

Caractérisation hydrogéomorphologique et sédimentologique de la plage de la Pointe-à-Boisvert, Longue-Rive, Haute-Côte-Nord.

Rapport final

Présenté au Comité ZIP de la rive nord de l'estuaire



Auteurs; recherche et rédaction

Antoine Morissette

Géomorphologue, M.Sc.

Gabriel Joyal

Étudiant au baccalauréat en géographie

Référence à citer :

Morissette, A. et Joyal, G. (2012) Caractérisation hydrogéomorphologique et sédimentologique de la plage de la Pointe-à-Boisvert, Longue-Rive, Haute-Côte-Nord. Département de biologie, chimie et géographie, Université du Québec à Rimouski. Rapport final remis au comité ZIP de la rive nord de l'estuaire, Baie-Comeau. 86 pages + Annexes.

REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à remercier chaleureusement Louise Lanoix et Yves Fabe du Gîte de la Baie du Soleil couchant de Longue-Rive pour le gîte, le couvert et les discussions enrichissantes. Leur contribution au projet est majeure, ils ont permis d'accomplir tous les relevés de terrain avec efficacité.

Des remerciements vont aux stagiaires du comité ZIP de la rive nord de l'estuaire pour leur participation et leur aide à la collecte des données du mois de juin. Merci particulièrement à Laurence Piché et à Dominic Francoeur pour leur aide précieuse.

Les auteurs tiennent également à remercier Mme Danie Massé pour la révision linguistique.

Ce projet a été réalisé dans le cadre d'une entente entre l'Université du Québec à Rimouski et le comité ZIP de la rive nord de l'estuaire et a été financé par *Environnement Canada*.

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS	III
TABLE DES MATIÈRES	IV
LISTE DES FIGURES	VI
LISTE DES TABLEAUX	IX
1. INTRODUCTION	1
1.1. MISE EN CONTEXTE DE L'ÉTUDE	1
1.1.1. <i>Risques côtiers</i>	1
1.1.2. <i>Évolution côtière</i>	3
1.1.3. <i>Comprendre l'évolution pour expliquer la vulnérabilité</i>	4
1.2. OBJECTIFS DU PROJET	8
1.3. PRÉSENTATION DU RAPPORT	9
2. MÉTHODOLOGIE	9
2.1. CARACTÉRISATION ET SEGMENTATION CÔTIÈRE	9
2.2. SUIVI DES LIMITES DE LA ZONE CÔTIÈRE	12
2.2.1. <i>Terrain</i>	12
2.2.2. <i>Photointerprétation</i>	14
2.2.3. <i>Acquisition de données spatiales à très haute résolution</i>	14
2.2.4. <i>Calcul des taux d'évolution du trait de côte, de la ligne de rivage et du point d'inflexion à partir des données terrain</i>	16
2.2.5. <i>Calcul des taux d'évolution du trait de côte et du point d'inflexion par photointerprétation</i>	17
2.3. SUIVI DES PROFILS DE PLAGE	18
2.3.1. <i>Granulométrie</i>	20
2.3.2. <i>Calcul des volumes sédimentaires</i>	21
2.4. VULNÉRABILITÉ CÔTIÈRE	22
2.5. SOURCES D'ERREUR	22
2.5.1. <i>Terrain</i>	22
2.5.2. <i>Photointerprétation</i>	23
3. RÉSULTATS	23
3.1. CARACTÉRISATION ET SEGMENTATION CÔTIÈRE	23
3.1.1. <i>Pointe à Émile</i>	23
3.1.2. <i>Marais maritime de la Baie de Mille-Vaches</i>	25
3.1.3. <i>Évolution de la segmentation</i>	26
3.1.4. <i>Dynamique côtière actuelle</i>	26
3.2. ÉVOLUTION CÔTIÈRE MENSUELLE	28
3.2.1. <i>Trait de côte de la flèche littorale</i>	28
3.2.1.1. <i>Secteur Sud</i>	28
3.2.1.2. <i>Secteur Nord</i>	31
3.2.2. <i>Ligne de rivage de la flèche littorale</i>	33
3.2.2.1. <i>Secteur Sud</i>	33
3.2.2.2. <i>Secteur Nord</i>	35
3.2.3. <i>Point d'inflexion du marais maritime</i>	37
3.3. ÉVOLUTION CÔTIÈRE ANNUELLE PAR PHOTOINTERPRÉTATION	39

3.3.1.	<i>Trait de côte de la flèche littorale</i>	39
3.3.2.	<i>Superficie du marais maritime</i>	43
3.4.	ALTITUDE DU TRAIT DE CÔTE	45
3.5.	VOLUMES SÉDIMENTAIRES	47
3.6.	GRANULOMÉTRIE	49
4.	PROFILS TYPES DE LA ZONE CÔTIÈRE	51
4.1.	DÉFINITIONS	51
4.2.	DISTRIBUTION SPATIALE.....	52
5.	RYTHME DÉCENNAL ET ANNUEL DE L'ÉVOLUTION CÔTIÈRE.....	54
5.1.	PROFILS TYPES.....	54
5.2.	TRAIT DE CÔTE.....	55
6.	RYTHME MENSUEL DE L'ÉVOLUTION CÔTIÈRE.....	56
6.1.	ÉVOLUTION ET VULNÉRABILITÉ DES PROFILS TYPES	56
6.1.1.	<i>Profil A : Accumulation</i>	56
6.1.2.	<i>Profil B : Micro-falaise en érosion</i>	60
6.1.2.1.	<i>Profil B : Micro-falaise en érosion (Effet du profil E)</i>	63
6.1.3.	<i>Profil C : Basse falaise en érosion</i>	64
6.1.4.	<i>Profil D : Submersion</i>	67
6.1.5.	<i>Profil E : Structure de protection</i>	71
6.1.6.	<i>Marais maritime</i>	72
6.2.	SYNTHÈSE DE L'ÉVOLUTION	74
7.	SYNTHÈSE DE LA VULNÉRABILITÉ À HAUTE RÉOLUTION.....	75
8.	CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS	78
9.	RÉFÉRENCES	81
	ANNEXE 1	87
	ANNEXE 2	94
	ANNEXE 3	97
	ANNEXE 4	104
	ANNEXE 5	106
	ANNEXE 6	107

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Modèle d'évolution saisonnier des profils de plage. (In Masselink et Hugues, 2003).....	4
Figure 2. Rôle de l'action des aléas sur l'évolution de la vulnérabilité géomorphologique des segments côtiers.....	5
Figure 3. Schéma illustrant le temps de réaction et de réponse à un aléa ainsi que le temps d'adaptation aux nouvelles conditions géomorphologiques. (Adapté de Charlton, 2008)	7
Figure 4. Schéma conceptuel de l'action d'aléas de type ponctuel et continu sur la morphologie d'un système. (Adapté de Charlton, 2008).....	8
Figure 5. Coupe transversale de la zone côtière présentant les différentes sections perpendiculaires à la côte. (Adapté de Fraser et Bernatchez, 2006)	10
Figure 6. Éléments de reconnaissance des limites de la zone côtière des systèmes côtiers à flèche littorale, à terrasses de plage et à marais maritime.....	13
Figure 7. Montage de l'antenne DGPS en mode cinématique. (Joyal, 2011).....	16
Figure 8. Méthode de calcul des épisodes d'érosion et d'accumulation.....	16
Figure 9. Montage de l'antenne DGPS en mode stop'n'go. (Joyal, 2011).....	19
Figure 10. Localisation des profils de plage effectués sur la Pointe à Émile de mai à décembre 2011.....	20
Figure 11. Méthode de calcul des volumes sédimentaires ($m^2 \times m/m = m^3/m$ linéaire de côte).....	21
Figure 12. Carte de segmentation côtière de la Pointe à Émile.	24
Figure 13. Carte de segmentation du marais maritime de la Baie de Mille-Vaches.	26
Figure 14. Carte de la dynamique côtière du secteur d'étude.....	28
Figure 15. Évolution du trait de côte de la Pointe à Émile, secteur sud entre mai et décembre 2011.	30
Figure 16. Évolution du trait de côte de la Pointe à Émile, secteur nord entre mai et décembre 2011.....	32
Figure 17. Évolution de la ligne de rivage de la Pointe à Émile, secteur sud entre mai et décembre 2011.....	34

Figure 18. Évolution de la ligne de rivage de la Pointe à Émile, secteur nord entre juin et octobre 2011.....	36
Figure 19. Évolution du point d'inflexion du marais maritime de la Baie de Mille-Vaches entre juin et octobre 2011.....	38
Figure 20. Évolution du trait de côte de la Pointe à Émile par photointerprétation, entre 1931 et 2011.....	42
Figure 21. Évolution de la superficie du marais de la Baie de Mille-Vaches par photointerprétation, entre 1931 et 2011.....	45
Figure 22. Profils altitudinaux et évolution de l'altitude du trait de côte, secteur sud de la Pointe à Émile entre mai et décembre 2011.	46
Figure 23. Graphiques d'évolution des volumes sédimentaires pour chacun des profils de plage..	48
Figure 24. Distribution spatiale des résultats de l'analyse granulométrique ($\phi - \Phi$) du secteur sud de la Pointe à Émile en juin et octobre 2011.....	50
Figure 25. Illustrations des profils types de la zone côtière du secteur sud de la Pointe à Émile....	53
Figure 26. Localisation des profils types du secteur sud de la Pointe à Émile, été 2011.	54
Figure 27. Localisation des zones caractéristiques d'une flèche littorale et déplacement du point neutre dans la partie centrale.....	55
Figure 28. Haut : Relations dynamiques entre les profils de plage des segments en accumulation en fonction des principaux agents et processus ainsi que des conditions hydrodynamiques. Bas : Schéma conceptuel de la résilience du trait de côte et de la ligne de rivage dans leur espace de liberté sur des segments en accumulation soumis à l'érosion et à la submersion. (Modifié de Charlton, 2008)	59
Figure 29. Haut : Relations dynamiques entre les profils de plage des segments de micro-falaises en érosion. Bas : Schéma conceptuel de la résilience du trait de côte et de la ligne de rivage dans leur espace de liberté sur des segments en érosion (aléa continu). (Modifié de Charlton, 2008) ...	62
Figure 30. Haut : Relations dynamiques entre les profils de plage des segments de basses falaises en érosion. Bas : Schéma conceptuel de la résilience du trait de côte et de la ligne de rivage dans leur espace de liberté sur des segments en érosion (aléa continu). (Modifié de Charlton, 2008) ...	66
Figure 31. Haut : Relations dynamiques entre les profils de plage des segments soumis à la submersion. Bas : Schéma conceptuel de la résilience du trait de côte dans son espace de liberté	

sur des segments de basse altitude soumis à la submersion marine (aléa ponctuel). (Modifié de Charlton, 2008)	70
Figure 32. Haut : Relations dynamiques entre les profils de plage des segments de falaises côtières artificialisées. Bas : Schéma conceptuel de la résilience du trait de côte et de la ligne de rivage dans leur espace de liberté sur des segments artificialisés (aléa continu). (Modifié de Charlton, 2008)	73
Figure 33. Vulnérabilité des segments côtiers du secteur sud de la pointe à Émile	78

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Variables de caractérisation et de segmentation pour les systèmes côtiers sableux. ...	11
Tableau 2. Variables de caractérisation et de segmentation pour les systèmes côtiers à marais maritime.	11
Tableau 3. Niveaux d'eau minimaux et maximaux lors des périodes d'échantillonnage.	15
Tableau 4. Inventaire des photographies aériennes utilisées.....	17
Tableau 5. Distribution des profils de plage en fonction des segments côtiers	19
Tableau 6. Vulnérabilité et tendance d'évolution des segments côtiers de la Pointe à Émile	77
Tableau 7. Recommandations et priorisation des segments côtiers de la Pointe à Émile.....	80
Tableau 6. Données d'évolution du trait de côte, secteur sud entre mai et décembre 2011.	87
Tableau 7. Données d'évolution du trait de côte, secteur nord entre mai et décembre 2011.....	94
Tableau 8. Données d'évolution de la ligne de rivage, secteur sud entre mai et décembre 2011...	97
Tableau 9. Données d'évolution de la ligne de rivage, secteur nord entre juin et octobre 2011....	104
Tableau 10. Données d'évolution du point d'inflexion, marais maritime entre juin et octobre 2011.	106
Tableau 11. Données d'évolution du trait de côte par photointerprétation, entre 1931 et 2011. ...	107

1. INTRODUCTION

1.1. Mise en contexte de l'étude

1.1.1. Risques côtiers

L'érosion et la submersion côtières sont des enjeux qui affectent la majorité des littoraux à l'échelle mondiale (IPCC, 2007). L'augmentation de l'activité anthropique en zone côtière en réponse à ces changements environnementaux peut avoir des impacts significatifs sur l'évolution naturelle des systèmes côtiers (Bernatchez *et al.*, 2008; Davidson-Arnott, 2010). L'occupation humaine sur le littoral du Québec maritime rend ces phénomènes de plus en plus importants (Lajoie *et al.*, 2007; Bernatchez et Dubois, 2004). La hausse du niveau marin relatif (Bernatchez et Dubois, 2004; Shaw *et al.*, 1998; Savard *et al.*, 2008), l'augmentation de la fréquence des événements extrêmes (Boruff *et al.*, 2005), la diminution du couvert de glace (Senneville et Saucier, 2007) et le déficit sédimentaire (Bernatchez et Dubois, 2004) comptent parmi les causes d'une tendance à la généralisation et l'intensification de l'érosion, à l'augmentation d'épisodes de submersion côtière (Bernatchez et Dubois, 2004) ainsi qu'à la migration accélérée de la ligne de rivage vers l'intérieur des terres (Bernatchez, 2004), ce qui affecte considérablement la morphologie de la côte (Forbes *et al.*, 2004).

Au Québec maritime, ce sont les littoraux composés de sédiments meubles qui sont principalement soumis à l'érosion. À cet effet, 65 % des côtes de formations meubles étaient actives en 2006 sur la côte nord du golfe et de l'estuaire maritime du Saint-Laurent (Bernatchez, 2006a; Bernatchez, 2006b). Les taux de reculs moyens mesurés récemment sur ces littoraux varient entre 0,5 et 2 mètres/année (Bernatchez et Dubois, 2004). De plus, dans certains secteurs, des reculs enregistrés à la suite d'évènements extrêmes successifs peuvent atteindre 70 mètres dans les côtes sableuses (Morissette, 2007). L'érosion côtière est le résultat de relations complexes entre l'hydrosphère, la lithosphère, l'atmosphère (Esteves *et al.*, 2006), la biosphère et la cryosphère (Catto, 2006; Shaw *et al.*, 1998) qui s'expriment à différentes échelles spatiales et temporelles. Ces relations entre des facteurs d'occurrence et d'intensité variables modifient la morphologie des milieux côtiers. Plusieurs processus interreliés et interdépendants contribuent à cette modification de la côte (Bernatchez et Dubois, 2004; Komar, 1999). En zone de côtes basses, la submersion est un phénomène morphogène important (Bernatchez, 2004; Bernatchez et Dubois, 2004). Elle s'y exprime notamment par la présence de lobes et de cordons de sable transgressifs (Bernatchez et Dubois, 2004). L'étude de l'évolution des côtes doit tenir compte des facteurs hydrologiques, terrestres et météorologiques, des propriétés géophysiques des côtes et doit contenir des éléments quantifiables (Bernatchez et Dubois, 2004). Ces éléments permettront d'évaluer les risques naturels en milieu côtier et la capacité d'adaptation des communautés côtières face à ces risques.

Les communautés côtières ressentent les effets de l'érosion qui modifient leur milieu de vie et qui menacent les infrastructures le long des littoraux (Bernatchez *et al.*, 2006). Sur le plan écologique, ce phénomène entraîne la perte ou la modification d'habitats côtiers d'importance, notamment au niveau des marais maritimes (Quintin, 2010; Bernatchez et Dubois, 2004). L'intensification du phénomène d'érosion entraîne une hausse importante de l'artificialité des littoraux par l'implantation de structures de protection (Bernatchez et Fraser, 2011; Leclerc, 2010; Bernatchez *et al.*, 2008). La gamme de structures de protection implantées en milieu côtier est très restreinte. L'utilisation d'enrochements pour faire face à cette problématique est généralisée sur les côtes du Québec maritime (Bernatchez et Fraser, 2011; Bernatchez et Dubois, 2004). Afin d'évaluer la possibilité d'utiliser des méthodes alternatives de protection du littoral, il est impératif de connaître la dynamique côtière des sites en érosion (Bernatchez et Fraser, 2011; Leclerc, 2010). Certaines études d'impacts et de suivis environnementaux ont été réalisés, mais sans protocole de suivi scientifique et selon une résolution spatiale et temporelle souvent inadéquate. De plus, la part relative des effets naturels et des effets anthropiques dans la modification des écosystèmes côtiers est rarement déterminée (Leclerc, 2010).

La plage de la Pointe-à-Boisvert se situe dans la municipalité de Longue-Rive, dans la MRC de La Haute-Côte-Nord. Cette plage fait partie du grand système côtier des flèches littorales de la Pointe à Boisvert et de la Pointe à Émile. Cette dernière protège le marais de la baie des Mille-Vaches; le deuxième marais salé en importance de la rive nord de l'estuaire maritime, avec une superficie de 249 ha. Ce marais est reconnu comme un habitat côtier d'intérêt avec sa faune avienne abondante et diversifiée. Deux cent vingt-six (226) espèces d'oiseaux y ont déjà été inventoriées, dont certaines ont un statut d'espèce en péril tel que le faucon pèlerin, le hibou des marais et le râle jaune. D'autres composantes d'intérêt sont également présentes, dont un site d'échouerie et de mise bas pour le phoque commun sur la batture de la Baie de Mille-Vaches et une frayère à capelan qui se situe tout au long de la plage de la Pointe-à-Boisvert. L'évolution de ce marais est en étroite relation avec l'évolution de la flèche littorale de la Pointe à Émile (Morissette, 2007). L'évolution et la modification de cette flèche littorale est une préoccupation majeure pour la conservation de l'intégrité écologique du marais. Dans ce contexte, suite à une initiative citoyenne, le Comité ZIP de la rive nord de l'estuaire a mis en œuvre un projet de protection et restauration de la plage de la Pointe-à-Boisvert. Afin de déterminer les solutions de protection et de restauration adaptés à la dynamique côtière de la Pointe-à-Boisvert, le Comité ZIP a mandaté Antoine Morissette, géomorphologue côtier de l'Université du Québec à Rimouski (UQAR) pour réaliser une étude de caractérisation hydrogéomorphologique et sédimentologique de deux grands systèmes côtiers d'importance, la flèche littorale de la Pointe à Émile et le marais maritime de la Baie de Mille-Vaches.

