est, golf Gowan Brae), -0,13 ± 0,09 m/an
4. **Segment 19**[24] (section de près de 500 m de longueur exposée au nord-est, de l'arrière du Supermall vers l'extrémité de la Promenade Riverside), -0,35 ± 0,09 m/an, ce qui pourrait correspondre à un recul de 13,5 ± 3,5 m d'ici 2050
5. Segment 27 (embouchure de la rivière Nepisiguit), -0,16 ± 0,08 m/an[26], si on tient compte du réaménagement de ce secteur (fig. 5), mais -0,04 m/an en ne retenant que les transects restés en conditions naturelles entre 1944 et 2012
6. Segment 30 (Pointe Daly, exposée à l'ouest), dont il sera question plus bas
7. Segment 32B (revers sud-ouest de la Pointe Carron), -0,13 ± 0,08 m/an

5.2 Secteurs à fort dynamisme

Il s'agit du linéaire côtier de la baie, du côté ouest et du côté est du chenal du havre.

5.2.1 Le front ouest de la baie de Nepisiguit : le secteur « Promenade Queen Elizabeth/Plage Youghall »

La Plage Youghall a été l'objet d'études de la part du Ministère des Ressources naturelles (Bérubé et al, 2003). Un suivi de l'évolution de la pointe, exploitant les cartes anciennes (*circa* 1770, 1820 et 1831) et les photographies aériennes alors disponibles (de 1934 à 2002) montre bien le passage d'une flèche à tracé régulier, en 1944, la côte formant alors un arc de cercle convexe vers la mer (planche 2003-16, DVD), au tracé d'aujourd'hui, marqué par un plus fort recul à l'est du secteur développé de la Promenade Queen Elizabeth (c'est-à-dire dans le parc de la Plage Youghall). On peut observer le début du développement du tracé irrégulier d'aujourd'hui sur la photographie aérienne de 1963 (fig. 6), laquelle montre d'ailleurs aussi pour la première fois deux épis juste à l'ouest, laissant présager l'évolution à venir. Les débris de ces épis (et de d'autres qui se sont ajoutés après 1963) sont encore visibles sur les photographies aériennes de 2012 (fig. 7A).

[24] Le segment 26 (voir le fichier « Bathurst_Calcul des scénarios_150223 » dans le dossier « Excel » du DVD), correspondant à un important secteur remblayé où se trouve aujourd'hui le Parc Coronation, juste au sud du centre-ville (figures 5A et 5B), n'est pas compris non plus dans ce calcul.
[25] Voir figure 3.
[26] C'est cette valeur qui a été retenue pour les scénarios.

