

ANNEXE 1

Rapport hydromorphosédimentologique



AVIS PROFESSIONNEL SUR LA DYNAMIQUE
HYDROMORPHOSÉDIMENTOLOGIQUE
DE L'ANSE SAINT-MICHEL DANS LE CADRE DE
L'AMÉNAGEMENT DE LA PHASE III DE LA
PROMENADE SAMUEL-DE CHAMPLAIN, QUÉBEC

AVIS PROFESSIONNEL SUR LA DYNAMIQUE
HYDROMORPHOSÉDIMENTOLOGIQUE DE L'ANSE SAINT-MICHEL
DANS LE CADRE DE L'AMÉNAGEMENT DE LA PHASE III DE LA
PROMENADE SAMUEL-DE CHAMPLAIN, QUÉBEC

Présenté à

Commission de la capitale nationale (CCNQ)

Par

GENIVAR inc.

FÉVRIER 2012

091-50992-00

ÉQUIPE DE RÉALISATION

Commission de la capitale nationale (CCNQ)

Directrice administrative : Hélène Turcotte

Directeur de l'aménagement
et de l'architecture : Juan Vargas, architecte

Chargé de projet : Philippe Plante, urbaniste, M. A.

Externe

Consultant : Pierre Fournier

GENIVAR inc.

Chargé de projet
(Environnement) : Mario Heppell, biologiste-aménagiste, M. ATDR

Chargé de projet
(Génie hydraulique) : Steve Renaud, ingénieur, M. Sc. A.

Rédaction et analyse : Julie Simard, géomorphologue, Ph. D.

Collaboration : Jean Deshayé, botaniste, M. Sc.
Mélissa Vachon, biologiste, M. Sc.

Support technique : Georges Morin

Cartographie : Chantale Landry
Julie Boucher

Traitement de texte et édition : Linette Poulin

Référence à citer :

GENIVAR. 2012. Avis professionnel sur la dynamique hydromorphosédimentologique de l'anse Saint-Michel, dans le cadre de l'aménagement de la promenade Samuel-De Champlain, Québec. Rapport de GENIVAR à la Commission de la capitale nationale (CCNQ). 31 p. et annexes.

TABLE DES MATIÈRES

	<i>Page</i>
Équipe de réalisation	i
Table des matières	iii
Liste des tableaux.....	v
Liste des figures.....	v
Liste des annexes.....	v
1. INTRODUCTION	1
2. MÉTHODES	3
2.1 Revue de littérature	3
2.2 Analyse multidade	3
2.3 Visites de terrain.....	4
3.0 RÉSULTATS	5
3.1 Revue de littérature	5
3.1.1 Complément sur la géologie et processus d'érosion du substrat rocheux.....	5
3.1.2 Les marais intertidaux de l'estuaire fluvial du Saint-Laurent	5
3.1.3 Répartition géographique des marais intertidaux dans l'estuaire.....	7
3.1.3 Conditions d'établissement du scirpe d'Amérique.....	8
3.2 Analyse multidade	9
3.2.1 État des lieux de la Conquête jusqu'à la deuxième moitié du XX ^e siècle	9
3.2.2 Évolution du milieu jusqu'en 1965.....	10
3.2.3 La construction de la marina entre 1965 et 1972	14
3.2.4 Développement des infrastructures entre 1972 et 1981	14
3.2.5 Évolution des structures en place (1981 à 2010)	17
3.3 Visites de terrain.....	17
3.3.1 Automne 2009	17
3.3.2 Automne 2010	17
3.4 Analyse du profil de l'estran	23
3.4.1 Élévation.....	23
3.4.2 Pente	24

TABLE DES MATIÈRES (suite)

	Page
3.4.3 L'exposition aux vagues.....	24
4. DYNAMIQUE HYDROMORPHOSÉDIMENTOLOGIQUE.....	25
4.1 Dynamique sédimentaire de l'anse Saint-Michel	25
4.2 Conditions d'implantation du marais de l'anse Saint-Michel	26
4.3 Tendances à venir.....	27
4.3.1 Une expansion spatiale limitée	27
4.3.2 Un marais en érosion.....	27
5. BIBLIOGRAPHIE.....	29

LISTE DES TABLEAUX

	<i>Page</i>
Tableau 2.1	Photographies aériennes consultées pour l'analyse multidade 3
Tableau 3.1	Taux de recul annuel moyens de la microfalaise des principaux marais intertidaux de l'estuaire fluvial du Saint-Laurent..... 7
Tableau 3.2	Niveau de la marée pour les stations de Lauzon et de Saint-Nicolas en mètres géodésiques. 23

LISTE DES FIGURES

	<i>Page</i>
Carte 1	Cartographie des éléments du milieu naturel et anthropique de 1947 de l'anse au Foulon et de l'anse Saint-Michel..... 11
Carte 2	Analyse multidade de l'anse Saint-Michel, 1963 et 1965..... 13
Carte 3	Analyse multidade de l'anse Saint-Michel, 1969 et 1972..... 15
Carte 4	Analyse multidade de l'anse Saint-Michel, 1977 et 1981 16
Carte 5	Analyse multidade de l'anse Saint-Michel, 1985 et 2002..... 18
Carte 6	Superficies occupées par le marais entre 2007 et 2010. 19
Carte 7	Microtopographie et transect de l'estran de l'anse Saint-Michel 21

LISTE DES ANNEXES

Annexe A	Gravures et photographies historiques renseignant sur l'état du littoral de l'anse au Foulon à différentes époques.
Annexe B	Photographies de terrain prises à l'automne 2010

1. INTRODUCTION

L'anse Saint-Michel est comprise entre la pointe à Puiseaux à l'ouest et l'anse au Foulon à l'est. L'estran de cette anse, submergé à chaque cycle de marée, atteint à marée basse une largeur maximale de 170 m, ce qui en fait le plus large de tout le littoral fortement anthropisé compris entre le pont de Québec et l'estuaire de la rivière Saint-Charles.

La microtopographie irrégulière de la plateforme rocheuse constituant cet estran fait en sorte que la roche affleure à plusieurs endroits et que les cuvettes et les zones aplanies sont enfouies sous des épaisseurs variables de sédiments. Une végétation intertidale recouvre en partie ces dépôts de surface. Dans le cadre du projet de l'aménagement de la phase III de la promenade Samuel-De Champlain, les préoccupations des autorités gouvernementales, quant à la valeur écologique de ce marais, soulèvent des enjeux qui demandent une meilleure compréhension de la dynamique de ce milieu.

Dans ce contexte, la Commission de la capitale nationale du Québec (CCNQ) a convenu de produire un avis professionnel sur la dynamique hydromorphosédimentologique de l'estran de l'anse Saint-Michel, afin permettre aux deux parties de bien évaluer la valeur de ce marais et, par conséquent, la nature et l'importance réelles des effets du projet sur ce milieu. Le présent rapport a pour premier objectif d'identifier les sources sédimentaires et de décrire le transport et le type de sédimentation passé et actuel dans l'anse Saint-Michel, avec en toile de fond les nombreuses modifications anthropiques des berges. Le deuxième objectif vise à comprendre les conditions d'implantation du marais de l'anse Saint-Michel, d'en comprendre son évolution spatio-temporelle et son équilibre actuel. Enfin, le troisième objectif vise à discuter des tendances à venir quant à la durabilité naturelle attendue du marais existant.

2. MÉTHODES

2.1 Revue de littérature

Pour bien comprendre la dynamique hydrosédimentaire de l'anse Saint-Michel, certains éléments du milieu doivent être replacés dans leur contexte. Pour ce faire, la revue de littérature proposée traite du mode de formation et de l'évolution de l'estran rocheux, des caractéristiques biogéomorphologiques et spatiales des marais intertidaux de l'estuaire fluvial du Saint-Laurent et des facteurs abiotiques qui régissent la distribution et la densité du scirpe d'Amérique (*Schoenoplectus pungens* M. Vahl), la plante caractéristique des marais intertidaux dulcicoles du Saint-Laurent et qui prédomine dans l'anse Saint-Michel.

2.2 Analyse multidate

Une série de gravures et de photographies historiques provenant des archives de la CCNQ, de la Ville de Québec et du musée McCord a permis de décrire l'état du littoral nord du fleuve Saint-Laurent avant 1947. Cependant, pour mieux comprendre les nombreux changements apportés dans le secteur de l'anse Saint-Michel depuis la deuxième moitié du XX^e siècle, une analyse multidate basée sur une collection de photographies aériennes a été réalisée (tableau 2.1).

La photo-interprétation a été effectuée à l'aide d'un stéréoscope avec lunettes grossissantes (3X). Les limites des affleurements rocheux, les dépôts et les formes littorales, la végétation intertidale (en fonction du niveau de marée) et les structures anthropiques ont été minutieusement tracées sur acétates, numérisées et géoréférencées avec le logiciel de cartographie ArcGIS©.