1.1.2. Évolution côtière

L'utilisation de photographies aériennes dans les études traitant de l'évolution des littoraux permet d'analyser la réponse des systèmes côtiers aux agents et aux processus morphogènes sur de plus longs intervalles. Par contre, plusieurs études portant sur l'évolution côtière utilisent des documents de faible résolution spatiale (Grenier et Dubois, 1990). La résolution temporelle et spatiale ainsi que les techniques de prises de données de ces études ne présentent donc pas une précision suffisante pour établir les tendances futures de l'évolution côtière et définir les causes de l'évolution historique (Grenier et Dubois, 1990). Dans le même ordre d'idée, la réalisation de l'entente spécifique sur l'érosion des berges pour la Côte-Nord (Dubois *et al.*, 2005) a permis de mesurer des taux de recul annuels sur de grands intervalles temporels. Les taux de recul moyens calculés sur de grands intervalles entre les couvertures aériennes peuvent être raffinés en ajoutant toutes les années de couvertures aériennes disponibles entre les années déjà interprétées, ce qui permet de diminuer l'intervalle de temps sur lequel la moyenne est calculée. Grâce à l'avènement des photographies aériennes numériques et géoréférencées, la résolution spatiale des études et des travaux de photointerprétation est raffinée et la marge d'erreur est ainsi considérablement diminuée (Morissette, 2007). L'augmentation de la précision des documents de base utilisés pour retracer le déplacement du trait de côte améliore la compréhension de la contribution des périodes historiques, des processus côtiers naturels et des impacts anthropiques sur l'évolution de la morphologie côtière. La variabilité de la position du trait de côte sur les différentes couvertures aériennes utilisées constitue un excellent indicateur de la réponse des systèmes côtiers aux variables environnementales responsables de leur évolution. Cet indicateur devient également une référence historique pour comprendre la cyclicité intra-annuelle en se basant sur les cycles interannuels observés et mesurés dans le but d'appréhender l'évolution future des littoraux maritimes.

On constate qu'en région tempérée froide, les conditions estivales favorisent l'engraissement des profils de plage, les glaces hivernales fixent les profils, alors que les tempêtes occasionnelles ou continues du printemps et de l'automne ont tendance à éroder les plages (Catto, 2006; Esteves *et al.*, 2006). Ce modèle d'évolution montre que la morphologie des zones côtières répond directement aux conditions hydroclimatiques, où des conditions plus calmes favorisent des profils d'accumulation, alors que des conditions de plus grande énergie, des profils d'érosion (Masselink et Pattiaratchi, 2001). C'est effectivement l'énergie des vagues à la côte qui influence la direction du mouvement des sédiments : une grande énergie apporte les sédiments de la plage vers le large et une faible énergie, de l'avant-côte vers la plage (Masselink et Pattiaratchi, 2001) (figure 1). Ces conditions ont d'abord été associées à une cyclicité saisonnière, mais il semblerait que des profils de chacun des types pourraient se manifester à l'intérieur même d'une saison, d'où la naissance du concept de cyclicité événementielle (Nordstrom, 1980 *in* Masselink et Hugues, 2003) qui suggère que la séquence de profils « de tempête » et « d'accumulation » pourrait survenir plusieurs fois à l'intérieur même d'une saison. De plus, en fonction du temps qui sépare chacun de

ces événements, il se peut que les systèmes côtiers ne puissent retrouver un état de stabilité relative aux conditions hydroclimatiques à la suite d'un épisode de forte énergie, favorisant ainsi la formation de profils de plage dont l'état initial aurait gardé « en mémoire » des événements érosifs anciens (Wright *et al.*, 1985 in Quartel *et al.*, 2008). Les niveaux d'eau et les conditions hydroclimatiques étant variables à toutes les échelles temporelles, de l'année à la journée, il devient alors difficile de représenter l'évolution côtière en seulement deux étapes. La cyclicité saisonnière ou événementielle devrait alors comprendre des phases intermédiaires qui permettraient de mieux comprendre l'évolution des systèmes côtiers. Par exemple, les épisodes d'érosion intenses sont entrecoupés d'épisodes de stabilité causés par l'accumulation de tabliers de matériel érodé au pied des falaises (Shaw *et al.*, 1998). De plus, la modification des conditions de glace en milieu marin peut diminuer la protection qu'elle offre à la côte, augmentant le temps d'exposition des côtes aux processus côtiers (Dionne, 1973; Shaw *et al.*, 1998).

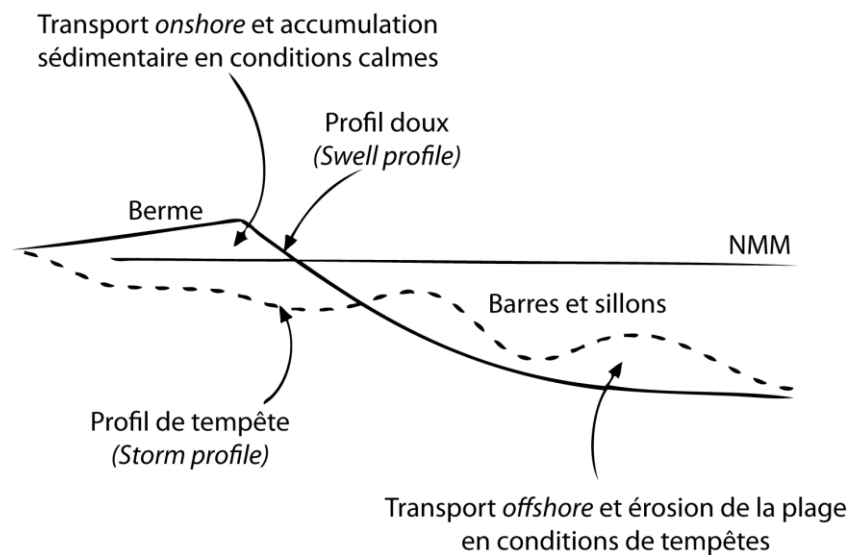


Figure 1. Modèle d'évolution saisonnier des profils de plage. Les conditions de tempêtes induisent un transport *offshore*, de l'érosion et la formation de barres et sillons d'avant-côte. Des conditions calmes induisent un mouvement *onshore*, une accumulation sur la plage et la formation de bermes. (In Masselink et Hugues, 2003)

1.1.3. Comprendre l'évolution pour expliquer la vulnérabilité

L'acquisition d'information quantifiable sur l'évolution du milieu côtier servira à déterminer et expliquer la vulnérabilité géomorphologique des systèmes (Pendleton *et al.*, 2010). Cette vulnérabilité peut être définie comme le degré de sensibilité et de résilience d'un système côtier

face à un ou une série d'événements (Brooks, 2003; IPCC, 2001; Shaw *et al.*, 1998). La sensibilité du système comprend les caractéristiques géomorphologiques du système côtier et leur potentiel à être affecté par les effets biogéophysiques d'un aléa (Forbes *et al.*, 2004; Klein *et al.*, 1998). La résilience du système considère sa capacité d'adaptation ou sa stabilité. La résilience comprend également la notion de résistance, ou la capacité à éviter une perturbation (Klein *et al.*, 1998; Klein et Nichols, 1999). La vulnérabilité est par conséquent le rapport entre la sensibilité d'un système à un aléa et la résilience de ce système qui font évoluer la morphologie côtière dans un temps donné (figure 2).

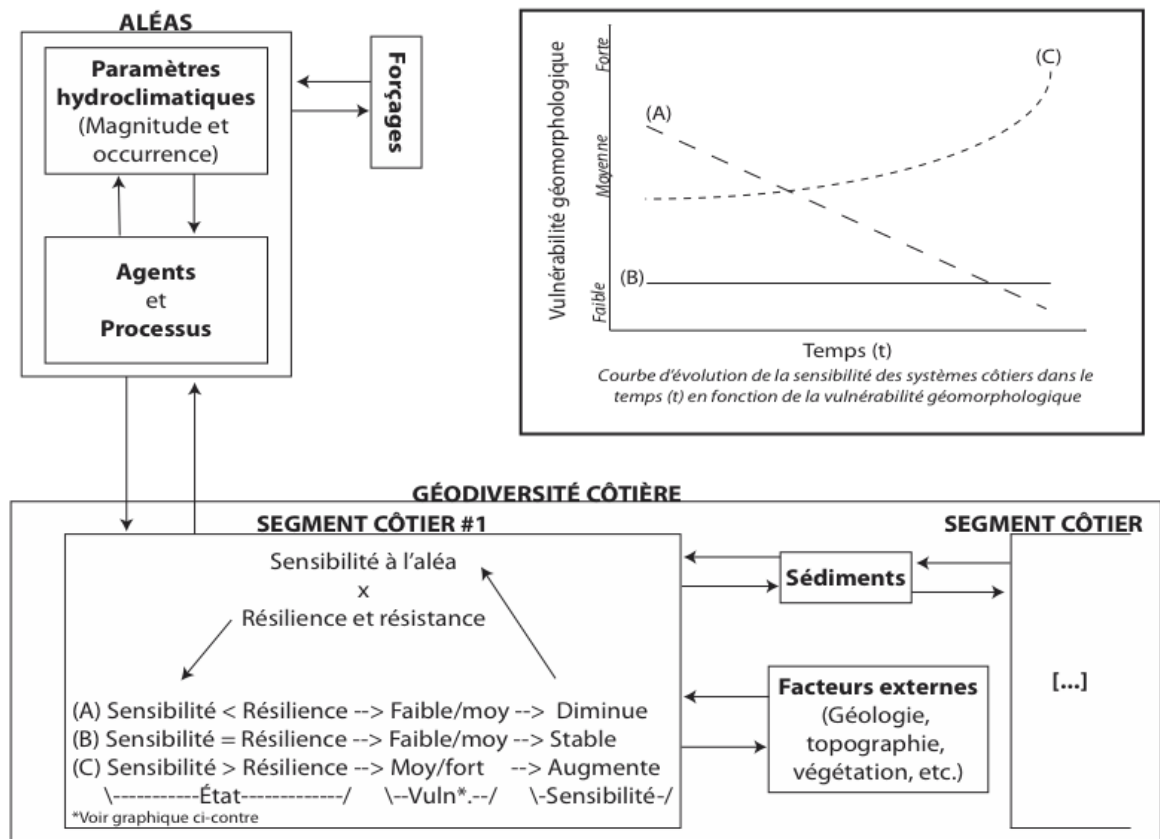


Figure 2. Rôle de l'action des aléas sur l'évolution de la vulnérabilité géomorphologique des segments côtiers. (Encadré : tendances d'évolution de la vulnérabilité en fonction du rapport sensibilité/résilience défini de (A) à (C))

Les modèles théoriques d'évolution de la vulnérabilité des segments côtiers tels que définis précédemment montre que celle-ci est variable dans le temps et dans l'espace, en réponse aux agents et processus côtiers, mais également en fonction de leurs caractéristiques intrinsèques.

Pour être à même de s'adapter à ces variations des conditions hydroclimatiques, les segments côtiers ont des *techniques* naturelles qui leur permettent de résister aux aléas et de s'en remettre, la résilience. Celle-ci s'exprime à la côte en fonction de la fréquence et de la magnitude des aléas ainsi que de la sensibilité de la côte (Thomas, 2000 in Brunsden, 2001), elle-même définie par la morphologie côtière.

Dans le but de comprendre l'expression de la résilience des segments côtiers, il est nécessaire de définir les concepts d'*élément résilient*, de *degré et d'espace de liberté*, de *temps de réponse et d'adaptation géomorphologique*, de *séquence d'événements*, de *malléabilité* et de *type d'aléa*.

Tout d'abord, l'élément résilient est un élément morphologique du modelé côtier qui confère la résilience naturelle à un segment côtier. Ces éléments sont souvent une limite ou une zone perpendiculaire de la zone côtière dont la morphologie peut se modifier en réponse à un aléa.

Ensuite, Charlton (2008) définit le *degré de liberté* d'une rivière comme étant la capacité de ses composantes morphologiques à s'adapter en réponse à un changement. Appliquée à l'étude de la vulnérabilité géomorphologique des systèmes côtiers, cette notion correspond à la mesure par laquelle il serait possible d'évaluer la résilience géomorphologique des éléments de la zone côtière. L'*espace de liberté* serait alors l'espace/temps nécessaire à l'élément résilient pour effectuer son rôle d'ajustement ou de prévision à une perturbation vécue ou potentielle. La définition de l'espace de liberté des segments côtiers permettrait de quantifier leur sensibilité et leur espace de résilience.

Le temps de réponse correspond à la durée de l'aléa et de ses conséquences sur la morphologie côtière. Dans un second temps, le temps d'adaptation considère le temps nécessaire à l'élément résilient pour retrouver un « état initial théorique » (ou état de stabilité relative) selon l'action de l'aléa (figure 3). Il dépend de l'intensité et de la durée de l'aléa ainsi que de la morphologie initiale du segment (Quartel *et al.*, 2008). Cette notion est essentielle à considérer dans la mesure où la séquence d'événements durant laquelle se manifestent les aléas à la côte peut être la cause de l'augmentation de la sensibilité de la zone côtière (Brunsden, 2001 ; Quartel *et al.*, 2008). Ainsi, deux aléas de même magnitude peuvent avoir un impact morphologique différent en fonction de la position temporelle dans une séquence (Charlton, 2008). L'atteinte d'un niveau de résilience ou de résistance suffisante prend un certain temps durant lequel les conditions hydrodynamiques doivent être optimales à l'action de l'élément résilient. Ce constat propose qu'une série de petits événements rapprochés puisse modifier la morphologie côtière de manière plus importante qu'un événement majeur isolé puisque le temps de réponse à un événement érosif est beaucoup plus rapide que le temps d'adaptation (Quartel *et al.*, 2008).

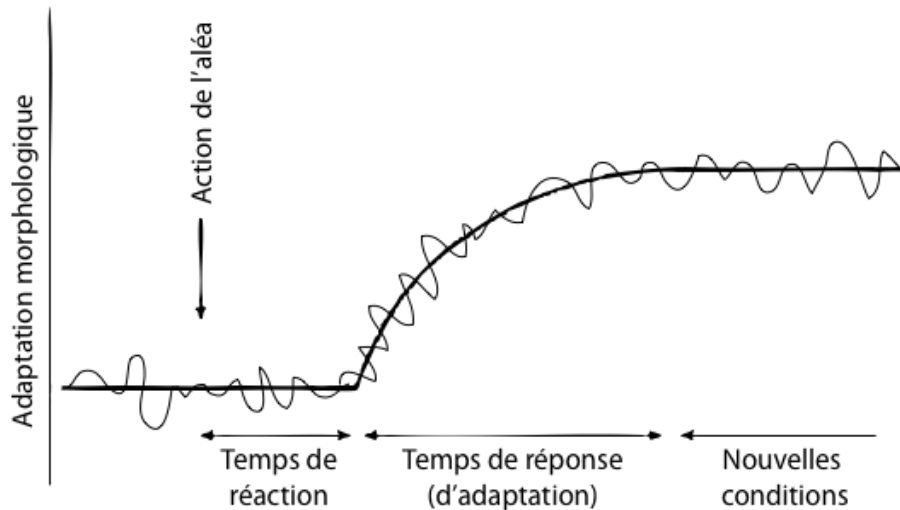


Figure 3. Schéma illustrant le temps de réaction et de réponse à un aléa ainsi que le temps d'adaptation aux nouvelles conditions géomorphologiques. (Adapté de Charlton, 2008)

La malléabilité géomorphologique d'un système côtier peut être définie comme la différence entre l'« état initial théorique » ou l'« état de stabilité » après l'aléa et l'état initial réel avant l'action d'un aléa (Brunsdén, 2001). Elle permet de comprendre l'effet de la séquence d'événements sur l'adaptation morphologique de la zone côtière.

Deux types d'aléas peuvent être définis : les aléas ponctuels et continus (Charlton, 2008). En premier lieu, l'*aléa ponctuel (pulsed disturbance)* s'exprime de manière soudaine et sur une courte durée, il est souvent associé à un épisode de submersion côtière. Selon Charlton (2008), l'effet de ce type de perturbation est localisé et souvent suivi d'un retour à un « état initial ». En second lieu, l'*aléa continu (ramped disturbance)* est utilisé pour décrire les perturbations dont les effets sont continus et irréversibles telle que l'érosion côtière. Ses effets sur la zone côtière sont permanents dans l'espace et dans le temps.

La figure 4 permet de visualiser l'effet de chaque type d'aléa sur la morphologie d'un système.

L'étude de la vulnérabilité géomorphologique permet donc de mieux gérer et de prévenir les risques naturels, tout en préservant l'intégrité biologique et la géodiversité (Anfuso et al., 2009). Cette méthode permet de cartographier les relations spatiales et temporelles existantes entre les degrés de sensibilité et de résilience géomorphologique d'un système et son évolution sous l'action d'aléas donnés. Ces relations montrent aussi comment des systèmes individuels réagissent différemment à des forçages similaires (Catto, 2006) en fonction de la configuration locale des segments côtiers.

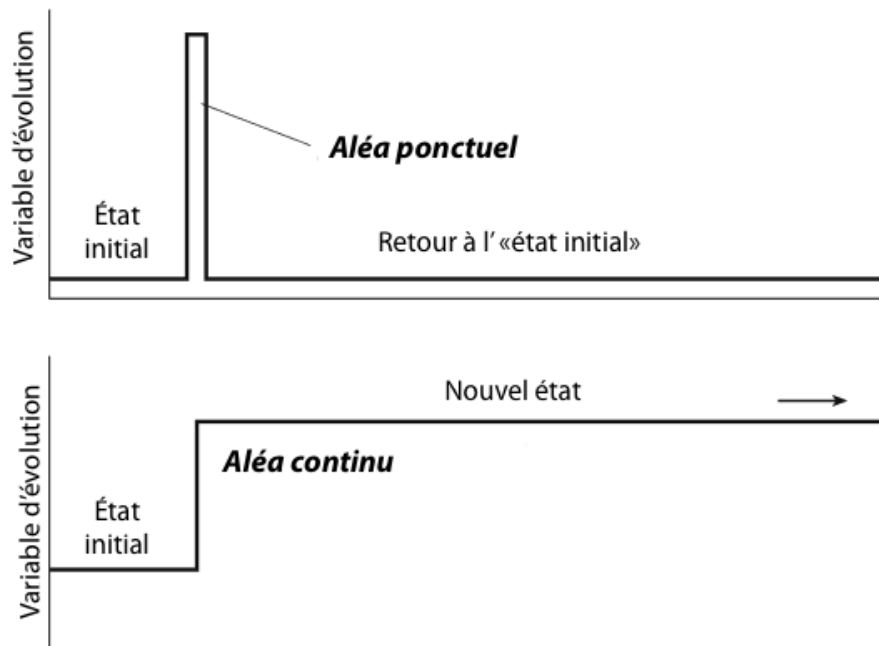


Figure 4. Schéma conceptuel de l'action d'aléas de type ponctuel et continu sur la morphologie d'un système. Les aléas ponctuels sont caractérisés par un retour à un « état initial », alors que les aléas continus provoquent une modification irréversible et la création d'un nouvel état morphologique. (Adapté de Charlton, 2008)

1.2. Objectifs du projet

Cette étude vise à obtenir les informations de base sur le milieu côtier nécessaires à la réalisation du projet de restauration et de protection de la plage de la Pointe-à-Boisvert. Cette étape est préalable au choix des solutions d'adaptation à l'érosion et à la submersion côtière qui conviennent le mieux au site d'étude. Les objectifs de ce projet sont :

- A) Effectuer une caractérisation sédimentologique et géomorphologique des segments côtiers;
- B) Quantifier l'évolution historique des segments côtiers par photointerprétation;
- C) Quantifier l'évolution annuelle des segments côtiers sur le terrain;
- D) Départager les causes naturelles et anthropiques de l'évolution des segments côtiers;
- E) Établir les profils de plage dynamiques de segments types;
- F) Établir le budget et le transit sédimentaire global des unités hydrosédimentaires;
- G) Évaluer les effets des structures de protection actuelles;
- H) Évaluer la vulnérabilité à très haute résolution de chacun des segments côtiers.