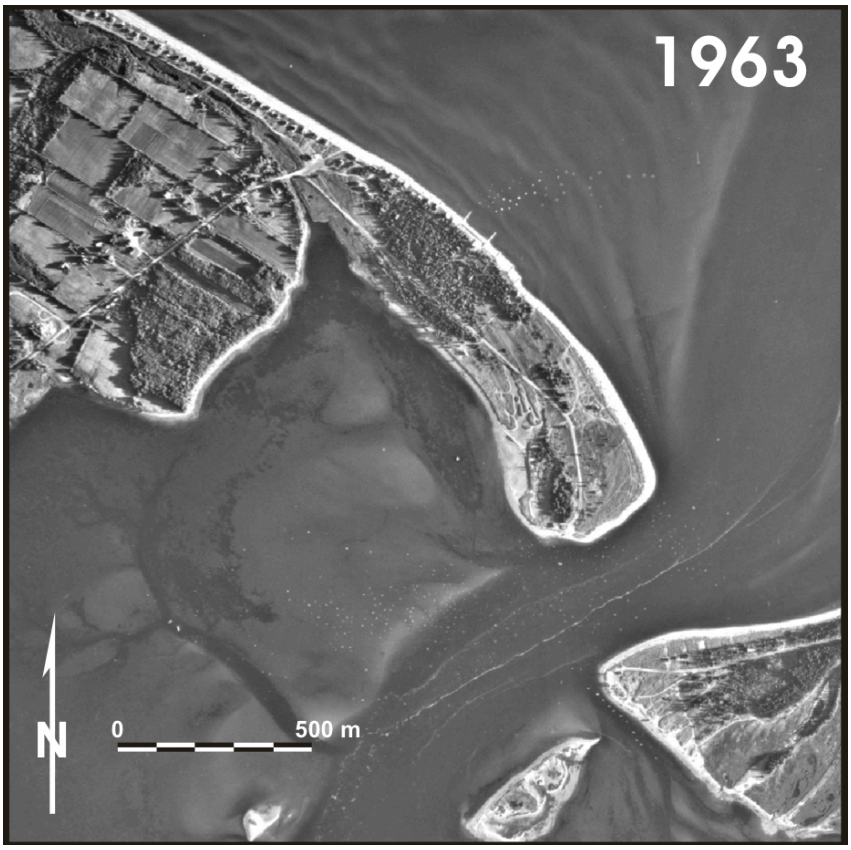

FIGURE 6. EXTRAIT DE LA PLANCHE 2003-16 (BÉRUBÉ ET AL, 2003, DVD)

L'artificialisation graduelle du front de mer à l'ouest de la Plage Youghall (144 transects sur 166 en 2012), si elle protège les propriétés contre les vagues de tempête[27], réduit le volume de sable qui alimente la Plage Youghall (et qui est d'ailleurs responsable de sa formation à l'échelle des temps géologiques). Il s'agit ici d'un cas d'école : la coïncidence dans le temps de la multiplication des structures de protection sur une longueur de plus en plus grande de la côte sableuse, d'une part, et de l'érosion de la section suivante de la côte, non protégée, laisse peu de doute quant au lien de cause à effet (fig. 7A). Une telle évolution devrait se poursuivre tant que le déséquilibre sédimentaire de l'extrémité de la flèche persistera. Selon les scénarios (fig. 7B), on pourrait assister à un recul moyen de la côte de plus de 25 m dans la partie ouest du parc de la Plage Youghall (segment 2) d'ici 2050 (près de 60 m d'ici 2100). Par contre, tout ce sable s'accumule à l'extrémité de la pointe (segment 3), où

[27] Il n'est pas clair en effet qu'une tendance au recul à long terme existe ici. Seuls 22 transects où la côte est en conditions « naturelles » (mais où elle est sans doute quand même influencée par les structures adjacentes) permettent de calculer un taux dans ce segment côtier : il indiquerait une stabilité apparente (-0,06 ± 0,07 m/an). Si ce taux était représentatif de la réalité, il signifierait que si l'on était assez patient pour laisser la plage se rétablir après les tempêtes, les structures de protection seraient inutiles et leurs désavantages pourraient être évités.

l'avancée moyenne correspondante du rivage pourrait atteindre près de 14 m (2050) et 32 m (2100).