Tableau 2.1 Photographies aériennes consultées pour l'analyse multidate

Numéro de photo	Date (an/mois/jour)	Heure (UTC)	Niveau de la marée à ce moment (m géodésique)
CPAL-321	1947/06/-	-	-
Q63300-62	1963/05/25	10 : 34	2,03
Q65348-6	1965/09/04	13 : 27	-1,31
Q69314-245	1969/06/01	14 : 14	1,48
Q72305-69	1972/05/27	9 : 53	2,83
Q77861-02	1977/08/31	17 : 21	-0,47
Q81521-177	1981/06/28	10 : 37	-
Q85821-173	1985/05/24	16 : 00	1,62
Q02710-143	2002/07/5	13 : 25	-0,97

2.3 Visites de terrain

Trois visites de terrain ont été effectuées, soit en novembre 2009, en août et en octobre 2010, dans le but d'obtenir une mise à jour des conditions géomorphologiques et des aspects biologiques du marais de l'anse Saint-Michel. Ainsi, les contours du marais ont été levés au GPS en novembre 2009 et en août 2010. La bathymétrie a également été relevée au cours de cette campagne de terrain. À cet égard, une carte présentant les niveaux bathymétriques détaillés a permis de tracer cinq profils transversaux à l'estran. Au niveau biologique, deux recensements des espèces végétales ont été réalisés le long de transects transversaux au marais. Enfin, la dernière visite de terrain, en octobre 2010, a permis d'évaluer visuellement la nature des dépôts meubles sur l'estran, d'en mesurer leur épaisseur à l'aide d'une tarière hollandaise et de noter certains traits géomorphologiques caractéristiques à ce marais.

3.0 RÉSULTATS

3.1 Revue de littérature

3.1.1 Complément sur la géologie et processus d'érosion du substrat rocheux

Le substrat rocheux de l'estran de l'anse Saint-Michel est composé de schistes argileux rouges et des grès verts qui ont été sédimentés initialement à l'horizontale, puis basculés à la verticale pendant la formation des Appalaches (Globensky, 1987). Ces roches déformées ont été érodées à maintes reprises lors de niveaux plus élevés du fleuve Saint-Laurent, formant une surface d'érosion très ancienne (Morneau 1989; Allard et Séguin, 1992; Dionne, 2002a). Pendant ces hauts niveaux, les vagues qui atteignaient directement le pied de la falaise du cap Blanc ont favorisé progressivement son recul, formant ainsi une plateforme d'abrasion¹. Les assises de l'estran de l'anse Saint-Michel sont donc constituées d'une plateforme rocheuse tout le long de cette falaise.

L'orientation verticale des plans de stratification du schiste et du grès facilite l'infiltration de l'eau dans la roche. Les schistes, dont les strates sont plus fines et plus nombreuses que le grès, sont plus vulnérables aux processus d'érosion, tels la gélifraction et l'abrasion par la glace. Le grès étant plus résistant à l'érosion est responsable de la microtopographie bosselée de la surface rocheuse de l'estran de l'anse Saint-Michel. Cette surface montre donc une pente générale vers le fleuve, de même qu'un relief bosselé.

La baisse du niveau marin conjugué au soulèvement glacio-isostatique depuis la déglaciation, bien qu'interrompu à deux reprises (transgression laurentienne et de Mitis), a fait en sorte qu'aucune unité sédimentaire majeure ne recouvre l'estran rocheux du littoral nord du fleuve Saint-Laurent, sauf pour le secteur à l'embouchure de la rivière Saint-Charles (Morneau, 1989 ; Allard et Séguin, 1992; Dionne, 2002a).

3.1.2 Les marais intertidaux de l'estuaire fluvial du Saint-Laurent

Les marais intertidaux se développent principalement dans les zones calmes de faible pente et sur des battures relativement larges (Dionne, 2004). Dans l'estuaire du Saint-Laurent, la plupart de ces marais sont établis sur des surfaces d'érosion entaillées, soit dans la roche en amont de Québec ou dans les dépôts argileux anciens datant de plusieurs milliers d'années, comme c'est le cas en aval de Québec (Dryade, 1982; Couillard et Grondin, 1986; Dionne 2000; Dionne, 2002b; Dionne, 2004).

¹ Surface rocheuse faiblement inclinée vers l'estuaire, taillée par les vagues et dont le haut estran est constitué d'une falaise (Masselink et Hugues, 2003).

La subdivision des marais intertidaux en différentes zones est basée en fonction de la diversification de la végétation, qui dépend de l'influence de la marée en termes de temps de submersion (Argus, 2001; Dionne, 2004). Tiré d'une importante revue de littérature étrangère et inspiré de l'ensemble des travaux réalisés dans l'estuaire fluvial du Saint-Laurent, Dionne (2004) sous-divise les estrans de l'estuaire de la vallée du Saint-Laurent de la manière suivante :

- 1 Batture (vasière) : Plateforme rocheuse ou argileuse, dénudée de végétation, située entre la limite des plus basses mers, jusqu'au niveau moyen de la mer. Elle est inondée à chaque marée haute. Cette zone est nommée « slikke » lorsqu'il y a sédimentation. Dionne (2004) suggère toutefois d'utiliser au Québec le terme « batture » en raison du bilan sédimentaire annuel nul ou légèrement positif à l'intérieur de cette zone (Sérodès et Troude, 1984; Troude et Sérodès, 1985 ; Troude et Sérodès, 1990). En effet, il n'a jamais été observé sur les battures de l'estuaire du Saint-Laurent plus d'une dizaine de centimètres de « vase » sédimentée sur les anciennes plateformes rocheuses ou argileuses.
- 2 Schorre inférieur : Zone vaseuse dominée par le scirpe d'Amérique et accompagnée tout au plus de deux à trois autres espèces. La densité de la couverture végétale est forte l'été (juillet-août) et diminue à l'automne, pour s'accroître de nouveau à partir de la mi-mai. Le schorre inférieur est compris entre les limites du niveau moyen de la mer et le niveau moyen des hautes mers moyennes. Le bilan sédimentaire des schorres inférieurs de l'estuaire est également nul, ou légèrement positif.
- 3 Schorre supérieur : Zone comprenant un couvert végétal permanent, dense et diversifié qui est situé entre le niveau moyen des hautes mers moyennes et le niveau maximal des marées de vives-eaux et des tempêtes (PMSGM). Dans la plupart des marais, le schorre supérieur est isolé du schorre inférieur par une microfalaise de quelques centimètres à quelques décimètres de hauteur. La submersion des schorres supérieurs pendant les marées de vives-eaux et pendant les tempêtes fait en sorte que les schorres de l'estuaire du Saint-Laurent enregistrent généralement un bilan sédimentaire annuel positif, un gain qui varie entre 1 et 3 mm de sédiments fins par année.

Dans les principaux marais de l'estuaire, la microfalaise entre les schorres supérieur et inférieur a reculé à un rythme moyen annuel de 100 cm entre 1992 et 1998 (Dionne, 2000). D'autres importants taux de recul ont également été enregistrés à Cap-Tourmente (Troude et Sérodès, 1985), Montmagny (Dionne et Bouchard, 2000), Rivière-du-Loup (Dionne, 1986) et Saint-Joseph-de-la-Rive (Quilliam et Allard, 1981).

Tableau 3.1 Taux de recul annuel moyens de la microfalaise des principaux marais intertidaux de l'estuaire fluvial du Saint-Laurent

Marais	Années	Taux de recul moyen (cm/an)
Sainte-Anne-de-Beaupré	1992-1998	100
Cap-Tourmente	1981-1983	190
Rivière-du-Loup	1983-1986	217
Montmagny	1984-1986	102
	1995-1996	154
	1996-1997	203
Saint-Joseph-de-la-Rive	1964-1985	115

3.1.3 Répartition géographique des marais intertidaux dans l'estuaire

La charge sédimentaire du fleuve est très variable au cours d'une année. Néanmoins, il y circule annuellement plus de 6 900 000 tonnes métriques (t.m) de sédiments (Fortin et Pelletier, 1995). La majorité de ces sédiments (65 %) provient de l'érosion même du lit et des berges du Saint-Laurent qui s'écoule dans la plaine d'argile glaciomarine de la mer de Champlain, tout comme ses tributaires (Rondeau *et al.*, 2000).