1.3. Présentation du rapport

Ce rapport de recherche remis au Comité ZIP de la rive nord de l'estuaire s'inscrit dans un projet de recherche plus vaste visant à améliorer les connaissances théoriques sur la dynamique côtière et à documenter les effets des agents et des processus côtiers sur l'évolution des littoraux des régions tempérées froides. L'acquisition de nouvelles connaissances alimente et précise les programmes de gestion et de prévention des risques côtiers en plus de permettre aux communautés côtières d'avoir accès à une information actuelle et précise sur leur zone côtière. Cette démarche permet aux communautés côtières de prendre des décisions éclairées quant aux solutions d'adaptation à privilégier face aux changements climatiques.

D'un point de vue théorique et académique, ce projet a permis à un étudiant finissant au baccalauréat en géographie à l'UQAR de réaliser un mémoire de fin d'étude intitulé : *Évolution et vulnérabilité côtière micro échelle de la Pointe à Émile – Baie de Mille-Vaches, Côte nord de l'estuaire maritime du Saint-Laurent, Québec* (Joyal, 2012). Les objectifs de ce mémoire étaient de définir une méthodologie d'acquisition de données d'évolution côtière à très haute résolution spatiale, d'effectuer une série de relevés terrain mensuels sur un cycle annuel complet, de quantifier l'évolution côtière pour en comprendre le modèle et d'évaluer la vulnérabilité géomorphologique de segments côtiers types. Deux communications scientifiques seront également présentées au 80^e Congrès de l'ACFAS à Montréal du 7 au 11 mai 2012 : *Évolution et vulnérabilité côtière micro échelle* (Joyal et Morissette, 2012) et *Méthode de suivi terrain à très haute résolution pour les risques côtiers* (Morissette et Joyal, 2012). De plus, un article dans une revue scientifique sera publié en 2012 afin de présenter à la communauté scientifique la méthode novatrice et les nouveaux modèles d'évolution haute résolution dans le domaine de la géomorphologie côtière et de la gestion des risques côtiers. L'ensemble de ce projet de recherche profitera non seulement à la communauté de Longue-Rive, mais également au Comité ZIP de la rive nord de l'estuaire puisque les connaissances théoriques plus larges acquises dans le cadre de ce projet pourront servir de référence pour la réalisation de projets similaires en zone côtière dans le territoire du Comité ZIP.

2. MÉTHODOLOGIE

L'analyse de l'évolution et de la vulnérabilité côtière nécessite l'utilisation d'une série de méthodes d'acquisition de données à très haute résolution spatiale et temporelle ainsi que l'utilisation de techniques de photogrammétrie et de photointerprétation numérique.

2.1. Caractérisation et segmentation côtière

L'approche préconisée pour réaliser la caractérisation et la segmentation côtière comprend deux volets : une approche naturaliste basée sur des observations géomorphologiques semi-quantitative et une approche bidimensionnelle et intégrée. L'approche naturaliste consiste à se déplacer le long

du trait de côte afin de décrire les caractéristiques géomorphologiques des segments côtiers (tableau 1 et 2) et de réaliser des mesures de certaines de ces caractéristiques afin d'établir une morphométrie descriptive de chacun des segments. Les observations géomorphologiques parallèles à la côte sont effectuées à partir d'un cadre d'analyse issu d'une coupe transversale de la zone côtière (figure 5). Les différentes sections de la zone côtière possèdent chacune des caractéristiques uniques qui, une fois intégrées, permettent de définir avec une grande précision les types de segment côtier qui s'expriment de manière parallèle à la côte.

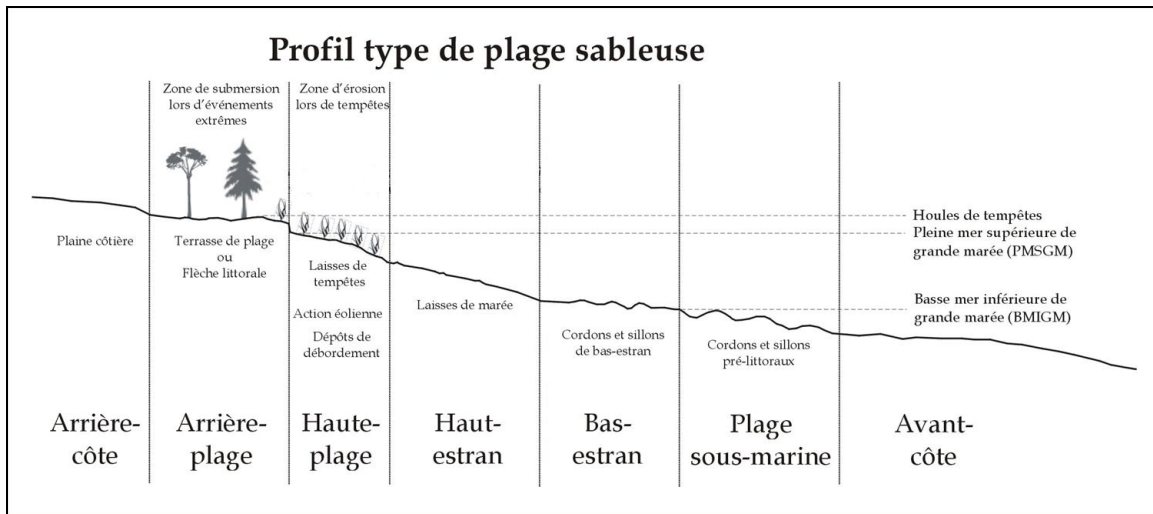


Figure 5. Coupe transversale de la zone côtière présentant les différentes sections perpendiculaires à la côte. (Adapté de Fraser et Bernatchez, 2006)

La segmentation côtière et la caractérisation géomorphologique permettent une classification de segments de la côte présentant des caractéristiques homogènes. Cette analyse parallèle à la côte permet de décrire de manière semi-quantitative les variations de la dynamique d'un bout à l'autre du secteur d'étude pour dresser un portrait de la variabilité des segments côtiers par rapport à l'état de référence, mai 2011. Des observations directes et des mesures ponctuelles avec un ruban à mesurer ont permis de caractériser chacun des 31 segments du site d'étude. Les segments ont été délimités à l'aide d'un récepteur GPS Garmin eTrex Legend, à une précision de 5 mètres. L'information a été intégrée à un système d'information géographique (SIG) pour l'analyse et la représentation cartographique. Chaque fois qu'un élément de caractérisation se modifiait, un nouveau segment était créé. Les variables de la caractérisation côtière (tableaux 1 et 2) ont été ajoutées aux sections du trait de côte de mai 2011.

Dans le but de représenter la variabilité de l'état de la côte et des variables de caractérisation, une seconde segmentation a été réalisée le 26 octobre 2011. Cette fois, le DGPS en mode stop'n'go a été utilisé pour augmenter la précision des données. De plus, elle a permis de caractériser le secteur nord de la Pointe à Émile.

Tableau 1. Variables de caractérisation et de segmentation pour les systèmes côtiers sableux.

Numéro du segment	Hauteur de la falaise
Points GPS (2)	Pente de la zone entre la ligne de rivage et le trait de côte
Système côtier	Granulométrie/stratigraphie de la zone entre la ligne de rivage et le trait de côte
État général de la côte	Végétation de la zone entre la ligne de rivage et le trait de côte
Infrastructures	Processus actifs/mode d'évacuation des sédiments
Détails sur l'infrastructure	Débris sur le haut estran
État de l'infrastructure	Pente du haut estran
Entretien de l'infrastructure	Largeur du haut estran
Type d'arrière-côte / utilisation du sol	Végétation sur le haut estran
Végétation en arrière-côte	Granulométrie/stratigraphie du haut estran
Topographie en arrière-côte	Type de bas estran
Type d'arrière-plage	Débris sur le bas estran
Végétation en arrière-plage	Pente du bas estran
Topographie en arrière-plage	Largeur du bas estran
Processus actifs en arrière-côte et arrière-plage	Végétation sur le bas estran
Type de zone entre la ligne de rivage et le trait de côte	Granulométrie/stratigraphie du bas estran
Largeur zone entre la ligne de rivage et le trait de côte	Commentaires

Tableau 2. Variables de caractérisation et de segmentation pour les systèmes côtiers à marais maritime.

Numéro du segment	Pente du schorre supérieur
Points GPS (2)	Granulométrie/stratigraphie du schorre
Système côtier	Végétation du schorre supérieur
État général du marais	Type de schorre inférieur
Infrastructures au trait de côte	Largeur du schorre inférieur
Détails sur l'infrastructure	Pente du schorre inférieur
État de l'infrastructure	Granulométrie/stratigraphie du schorre inférieur
Entretien de l'infrastructure	Végétation du schorre inférieur
Type d'arrière-côte / utilisation du sol	Débris sur le schorre inférieur
Végétation en arrière-côte	Hauteur de la falaise / Processus actifs/mode d'évacuation des sédiments
Topographie en arrière-côte	État du marais au point d'inflexion
Type de haut-marais	Type de slikke
Végétation sur le haut-marais	Débris sur la slikke
Topographie du haut-marais	Pente de la slikke
Processus actifs en arrière-côte et au haut-marais	Largeur de la slikke
Type de schorre supérieur	Végétation de la slikke
Largeur du schorre supérieur	Granulométrie/stratigraphie de la slikke

2.2. Suivi des limites de la zone côtière

Le suivi des limites de la zone côtière se base sur la même approche que la caractérisation et la segmentation côtière. Cependant, les limites utilisées permettent de définir et de caractériser les sections de la zone côtière perpendiculaires au littoral (figure 6).

2.2.1. Terrain

L'approche analytique par segments côtiers permet de cerner les processus côtiers et marins qui font évoluer ces segments. En effet, Morissette (2007) reconnaît que les portions de la zone côtière possédant des caractéristiques génétiques, morphologiques et sédimentaires similaires font partie d'un même système côtier. Cette méthode intègre les composantes physiques, dynamiques, biologiques et humaines de la zone côtière. Ainsi, cette zone côtière est une zone limitée par l'action des facteurs hydrologiques, atmosphériques, biologiques, géomorphologiques (Dubois, 1979) et cryogéniques marins en milieu terrestre jusqu'à la limite d'interaction des vagues avec le fond en milieu marin. Dolan *et al.* (1980 *in* Boak et Turner, 2005) nomment la limite physique entre la terre et l'eau *shoreline*, qui peut être traduite par *trait de côte*. Un cadre géographique approprié doit être défini pour bien cerner les causes et les effets des processus qui se manifestent dans cette zone littorale (Balaguer *et al.*, 2008). Par conséquent, il est essentiel de définir des critères d'identification des quatre principales limites de la zone côtière que sont le trait extrême, le trait de côte, la ligne de rivage et le point d'inflexion puisque leur position change continuellement dans le temps (Boak et Turner, 2005). Les indicateurs des limites sont basés sur une série de critères morphologiques (structures anthropiques ou éléments morphologiques visibles) et de niveaux d'eau (figure 6). Une identification multicritère et visuellement continue pour tous les systèmes côtiers sableux permet d'augmenter la représentation de la position réelle des limites. La multitude de représentations de profils de plage permet d'éviter l'hypothèse que la position d'une de ces limites à un moment représente sa position normale ou moyenne (Boak et Turner, 2005). En effet, les différents stades d'évolution et la dynamique des systèmes côtiers peuvent influencer la quantité d'indicateurs présents pour l'identification des limites qui sont dépendantes du temps d'acquisition et dont la variabilité spatiale peut s'exprimer à court terme (Morton, 1991 *in* Boak et Turner, 2005). Les définitions des limites et des zones utilisées dans le cadre de ce projet incluent la possibilité d'événements morphogènes extrêmes pour être en mesure de déterminer avec précision la sensibilité et la résilience des systèmes côtiers à ces aléas et d'identifier les zones de transgression potentielles (Baptista *et al.*, 2011).

Finalement, chaque ligne suivie délimite des zones caractéristiques de la côte. La même figure (figure 6) montre les limites des zones types des marais maritimes retenues pour l'analyse.

Systèmes côtiers à flèche littorale ou terrasse de plage		Arrière-côte	Trait extrême	Arrière-plage	Trait de côte	TC-LR	Ligne de rivage	Haut-estran	Point d'inflexion	Bas-estran
Def.		Limite d'influence marine	Trait de côte extrême	Zone de transgression potentielle	Limite milieux marin/terrestre	Très variable	Haute mer mensuelle	Partie sup. estran exondée à marée basse	Légèrement sous le niveau moyen des mers	Partie inf. estran exondée compl. lors des PMSGM
A)	Profil d'accumulation ou de transition	- Limite de la végétation herbacée, arbustive et arborescente	- Limite de la végétation halophyte	- Végétation plus basse qu'en arrière-côte	- PMSGM - Laissez de grandes marées/tempêtes - Limite de la végétation continue	- Haute plage (HP) en porte-à-faux épaisse - Gradins, levées et/ou bermes	- Laissez de la dernière marée haute maximale sous le niveau mensuelle - Limite de la végétation épaisse			
B)	Falaise d'érosion (1) sans talus d'éboullis (2) avec talus d'éboullis	- Végétation herbacée, arbustive et arborescente	- Laissez de la végétation halophyte	- Topographie plus basse qu'en arrière-côte	- Sommet de la falaise ou micro-falaise	- Falaise (1) - Obst. aux vagues	- Pied de la falaise (1) - Pied du talus d'éboullis (2)			- Pente faible à nulle
C)	Débord organique	- Végétation herbacée, arbustive et arborescente	- Laissez de la végétation halophyte	- Végétation herbacée (qq. arbres)	- Sommet du débord, v.-à-v. la falaise	- Horizon organique en porte-à-faux - Morphologie varié selon la végétation de l'AP	- Pied du talus sous le débord ou - Pied de la falaise sous le débord	- Laissez de marées	- Rupture de pente	- Granulométrie de sable fin et limon - Cordons et sillons pré-littoraux - Blocs glaciaux
D)	Lobe de transgression (1) en transgression (2) fin de la transgression	- Végétation herbacée, arbustive et arborescente	- Laissez de la végétation halophyte	- Végétation herbacée (qq. arbres)	- Sommet du débord, v.-à-v. la falaise	- Forme de pénétration des vagues sur l'AP - Sable et débris de la végétation	- Rupture de pente - Berme en formation - Laisse de la dernière marée haute maximale mensuelle	- Débris de l'AP (débords, radeaux, écouli, effond. de séd.)	- Changement de granulométrie (sables/gravier à sable fin/limon)	
E)	Structures côtières artificialisées	- Végétation herbacée, arbustive et arborescente	- Laissez de la végétation halophyte	- Végétation herbacée (qq. arbres)	- Sommet de la structure de protection	- Infrastructure de protection	- Pied de la structure de protection	- Point d'ancrage du pied de glace fixe (Dionne, 1973)		
Systèmes côtiers à marais maritimes		Arrière-côte agents marins	Trait extrême	Haut-marais	Trait de côte	Schorre supérieur	Ligne de rivage	Schorre inférieur	Point d'inflexion	Sylive
Def.		Limite d'infl. agents marins	Trait de côte extrême	Zone de transgression potentielle	Limite milieux marin/terrestre	Partie supérieure du schorre	Haute mer mensuelle	Partie inférieure du schorre	Légèrement sous le niveau moyen des mers	Vasière plus ou moins passagère par la végétation
F)	Marais maritime accumulation	- Limite de la végétation terrestre	- Limite de la végétation halophyte	- Milieux humides d'eau douce	- PMSGM - Laissez de grandes marées/tempêtes	- Faible fréquence d'inondation	- Limite entre la végétation dense de jonc, carex, spartine étalée et la végétation halophyte (spartine alterniflore, spartine étalée)	- Forte fréquence d'inondation	- Limite de la végétation	- Vasière à fucus - Sédiments fins (limons, argiles)
G)	Marais maritime en érosion	- Niveau d'eau de surcotes	- Niveau d'eau de surcotes	- Topographie plus basse qu'en arrière-côte	- Laissez de grandes marées/tempêtes	- Végétation dense et diversifiée (jonc, carex, salicorne, plantain maritime, spartine étalée et pectinée)	- Limite de la zone de forte fréquence d'inondation	- Végétation halophyte dense (spartine alterniflore)	- Pied de la micro-falaise d'érosion	- Exondée à marée basse
H)	Marais maritime artificialisé	- Végétation herbacée, arbustive et arborescente	- Laissez de la végétation halophyte	- Végétation herbacée (qq. arbres)	- Sommet des structures artificielles (aboteaux, digues, p.ex.)	- Mares, marées et chenaux de marée	- Rupture de pente	- Mares, marées et chenaux de marée	- Limite de la végétation ou Pied de la structure de protection	- Blocs glaciaux

Figure 6. Éléments de reconnaissance des limites de la zone côtière des systèmes côtiers à flèche littorale, à terrasses de plage et à marais maritime.

2.2.2. *Photointerprétation*

Lors de la réalisation d'une étude sur l'évolution des littoraux par photointerprétation, il est primordial d'identifier la limite de la zone côtière qui sera utilisée pour effectuer le suivi multidate. Dans le cadre du présent projet, la limite retenue est le trait de côte représenté sur les photographies aériennes par la ligne des pleines mers supérieures de grande marée (PMSGM) (Morissette, 2007). Elle correspond à la limite des terres émergées souvent marquée par l'extension maximale de la végétation terrestre vers la mer ou à la base d'une falaise submergée lors de marées hautes de vives-eaux (Bird, 2008). Son identification est fiable et constante puisque la limite de végétation en milieu côtier présente un avantage considérable, soit l'identification à l'aide de trois critères de photointerprétation. Ces critères sont la différence de teinte, la différence de texture et l'aspect tridimensionnel où la stéréoscopie s'avère très utile. De plus, aux endroits où la végétation est absente, les laisses des grandes marées d'équinoxe ainsi que la microtopographie associée à ces mêmes marées permettent un positionnement précis de cette limite (Grenier et Dubois, 1990). Lors des relevés terrain, ce sont ces mêmes critères géomorphologiques qui sont utilisés pour suivre l'évolution du trait de côte ce qui permet une comparaison des résultats obtenus par photointerprétation multidate aux résultats des relevés terrain. Cependant, certaines caractéristiques des systèmes côtiers à l'étude ainsi que les objectifs du projet ont forcé l'utilisation d'autres limites de la zone côtière. Dans le cas du marais de la Baie de Mille-Vaches, la limite de végétation a été utilisée pour la limite supérieure et inférieure du marais. La limite supérieure de la végétation du marais maritime correspond au trait de côte alors que la limite inférieure correspond au point d'inflexion et à la limite du schorre inférieur. Ces deux limites furent retenues afin de permettre le calcul des superficies des marais maritimes comprenant le schorre supérieur et le schorre inférieur.

2.2.3. *Acquisition de données spatiales à très haute résolution*

À six reprises au cours de l'année 2011, soit du 29 avril au 1er mai, du 14 au 19 juin, du 14 au 18 juillet, le 31 août et le 1er septembre, du 23 au 28 octobre et du 20 au 22 décembre, des suivis de position la ligne de rivage, du trait de côte et du point d'inflexion pour tous les systèmes côtiers du site d'étude ont été réalisés.