A

B

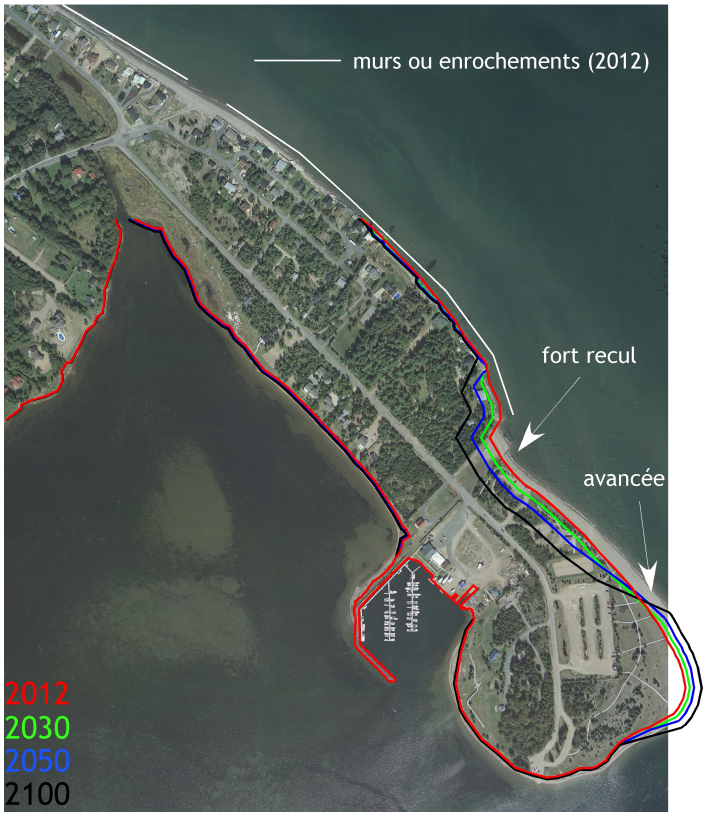

Figure 7. ÉVOLUTION DE LA POINTE YOUGHALL, 1944 ET 2012 (A) ET SCÉNARIOS DE LA POSITION DU TRAIT DE CÔTE, 2030, 2050, 2100 (B)

5.2.2 Le front est de la baie de Nepisiguit : le secteur « Pointe Belloni/embouchure de la rivière Bass/Pointe Carron »

La Pointe Carron a elle aussi été l'objet d'études de la part du Ministère des Ressources naturelles (O'Carroll *et al*, 2008 ; Jolicoeur *et al*, 1010a, 2010b, 2012). C'est l'ensemble « Pointe Belloni – Pointe Carron » qui a souvent été considéré, l'érosion des falaises de la première fournissant un part importante des sédiments s'accumulant dans la seconde. Un suivi de l'évolution de la côte dans ce secteur, à partir des photographies aériennes de 1934 à 2007 a montré plusieurs choses (planche 2008-4, DVD):

(a) l'érosion inégale de la côte à l'est de la rivière Bass, la Pointe Belloni elle-même reculant moins rapidement que les falaises de part et d'autre ;

(b) le développement récurrent d'une flèche à l'embouchure de la rivière Bass, qui connaît des phases d'accroissement et de destruction de durée variable.
Lorsqu'elle est présente, cette flèche protège les falaises situées entre la rivière Bass et la Pointe Carron de l'action des vagues de la baie.
Concernant la Pointe Carron, la flèche de la rivière Bass peut avoir deux effets contraires (fig. 8): elle peut provoquer la protection de la section est de la pointe (son « point d'ancrage »), lorsqu'une partie de la flèche vient « se souder » à la côte et que du sable vient s'y accumuler et former une large plage (comme c'était le cas au moins jusqu'en 1996 et aussi sur la photographie de 2007)[28], ou au contraire elle peut diriger le courant de la rivière Bass vers le début de la flèche, y provoquant l'érosion de la plage (comme ce fut le cas à plusieurs reprises depuis au moins 2002)[29] ;

(c) L'avancée de la côte vers la baie dans la partie ouest de la Pointe Carron depuis 1939 (fig. 9), ce secteur constituant en quelque sorte le terminus du transport des sédiments en provenance de l'est[30]. Cette avancée a dépassé 66 m par endroits et le taux moyen annuel de ce segment côtier (33B) est de 0,54 ± 0,08 m/an entre 1944 et 2012.

C'est dans ce contexte qu'il faut considérer l'évolution des falaises de la Pointe Belloni. Il s'agit d'une des sources d'alimentation de la Pointe Carron, peut-être une source importante pour le budget sédimentaire de la pointe. Selon O'Carroll *et al* (2008), les structures de protection n'y existaient pas encore en 1985 mais les photographies de 1996, 2002 et 2007 ont montré une longueur enrochée de 200 m, 265 m et 720 m respectivement. En 2012, cette longueur était de 1,155 km. Or, chaque mètre linéaire enroché correspond à un stock sédimentaire soustrait au transport littoral vers l'est, que ce soit ultimement vers la Pointe Carron ou vers la plate-forme sableuse qui lui fait face et qui la protège en dissipant l'énergie des vagues en provenance de la baie.