Dans le tronçon fluvial entre Québec et Lévis, la vitesse moyenne des courants au centre du chenal principal est de 2,5 nœuds (1,3 m/s). La vitesse maximale des courants de flot se dirigeant vers l'amont est de 3 nœuds (1,5 m/s) et la vitesse maximale des courants de jusant se dirigeant vers l'aval atteint 4 nœuds (2,1 m/s) (SHC, 2009; CIMA, 2010). Plus près des berges, les courants de flot pénètrent le tronçon fluvial d'abord le long du littoral nord, et ils atteignent l'anse au Foulon plus d'une heure après la basse mer (SHC, 2009). Des contre-courants importants longent alors les quais vers l'amont, avant la renverse du courant dans le chenal principal du fleuve (SHC, 2009). À ce moment, la vitesse maximale des courants varie de la berge vers le large de 0,27 à 0,76 m/s et lorsque le flot est bien établie, la vitesse maximale augmente à 0,42 m/s près des berges et à 1,54 m/s plus au large (Gidas, 1987).

Ces conditions hydrodynamiques turbulentes font du chenal principal une importante zone de transport sédimentaire, par suspension des sédiments fins et par charriage des sables et des graviers. Le transport des sédiments sablo-graveleux s'opère essentiellement au fond du chenal d'écoulement principal à de plus grandes profondeurs (profondeur moyenne du thalweg du fleuve dans ce tronçon de l'ordre de 30 à 50 m). De son côté, la sédimentation sur les estrans de l'estuaire relève uniquement de la décantation des particules fines en suspension dans les cuvettes rocheuses et sur les replats pendant le jusant.

Plus de 85 % de la superficie des marais de l'estuaire fluvial du fleuve Saint-Laurent se trouve sur les estrans en aval de la ville de Québec (Dryade, 1982). Dans la région immédiate de Québec, soit à l'intérieur du tronçon compris entre Saint-Augustin-de-Desmaures et la pointe est de l'île d'Orléans, la superficie totale occupée par les marais intertidaux, est de 6 684 ha, dont 1 009 ha (15 %) en amont des ponts, 606 ha (9 %) dans le secteur compris entre les ponts et l'estuaire de la rivière Saint-Charles et 5 070 ha (76 %) jusqu'à la pointe est de l'île d'Orléans.

Cette plus forte proportion en superficie de marais en aval de la Ville de Québec dépend non seulement du fait que ces marais sont implantés sur des surfaces d'argiles anciennes, mais aussi d'un apport plus important en sédiments fins. Cette contribution sédimentaire supérieure est causée par l'élargissement du fleuve qui favorise un milieu de sédimentation plus calme. De plus, ce secteur est sous l'influence du bouchon de turbidité de l'estuaire du Saint-Laurent. Malgré tout, le bilan sédimentaire de ces marais n'est que très légèrement positif (Sérodès, 1980). En effet, les sédiments fins déposés au cours de la saison estivale sont érodés non seulement au moment des tempêtes automnales et des crues printanières, mais sont surtout évacués par les radeaux de glaces (Dionne; 1981; 1984; 2000).

Dans le cas de l'anse Saint-Michel située au cœur du tronçon fluvial le plus étroit, de même qu'en amont du pont de Québec (c.-à-d. Grondines, Portneuf ou Donnacona), l'estran rocheux est peu propice à la sédimentation et à l'installation de la végétation (Couillard et Grondin, 1986). Seuls les cuvettes rocheuses et les interstices de la roche sont alimentés en sédiments, qui proviennent quasi exclusivement de la décantation des particules fines en suspension dans le fleuve Saint-Laurent. La superficie des marais en amont de Québec se résume donc généralement en une mince bande de scirpes américains qui s'accroît uniquement sur des zones d'accumulations sédimentaires de faible épaisseur (Dryade, 1982; Couillard et Grondin, 1986).

3.1.3 Conditions d'établissement du scirpe d'Amérique

Selon deux inventaires floristiques réalisés par GENIVAR en 2009 et en 2010, le scirpe d'Amérique est la plante qui domine le marais de l'anse Saint-Michel. Cette plante vivace est caractéristique des marais intertidaux en eau saumâtre ou douce de l'estuaire du Saint-Laurent (Dionne, 2004). Elle est réputée pour croître dans un substrat dont la texture granulométrique varie de l'argile au sable fin (Partridge et Wilson, 1988), mais elle a été également observée sur les substrats plus grossiers des environnements fluviaux (USDA-NRCS, 2010).

En milieu intertidal, les facteurs abiotiques qui déterminent la répartition spatiale, la hauteur et la densité des tiges du scirpe sont le niveau d'élévation, la pente du terrain, ainsi que l'intensité des épisodes érosifs et sédimentaires que la plante subit (Seliskar, 1990). De plus, lorsque le scirpe occupe un site mal drainé, la densité de son système racinaire est maximale dans les 10 premiers centimètres, sous la surface du sol (Seliskar, 1990). Le scirpe peut donc s'installer sur des surfaces qui ont une faible épaisseur de sédiments. En milieu intertidal, le scirpe montre une plus grande tolérance aux facteurs abiotiques auxquels il est soumis que toutes les autres espèces; c'est pourquoi il domine le schorre inférieur des marais. Lorsque les facteurs abiotiques deviennent moins contraignants, d'autres espèces apparaissent au détriment du scirpe, puisque ce dernier tolère mal la compétition interspécifique. C'est pourquoi le schorre supérieur est nettement plus diversifié en espèces végétales.

3.2 Analyse multidade

Une analyse multidade a été réalisée dans le but de mieux comprendre l'évolution de l'environnement littoral dans le secteur de l'anse Saint-Michel. Cette analyse relate d'abord l'état du littoral à l'époque de la Conquête (1759) et au milieu du XIX^e siècle (1850-1880), puis reconstitue de façon précise l'état des lieux en 1947. Par la suite, l'analyse détaillée de plusieurs séries de photographies aériennes prises au cours de la deuxième moitié du XX^e siècle met en évidence les modifications des processus hydrosédimentaires induites par les nombreux aménagements anthropiques.

3.2.1 État des lieux de la Conquête jusqu'à la deuxième moitié du XX^e siècle

Une gravure réalisée dans les années suivant la prise de Québec (1759) (gravure 1, annexe A) montre que l'estran rocheux au pied de la falaise du cap Blanc était alors dénudé de végétation. L'absence de sédiments montre que le milieu devait être dynamique et que l'eau devait atteindre vraisemblablement le pied de la falaise lors des hautes marées. Les conditions telles que représentées sur la gravure ne semblent donc pas être propices au développement de la végétation intertidale.

Les gravures historiques et les photographies datant du XIX^e siècle montrent la présence d'aménagements sur l'estran et d'une palissade en bordure du chemin du Foulon (gravure 2 et photo 1, annexe A). Cette palissade avait pour but de protéger le chemin du Foulon des vagues lors des hautes marées. Ces infrastructures ont été entretenues pendant les activités intenses d'entreposage et de transbordement du bois qui se sont déroulées au cours de ce siècle. Les gravures montrent la présence de la végétation sur la surface rocheuse de l'estran, uniquement sur les zones protégées par les structures anthropiques.

Une analyse plus approfondie du milieu a été réalisée à partir des photographies aériennes de 1947 (carte 1). La cartographie qui en résulte montre la présence de talus de terrasses bordant le chemin du Foulon qui longeait, à l'époque, le pied du cap Blanc. Ces terrasses précisent la position de la rive du Saint-Laurent avant l'implantation de la voie ferrée sur l'estran au début du XX^e siècle (carte 1). La construction de cette dernière, sur un remblai de gravier, s'est traduite par la formation de bassins sur le haut estran. Des ponceaux ont même été aménagés pour permettre un drainage rapide et adéquat de ces bassins pendant le jusant.

Ces bassins ont servi d'assises au remblayage progressif de l'estran, puisqu'ils ont été remblayés avec les énormes quantités de sédiments dragués au-devant des quais de l'anse au Foulon (Comité ZIP de Québec et de Chaudière-Appalaches, 1998). Les photographies de 1947 montrent que les bassins localisés plus à l'est, soit ceux derrière les quais de l'anse au Foulon, ont été comblés de matériaux de dragage avant les bassins localisés plus à l'ouest (carte 1).

Les travaux de remblayage qui ont été réalisés au-devant de la voie ferrée pendant la construction des quais de l'anse au Foulon ont mené à la création d'une berge artificielle plus à l'ouest, jusqu'à un petit quai préexistant, localisé derrière l'emplacement actuel du brise-lames est du Yacht Club de Québec (YCQ) (carte 1). Le jeu des marées et des vagues a modelé les remblais de cette berge en une plage avec un important gradient de pente (photo 2, annexe A). Le petit quai préexistant a joué le rôle d'un épi en retenant le sable transporté vers l'ouest par les courants et les vagues. Une flèche littorale au-devant de la plage s'est même formée au niveau de la basse marée (carte 1). L'obstacle créé par le quai préexistant a limité l'ensablement de l'estran plus à l'ouest, face à l'anse Saint-Michel, dont la surface rocheuse apparaît en plusieurs endroits. À noter que le niveau de la marée sur la photographie de 1947 (inconnu) est légèrement supérieur au niveau de la marée sur la prise de vue de 2007 (-1,26 m).