L'intervalle entre les relevés terrain est relativement constant, il correspond au cycle de marées lunaires. Les relevés ont été effectués lors des pleines mers supérieures de grandes marées mensuelles (PMSGM) (SHC, 2011). Le tableau 3 montre les niveaux d'eau minimaux et maximaux atteints lors de chacune des périodes d'échantillonnage.

Tableau 3. Niveaux d'eau minimaux et maximaux lors des périodes d'échantillonnage.

Période d'échantillonnage	Marée basse (m)	Marée haute (m)	Commentaires
Décembre 2010	?	5,6	Tempête du 6 décembre 2010
Mai 2011	0,6	4,2	-
Juin 2011	-0,1	4,7	-
Juillet 2011	0,2	4,4	-
Août 2011	-0,0	> 4,5	Ouragan IRENE
Octobre 2011	0,4	4,2	-
Décembre 2011	0,3	4,2	-

Les données ont été récoltées à l'aide d'un DGPS ProMark3 de marque Thales, constitué de deux antennes. Il a été utilisé en mode cinématique. Les erreurs de mesure altimétrique de 0,0128 m et planimétrique de 0,0165 m ont été déterminées grâce à des tests réalisés dans le cadre de cette étude.

Une antenne a été placée sur un point dont la position est connue en x, y et z, basée sur la borne géodésique N°97K0124 du ministère des Ressources naturelles et Faune du Québec (Ressources naturelles et Faune, 2006). L'altitude est donnée en mètres par rapport au zéro marégraphique. L'antenne mobile DGPS est fixée dans un sac à dos disposé sur le dos de l'utilisateur, elle est maintenue au niveau durant toute la période de prise de données (figure 7). La hauteur demeure constante durant toute la durée de la prise de données. Bien que l'antenne ne soit pas directement en contact avec le sol, il est à noter qu'elle a été placée directement vis-à-vis du pied gauche de l'utilisateur qui constitue son prolongement. Lors de l'acquisition, l'opérateur suit les indicateurs décrits dans la section 2.2.1 à une vitesse de 0,5 km h⁻¹ en terrain irrégulier à 1,0 km h⁻¹ en terrain plus régulier pour obtenir une densité suffisante, constante et continue de points pour représenter la morphologie du terrain (Baptista *et al.*, 2008; Baptista *et al.*, 2011).

2.2.5. Calcul des taux d'évolution du trait de côte et du point d'inflexion par photointerprétation

La banque de photographies aériennes recueillie et utilisée dans le cadre de la présente étude comprend un grand éventail d'années entre 1931 et 2007 avec des échelles variant entre le 1 : 10 000 et le 1 : 40 000 (tableau 4).

Tableau 4. Inventaire des photographies aériennes utilisées

Année de survol	Échelle	Type de photo
1931	1 : 15 000	Noir & Blanc
1950	1 : 40 000	Noir & Blanc
1964	1 : 15 840	Noir & Blanc
1978	1 : 10 000	Infrarouge
1981	1 : 15 000	Noir & Blanc
1990	1 : 15 000	Infrarouge
1996	1 : 15 000	Noir & Blanc
2000	1 : 15 000	Infrarouge
2001	1 : 40 000	Orthophoto N & B
2007	1 : 10 000	Google Earth Couleur

Les photographies aériennes ont été numérisées à l'aide d'un scanner EPSON Expression 1640 XL à une résolution de 600 dpi. Cette résolution permet d'obtenir des pixels variant entre 0,7 et 0,9 mètres de côté. Toutes les photographies ont été intégrées et géoréférencées dans le logiciel ArcGIS. Les orthophotographies numériques et géoréférencées datant de 2001 ont servi uniquement de base pour géoréférencer toutes les photographies. Les photographies aériennes du secteur à l'étude ont été géoréférencées et mosaïquées afin d'obtenir des données en continu. Le changement de position du trait de côte permet d'établir des mesures de modification de la géomorphologie de la côte. Un stéréoscope a été utilisé en appliquant une clé de photointerprétation permettant de positionner le trait de côte pour toutes les années de couvertures aériennes utilisées. Cette photointerprétation s'est faite conjointement à l'écran dans le logiciel ArcGIS. L'utilisation de l'outil de zoom permet d'agrandir l'image pour reconnaître plus de détails. Cette opération permet de minimiser l'erreur liée à la largeur du trait de crayon utilisé sur des calques de photointerprétation. Le trait de côte a été tracé directement à l'écran avec un crayon numérique d'une largeur de 0,001 mm.

La position du trait de côte a été mesurée pour les neuf années de couvertures de photographies aériennes. La méthode *Near tool* de l'outil *Proximity* d'ArcGIS 10 a également été utilisée pour l'évolution multidade afin de quantifier les déplacements du trait de côte pour chacune des couvertures aériennes (figure 8). Le mois de mai 2011 constitue la base de référence pour les

calculs d'évolution. Des mesures de superficie et de périmètre ont aussi été prises sur le marais maritime à l'aide de l'outil *XTools Pro*. La procédure de prise de mesure a été automatisée afin de minimiser les erreurs engendrées par l'utilisateur.

Finalement, ces mesures ont été intégrées dans une base de données et des statistiques sur les taux d'évolution ont été calculées. Les statistiques utilisées sont des moyennes pondérées des taux de recul annuels en fonction des segments côtiers. Des graphiques d'évolution côtière ont été créés afin de dégager les tendances pour chacun des segments côtiers. Les mesures de superficie et de périmètre du marais ont été utilisées pour calculer un indice d'évolution des marais. L'indice d'évolution du marais est obtenu en divisant la superficie de celui-ci par son périmètre au carré (Morissette, 2007).

2.3. Suivi des profils de plage

Dans le but de décrire le comportement morphodynamique des plages situées dans les segments de côte homogène, des transects perpendiculaires à la plage ont été réalisés à chaque visite sur le terrain. Cette technique permet aussi de quantifier les budgets et les volumes sédimentaires (Baptista *et al.*, 2008). Il est ainsi possible d'obtenir des profils topographiques géoréférencés de la plage. L'antenne mobile DGPS était cette fois disposée sur une tige métallique opérée directement entre les mains de l'utilisateur en mode « stop-n-go » ou statique (figure 9). En tout, 35 profils ont été suivis lors de chaque campagne d'échantillonnage (tableau 5 et figure 10). À quelques endroits dans un même segment, un profil supplémentaire a été réalisé dans le but de mieux représenter sa variabilité morphologique. Certains profils n'ont pas pu être réalisés durant la campagne d'échantillonnage de mai à cause de la glace qui recouvrait la partie nord de la Pointe à Émile. En décembre, aucun profil n'a été effectué puisque le pied de glace était en place. Des points ont été pris à chaque mètre et à chaque élément de rupture (pente, granulométrie, etc.) sur un transect perpendiculaire au trait de côte préétabli par photointerprétation. Lors de la réalisation des transects, l'information sur le substrat, la végétation ainsi que sur les éléments morphologiques et anthropiques de la plage a été notée.



Figure 9. Montage de l'antenne DGPS en mode stop'n'go. (Joyal, 2011)

Tableau 5. Distribution des profils de plage en fonction des segments côtiers

Segment	Profil(s)	Segment (suite)	Profil(s) (suite)
S01	P01	S16	P16
S02	P02	S17	P17
S03	P03	S19	P19
S04	P04a;P04b	S20	P20
S05	P05a;P05b	S21	P21
S06	P06	S22	P22
S07	P07	S23	P23
S08	P08	S24	P24
S09	P09a;P09b	S25	P25
S10	P10	S26	P26
S11	P11	S27	P27
S12	P12	S28	P28
S13	P13a;P13b;P13c	S29	P29
S14	P14	S30	P30
S15	P15	S31	P31

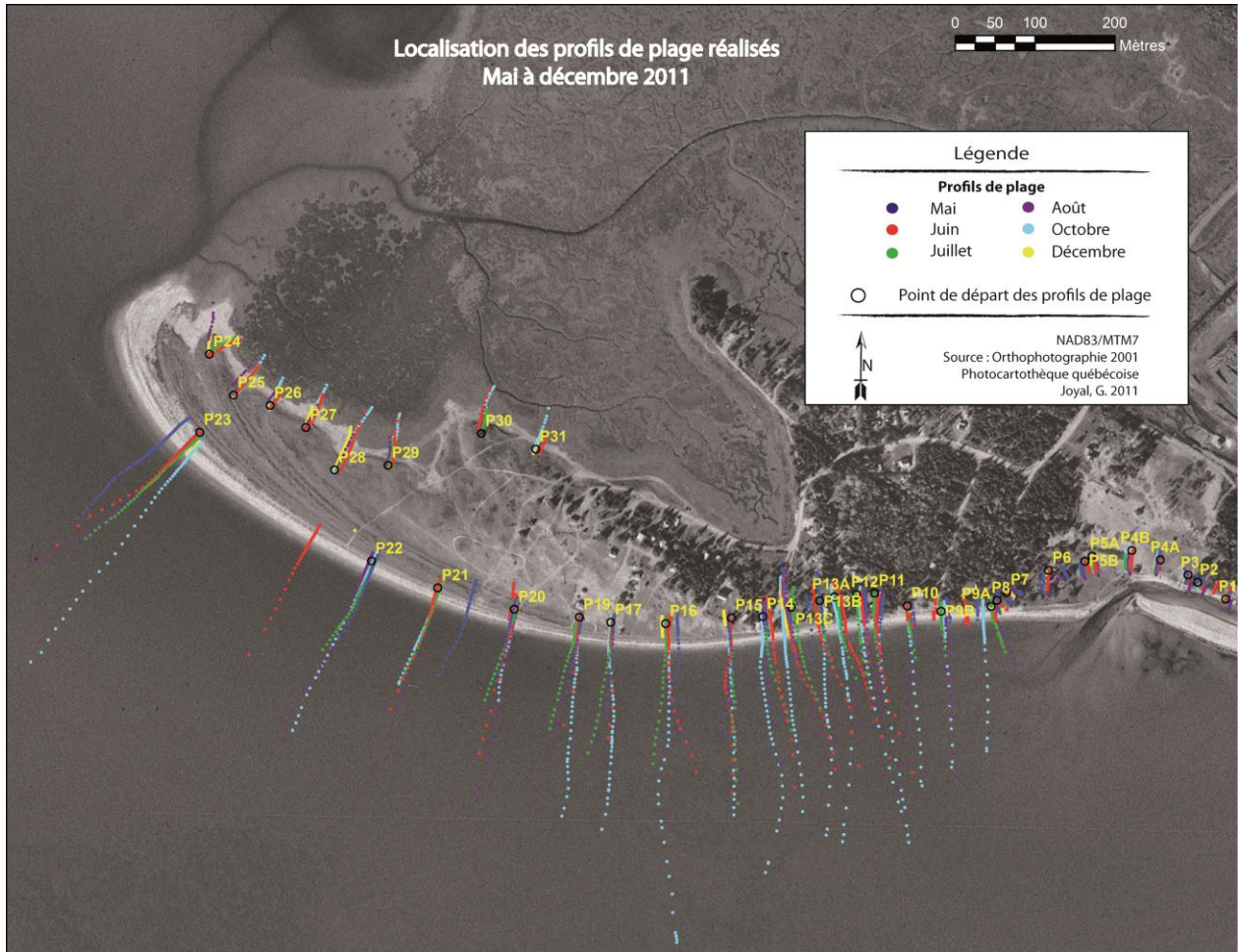


Figure 10. Localisation des profils de plage effectués sur la Pointe à Émile de mai à décembre 2011.

2.3.1. Granulométrie

L'analyse des faciès sédimentaires qui composent la zone côtière permet d'évaluer les sources sédimentaires qui contribuent à alimenter la zone intertidale et d'identifier les sites névralgiques pour l'alimentation en sédiments des écosystèmes intertidaux. La granulométrie est utilisée comme traceur pour évaluer le transit sédimentaire.

Dix-neuf échantillons ont été récoltés en juin 2011 et géoréférencés à l'aide du DGPS sur le profil de plage. La collecte d'échantillon s'est faite de manière aléatoire le long des profils de plage afin de représenter la variabilité du faciès granulométrique. Un second échantillonnage a été réalisé de

manière systématique en octobre, à raison d'un minimum de deux échantillons par segment. Ce deuxième échantillonnage compte 45 échantillons.

Suivant les caractéristiques granulométriques de ces 64 échantillons, il a été possible d'effectuer différentes analyses granulométriques en fonction des classes de taille des sédiments qui les composent. L'échelle granulométrique de Wentworth modifiée (Udden, 1914; Wentworth, 1922) sera utilisée pour la description et l'analyse des tailles granulométriques des échantillons tamisés à sec ou analysés au compteur laser de particules. L'échelle logarithmique du demi-phi ($\frac{1}{2} \Phi$), qui permet de normaliser les distributions de fréquence, est utilisée (Briggs, 1977).

Le traitement des résultats est réalisé grâce au logiciel Gradistat (Blott, 2000). Les médianes, équivalent du D_{50} , seront les statistiques retenues pour la caractérisation granulométrique des échantillons.

2.3.2. Calcul des volumes sédimentaires

Les points DGPS des profils de plage (figure 10) ont été intégrés dans le logiciel Excel pour le traitement. L'altitude de base pour chacun des profils est le zéro marégraphique.

Des volumes sédimentaires par mètres linéaires de segments (m^3/m) des segments côtiers ont été quantifiés à l'aide l'intégrale de la courbe (m^2), calculée avec la méthode des trapèzes, multipliée par 1 mètre/mètre linéaire de côte. Les volumes calculés ne considèrent que la quantité de sédiments de la plage comprise entre le trait de côte et le point d'inflexion (figure 11). Les volumes obtenus sont présentés pour le haut, le bas de la plage et les lobes de transgression, s'il y a lieu.

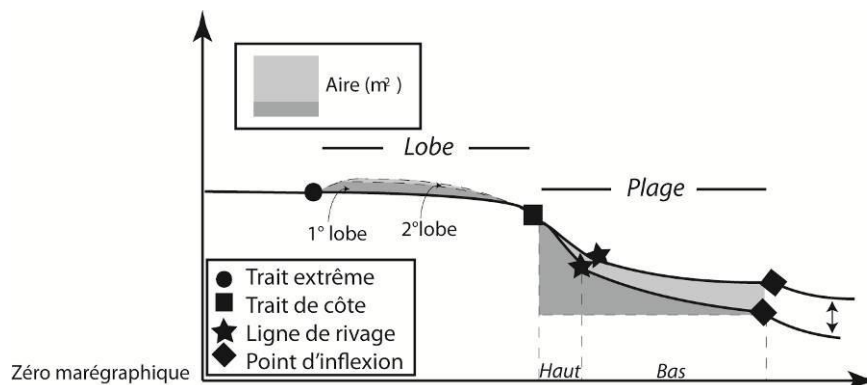


Figure 11. Méthode de calcul des volumes sédimentaires ($m^2 \times m/m = m^3/m$ linéaire de côte). Les calculs ne considèrent que la zone grisée. Lorsque deux lobes de transgression se superposent, les volumes du plus ancien sont soustraits du plus récent.

Les différences entre les volumes sédimentaires de ces limites permettent de représenter graphiquement l'évolution spatiale des sédiments et de quantifier le transit sédimentaire parallèle et perpendiculaire au trait de côte avec un haut niveau de détails.

Finalement, des graphiques d'altitude du trait de côte en fonction de la distance sur la côte ont été réalisés pour évaluer les variations altimétriques de cette limite.

2.4. Vulnérabilité côtière

La synthèse de l'évolution côtière est représentée par des schémas synthèses qui permettent de visualiser les processus et les agents responsables de l'évolution de profils côtiers types. Dans le but d'évaluer la vulnérabilité des segments de la zone côtière à l'étude, les profils côtiers dynamiques ont été associés à chacun des segments qu'ils représentent sur une carte. L'évolution de la vulnérabilité de chacun de ces segments peut être évaluée en fonction du modèle d'évolution de chacun de ces segments côtiers ainsi que de leur réponse aux perturbations ou aux aléas côtiers telles l'érosion et la submersion. Cette carte synthèse constitue la référence pour déterminer la vulnérabilité et l'évolution des segments côtiers et permet de prioriser les actions à entreprendre dans la zone côtière à l'étude.

2.5. Sources d'erreur

2.5.1. Terrain

Les erreurs potentielles sont de deux ordres : inhérentes au système d'acquisition et liées à l'opérateur. Premièrement, la précision de l'appareil DGPS et le bruit engendré par le signal satellite sont deux erreurs qui diminuent la précision des données (Baptista *et al.*, 2011). Ensuite, la capacité de l'opérateur à garder l'antenne fixe et à identifier les indicateurs terrain est la principale source d'erreur de cette méthode (Boak et Turner, 2005). Toutefois, il est à noter que la mobilité de l'antenne apporte une erreur négligeable puisqu'elle a tendance à osciller de manière aléatoire autour du point réel au sol (Baptista *et al.*, 2011). De plus, l'antenne, en mode statique, reste en contact direct avec le sol, ce qui en augmente la précision (Baptista *et al.*, 2008). Finalement, la multitude de critères d'identification des limites parallèles à la côte rend le tracé plus facile à suivre et diminue l'erreur liée au jugement de l'opérateur.

La combinaison d'une très haute résolution spatiale avec la fréquence élevée de relevés de terrain permet d'observer l'évolution mensuelle des segments (Catto, 2006; Esteves *et al.*, 2006). De plus, la méthode croisée (parallèle et perpendiculaire) d'acquisition de données permet une approche intégrée bidimensionnelle. La rapidité d'exécution, la précision et le faible coût d'une telle technique la rendent très bien adaptée à la superficie, à l'irrégularité de la zone côtière et aux objectifs de l'étude (Baptista *et al.*, 2008; Baptista *et al.*, 2011; Esteves *et al.*, 2006). Cette technique présente aussi l'avantage de créer des jeux de données à très haute résolution de différentes époques qui sont directement comparables entre elles, contrairement aux techniques

qui utilisent des lignes de références (baseline) pour calculer l'évolution et qui peuvent être utilisées à d'autres échelles (mètres ou dizaines de mètres).

2.5.2. *Photointerprétation*

Les erreurs liées à la photointerprétation multidate sont dues à la performance des outils utilisés, à l'utilisateur et à la résolution des données de base. Les trois principales opérations pouvant entraîner des erreurs sont le géoréférencement des photographies aériennes, le traçage du trait de côte et les mesures d'évolution côtière. Ces trois sources d'erreurs sont intimement liées à la qualité des photographies aériennes utilisées, à la largeur du trait de crayon et à l'expérience du photointerprète.

Les photographies aériennes provenant de la Photocartothèque québécoise et de la Photothèque nationale de l'air de Ressources naturelles Canada sont de bonne qualité. Elles sont conservées de façon appropriée, ainsi l'erreur engendrée lors de l'utilisation de ces photos n'est liée qu'à la sphéricité de la lentille de l'appareil photographique utilisé (Dubois *et al.*, 2005). Lors du géoréférencement des photographies aériennes, seulement le centre des photographies a été utilisé. L'erreur reliée à la sphéricité de la lentille est ainsi éliminée. L'erreur due à la largeur de trait de crayon est négligeable, puisque la numérisation de tous les traits de côte s'est fait directement à l'écran à l'aide d'un crayon numérique d'une largeur de 0,001 mm. Finalement, les erreurs engendrées par le photointerprète sont négligeables puisque toutes les étapes ont été effectuées par la même personne expérimentée. En se basant sur les différents travaux antérieurs de photointerprétation (Bernatchez, 2003; Briard, 1980; Crowell *et al.*, 1993; Dubois *et al.*, 2005; Grenier, 1993; Grenier et Dubois, 1990; Lessard et Dubois, 1984; Morissette, 2007; Moore, 2000; Savard, 1998) et en comparant la technique utilisée avec les autres techniques, il est raisonnable de penser que l'erreur est négligeable, soit inférieure à 70 centimètres, pour les mesures d'évolution côtière.