[28] C'est la situation en 1944 sur la fig. 8.
[29] C'est la situation en 2012 sur la fig. 8.
[30] Dans les faits, il n'est pas impossible que des échanges de sable aient lieu entre les secteurs à l'ouest et à l'est du chenal d'entrée du havre de Bathurst, mais la croissance limitée de la Pointe Carron vers l'ouest depuis 1939 montre bien que le chenal empêche la flèche de s'allonger, alors même que sa progradation (l'avancée de la côte) vers la baie montre bien que les arrivées de sable y sont importantes.

Figure 8
IMPACT DE LA FLÈCHE DE LA RIVIÈRE BASS SUR LA POINTE CARRON, 1944 ET 2012

Figure 9
ÉVOLUTION DE LA PARTIE OUEST DE LA POINTE CARRON, 1944 ET 2012

Dans le secteur de la Pointe Belloni, le recul de la falaise entre 1944 et 2012 atteint des valeurs très élevées entre la rivière Bass et la pointe elle-même (fig. 10): presque 27 m, ce qui correspond à un taux annuel moyen de -0,39 ± 0,08 m/an et pourrait donner un recul de près de 15 m d'ici 2050 (fig. 11). La Pointe Belloni montre un recul moindre sur la même période : moins de 5 m ou -0,12 ± 0,09 m/an. À l'est et jusqu'au-delà des limites municipales, le recul est à nouveau plus important (presque 19 m entre 1944 et 2012, ou -0,28 ± 0,09 m/an).

La côte n'étant pas menacée par la submersion dans ce secteur, la mesure de planification la plus évidente semble de prévoir un retrait suffisant des constructions par rapport à la position de la falaise.

Figure 10. ÉVOLUTION DE LA POINTE BELLONI, 1944 ET 2012

FIGURE 11. POINTE BELLONI, SCÉNARIOS DE LA POSITION DU TRAIT DE CÔTE, 2030, 2050, 2100

5.3 Un secteur d'intérêt écologique particulier : la Pointe Daly

La Pointe Daly est un site connu pour accueillir une population de *Coenonympha nipisiquit*, ou *satyre fauve des Maritimes*. C'est une des raisons pour lesquelle la Ville de Bathurst a créé la *Réserve naturelle de la Pointe Daly*. La pointe elle-même correspond à un marais maritime et au segment côtier no 30 de la présente étude. De 1944 à 2012, le front du marais y a légèrement reculé (fig. 12) : le taux moyen annuel est tout juste au-dessus de la marge d'erreur (-0,09 ± 0,08 m/an).

Dans le contexte de l'accélération de la hausse du niveau marin, la persistance du marais dépendra sans doute en grande partie du maintien des faibles taux d'érosion historiques (faible recul du front du marais) et de sa capacité à « suivre » la hausse du niveau marin par accrétion verticale naturelle (haussement du niveau du marais par accumulation sur place de sédiments et/ou de matière organique). La réponse naturelle face à la hausse du niveau marin, soit une migration graduelle vers « l'arrière » (les terres plus élevées), risque en effet d'être gênée ici par la pente du versant qui limite le marais à l'est. Si tel était le cas et que le marais ne pouvait pas croître verticalement, il pourrait connaître une submersion « sur place » à mesure que le niveau marin s'élèvera.

Figure 12
ÉVOLUTION DE LA CÔTE DE LA POINTE DALY, 1944 ET 2012
(tireté blanc : limite du marais avec le versant de plus forte pente)

Dans la mesure où la protection de la réserve et de l'habitat du satyre est jugée importante, il serait souhaitable d'augmenter nos connaissances de la dynamique de ce petit territoire. Celles-ci sont actuellement insuffisantes pour bien évaluer la réponse du marais de la Pointe Daly aux conditions prévues d'ici 2100.

Conclusion

Le travail réalisé par l'équipe du volet « Érosion » a correspondu à la production d'une importante quantité d'information brute sur l'évolution de la côte du territoire de la Ville de Bathurst 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 résultats sont :

(1) Le risque chronique d'érosion, c'est-à-dire une tendance à long terme de fort recul du rivage, est limité sur le territoire de Bathurst. Là où il est présent (secteur de Pointe Belloni), le respect d'une distance de retrait raisonnable devrait éviter de devoir avoir recours à des structures de protection coûteuses et susceptibles de perturber la dynamique littorale.