3.2.2 Évolution du milieu jusqu'en 1965

Les bassins derrière la voie ferrée ont tous été comblés de sédiments dès 1963. Ce nouvel espace a permis l'établissement de nombreux réservoirs d'hydrocarbures (carte 2). Une portion de l'estran de l'anse Saint-Michel a même été remblayée pour accueillir des réservoirs supplémentaires, formant ainsi l'avancée Shell. Cette avancée a été agrandie entre 1963 et 1965 (carte 2).

À l'est de l'anse, la construction du YCQ, qui a débuté en 1964, a mené d'abord au remblaiement de l'estran au devant du petit quai préexistant (carte 2). Cet empiètement a favorisé une meilleure rétention du sable migrant au-devant de la



Chemin Saint-Louis

Côte de Sillery

Côte Gilmour

Boulevard Champlain

Atelier de réparation
Boulet-Lemelin

Club de tennis
Frontenac

Anse Saint-Michel

Avancée Shell

Marina du
Club de Yatch de Québec






Quai de l'Anse-aux-Foulons

Quai Frontenac






Fleuve Saint-Laurent

Éléments du paysage de 1947

Éléments naturels

-  Terrasse
-  Flèche de sable
-  Plage
-  Sable sur roc
-  Roc

Éléments anthropiques

-  Chemin du Foulon
-  Ponceau
-  Quai
-  Voie ferrée
-  Remblai



**La Promenade
Samuel-De Champlain**

Phase 3

Projet d'aménagement de la promenade Samuel-De Champlain
entre la côte de l'Église et la côte Gilmour à Québec
Avis professionnel

Carte 1

Analyse multidecennale 1947 - 2007

0 85 170 m
MTM, fuseau 7, NAD83

Sources :

Google Earth Pro, 2007
Fichier GENIVAR : Q120591_AP_c1_1947_110131.mxd

Février 2011

Consortium
GENIVAR - SNC-LAVALIN



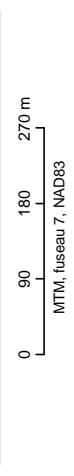
1963



1965

Projet d'aménagement de la promenade Samuel-De Champlain
entre la côte de l'Église et la côte Gilmour à Québec
Avis professionnel

Carte 2
Analyse multimediate 1963 et 1965



Sources :
O63300-62.jpg, O63348-6.jpg
Inventaire et cartographie : GENIVAR, 2011
Fichier GENIVAR : Q120591_AP_c2_1963-65_110201.mxd

Février 2011 Consortium
GENIVAR – SNC-LAVALIN

Éléments naturels	
	Îlot de végétation
	Plage
	Sable sur roc
	Roc
Éléments anthropiques	
	Enrochement
	Infrastructure

plage de l'anse au Foulon, ce qui a permis à cette dernière de s'élargir davantage (carte 2). L'implantation du brise-lames « est » de la marina a également influencé la dynamique hydromorphosédimentologique de l'estran de l'anse Saint-Michel, en entravant les courants de flot le long du littoral et en le protégeant des vagues de tempêtes (carte 2). C'est à partir de ce moment que l'estran, moins agité, est devenu un lieu plus favorable à l'établissement de la végétation, comme le montre les photographies de 1965 (carte 2).

3.2.3 La construction de la marina entre 1965 et 1972

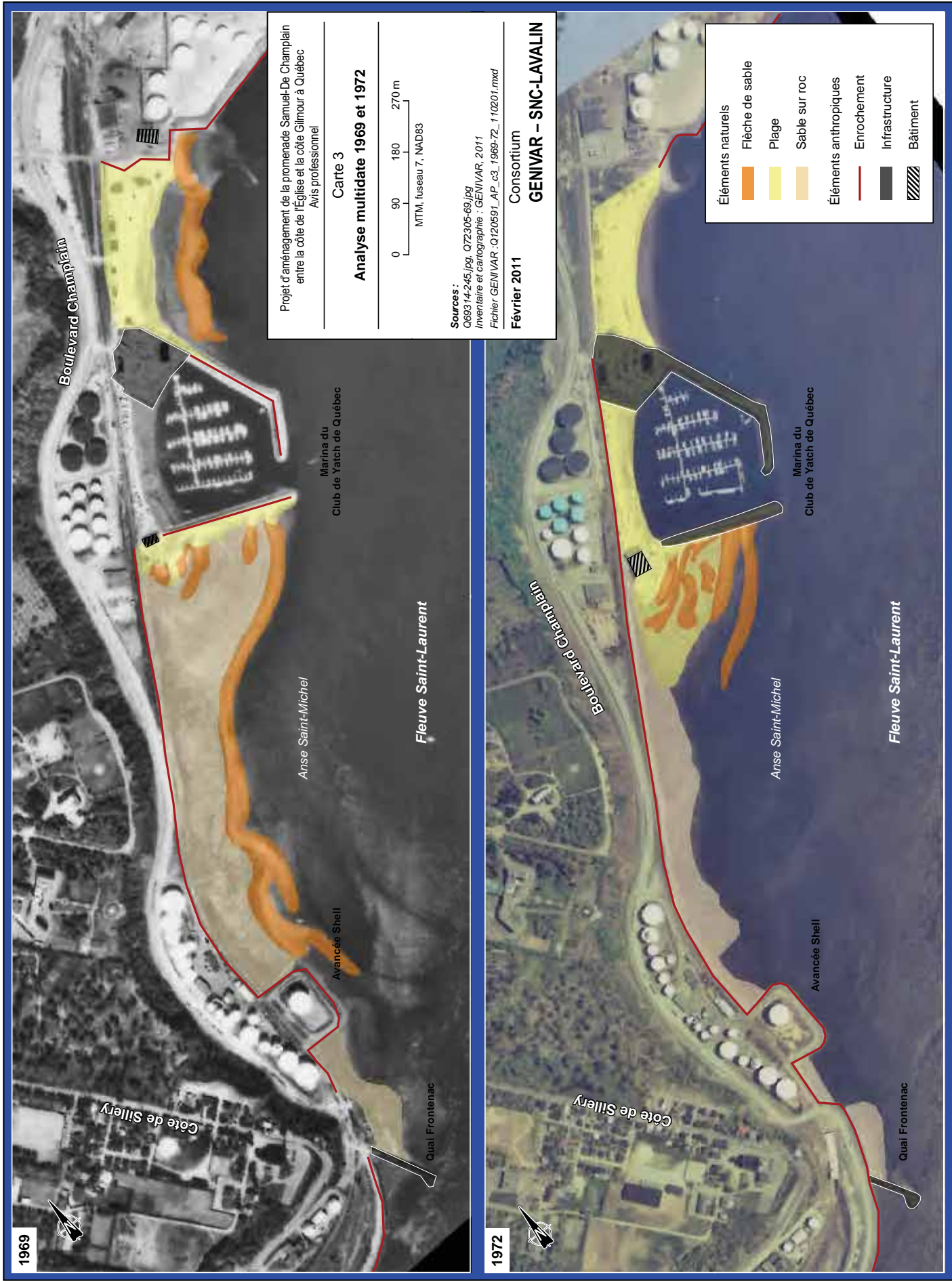
L'implantation du brise-lames ouest du YCQ s'est réalisée entre 1965 et 1967. Les travaux ont impliqué d'abord le déversement d'importantes quantités de sable pour former les bases d'une jetée (carte 3). Seul le côté « est » de cette jetée sableuse a été protégé par un enrochement, laissant la bordure ouest vulnérable à l'érosion par les courants et les vagues (carte 3). Dans les années subséquentes (jusqu'en 1969), cette érosion s'est traduite par la dérive d'importantes quantités de sable sur l'estran plus à l'ouest et par la formation de plusieurs flèches littorales, perpendiculaires au brise-lames (dépendamment des différents niveaux de la marée) (carte 3). L'estran rocheux de l'anse Saint-Michel s'est alors totalement recouvert de sable et de gravier, empêchant ainsi la végétation de s'y implanter.

Les photographies de 1972 montrent que les flèches de sable sont concentrées davantage sur le haut estran et que le reste de la zone intertidale est ensablé, et ce, même si l'enrochement des deux côtés du brise-lames paraît complet (carte 3). Il apparaît aussi fort probable que le remblai mis en place à l'époque pour agrandir le terrain de l'atelier de réparation de bateau ait contribué à exposer une certaine quantité de sédiments à l'érosion et au transport vers l'ouest, sur l'estran.

3.2.4 Développement des infrastructures entre 1972 et 1981

Cette période est marquée par la disparition de la plage de l'anse au Foulon. Les installations du club de Tennis Frontenac ont été construites à l'est du YCQ, sur la haute plage entre 1972 et 1977 (carte 4). La consolidation des berges à l'est vers les quais de l'anse au Foulon et le remblayage à l'ouest de la partie supérieure de la plage en 1981 pour les besoins de la marina font en sorte qu'il n'en reste actuellement qu'un lambeau résiduel (carte 4).