3. RÉSULTATS

3.1. Caractérisation et segmentation côtière

3.1.1. *Pointe à Émile*

La segmentation réalisée a permis d'identifier 23 segments (S01 à S23) dans le secteur sud de la Pointe à Émile et huit segments (S24 à S31) dans le secteur nord (figure 12).

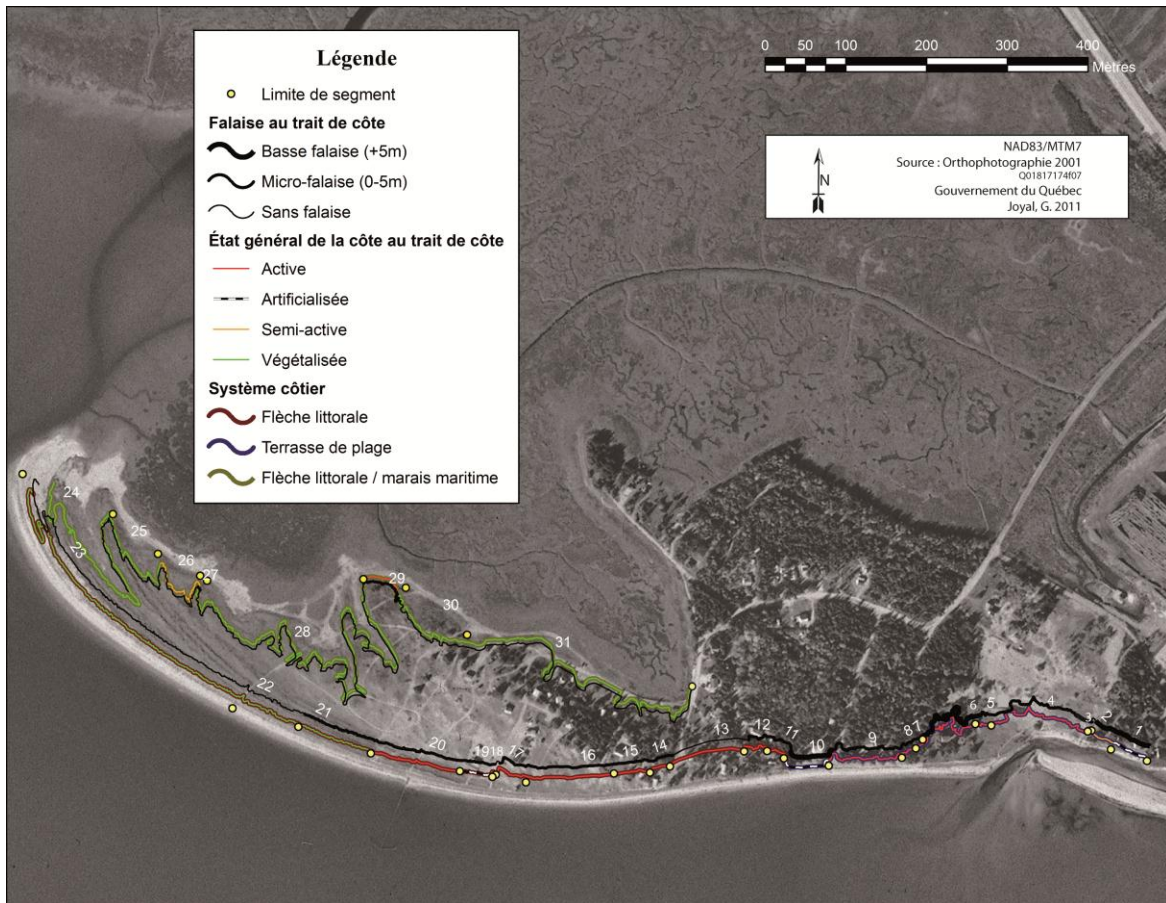


Figure 12. Carte de segmentation côtière de la Pointe à Émile.

Au sud, les segments S01 et S02 sont caractérisés par de basses falaises artificialisées dont les structures de protection, en mauvais état, sont composées de débris végétaux et de béton. De S04 à S07, les segments côtiers présentent des basses falaises sableuses actives et une arrière-plage végétalisée. Le trait de côte de ces segments présente d'importantes variations altitudinales qui ont permis la submersion de l'arrière-plage lors de l'événement du 6 décembre 2010, favorisant la formation de lobes de transgression. De S01 à S08, le bas estran correspond au lit du chenal fluvial. Les segments S08, S09 et S10 sont caractérisés par des structures de protection qui, respectivement, sont situées sur la microfalaise, sur le haut-estran et sur la basse falaise. L'état des structures varie respectivement de désuet à bon. Les segments S11 et S12 possèdent une microfalaise active et aucune haute-plage n'y a été notée. À S13, l'arrière-plage est recouverte d'une importante quantité de sable issue de submersions marines. D'importantes dépressions altimétriques au trait de côte ont été remarquées. Les segments S14 à S18 sont caractérisés par une microfalaise active au trait de côte. Les herbacées, arbustes et arbres présents sur l'arrière-plage contribuent à la formation de débords organiques effondrés qui recouvrent partiellement ou

totallement la microfalaise. Le bas estran de ces segments est colonisé par un herbier de zostères. Le segment S19 est un enrochement composé de blocs dont la taille varie entre 5 et 150 cm disposés aléatoirement sur la partie supérieure du haut estran. L'arrière-plage est composée de remblai. En août, les blocs ont été remplacés par une structure composée de débris végétaux de grande taille. Ensuite, les segments S20 et S21 possèdent une microfalaise active d'une hauteur variant entre 0,5 et 1 m. Les segments S22 à S23 ont des profils d'accumulation où toutes les sections perpendiculaires sont développées. D'est en ouest, la largeur et la diversité végétale de la haute plage ont tendance à augmenter.

Du côté nord de la Pointe à Émile, le segment S24 est composé de crochets actuels de la flèche littorale. On y dénote une importante accumulation de sédiments et de débris végétaux grossiers. Le marais de la Baie de Mille-Vaches fait office de bas-estran. S25 marque la fin des crochets actuels de la flèche littorale. Des lobes d'accumulation causés par les courants de marée montante caractérisent la haute-plage de ce segment. La haute plage tend à disparaître complètement à S26, alors que les autres caractéristiques restent pratiquement identiques. Ensuite, le segment S27 est caractérisé par une microfalaise active d'environ 20-30 cm. Finalement, les segments S28 à S31 sont situés sur d'anciens crochets et ont des profils à pente douce et végétalisés. Seul le segment S29 possède une microfalaise de 75 cm recouverte d'un débord organique. L'arrière-plage de ces segments est composée de végétation typique de la lande maritime.

3.1.2. *Marais maritime de la Baie de Mille-Vaches*

Quatre segments ont été identifiés dans le marais en fonction de l'état au point d'inflexion (figure 13). MM02 et MM04 ont des microfalaises d'érosion active, respectivement de moins de 20 centimètres et de plus de 50 centimètres. La zone couverte par MM04, ne possède pas de schorre inférieur. Les segments MM01 et MM03 sont caractérisés par l'absence de microfalaise et par une transition graduelle de la slikke vers le schorre inférieur.

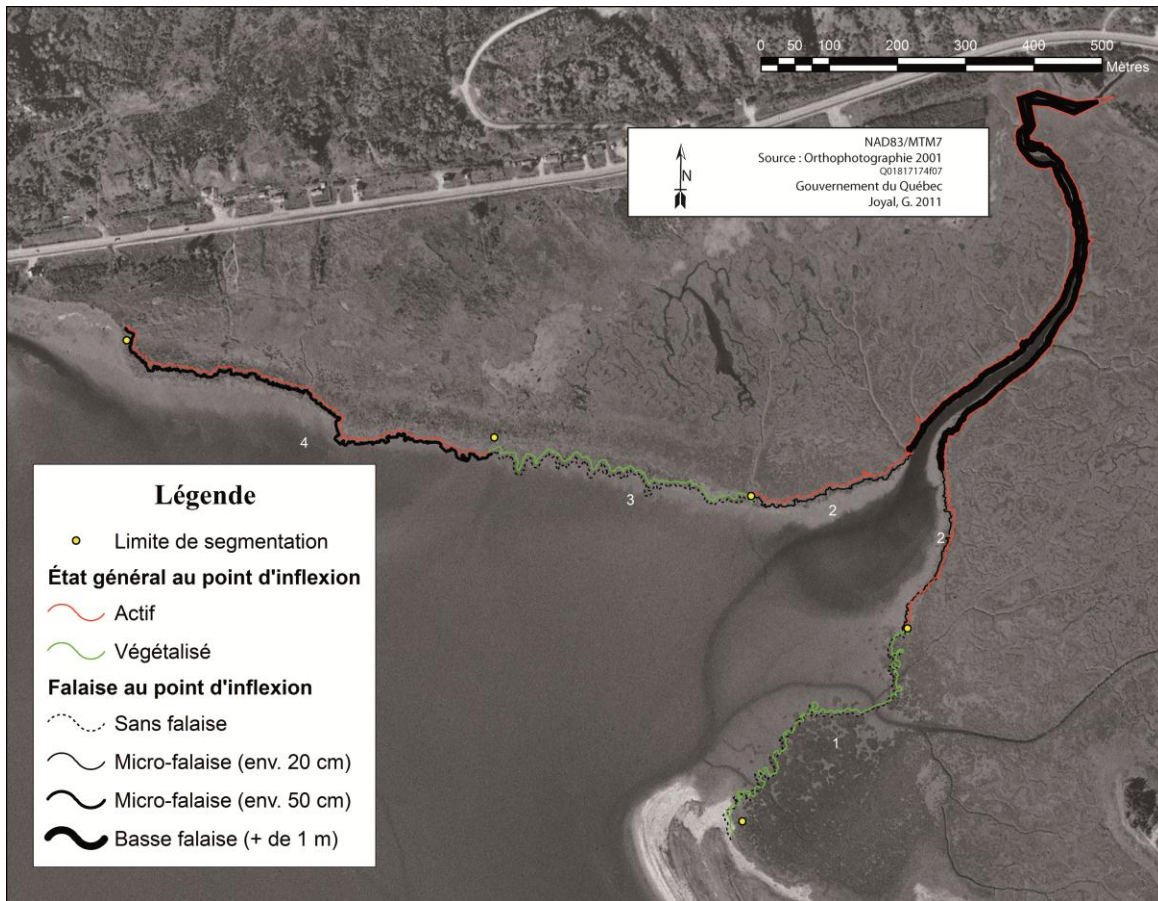


Figure 13. Carte de segmentation du marais maritime de la Baie de Mille-Vaches.

3.1.3. *Évolution de la segmentation*

La validation de la segmentation et de la caractérisation du secteur d'étude en octobre 2011 a permis de vérifier que la segmentation initiale était correcte et que les segments délimités en mai 2011 possédaient les mêmes caractéristiques qu'en octobre 2011. Seul le segment S19 avait été modifié. La structure de pierre est alors remplacée par une structure composée de débris végétaux.

3.1.4. *Dynamique côtière actuelle*

La plage sableuse de la Pointe à Émile prend la forme de cordons littoraux dont la haute plage est caractérisée par un cordon dunaire et colonisée par des végétaux herbacés psammophiles alors que plusieurs plages soulevées se retrouvent sur l'arrière-plage. Cette plage se prolonge vers le chenal laurentien via un vaste estran limono-argileux à pente faible d'environ 1 500 mètres de largeur, offrant la protection nécessaire à l'installation d'herbiers de zostère (Lemieux et Lalumière, 1995; MPO, 2011). La batture est recouverte par endroits de sédiments sableux dont l'épaisseur (5

à 40 cm) et l'étendue spatiale varient en fonction des saisons (Dionne *et al.*, 2004). Ces sédiments possèdent des caractéristiques granulométriques similaires à ceux de la péninsule de Portneuf, d'où ils proviendraient (Lamontagne, 1996; Morissette, 2007). Les blocs glaciels sont peu présents sur le bas estran, comparativement aux secteurs adjacents de Baie-des-Bacons aux Escoumins (Dionne et Bernatchez, 2000). Du côté nord, le site d'étude est limité par la falaise morte délimitant la terrasse Mitis (Dionne *et al.*, 2004) qui, elle-même, établit la limite terrestre de la zone côtière. L'orientation générale du site est de 180°. Un ruisseau entaille la flèche littorale de la Pointe à Boisvert et contribue en partie à l'alimentation sédimentaire de la flèche littorale de la Pointe à Émile. Cette embouchure présente toutes les caractéristiques d'un petit estuaire entre autre au niveau de l'hydrodynamisme puisque que les courants s'inversent selon la marée. De plus, cette dynamique estuarienne contribue à limiter la progression de la flèche littorale de la Pointe à Boisvert vers l'ouest. La dérive littorale principale est orientée de l'aval vers l'amont de l'estuaire, soit du NE vers le SO (Morissette, 2007) (figure 14). Une dérive littorale secondaire s'exprime en sens inverse au pédoncule de la flèche littorale de la Pointe à Émile et contribue au transit sédimentaire vers la Pointe à Boisvert. Les marées sont mixtes, semi-diurnes et d'inégales amplitudes. Les courants de marées sont très importants dans le secteur d'étude, particulièrement à l'embouchure du ruisseau entre les deux flèches littorales. Des vitesses de courant de flot supérieures à 1 m/s ont été observées lors des marées montantes durant les périodes d'échantillonnage. De plus, le courant de flot qui pénètre dans le marais de la Baie de Mille-Vaches contribue à édifier des lobes de marées pointant vers l'est.

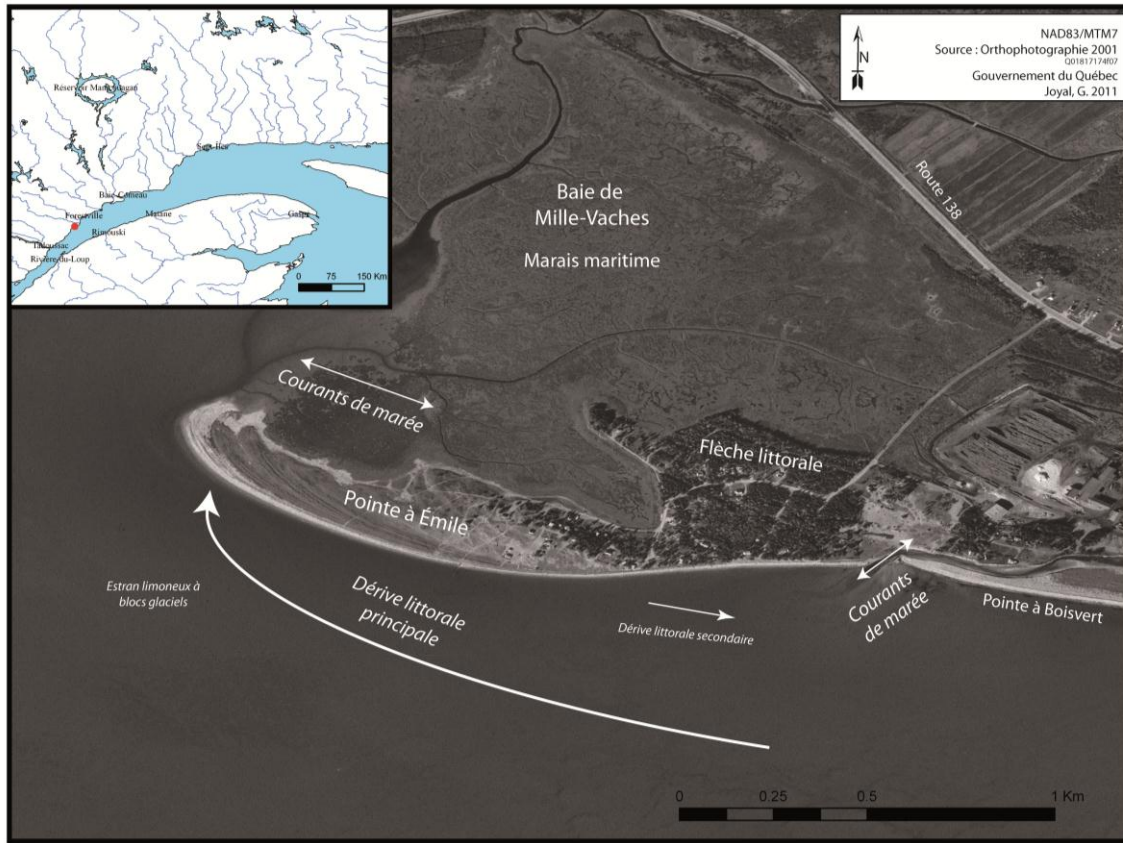


Figure 14. Carte de la dynamique côtière du secteur d'étude.

3.2. Évolution côtière mensuelle

3.2.1. Trait de côte de la flèche littorale

Les figures 15 et 16 présentent les résultats d'évolution du trait de côte de la Pointe à Émile pour le secteur sud et nord. Les annexes 1 et 2 montrent l'ensemble de ces résultats sous forme de tableaux.

3.2.1.1. Secteur Sud

De manière annuelle, les segments S04 à S06, S13 et S21 à S23 montrent respectivement une avancée moyenne de $5,04 \pm 3,98$ m/an, $31,41 \pm 16,44$ m/an et $5,70 \pm 2,18$ m/an. Les segments S07 à S08 et S10 montrent des tendances moyennes négatives : $-2,84 \pm 1,05$ m/an et $-0,32 \pm 1,32$ m/an.

L'intervalle mai-juin montre une avancée du trait de côte. Les segments S04 et S06 ont avancé de $4,15 \pm 5,56$ m/mois et de $10,53 \pm 6,60$ m/mois, alors qu'en moyenne, S22 et S23 ont progressé de

6,23 ± 2,09 m/mois. La progradation la plus importante est notée dans le segment S13, où l'avancée du trait de côte est de 32,29 ± 15,66 m/mois. L'avancée maximale y est de 63,41 m.

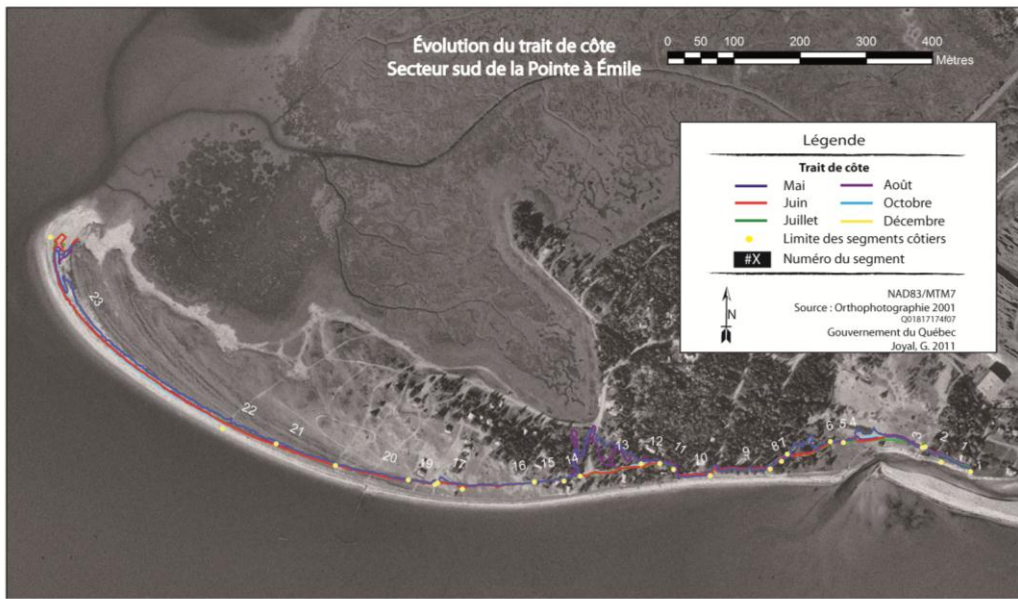
Seuls les segments S01 à S03 et S07 à S10 ont des moyennes situées autour de 0 m/mois. Les segments S10 et S19 évoluent de -1,47 ± 1,54 m/mois et de 0,81 ± 0,26 m/mois.