(2) Il existe des secteurs localisés, dans le havre et sur la baie, où les valeurs d'érosion peuvent poser problème.

De façon générale, lorsqu'il y a tendance au recul, les valeurs observées dans le havre sont faibles ou modérées (quoique le recul observé dans segment côtier no 19, entre le Supemall et l'extrémité de la Promenade Riverside, un endroit du havre exposé au nord-est, puisse éventuellement justifier une action à cause des développements adjacents).

Le point d'ancrage de la Pointe Carron a déjà fait l'objet d'études à cause des problèmes d'érosion qu'on y a connus depuis un peu plus d'une vingtaine d'années. C'est une situation particulière, discontinue dans le temps et susceptible de se reproduire chaque fois que le chenal principal de la rivière Bass débouchera à cet endroit. Des solutions sont possibles, qui éviteraient les conséquences négatives que l'artificialisation de la côte a eu depuis 1985 : l'allongement de la flèche de la rivière Bass et la progradation observée dans la partie ouest de la Pointe Carron prouvent bien qu'il y aurait assez de sable pour reconstituer la plage de ce secteur si un projet développé dans les règles de l'art devait être tenté. Il resterait toutefois bien sûr à respecter la mer et à ne pas s'installer dans la zone d'action des vagues de tempête.

(3) Les aménagements actuels perturbent sérieusement la dynamique littorale de la Plage Youghall. Le tracé de cette flèche traduit l'impact de l'artificialisation de la côte dans le secteur, à l'ouest, qui lui fournit du sable. Il n'est pas clair que les structures de protection visent à y régler un problème d'érosion chronique car les données semblent indiquer une stabilité apparente de la côte entre 1944 et 2012 (ce qui n'est pas incompatible avec des reculs et des avancées successives, au gré des tempêtes et des périodes de rétablissement de la plage). Si c'est bien le cas, s'établir au-delà de la

zone d'action des tempêtes permettrait d'éviter le recours à de coûteuses structures de protection, qui doivent régulièrement être restaurées et qui ont des effets négatifs sur les habitats côtiers, en particulier les plages. Quoiqu'il en soit de ce problème, les responsables municipaux devront décider si l'évolution actuelle et prévisible dans la partie ouest du Parc de la Plage Youghall exige une action ou pas.

Références bibliographiques

Bérubé, D., McLean, B. et Evans, P. 2003. *Évolution géomorphologique de la plage Youghall sur la côte nord-est du Nouveau-Brunswick*. Ministère des Ressources naturelles du Nouveau-Brunswick, Division des minéraux, des politiques et de la planification, Planche 2003-16.

Chouinard, O., Jolicoeur, S., Martin, G., O'Carroll, S., Bérubé, D., Kelley, B., 2009. *Carron Point : Life in a Coastal Ecosystem. Taking steps towards a sustainable community plan.* Report of the Carron Erosion Study Team and Steering Committee to the Department of Environnement and Local Governments of New-Brunswick, 28 p.

Daigle, R., 2014. *Rapport final. Scénarios : Élévation du niveau marin et inondations, Bathurst*. Rapport de R.J. Daigle Enviro préparé pour la Municipalité de Bathurst, 16 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., Desrosiers, M. et Bérubé, D., 2010. *Changements dans l'élévation de la plage à la Pointe Carron sur la côte nord du Nouveau-Brunswick selon les relevés RTK-GPS de 2008: 17 novembre versus 17 octobre*. Ministère des Ressources naturelles du Nouveau-Brunswick; Division des terres, des minéraux et du pétrole, Planche 2010-11A.

Jolicoeur, S., Desrosiers, M. et Bérubé, D., 2010. *Changements dans l'élévation de la plage à la Pointe Carron sur la côte nord du Nouveau-Brunswick selon les relevés RTK-GPS de 2009: 20 novembre versus 22 octobre*. Ministère des Ressources naturelles du Nouveau-Brunswick; Division des terres, des minéraux et du pétrole, Planche 2010-11B.