Le nombre de flèches littorales le long du brise-lames ouest de la marina a diminué graduellement entre 1972 et 1981 (carte 4). C'est au cours de cette période que l'atelier de réparation de bateau a agrandi ses installations, puis remblayé et consolidé partiellement le haut de la plage, ce qui a eu pour effet de réduire les apports en sable sur l'estran (carte 4). Parallèlement, les plaquages de sable résiduels sur l'estran ont permis graduellement à la végétation intertidale de s'établir à partir d'un peu avant 1977 (carte 4).



1969



Côte de Sillery

Avancée Shell
Quai Frontenac

Anse Saint-Michel

Fleuve Saint-Laurent

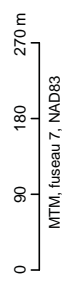
Marina du Club de Yacht de Québec

Boulevard Champlain

Projet d'aménagement de la promenade Samuel-De Champlain entre la côte de l'Eglise et la côte Gilmour à Québec
Avis professionnel

Carte 3

Analyse multitempore 1969 et 1972



Sources :
C69314-2-45.jpg; Q72305-69.jpg
Inventaire et cartographie : GENIVAR, 2011
Fichier GENIVAR-Q120591_AP_c3_1969-72_110201.mxd

Février 2011

Consortium

GENIVAR – SNC-LAVALIN

Éléments naturels	
	Flèche de sable
	Plage
	Sable sur roc
Éléments anthropiques	
	Entrochement
	Infrastructure
	Bâtiment

1972



Côte de Sillery

Avancée Shell

Quai Frontenac

Anse Saint-Michel

Fleuve Saint-Laurent

Marina du Club de Yacht de Québec

Boulevard Champlain



Projet d'aménagement de la promenade Samuel-De Champlain entre la côte de l'Église et la côte Gilmour à Québec
Avis professionnel

Carte 4

Analyse multitemporelle 1977 et 1981

0 90 180 270 m
MTM, fuseau 7, NAD83

Sources :
Q77861-02.jpg, Q8152-1-177.jpg
Inventaire et cartographie : GENIVAR, 2011
Fichier GENIVAR : Q120591_AP_c4_1977-81_110201.mxd

Janvier 2011
Consortium
GENIVAR – SNC-LAVALIN



Éléments naturels

- Marais
- Flèche de sable
- Plage
- Sable sur roc

Éléments anthropiques

- Enrochement
- Infrastructure
- Bâtiment

3.2.5 Évolution des structures en place (1981 à 2010)

En 1984, le brise-lames ouest du YCQ, de même que l'aire d'entreposage des bateaux, ont fait l'objet de travaux d'élargissement et de stabilisation (GENIVAR, 2009; cartes 4 et 5). Cependant, la superficie de l'aire d'entreposage a diminué entre 1985 et 2002 en raison de l'érosion des berges (carte 5). Enfin, une seule flèche littorale persiste depuis 1985 (carte 5).

3.3 **Visites de terrain**

3.3.1 Automne 2009

Une visite de terrain réalisée en novembre 2009 a permis de tracer les contours du marais (carte 6) et de relever un inventaire des espèces végétales rencontrées. Les résultats de cette visite ont permis de constater qu'entre les niveaux 0 et 1,5 m, la végétation intertidale est constituée presque exclusivement de scirpes d'Amérique et qu'au dessus de la cote de 1,5 m, la végétation se diversifie de façon plus importante.

3.3.2 Automne 2010

La visite de terrain effectuée en août 2010 a permis de délimiter et de cartographier à nouveau les contours du marais pendant son extension saisonnière maximale (carte 6). Ces contours recouvrent une surface légèrement supérieure aux contours de la fin mai 2007, de la mi-septembre 2008 et de novembre 2009. De plus, une superficie recouverte à moins de 30 % de petits scirpes a également été observée (carte 6).

Les observations floristiques ont permis de confirmer les observations de 2009 et de constater que, dans la frange supérieure du marais, la végétation est plus diversifiée, et ce, incluant plusieurs espèces introduites. Bien que située sous le niveau du PMSGM, cette section constitue un habitat de qualité moindre pour le poisson. Vers la frange inférieure du marais, la composition floristique devient de moins en moins diversifiée et moins dense en certains endroits (exposition aux vagues). C'est à cet endroit que des bernaches, des canards et des goélands ont été observés en août 2010. Toujours selon ces observations, la frange inférieure du marais constitue un habitat nettement plus intéressant pour le poisson.

La superposition des différents contours du marais au cours des quatre dernières années (2007, 2008, 2009 et 2010) montre que sur cette courte période, ce dernier occupe sensiblement les mêmes superficies (carte 6). Il est à noter que le contour



1985



2002

Projet d'aménagement de la promenade Samuel-De Champlain
entre la côte de l'Église et la côte Gilmour à Québec
Avis professionnel

Carte 5

Analyse multitempore 1985 et 2002

0 90 180 270 m
MTM, fuseau 7, NAD83

Sources :
Q8582-1-173.jpg; Q02710-143.jpg
Inventaire et cartographie : GENIVAR, 2011
Fichier GENIVAR : Q120591_AP_c5_1985-02_110202.mxd

Janvier 2011
Consortium
GENIVAR – SNC-LAVALIN

Éléments naturels	
	Rive partiellement protégée
	Plage
	Marais
Éléments anthropiques	
	Enrochement
	Infrastructure
	Bâtiment



Boulevard Champlain

Anse Saint-Michel

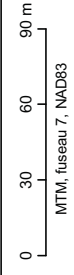
Végétation clairsemée - 2010

	Marais 2008
	Marais 2009
	Marais 2010

Projet d'aménagement de la promenade Samuel-De Champlain
entre la côte de l'Église et la côte Gilmore à Québec
Avis professionnel

Carte 6

Milieux humides de 2002 à 2010



Sources :
Q65821-173.jpg, Q02710-143.jpg
Inventaire et cartographie : GENIVAR, 2011
Fichier GENIVAR : Q120591_AP_cb_MH_110209.mxd

Février 2011 Consortium
GENIVAR – SNC-LAVALIN

Avancée Shell

du marais datant de 2010 a été levé à la fin du mois d'août, soit pendant la période où l'extension saisonnière de la végétation est habituellement à son maximum. De plus, l'été 2010 a été particulièrement sec, induisant un étiage sévère sur l'estran. Ces conditions de bas niveau de l'eau ont réduit les temps de submersion habituels, en plus d'augmenter la surface de déferlement des vagues en certains moments. Pour cette raison, l'extension spatiale du marais ainsi que la densité et la diversité de la végétation pour l'année 2010 peuvent être considérées comme étant optimales.

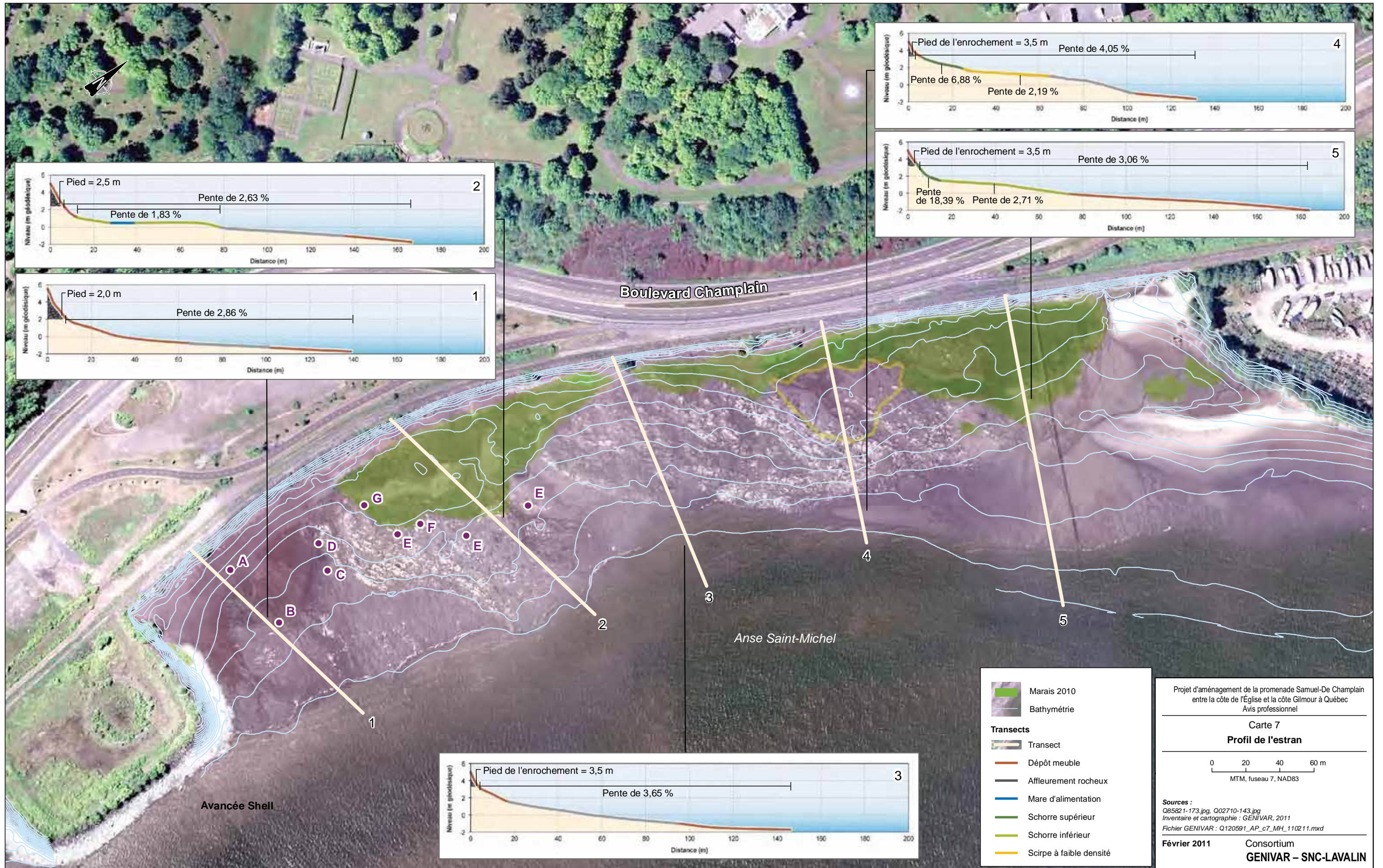
Une dernière visite de terrain a été réalisée en octobre 2010. Cette visite avait pour but de caractériser, sous un angle géomorphologique, le marais de l'anse Saint-Michel. Le secteur ouest du marais a alors davantage été observé.