Les données de l'intervalle suivant mettent en évidence que les moyennes d'évolution ne sont pas significativement différentes de zéro. Les moyennes sont positives pour les segments S04 à S14 et négatives de S01 à S03 et de S15 à S23. Le trait de côte du segment S04 évolue de 2,18 ± 1,98 m/mois. Le trait de côte évolue de 0,94 ± 0,47 m/mois à S10 et de -1,01 ± 0,16 m/mois à S19.

Entre juillet et août, une tendance négative est enregistrée. Les segments S01 à S08 évoluent en moyenne de -1,95 ± 0,66 m/mois, alors que les segments S14 à S18, d'environ -0,40 ± 0,50 m/mois. Les segments S04 et S13 ont les moyennes de recul les plus élevées, -4,16 ± 2,03 m/mois et -30,70 ± 15,14 m/mois. Le taux de recul record est atteint à S13 avec -64,20 m. S10 et S19 ont connu un recul de -2,06 ± 0,47 m/mois et de -0,47 ± 0,16 m/mois. Le minimum est atteint à S10 avec un recul de -3,28 m.

D'août à octobre, le trait de côte est stable. Les segments S08 et S14 à S16 montrent des moyennes négatives, de -0,25 ± 0,28 m/mois. S13 montre une avancée de l'ordre de 15,10 ± 7,79 m/mois. Le segment qui montre la seconde plus grande avancée est S10 avec 0,95 ± 0,44 m/mois.

En décembre, la moyenne générale n'est pas différente de zéro. Des moyennes positives sont notées à S07, S10, S18, S19, S22 et S23 avec respectivement 0,61 ± 0,41 m/mois, 0,28 ± 0,43 m/mois, 0,89 ± 1,19 m/mois, 0,78 ± 0,54 m/mois, 0,80 ± 0,55 m/mois et 0,98 ± 2,89 m/mois. La moyenne négative la plus importante est enregistrée à S13 avec -0,62 ± 0,69 m/mois, où le minimum est de -2,02 m.



Statistiques de l'évolution du trait de côte

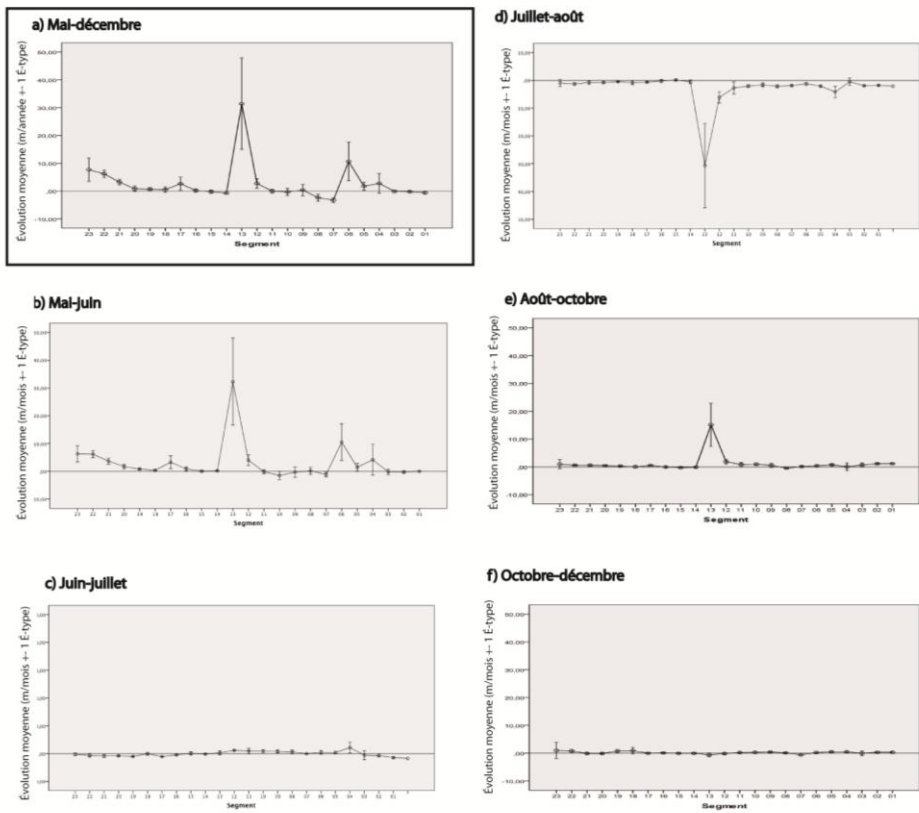


Figure 15. Évolution du trait de côte de la Pointe à Émile, secteur sud entre mai et décembre 2011.

3.2.1.2. Secteur Nord

Annuellement, tous les segments semblent montrer une moyenne positive, à l'exception de S29 où la moyenne est de $-0,93 \pm 1,02$ m/an. Le segment S24 possède une moyenne de 23,36 m/an avec un important écart-type de $\pm 18,92$. Les segments S25 et S26 ont des moyennes semblables de près de $17,56 \pm 7,61$ m/an.

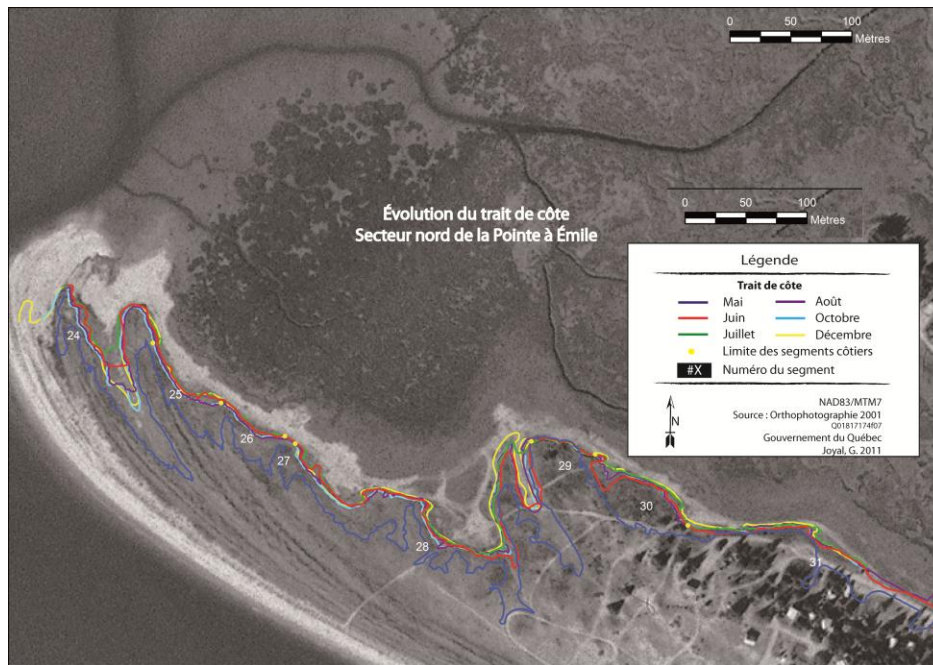
Durant l'intervalle de mai à juin, le trait de côte évolue de manière positive. Les segments S24 à S26 sont ceux qui progressent le plus, respectivement de $31,13 \pm 19,26$ m/mois, $18,58 \pm 8,38$ m/mois et $19,75 \pm 6,62$ m/mois. Ainsi, deux tendances se dessinent dans le graphique : 1) évolution positive marquée dans les S24 à S26 et 2) une évolution positive moyenne de S28 à S31, où S29 est celui qui connaît la plus faible évolution avec $0,94 \pm 0,75$ m/mois.

Ensuite, l'intervalle de juin à juillet est marqué par une progression du trait de côte de $2,53 \pm 2,99$ m/mois. Les segments S28 et S30 ont connu de forts taux d'avancée, $6,71 \pm 7,62$ m/mois et $6,70 \pm 6,50$ m/mois respectivement. De S25 à S27, les taux d'évolution sont presque nuls.

La tendance d'évolution du trait de côte s'inverse entre juillet et août. Les taux de reculs les plus importants sont situés à S24, S28 et S30, avec respectivement $-8,94 \pm 8,61$ m/mois, $-4,63 \pm 7,18$ m/mois et $-4,04 \pm 2,85$ m/mois. Toutefois, dans les deux premiers cas, les écarts-types sont élevés.

Entre août et octobre, les moyennes d'évolution sont toutes situées près de 0 m/mois. Le segment S24 montre une moyenne négative marquée de $-4,01 \pm 5,12$ m/mois.

Finalement, le dernier intervalle montre une moyenne d'avancée pour tous les segments de $2,32 \pm 3,32$ m/mois, où S29 est significativement différent avec $-2,36 \pm 0,78$ m/mois.



Statistiques de l'évolution du trait de côte

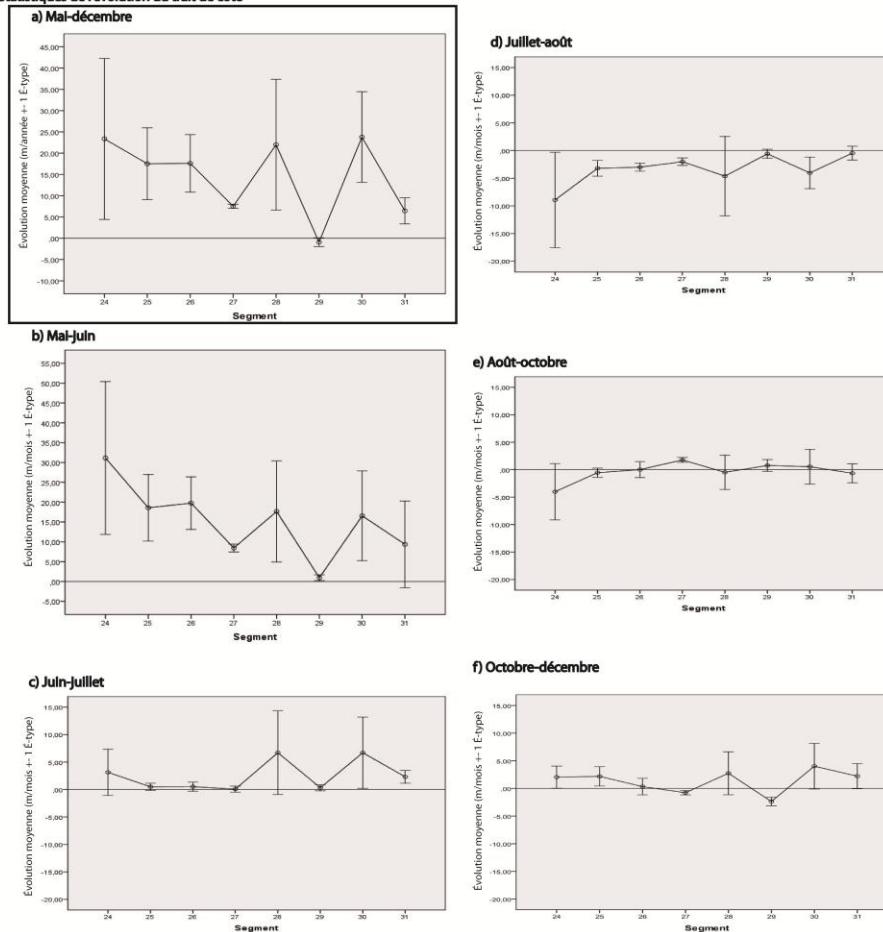


Figure 16. Évolution du trait de côte de la Pointe à Émille, secteur nord entre mai et décembre 2011.

3.2.2. Ligne de rivage de la flèche littorale

Les figures 17 et 18 présentent la cartographie de l'évolution de la ligne de rivage du secteur sud et nord de la Pointe à Émile, alors que les annexes 3 et 4 présentent les statistiques complètes.

3.2.2.1. Secteur Sud

Les moyennes annuelles d'évolution dans le secteur sont généralement positives, sauf à S10 où elle est de $-1,34 \pm 0,70$ m/an. S01 à S09 montrent des données positives de $1,03 \pm 0,96$ m/an, alors que S03 et S07 présentent des moyennes respectives de $3,25 \pm 0,04$ m/an et $-1,14 \pm 0,48$ m/an. Les segments S11 à S18 ont une moyenne positive de $6,30 \pm 1,40$ m/an, alors que S20 à S23 ont une moyenne de $5,83 \pm 1,32$ m/an, où S23 est plus élevé avec $9,68 \pm 3,3$ m/an. S19 présente un taux d'évolution annuel de $1,69 \pm 1,28$ m/an.

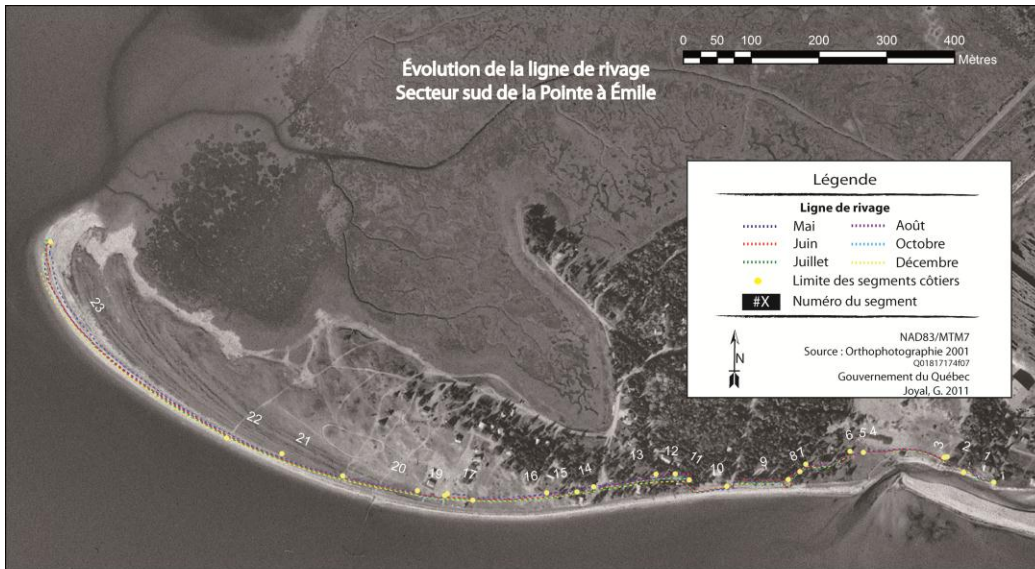
De mai à juin, l'évolution de la ligne de rivage présente deux tendances: 1) recul dans les segments S01 à S10 et 2) avancée dans les segments S11 à S23. Le minimum atteint est de $-2,26 \pm 0,61$ m/mois à S07, alors que le maximum est obtenu à S23 avec $5,41 \pm 1,90$ m/mois.

L'intervalle suivant, de juin à juillet, montre une tendance positive généralisée. L'avancée maximale est notée à S08 avec $2,65 \pm 0,88$ m/mois. À S10 et S19, la ligne de rivage avance en moyenne de $0,70 \pm 0,54$ m/mois.

Cette tendance s'inverse entre juillet et août. Toutes les moyennes deviennent négatives. Les plus importants reculs se situent entre les segments S12 et S18. Le minimum, qui est de $-6,60 \pm 1,12$ m/mois, est localisé à S14. La ligne de rivage des segments S10 et S19 évolue de $-0,64 \pm 0,88$ m/mois.

Entre août et octobre, toutes les moyennes sont positives. Les plus forts taux sont enregistrés aux segments S12 à S19 avec une moyenne de $4,63 \pm 1,23$ m/mois. La ligne de rivage avance de $3,71 \pm 1,03$ m/mois au segment S19, mais reste relativement stable à S10 avec $0,59 \pm 0,58$ m/mois.

L'intervalle d'octobre à décembre est marqué par des moyennes généralement positives, sauf dans les segments S09, S10 et S19 avec des valeurs de $-0,02 \pm 2,18$ m/mois, $-1,50 \pm 0,59$ m/mois et $-1,73 \pm 0,59$ m/mois respectivement. Les moyennes sont croissantes de S06 à S08 et décroissantes de S11 à S15. La plus grande avancée est enregistrée à S23 avec $3,33 \pm 1,36$ m/mois.



Statistiques de l'évolution de la ligne de rivage

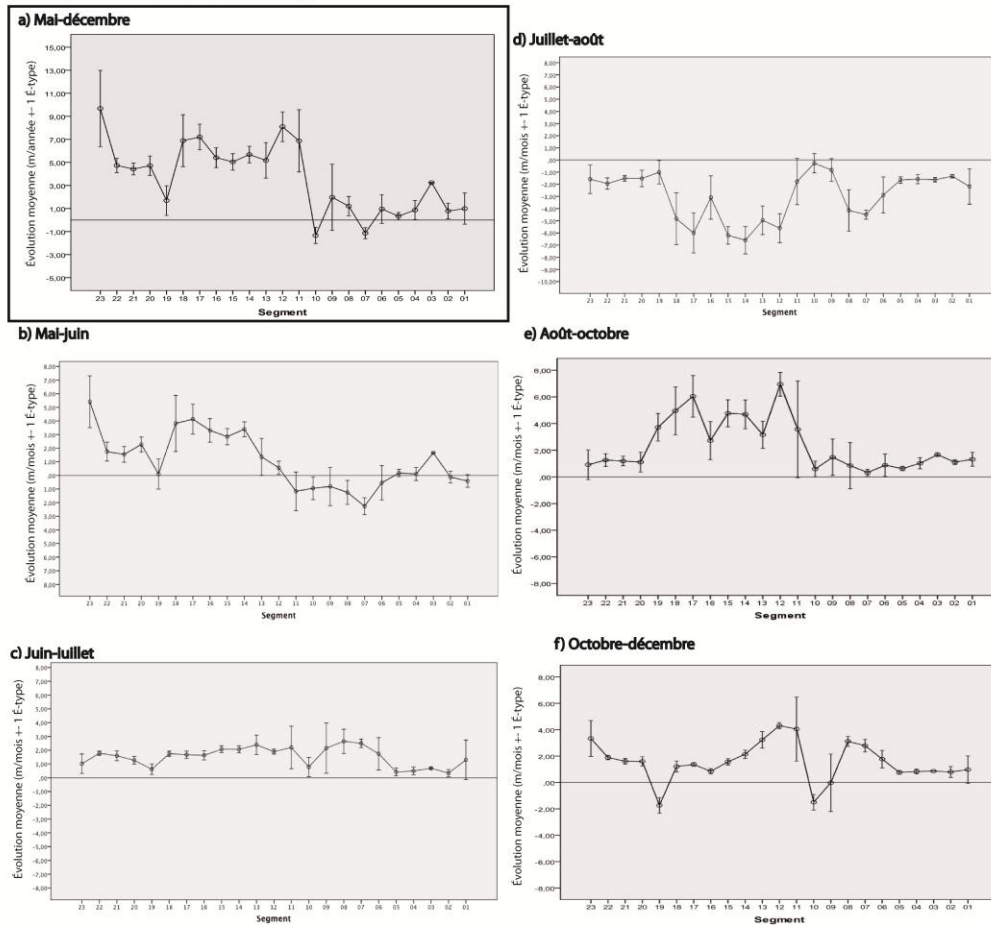


Figure 17. Évolution de la ligne de rivage de la Pointe à Émile, secteur sud entre mai et décembre 2011.