Jolicoeur, S., Desrosiers, M. et Bérubé, D., 2012. *Changements dans l'élévation de la plage à la Pointe Carron sur la côte nord du Nouveau-Brunswick selon les relevés RTK-GPS de 2010: 07 décembre versus 08 octobre*. Ministère des Ressources naturelles du Nouveau-Brunswick; Division des terres, des minéraux et du pétrole, Planche 2012-16.

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.

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., Chiasson, P., Jolicoeur, S., Bérubé, D. et Desrosiers, M. 2008. *Évolution du paysage côtier dans le secteur de la Pointe Carron - pointe Belloni (Bathurst, Nouveau-Brunswick), 1939 à 2007*. Ministère des Ressources naturelles du Nouveau-Brunswick, Division des minéraux, des politiques et de la planification, Planche 2008-4.

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.

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

Annexe 1

Informations sur les photographies aériennes de 1944 et de 1945 utilisées

Informations sur les photographies aériennes de 1944 et 1945 utilisées

Numéro de la photographie	Dimension du pixel au sol (m)	Autres informations
1944 A 7338-12 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 7338-14 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 7338-16 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 7360-37 Échelle officielle moyenne : 1:20 000 Résolution de la numérisation: 1800 ppp Traitement: géoréférencement *(ArcGIS)*	0,27	Date : 27 octobre 1944 Distance focale : 209,55 mm Émulsion : noir et blanc
1944 A 7360-39 Échelle officielle moyenne : 1:20 000 Résolution de la numérisation: 1800 ppp Traitement: géoréférencement *(ArcGIS)*	0,27	Date : 27 octobre 1944 Distance focale : 209,55 mm Émulsion : noir et blanc
1944 A 7360-42 Échelle officielle moyenne : 1:20 000 Résolution de la numérisation: 1800 ppp Traitement: géoréférencement *(ArcGIS)*	0,27	Date : 27 octobre 1944 Distance focale : 209,55 mm Émulsion : noir et blanc
1944 A 7360-43 Échelle officielle moyenne : 1:20 000 Résolution de la numérisation: 1800 ppp Traitement: géoréférencement *(ArcGIS)*	0,27	Date : 27 octobre 1944 Distance focale : 209,55 mm Émulsion : noir et blanc
1945 A 7971-30 Échelle officielle moyenne : 1:20 000 Résolution de la numérisation: 1800 ppp Traitement: géoréférencement *(ArcGIS)*	0,27	Date : 07 juin 1945 Distance focale : 209,55 mm Émulsion : noir et blanc

Numéro de la photographie	Dimension du pixel au sol (m)	Autres informations
1945 A 7971-33*n*[31] Échelle officielle moyenne : 1:20 000 Résolution de la numérisation: 1800 ppp Traitement: géoréférencement *(ArcGIS)*	0,27	Date : 07 juin 1945 Distance focale : 209,55 mm Émulsion : noir et blanc
1945 A 7971-33*s* Échelle officielle moyenne : 1:20 000 Résolution de la numérisation: 1800 ppp Traitement: géoréférencement *(ArcGIS)*	0,27	Date : 07 juin 1945 Distance focale : 209,55 mm Émulsion : noir et blanc

[31] Deux versions de la photographie A 7971-33 ont été produites, une correspondant à un meilleur géoréférencement pour la partie nord du territoire représenté, l'autre pour la partie sud.