Dans la zone à l'ouest de l'anse, les sédiments atteignent une épaisseur supérieure à 70 cm (A, carte 7). Ces sédiments sont composés d'une forte proportion de gravier (signe du fort hydrodynamisme du site) et de sable de couleur rouge, la même proportion que celle des shales argileux du cap Blanc. Les stations B et C, au-devant desquelles la roche affleure, montrent une épaisseur de sédiments inférieure à 15 cm (carte 7). Enfin, un alignement de blocs glaciels de même nature et de même calibre que ceux constituant les enrochements adjacents a été observé à la station D, soit à la limite entre les dépôts de surface et les affleurements rocheux (photo 1, annexe B, carte 7).

Une mince couche de sédiments fins d'environ 3 mm d'épaisseur recouvre les affleurements rocheux au-devant du marais (stations E, carte 7) et certaines zones dénudées de végétation au sein du marais (photo 2, annexe B). Au moment de la visite de terrain, cette fine couche apparaissait sous forme de plaquages résiduels, dans les endroits les plus déprimés en raison de la circulation de l'eau pendant le jusant (photo 2, annexe B).

Le marais recouvre une couche de sédiments composée de sable fin à moyen (photo 3, annexe B). La couche de sédiment passe de 5 cm d'épaisseur à l'ouest à plus de 40 cm vers le centre du marais. Aucune trace de matière organique en décomposition n'est observée au sein de la matrice minérale (photo 3, annexe B), seules les radicelles des plantes actuelles sont observées. Enfin, quelques plaquages de gravier mis en place par de fortes vagues recouvrent localement la végétation du marais (photo 4, annexe B).

La forme géomorphologique la plus marquante du marais intertidal de l'anse Saint-Michel est la microfalaise d'érosion qui délimite le front irrégulier du marais, et ce, sur toute sa longueur. Cette microfalaise varie en hauteur et peut atteindre jusqu'à 40 cm (photo 5, annexe B). Il est fréquent d'observer des galets glaciels le



long du pied de la microfalaise (photo 6, annexe B). De plus, de nombreuses marelles apparaissent près du rebord et la microfalaise se présente souvent en plusieurs étagements (photo 7, annexe B). Ces marelles sont formées à la suite du déchaussement de plaques de végétation sous l'effet de la poussée glacielle.

3.4 Analyse du profil de l'estran

Les levés d'arpentage réalisés à l'automne 2009 sur l'estran de l'anse Saint-Michel ont permis de tracer 5 profils transversaux afin de dégager les paramètres morphométriques de l'estran, qui influencent la répartition spatiale de la végétation du marais (carte 7).

3.4.1 Élévation

L'estran de l'anse Saint-Michel montre un gradient de pente décroissant d'est en ouest. La zone ouest de l'estran, dont le pied de l'enrochement se situe à une élévation de 2-2,5 m (transects 1 et 2), est plus déprimée que la zone est de l'estran (transects 3, 4 et 5), dont le pied de l'enrochement se trouve à une élévation de 3,5 m (carte 7). Au niveau de ces transects (4 et 5), l'élévation maximale occupée par le marais qui borde le pied de l'enrochement se situe à un niveau de 3,4 m. La limite inférieure du marais atteint, pour sa part, la cote de -0,16 m, tant au niveau du transect 2 qu'au niveau du transect 5 (carte 7).

Selon les critères de zonation des marais intertidaux tels que définis par Dionne (2004), et compte tenu de la diversité floristique croissante vers les plus hautes élévations et du niveau des marées entre les stations de Lauzon et de Saint-Nicolas (tableau 3.2), le marais de l'anse Saint-Michel se divise de la façon suivante : 1) une batture essentiellement rocheuse, située sous le niveau moyen de l'eau, soit à une élévation inférieure à 0,7 m; 2) un schorre inférieur qui débute légèrement sous le niveau moyen de la mer entre les élévations 0 et 0,5 m et dont la limite supérieure est sous le niveau de la PMSMM, soit à une élévation entre 1,5 et 2 m (niveau moyen des hautes mers moyennes); 3) un schorre supérieur qui se développe au-dessus de la cote de 1,5 m, et ce, jusqu'au pied de l'enrochement.

Tableau 3.2 Niveau de la marée pour les stations de Lauzon et de Saint-Nicolas en mètres géodésiques.

	Niveau géodésique (m)	
	Saint-Nicolas	Lauzon
Extrême de pleine mer	4,9	5,1
Pleine mer supérieure, grande marée	4,1	4,1
Pleine mer supérieure, marée moyenne	3,0	2,9
Niveau moyen de l'eau	0,8	0,6
Basse mer inférieure, marée moyenne	-1,2	-1,5
Basse mer inférieure, grande marée	-1,4	-1,8
Extrême de basse mer	-2,5	-3,3

3.4.2 Pente

La pente générale de l'estran est plus douce aux extrémités ouest et est du marais, soit respectivement de 2,86 et de 2,63 % aux transects 1 et 2, et de 3,06 % complètement à l'est, au transect 5 (carte 7). Au centre de l'estran, aux transects 3 et 4, la pente augmente respectivement entre 3,65 et 4,05 % (carte 7). La pente influence directement la répartition du scirpe d'Amérique sur l'estran. Cette plante occupe des surfaces dont la pente est inférieure à 2,71 % (transect 5, carte 7). Sous le niveau de 1,5 m, soit au niveau du schorre inférieur, la végétation disparaît aussitôt que la pente augmente, comme c'est le cas aux transects 1 et 3, ainsi qu'au pied de l'enrochement au transect 2 (carte 7). En contrepartie, lorsque le niveau devient supérieur à 1,5 m et que le gradient de pente augmente, la végétation devient très diversifiée, et ce, au détriment du scirpe, comme c'est le cas au pied de l'enrochement aux transects 4 et 5 (carte 7). Le scirpe est en effet une plante qui tolère peu la compétition interspécifique.

3.4.3 L'exposition aux vagues

Le dernier paramètre morphométrique qui influence la répartition de la végétation sur l'estran de l'anse Saint-Michel est la longueur de la zone de déferlement des vagues sur l'estran ou la présence d'un obstacle qui permet de dissiper l'énergie des vagues et d'atténuer les processus d'érosion et de transport sédimentaire. Les secteurs du marais les mieux développés sont tous situés derrière une zone de déferlement de plus d'une centaine de mètres de longueur ou derrière la flèche de sable (transects 2 et 5; carte 7). Il semble qu'une zone de déferlement de longueur inférieure à une centaine de mètres ne soit pas suffisante pour permettre le plein développement du scirpe d'Amérique sur l'estran. Ainsi, même si la zone recouverte à moins de 30 % de densité de scirpe d'Amérique (transect 4) est située à un niveau adéquat ($> 0,7$ m) et sur une pente appropriée ($< 2,71$ %), la longueur de la zone de déferlement d'une soixantaine de mètres est insuffisante pour y favoriser le plein développement de la végétation.