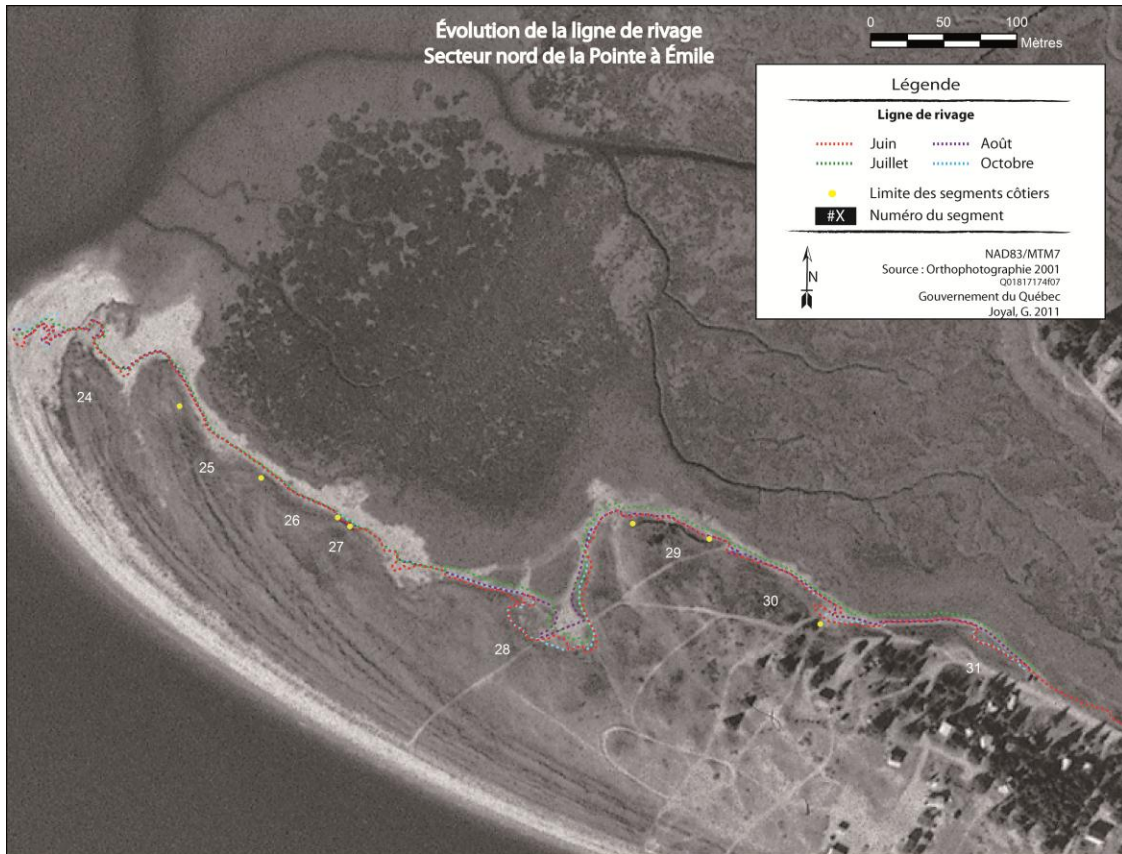
3.2.2.2. Secteur Nord

Selon les valeurs annuelles mesurées, les segments au nord de la Pointe à Émile ont connu une avancée moyenne de $0,74 \pm 1,29$ m/mois. Le minimum est atteint à S25 avec $-2,31 \pm 0,83$ m/mois et le maximum à S27 avec $2,34 \pm 0,32$ m/mois.

De juin à juillet, l'évolution de la ligne de rivage est positive pour tous les segments avec une moyenne de $4,20 \pm 4,10$ m/mois. Les moyennes sont trois fois plus élevées toutefois de S28 à S31 que de S24 à S27 avec $5,16 \pm 3,01$ m/mois contre $1,69 \pm 1,16$ m/mois.

L'ensemble des moyennes d'évolution devient négatif entre juillet et août. Elles sont similaires de S24 à S28, mais plus importantes de S29 à S31. En effet, la moyenne des premiers segments est de $-1,02 \pm 2,06$ m/mois, alors qu'elle est de $-3,45 \pm 1,43$ m/mois pour les suivants.

D'août à octobre, le segment S28 est celui qui a connu le plus fort taux de recul avec $-4,05 \pm 5,91$ m/mois. Les autres segments ont connu de plus faibles taux de recul, comme le montre la moyenne totale pour cet intervalle de $-1,89 \pm 4,22$ m/mois.



Statistiques de l'évolution de la ligne de rivage

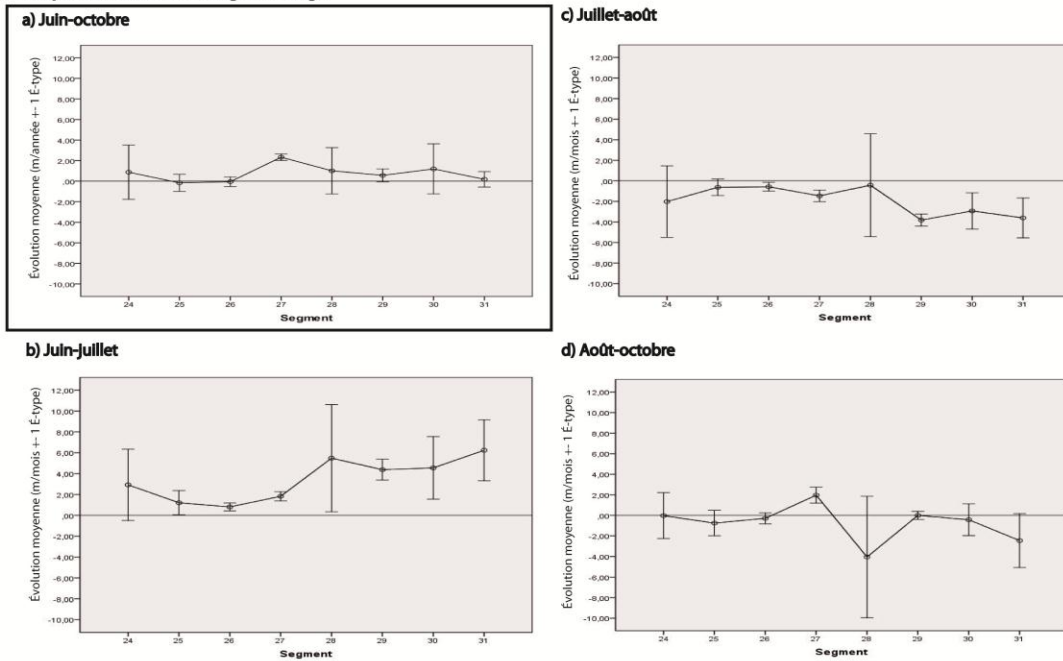


Figure 18. Évolution de la ligne de rivage de la Pointe à Émile, secteur nord entre juin et octobre 2011.

3.2.3. Point d'inflexion du marais maritime

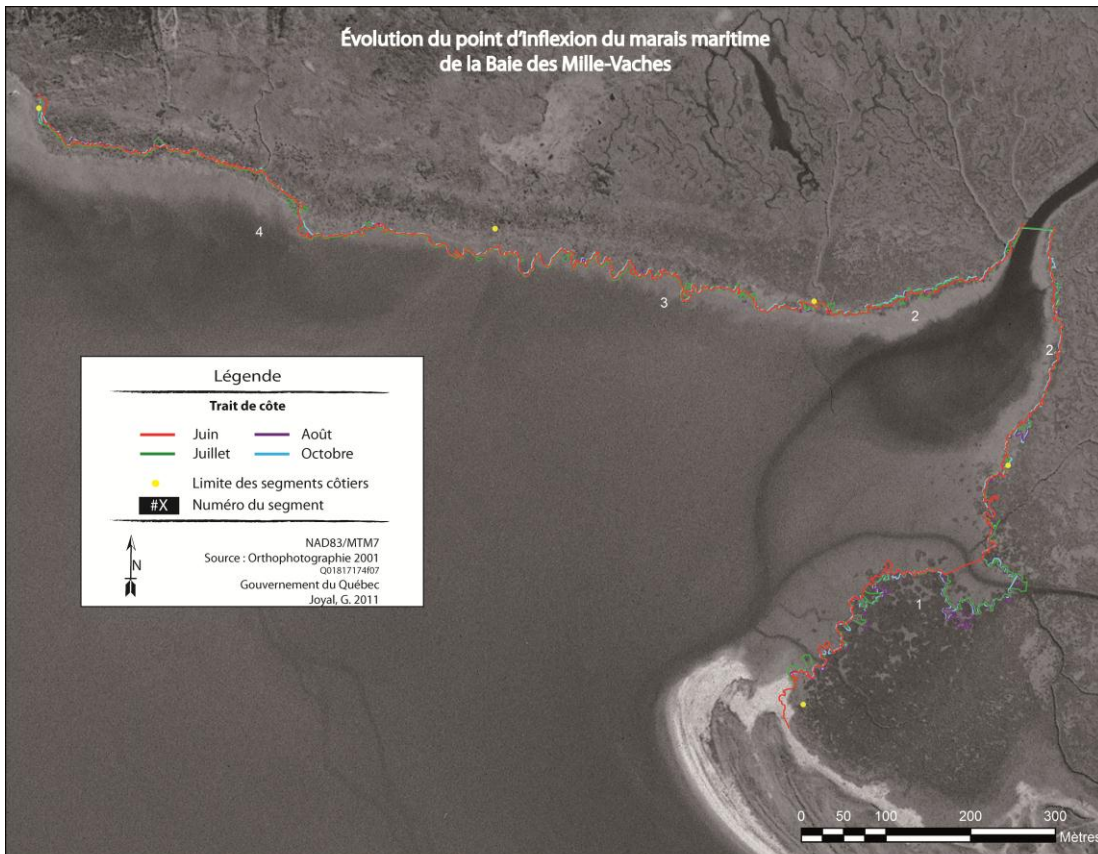
La figure 19 montre la cartographie de l'évolution du point d'inflexion du marais de la Baie des Mille-Vaches entre juin et décembre 2011 et l'annexe 5 présente les statistiques d'évolution.

L'évolution annuelle de la position du point d'inflexion du marais de la Baie de Mille-Vaches est en moyenne de $-0,66 \pm 3,10$ m/an. Le recul maximal de $-0,97 \pm 2,13$ m/an est noté à MM02, alors que le recul minimal de $-0,39 \pm 1,96$ m/an est à MM04.

Entre juin et juillet, le point d'inflexion ne fluctue que très peu pour tous les segments. Toutefois, les segments MM01 et MM02 présentent des moyennes négatives, alors que les deux autres sont positives. Ainsi, la moyenne générale de cet intervalle est de $0,01 \pm 2,59$ m/mois. Le recul maximal est à MM01 avec $-23,23$ m/mois. C'est également dans ce segment où qu'il y a la plus grande avancée du point d'inflexion avec $14,31$ m/mois.

De juillet à août, les moyennes sont toutes situées dans la portion négative du graphique. Le minimum est atteint à MM01 avec $-1,19 \pm 2,54$ m/mois. Les segments du marais évoluent donc d'environ $-0,61 \pm 1,58$ m/mois entre juillet et août. MM01 contient la valeur d'érosion la plus élevée avec $-14,59$ m/mois, alors que MM04, présente le plus fort taux d'accumulation avec $11,33$ m/mois.

Ensuite, l'intervalle d'août à octobre montre une tendance négative, sauf à MM01, où la moyenne est de $0,61 \pm 2,55$ m/mois. Le taux de recul le plus important est noté à MM04 avec $-10,26$ m/mois. Une importante avancée de $15,24$ m/mois est notée à MM01.



Statistiques de l'évolution du point d'inflexion

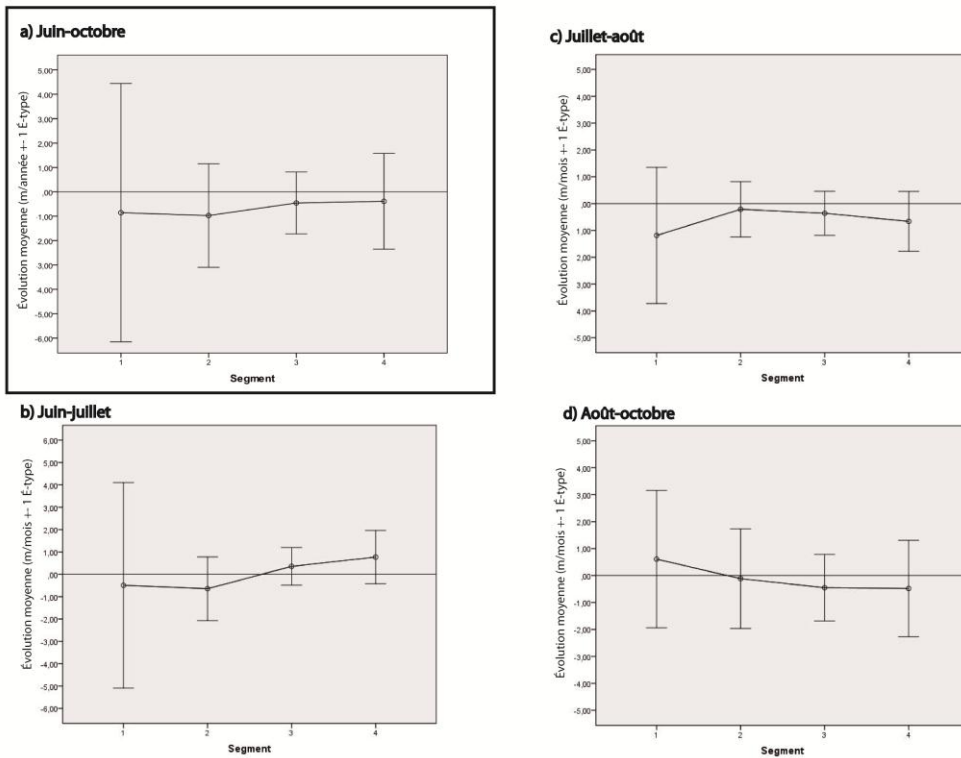


Figure 19. Évolution du point d'inflexion du marais maritime de la Baie de Mille-Vaches entre juin et octobre 2011.

3.3. Évolution côtière annuelle par photointerprétation

3.3.1. Trait de côte de la flèche littorale

La figure 20 présente l'évolution du trait de côte pour les neuf intervalles de photographies aériennes utilisées et la synthèse de l'évolution côtière pour les quatre-vingt années de mesure. Ce qui correspond à l'ensemble de la période couverte par les photographies aériennes combinée aux relevés de terrain soit de 1931 à 2011. Les statistiques complètes d'évolution côtière sont présentées à l'annexe 6.

Pour la période de 1931 à 2011, l'évolution annuelle de tous les segments présentent des valeurs négatives à l'exception des segments S20 à S23. Les taux d'érosion de S01 à S15 sont supérieurs à -0,50 m/an avec des valeurs maximales supérieures à -1,00 m/an atteintes entre S04 et S06 ainsi qu'aux segments S12 et S13. Le segment S13 présente la moyenne d'évolution la plus faible avec $-1,28 \pm 0,19$ m/an et le segment S23, la moyenne la plus élevée avec $0,80 \pm 0,21$ m/an. Durant cette période, la flèche littorale de la Pointe-à-Boisvert s'est allongée de plus de 250,00 mètres.

L'intervalle de 1931 à 1950 présente de faibles valeurs d'évolution avec des moyennes oscillant autour de 0 m/an pour l'ensemble des segments côtiers. La valeur moyenne d'évolution la plus élevée est à S23 avec $1,01 \pm 0,29$ m/an et la plus faible se trouve à S09 avec $-0,41 \pm 0,12$ m/an. Durant cette période, deux changements de taux d'évolution positif vers des taux négatifs s'opèrent entre les segments S04 et S05 et entre les segments S12 et S13. Pendant ce temps, la pointe de la flèche littorale avance d'un peu plus de 60,00 mètres.

Entre les années 1950 et 1964, tous les segments, hormis les segments S21 à S23, présentent des valeurs négatives avec des moyennes variant entre $-1,96 \pm 0,07$ m/an et $-0,31 \pm 0,10$ m/an. Les segments S21 à S23 présentent de faibles valeurs positives avec respectivement $0,05 \pm 0,18$ m/an, $0,30 \pm 0,04$ m/an et $0,30 \pm 0,06$ m/an. Un recul de l'extrémité de la flèche littorale de près de 10,00 mètres est enregistré durant cet intervalle.

De 1964 à 1978, l'évolution de la flèche littorale se divise en deux parties : 1) Les segments S01 à S14 présentent des valeurs négatives avec des moyennes variant de $-1,33 \pm 0,01$ m/an à $-0,38 \pm 0,18$ m/an et 2) les segments S15 à S23 montrent des valeurs près de 0 m/an, sauf pour les segments S22 et S23 où les valeurs sont respectivement de $0,66 \pm 0,27$ m/an et de $2,70 \pm 1,17$ m/an. La flèche littorale avance de plus de 135,00 mètres pour ces 14 années de mesure.

Pour l'intervalle suivant, de 1978 à 1982, les segments S01 à S05, S14 et S17 à S23 montrent des valeurs d'évolution positive de $0,85 \pm 0,24$ m/an en moyenne, alors que les segments S07 à S12 présentent une moyenne d'évolution de $-2,84 \pm 0,59$ m/an. Une tendance négative est notée pour les segments S06, S13, S15 et S16. L'extrémité de la flèche littorale avance d'un peu plus de 40,00 mètres durant cette période.