Annexe 2

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

A. Carte « Bathurst TCS 2012 » (*CARIS GIS* 4.5)
[Segmentation du trait de côte de 2012]

Élément	Description
User Number	« 2012 » S'applique à tous les éléments inclus dans le fichier.
Attributs (Feature Codes)	« segmmobile » Vecteur du trait de côte (ou de la ligne de rivage dans le cas des marais) correspondant à un segment côtier susceptible de migrer en fonction des taux d'érosion côtière de la période 1944-2012 dans les scénarios de la position du trait de côte en 2030, 2050 et 2100. « horsscenario » Vecteur du trait de côte (ou de la ligne de rivage dans le cas des marais) correspondant à un segment côtier maintenu fixe dans les scénarios de la position du trait de côte en 2030, 2050 et 2100, que ce soit par choix d'aménagement (protection et maintien de la position de 2012) ou parce que la position future du linéaire côtier ne peut pas être estimée de façon appropriée par la projection simple des taux d'érosion côtière de la période 1944-2012 (voir la section X.X du rapport).
Source IDs	Numérotation des segments côtiers utilisés pour le développement des scénarios de la position du trait de côte 2030, 2050 et 2100. Dans le cas où un numéro de segment est suivi de la lettre « F », il désigne une partie du segment désigné par ce numéro qui a été maintenue fixe dans les scénarios (de tels segments, « 31F » par exemple, correspondent alors ni plus ni moins qu'à des vecteurs « horsscenario », bien qu'ils n'aient pas été désignés comme tels dans le fichier).

B. Description des attributs des autres cartes (*ArcGIS* 10.2.2)

Attribut	Description
FERMETURE (ou BARRAGE)	Vecteur dressé de façon artificielle afin de joindre deux segments d'un même type de vecteur (ex. les deux berges de la partie amont d'un chenal fluvial)
LRMARAIS	Ligne de rivage - PMSMM, limite externe de la végétation du marais côtier.
TCAACCES	Trait de côte - PMSGM – au droit d'un accès routier (généralement associé à TCMEUBLE ou à TCFMEUBLE adjacents).
TCACHAUSSEE	Trait de côte - anthropique, limite d'une route aménagée (asphaltée ou non).
TCACHAUSSEEF	Trait de côte - anthropique, limite d'une route aménagée (asphaltée ou non) qui serait maintenue fixe dans le temps.
TCAEPI	Trait de côte - anthropique, limite externe (côté mer) d'un épi.
TCAINFRASTRUCTURE	Trait de côte - limite externe (côté mer) située sous un ensemble de bâtiments bâtis sur pilotis, présents en 1944 près de la chaussée de l'avenue Saint-Pierre.
TCAMUR	Trait de côte - PMSGM - anthropique, limite externe (côté mer) d'un mur de protection vertical.
TCAPORT	Trait de côte - PMSGM - anthropique, limite externe (côté mer) d'une structure associée à un port.
TCAPORTF	Trait de côte - PMSGM - anthropique, limite externe (côté mer) d'une structure associée à un port qui sera maintenue fixe dans le temps.
TCAREMBLAIS	Trait de côte - anthropique, limite externe (côté mer) d'une surface remblayée.
TCAREMBLAISF	Trait de côte - anthropique, limite externe (côté mer) d'une surface remblayée qui sera maintenue fixe dans le temps.
TCARIPRAP	Trait de côte - anthropique, limite externe (côté mer) d'un mur de protection en blocs de roche.
TCARIPRAPF	Trait de côte - anthropique, limite externe (côté mer) d'un mur de protection en blocs de roche qui sera maintenu fixe dans le temps.
TCDBRECHE	Trait de côte - PMSGM - Vecteur dressé de façon artificielle afin de joindre les deux segments du front dunaire (TDCREGULIER ou TCDFALAISE) qui délimitent une brèche. S'apparente à un vecteur de type FERMETURE.
TCDENTAILLE	Trait de côte - PMSGM - dune, au droit d'un sentier (généralement associé à TCDREGULIER ou à TCDFALAISE adjacents).
TCDFALAISE	Trait de côte - dune, falaise dans le front dunaire (cartographié au sommet de la falaise).
TCDREGULIER	Trait de côte - PMSGM - dune, base du front dunaire lorsqu'en pente régulière ou limite du front de l'ammophile sur le haut de plage.
TCFMEUBLE	Trait de côte - dépôts meubles, falaise dans des dépôts meubles, généralement du till, des dépôts fluvio-glaciaires ou des dépôts marins (cartographié au sommet de la falaise).
TCMARAIS	Trait de côte - PMSGM - marais, limite externe (côté mer) du marais lorsqu'exposé à la mer et se confondant à LRMARAIS; limite interne (côté terre) entre les marais côtier et de transition.
TCMEUBLE	Trait de côte - PMSGM - dépôts meubles, base du contact entre l'arrière-pays et le haut de plage.