4. DYNAMIQUE HYDROMORPHOSÉDIMENTOLOGIQUE

À la lumière des résultats et des analyses présentées ci-haut, il est possible d'identifier la source des sédiments, de décrire le transport et le type de sédimentation passé et actuel dans l'anse Saint-Michel et de relier ces processus aux effets induits par les nombreuses modifications anthropiques apportées aux littoraux de l'anse Saint-michel. Cette compréhension de l'aspect hydromorphosédimentaire permet de comprendre les conditions d'implantation du marais de l'anse Saint-Michel, son évolution spatio-temporelle et son équilibre actuel et à venir.

4.1 Dynamique sédimentaire de l'anse Saint-Michel

L'estran de l'anse Saint-Michel est une plateforme rocheuse formée depuis des centaines de milliers d'années par le recul de la falaise du cap Blanc. La surface rocheuse est irrégulière, et ce, en raison de la résistance différentielle à l'érosion des matériaux qui la compose, soit les shales et les grès.

Depuis la déglaciation, la baisse quasi continue du niveau marin et le dynamisme de ce tronçon fluvial ont fait en sorte qu'aucune unité sédimentaire majeure ne recouvre l'estran rocheux, comme le montre les gravures historiques. Les seuls sédiments qui ont toujours alimenté l'estran, de façon modeste, proviennent de la décantation des silts et des argiles en suspension du fleuve. La couche de sédiments fins qui recouvre l'estran à la fin de l'été est érodée par les vagues et les glaces dès l'automne venu. Seuls les sédiments décantés dans les endroits abrités (cuvettes rocheuses intertidales, terrains plats, fractures de la roche ou plans de stratification) peuvent parfois s'accumuler d'année en année. Les sables et les graviers que le fleuve transporte sont, quant à eux, tractés par de forts courants par une profondeur de -30 à -50 m au fond du chenal principal du fleuve, et ne peuvent donc remonter les versants de ce chenal pour aboutir sur les estrans.

Le resserrement de la portion terrestre à la hauteur de l'anse Saint-Michel est causé par l'aménagement de la voie ferrée presque au pied de la falaise du cap Blanc dans la première moitié du XX^e siècle. Dans les secteurs adjacents (au niveau de l'anse au Foulon, du YCQ et de l'avancée Shell), la mise en place de la voie ferrée au milieu de l'estran a mené à la formation d'immenses bassins. Ces bassins ont été graduellement remblayés par des sédiments provenant des nombreux dragages réalisés au-devant des quais de l'anse au Foulon et du décapage de la pointe à Puiseaux.

À l'époque, les remblais déposés directement sur l'estran au-devant de l'enrochement de la voie ferrée ont formé des berges non protégées et en déséquilibre avec la dynamique littorale. Les agents de transports littoraux, tels les vagues, les courants et la dérive littorale ont rapidement remanié vers l'ouest les sables au-devant des quais de l'anse au Foulon. L'épi formé par un ancien quai a retenu les sédiments de la plage de l'anse au Foulon. La forme de la plage et de la flèche littorale associée a évolué au fil du temps, selon les transformations induites par l'implantation des installations du YCQ en 1964.

4.2 Conditions d'implantation du marais de l'anse Saint-Michel

Dans l'estuaire du Saint-Laurent, les marais intertidaux se développent en continu sur les surfaces constituées de dépôts meubles, comme en aval de la Ville de Québec (battures de Beauport, Côte-de-Beaupré, etc.). En amont, le tronçon fluvial entre Québec et Lévis est particulièrement dynamique. La végétation occupe, sous forme d'îlots sporadiques, les replats protégés, les cuvettes, les plans de stratification et les fractures des estrans rocheux qui sont recouverts partiellement et temporairement de sédiments fins.

Dans le cas de l'anse Saint-Michel, la végétation intertidale a commencé à s'implanter en îlot uniquement à la suite de la mise en place du brise-lames est du YCQ, en 1964. Depuis, le brise-lames abrite l'estran de l'anse Saint-Michel en dissipant l'énergie déployée par les vagues provenant de l'est-nord-est, les plus fréquentes et les plus hautes (> 1,5 m), et en entravant les courants littoraux se dirigeant vers l'ouest.

En contre partie, le brise-lames ouest du YCQ, mis en place au cours des années suivantes, était constitué uniquement de matériaux tout-venant (principalement du sable). Ces sédiments ont été rapidement mobilisés, puis transportés sur l'estran de l'anse Saint-Michel, ensablant du coup les quelques petits îlots de végétation préexistants. La piètre qualité des enrochements mis en place pour stabiliser le brise-lames ouest a prolongé de quelques années l'épisode d'ensablement de l'estran.

Le sable provenant du brise-lames s'est accumulé pendant quelques années dans les cuvettes rocheuses et sur les replats les plus abrités de l'estran rocheux, alors que les secteurs les plus exposés ont été constamment délavés par les agents d'érosion littoraux. À la fin de la décennie de 1970, la stabilisation graduelle des berges par l'expansion de la marina et la réfection de son brise-lames ouest a coupé en grande partie l'estran de sa source sédimentaire.

Suivant ce portrait général de la situation, le marais de l'anse Saint-Michel évolue donc depuis le milieu des années 1970 sur les surfaces résiduelles des sédiments provenant de l'épisode sédimentaire provoqué par la construction du YCQ.

4.3 Tendances à venir

Bien qu'ayant une couverture végétale fragmentée, le marais de l'anse Saint-Michel comporte des caractéristiques typiques qui permettent de le subdiviser de la façon suivante : 1) une batture située sous le niveau moyen de l'eau 0,7 m; 2) un schorre inférieur qui débute sous le niveau moyen de la mer (0 et 0,5 m) et dont la limite est sous le niveau de la PMSMM (1,5 m); et 3) un schorre supérieur qui se développe au-dessus de la cote de 1,5 m, et ce, jusqu'au pied de l'enrochement. Cette zonation est conforme à celle de tous les marais à scirpes de l'estuaire du Saint-Laurent.

4.3.1 Une expansion spatiale limitée

Néanmoins, la couverture végétale disséminée du marais de l'anse Saint-Michel montre que des facteurs autres que le niveau de la marée interviennent sur sa distribution spatiale. L'espace qu'occupe actuellement le marais de l'anse Saint-Michel dépend de la pente de l'estran rocheux, de la présence d'une zone de déferlement des vagues et de la présence d'obstacles qui sont, dans le cas présent, d'origine anthropique, tels la flèche de sable et les brise-lames de la marina.

Compte tenu de ces paramètres morphométriques, et considérant également que le marais est établi sur une surface résiduelle de dépôts sableux provenant d'une activité sédimentaire passée, il apparaît improbable que le marais de l'anse Saint-Michel puisse prendre davantage d'expansion. En fait, la seule activité sédimentaire effective sur l'estran, soit la décantation des particules fines en suspension, ne contribue uniquement qu'à une accrétion verticale très limitée du schorre supérieur.

4.3.2 Un marais en érosion

Enfin, dans les marais de l'estuaire du Saint-Laurent, une microfalaise d'érosion est souvent observée à l'interface des schorres inférieur et supérieur (Dionne, 2000). Les nombreuses marelles et la présence de la microfalaise découpant parfois en plusieurs replats la bordure du schorre supérieur sont des marques typiques du décapage de la surface par les glaces (Dionne, 2002b). La surface minérale ainsi mise à nue devient vulnérable à l'érosion par les vagues. La microfalaise des principaux marais de l'estuaire a reculé selon divers rythmes annuels (tableau 3.1). Ces taux montrent une forte tendance au recul des schorres supérieurs de l'estuaire du Saint-Laurent.

Également présente, la microfalaise d'érosion du marais de l'anse Saint-Michel se distingue toutefois de celle des marais de l'estuaire du Saint-Laurent puisqu'elle est positionnée au front du schorre inférieur. Néanmoins, sa morphologie ne laisse planer aucun doute sur l'implication des processus d'érosion par les glaces et les vagues.

Étant donné que le marais est établi sur les vestiges d'une sédimentation passée, qu'il est confiné uniquement sur des zones optimales, que l'estran de l'anse Saint-Michel n'est que très peu ou pas alimenté en nouveaux sédiments et que des marques d'érosion bordent son schorre inférieur, tout porte à croire que, de par son bilan sédimentaire négatif apparent, le marais de l'anse Saint-Michel, tout comme les marais de l'estuaire du Saint-Laurent, est actuellement en cours d'érosion. Aucune mesure de taux de recul n'existe pour le marais de l'anse Saint-Michel. Cependant, les indices laissés par la morphologie de la microfalaise ainsi que les taux de recul observés dans les marais de l'estuaire du Saint-Laurent portent à croire que ce processus d'érosion pourrait conduire à une réduction significative de sa superficie à court terme, voire même à sa disparition à plus long terme.

5. BIBLIOGRAPHIE

- ALLARD M., J. SÉGUIN. 1992. *Le niveau du Saint-Laurent de 2000 BP et l'occupation amérindienne préhistorique de la Place Royale, à Québec*. Géographie physique et Quaternaire, vol. 46, p. 181-188.
- ARGUS et Commission de la capitale nationale (CCNQ). 2001. *Mise en valeur du littoral de l'agglomération de la capitale nationale : Élaboration d'un cadre d'analyse régionale*. Projet d'aménagement de la promenade Samuel-De-Champlain entre le pont Pierre Laporte et la côte de l'Église à Québec, Rapport Final, 71 p.
http://www.bape.gouv.qc.ca/sections/mandats/prom_champlain/documents/DA5.pdf.
- CIMA. 2010. Protection des berges du Saint-Laurent – Avis de projet. Ville de Québec. 33 p + annexes.
- COMITÉ ZIP (ZONE D'INTERVENTION PRIORITAIRE) DE QUÉBEC ET DE CHAUDIÈRE-APPALACHES. 1998a. *Création d'une plage publique à l'anse au Foulon, Étude de pré faisabilité de processus d'ensablement*. Québec, 71 p. et annexes.
- COUILLARD L., P. GRONDIN. 1986. *La végétation des milieux humides du Québec*. Les Publications du Québec, Québec, 399 p.
- DIONNE J.-C. 1984. *An estimate of ice-drifted sediments based on the mud content of the ice cover at Montmagny, Middle St. Lawrence estuary*. Marine Geology, 57 : 149-166.
- DIONNE J.-C. 1981. *Données préliminaires sur la charge sédimentaire du couvert de glace dans la baie de Montmagny*. Géographie physique et Quaternaire. 35 : 277-282.
- DIONNE J.-C. 1986. *Érosion récente des marais intertidaux de l'estuaire du Saint-Laurent*. Géographie physique et Quaternaire, 40 : 307-323.
- DIONNE J.-C. 2000. *Érosion récente du schorre supérieur à Sainte-Anne-de-Beaupré, Québec*. Géographie physique et Quaternaire, 54 : 69-89.
- DIONNE J.-C. 2002a. *État des connaissances sur la ligne de rivage Micmac de J.W. Goldthwait (estuaire du Saint-Laurent)*. Géographie physique et Quaternaire, 56 : 97-121.
- DIONNE J.-C. 2002b. *Sediment content of the ice-cover in muddy tidal areas of the turbidity zone of the St. Lawrence estuary and the problem of the sediment budget*. p. 463-478. In T. Healy, Y.Wang et J.-A. Healy, édit. *Muddy Coasts of the World: Processes, Deposits and Function*. Elsevier, Amsterdam, 542 p.

- DIONNE J.-C. 2004. *Âge et taux moyen d'accrétion verticale des schorres du Saint-Laurent estuariens, en particulier ceux de Montmagny et de Sainte-Anne-de-Beaupré, Québec*. Géographie physique et Quaternaire. 58 : 73-108.
- DIONNE J.-C., M.-C. BOUCHARD. 2000. Nouvelles données sur l'érosion du schorre supérieur à Montmagny, moyen estuaire du Saint-Laurent. Géographie physique et Quaternaire. 54 : 219-230.
- FORTIN G., M. PELLETIER. 1995. *Synthèse des connaissances sur les aspects physiques et chimiques de l'eau et des sédiments du secteur d'étude Québec-Lévis*. Environnement Canada, Conservation de l'environnement, Centre Saint-Laurent. Rapport technique. Zone d'intervention prioritaire 14. 206 p
- GENIVAR. 2009. *Dessaisissement des brise-lames de la marina de Sillery*. Étude d'avant projet. Projet Q116312. 59 p.
- GIDAS N. 1987. *Effets de la diffusion des eaux usées dans le fleuve Saint-Laurent. Relevés des trajectoires de courant et de vitesse – Localisation du point de rejet des effluents municipaux*. Ministère de l'Environnement du Québec. Direction générale de l'assainissement des eaux. Direction des études du milieu aquatique. 20 p.
- GLOBENSKY Y. 1987. *Géologie des basses-terres du Saint-Laurent, Québec*. Ministère des Richesses Naturelles du Québec. 85 p.
- GROUPE DRYADE. 1982. *Analyse de l'évolution spatiale des marécages intertidaux de l'estuaire moyen du Saint-Laurent 1960-1980*. Rapport présenté au service canadien de la faune, Environnement Canada (Québec). 66 p.
- MASSELINK G., M. G. HUGUES. 2003. *Introduction to coastal processes and geomorphology*. Hodder Arnold. 354 p.
- MORNEAU F. 1989. *Contribution à une méthodologie de caractérisation et de cartographie écologique en milieu urbain : le cas de la basse-ville de Québec*. Les Cahiers du CRAD, vol.12, 113 p.
- PARTRIDGE T. R., J. B. WILSON. 1989. Methods for investigating vegetation / environment relations – a test using the salt marsh vegetation of Otago, New Zealand. New Zealand Journal of Botany. 27 : 35-47.
- QUILLIAM, L. ET ALLARD, M., 1989. *Évolution géomorphologique du glissement de terrain et du marais littoral à Saint-Joseph-de-la-Rive, Charlevoix, Québec*. Géographie physique et Quaternaire, 43 : 367-376.

- RONDEAU B., D. COSSA, P. GAGNON, L. BILODEAU. 2000. Budget and sources of suspended sediment transported in the St. Lawrence River, Canada. *Hydrological Processes*, vol. 14, p. 21-36.
- SELISKAR D. M. 1990. *The role of waterlogging and sand accretion in modulating the morphology of the dune slack plant Scirpus americanus*. *Canadian Journal of Botany*. 68 : 1780-1787.
- SÉRODES J.B. 1980. *Étude de la sédimentation intertidale de l'estuaire moyen du Saint-Laurent*. Rapport 05D79-00117. Inland Waters Directorate, Environment Canada, Quebec Region. 39 p.
- SÉRODES J.-B., TROUDE J.-P., 1984. *Sedimentation cycle of a freshwater tidal flat in the St. Lawrence estuary*. *Estuaries*, 7 : 117-125.
- SERVICE HYDROGRAPHIQUE DU CANADA (SHC). 2009. *Marées, courants et niveaux d'eau*. <http://www.lau.chs-shc.gc.ca/>.
- TROUDE J.-P., J.-B SÉRODES. 1985. *Régime morpho-sédimentologique d'un estran à forte sédimentation dans l'estuaire du Saint-Laurent*, p. 105-119. In D.L. Forbes, édit., *Comptes rendus : Conférence canadienne sur le littoral (St. John's, 13 au 16 août 1985)*. Conseil national de recherches du Canada, Ottawa, 605 p.
- TROUDE J.-P., J.-B SÉRODES. 1990. *Caractéristiques hydrodynamiques d'un estran à forte sédimentation*. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 17 : 148-155.
- UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE AND NATURAL RESSOURCES CONSERVATION SERVICE. 2011. *Basket grass, Schoenoplectus pungens (M. Vahl) Palla*. Internet. http://plants.usda.gov/plantguide/pdf/cs_scpu10.pdf

ANNEXE A

Gravures et photographies historiques renseignant sur l'état du littoral de l'anse au Foulon à différentes époques.



GRAVURE 1 État de l'estran en 1759, au moment de la prise de Québec.
 (Francis Swaine, d'après Hervey Smyth, représentation du lieu de tir,
 au-dessus de la ville de Québec, (1763. huile sur toile, 32,2 x 47,4 cm.
 Bibliothèque et Archives Canada)



GRAVURE 2 Gravures de l'anse au Foulon montrant l'état de l'estran et
 la palissade le long du chemin du Foulon en 1887
 (Henry Richards S. Bunnet / Musée McCord).



PHOTO 1 Photographies historiques des estacades le long de l'anse au Foulon vers 1860 (William Notman / Musée McCord).



PHOTO 2 La plage de l'anse au Foulon en 1934 et en 1938 (Comité ZIP de Québec et Chaudière-Appalaches).

ANNEXE B

Photographies de terrain prises à l'automne 2010



PHOTO 1 Alignement de blocs glaciels à la limite entre les affleurements rocheux et les dépôts meubles.



PHOTO 2 Couche de 3 mm d'épaisseur de sédiments fins recouvrant les affleurements rocheux au devant du marais.



PHOTO 3 Sable fin qui constitue la couche de sédiment sur laquelle repose le marais.



PHOTO 4 Gravier recouvrant la surface du marais.



PHOTO 5 Microfalaise d'érosion au devant du marais.



PHOTO 6 Galets glaciels au devant de la microfalaise.



PHOTO 7 Étagements au sein de la microfalaise et marrelle.