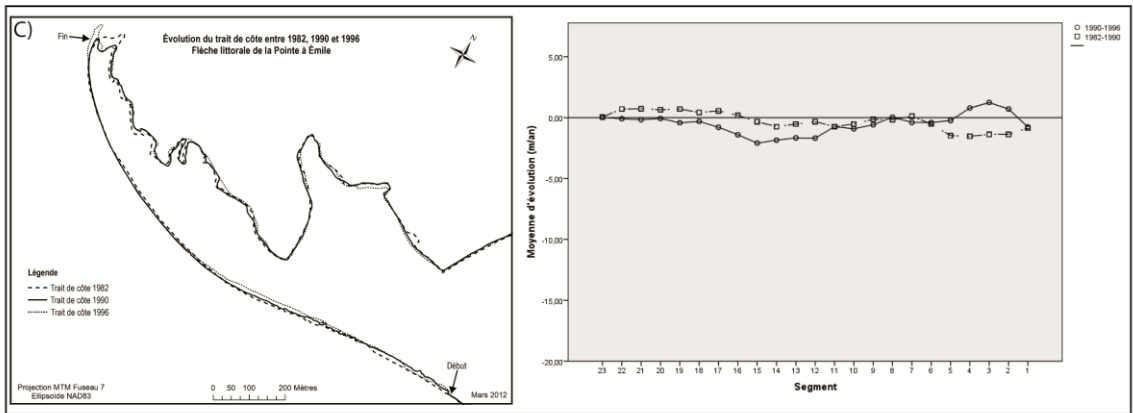
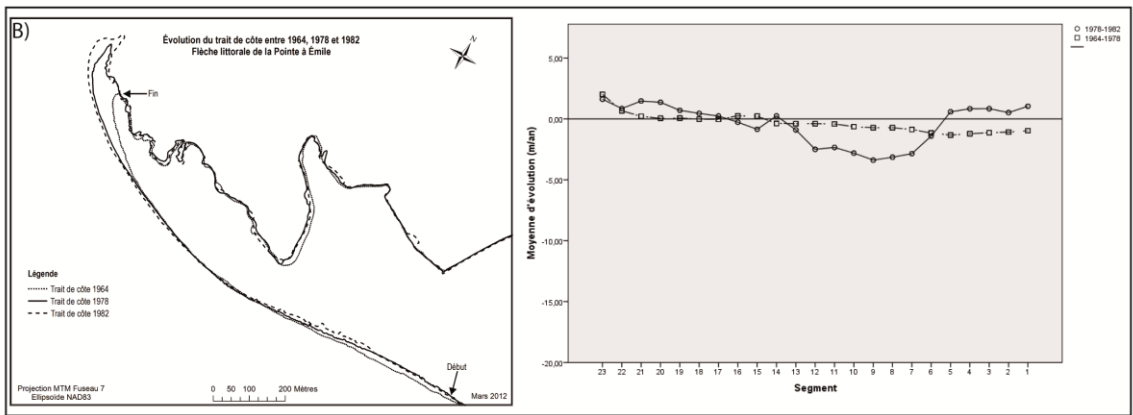
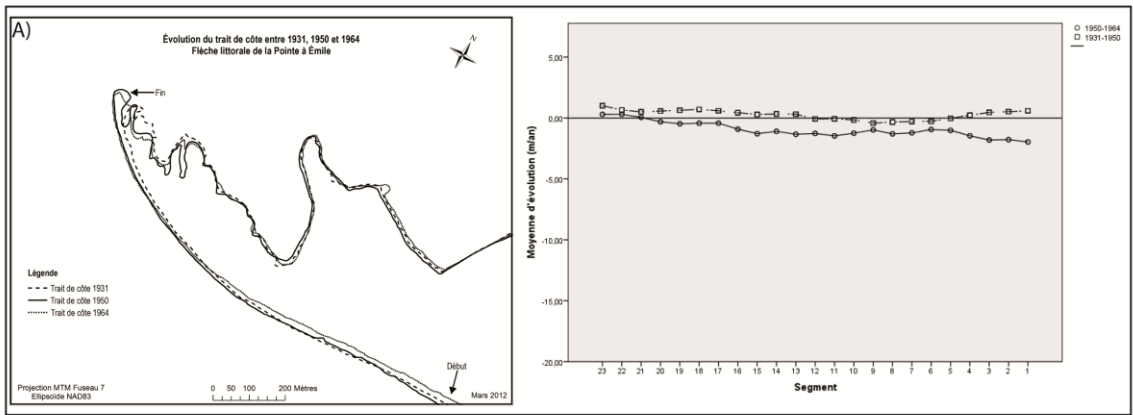
Durant les 8 années de mesure couvrant la période 1982 à 1990, les segments S01 à S15 en excluant S07 montrent une tendance d'évolution négative avec des valeurs moyennes de $-0,76 \pm 0,21$ m/an. Le segment S07 présente une valeur moyenne d'évolution positive de $0,12 \pm 0,04$ m/an. Les segments S16 à S22 présentent quant à eux de faibles valeurs positives variant entre $0,18 \pm 0,29$ m/an et $0,72 \pm 0,04$ m/an et la moyenne de S23 est de $-0,07 \pm 0,21$ m/an. La pointe de la flèche littorale recule de près de 40,00 mètres durant ce même intervalle.

L'intervalle de 1990 à 1996 est marqué par une tendance négative. Les seuls segments présentant des valeurs d'évolution positive sont les segments S02 à S04, S08 et S23 avec des valeurs moyennes de $0,61 \pm 0,41$ m/an alors que tous les autres segments présentent des valeurs négatives moyennes de $-0,81 \pm 0,15$ m/an. Les segments S12 à S16 ont les valeurs d'évolution les plus faibles, celles-ci varient entre $-2,10 \pm 0,09$ m/an et $-1,41 \pm 0,19$ m/an. La flèche littorale s'allonge de 40,00 mètres entre 1990 et 1996.

Entre 1996 et 2000, les segments S01 à S04 montrent une forte tendance négative avec des valeurs variant de $-6,37 \pm 0,29$ m/an à $-1,39 \pm 1,22$ m/an avec une valeur minimale mesurée au segment S03. Cette même tendance est observée, mais de façon moins marquée pour les segments S06 à S19 avec des valeurs moyennes de $-1,33 \pm 0,19$ m/an. Les segments S05 et S20 à S23 présentent des taux d'évolution positif moyens de $1,24 \pm 0,36$ m/an. Durant cette période, l'extrémité de la flèche littorale recule de 25,00 mètres.

L'intervalle suivant, entre 2000 et 2007, est caractérisé par de nombreuses fluctuations des moyennes d'évolution. Les segments S01 et S02, S08 à S10 et S22 et S23 présentent de faibles taux d'évolution positifs allant de $0,17 \pm 0,25$ m/an à $1,40 \pm 1,03$ m/an, alors que les autres segments présentent des valeurs moyennes négatives avec un minimum atteint au segment S05 avec $-5,10 \pm 0,12$ m/an. La pointe de la flèche littorale progresse d'un peu plus de 5,00 mètres durant cet intervalle.

Finalement, le dernier intervalle de 2007 à 2011 montre une forte tendance au recul du trait de côte avec des valeurs négatives moyennes de $-3,45 \pm 0,68$ m/an pour l'ensemble des segments mesurés. Les valeurs moyennes minimales sont enregistrés aux segments S06 à S08 avec respectivement $-5,28 \pm 2,32$ m/an, $-5,22 \pm 0,17$ m/an et $-4,99 \pm 0,50$ m/an et aux segments S12 où la valeur moyenne est de $-5,37 \pm 0,61$ m/an et S13 avec un fort taux de recul de $-12,11 \pm 3,91$ m/an. En contrepartie, la valeur la plus élevée est enregistrée au segment S10 avec $-0,95 \pm 0,64$ m/an. De plus, durant cet intervalle, la pointe de la flèche littorale recule de 5,00 mètres.



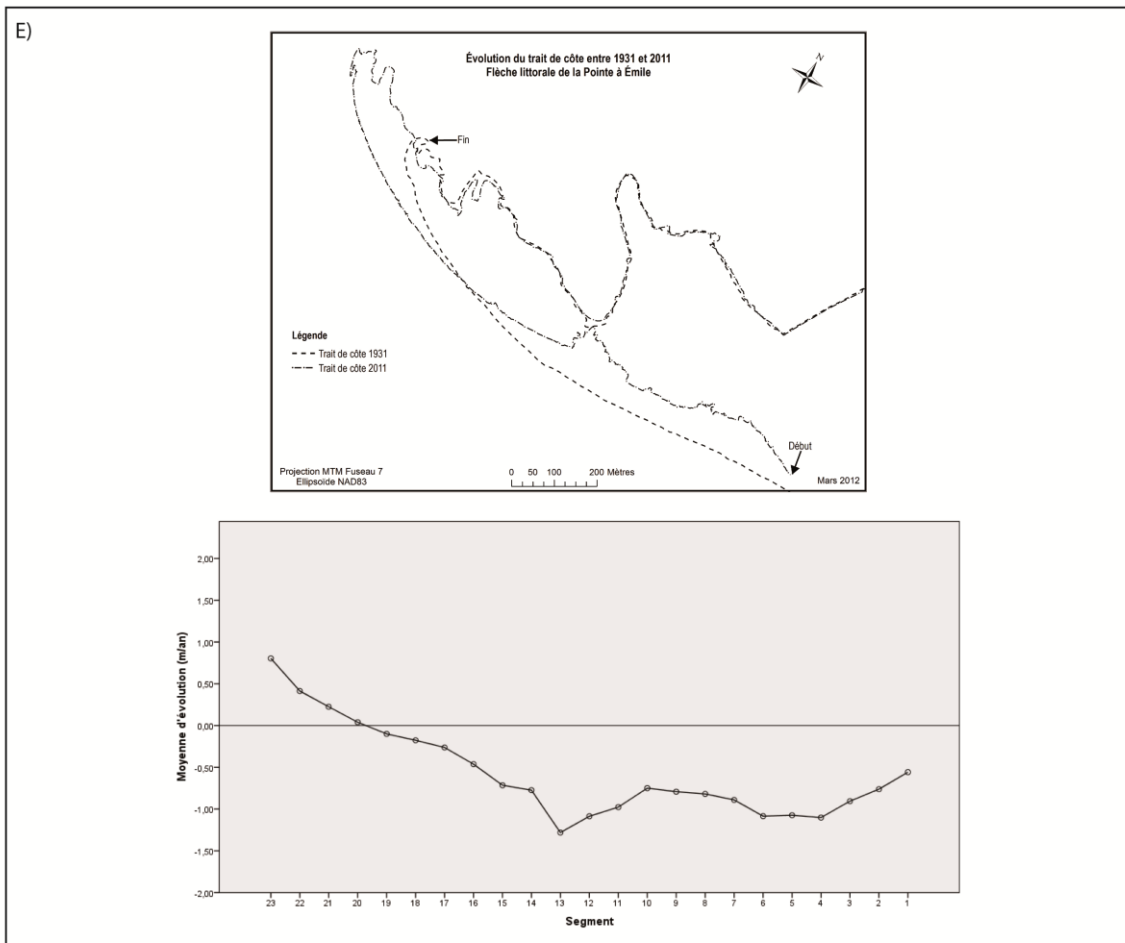
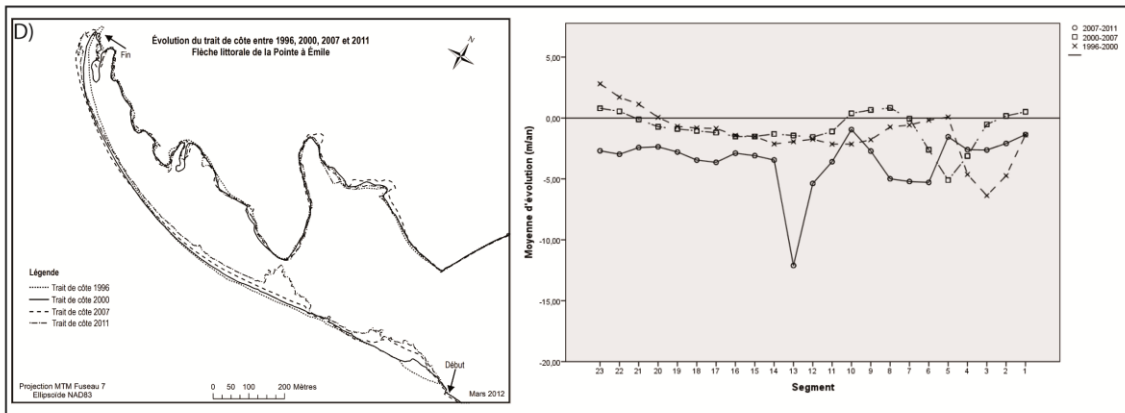


Figure 20. Évolution du trait de côte de la Pointe à Émile par photointerprétation, entre 1931 et 2011.

3.3.2. Superficie du marais maritime

L'évolution du marais maritime de la Baie de Milles-Vaches est présentée en valeur de superficies calculées à partir du suivi du point d'inflexion et du trait de côte. Ces deux limites ont servi au calcul de superficie totale de marais, incluant le schorre supérieur et le schorre inférieur. La figure 21 montre l'évolution des superficies du marais ainsi que les indices d'évolution pour 8 intervalles de photographies aériennes. La couverture aérienne de 2007 a été rejetée puisque la date hâtive de prise de photo, soit le 21 mai 2007, ne permet pas de réaliser une interprétation précise et fiable de la limite inférieure de la végétation de marais maritime.

Pour les 80 années de mesure entre 1931 et 2011, la superficie nette du marais a augmenté de 9,03 ha. Cette augmentation de superficie se manifeste principalement au segment MM01. Cependant, une perte de superficie de 6,50 ha est mesurée dans l'étage supérieur du marais. Le gain net en superficie s'accompagne d'une diminution de l'indice d'évolution de 0,00699. L'évolution du marais s'effectue à un taux de 0,11 ha/an.

L'intervalle de 1931 à 1950, montre une augmentation nette de la superficie du marais de 10,31 ha à un taux de 0,54 ha/an. Cette augmentation est attribuable en partie au gain en superficie des segments MM01 à MM04. De plus, durant cette période l'indice d'évolution augmente de 0,00136.

De 1950 à 1964, l'évolution du marais présente un gain net en superficie de 7,25 ha à un taux de 0,52 ha/an. L'indice d'évolution diminue de 0,00474. Le gain en superficie se situe surtout au niveau du segment MM04, alors que la perte de superficie s'observe au niveau du schorre supérieur du marais.

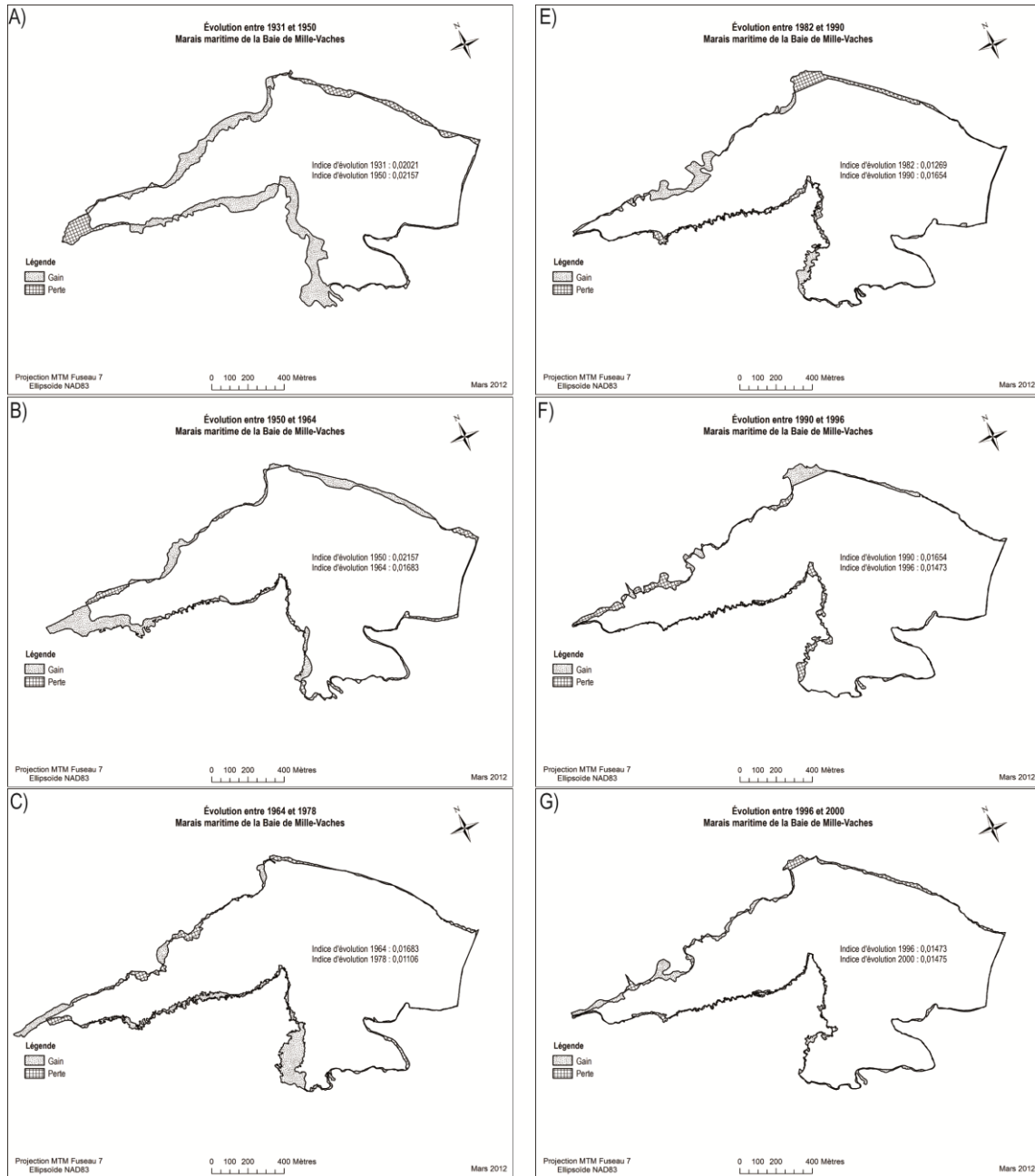
Entre 1964 et 1978, le marais présente également une tendance à l'augmentation nette de sa superficie avec une valeur de 4,54 ha. L'indice d'évolution diminue de 0,00577. Le segment MM01 contribue de façon importante à l'augmentation de superficie du marais. Durant cette période, le taux d'évolution est de 0,32 ha/an.

L'intervalle suivant, de 1978 à 1982, montre une tendance à la diminution de la superficie du marais, la perte nette est de -3,61 ha à un taux de -0,90 ha/an. La perte de superficie est distribuée sur l'ensemble de l'étage supérieur du marais. L'augmentation de l'indice d'évolution est de 0,00163.

Les périodes de 1982 à 1990, de 1990 à 1996 et de 1996 à 2000 présentent également des tendances à la diminution de la superficie du marais. Par contre, ces diminutions sont moins importantes que l'intervalle précédent avec des pertes nettes de superficie de -0,63 ha, de -1,09 ha et de -0,30 ha respectivement. Les taux d'évolution sont également plus faibles que l'intervalle de 1978 à 1982 avec des taux respectifs de -0,08 ha/an, de -0,18 ha/an et de -0,08 ha/an. Pour tous les intervalles, les pertes de superficie sont distribuées sur l'étage supérieur du marais. De plus, pour l'intervalle de 1982 à 1990, la diminution de superficie s'observe au segment MM02 et pour

l'intervalle 1990 à 1996, le segment MM01 et MM02 subissent aussi une diminution de superficie. Les indices d'évolution sont variables, pour 1982 à 1990 il augmente de 0,00385 alors qu'entre 1990 et 1996, il diminue de 0,00181 et pour le dernier intervalle de 1996 à 2000, il demeure stable.

Le dernier intervalle de mesure entre 2000 et 2011 montre une importante perte nette de superficie de 7,44 ha à un taux de -0,66 ha/an. La perte de superficie est principalement attribuable à l'étage supérieur du marais, mais dans une moindre mesure aux segments MM02 à MM04 également. L'indice d'évolution diminue de 0,00153 durant cet intervalle.



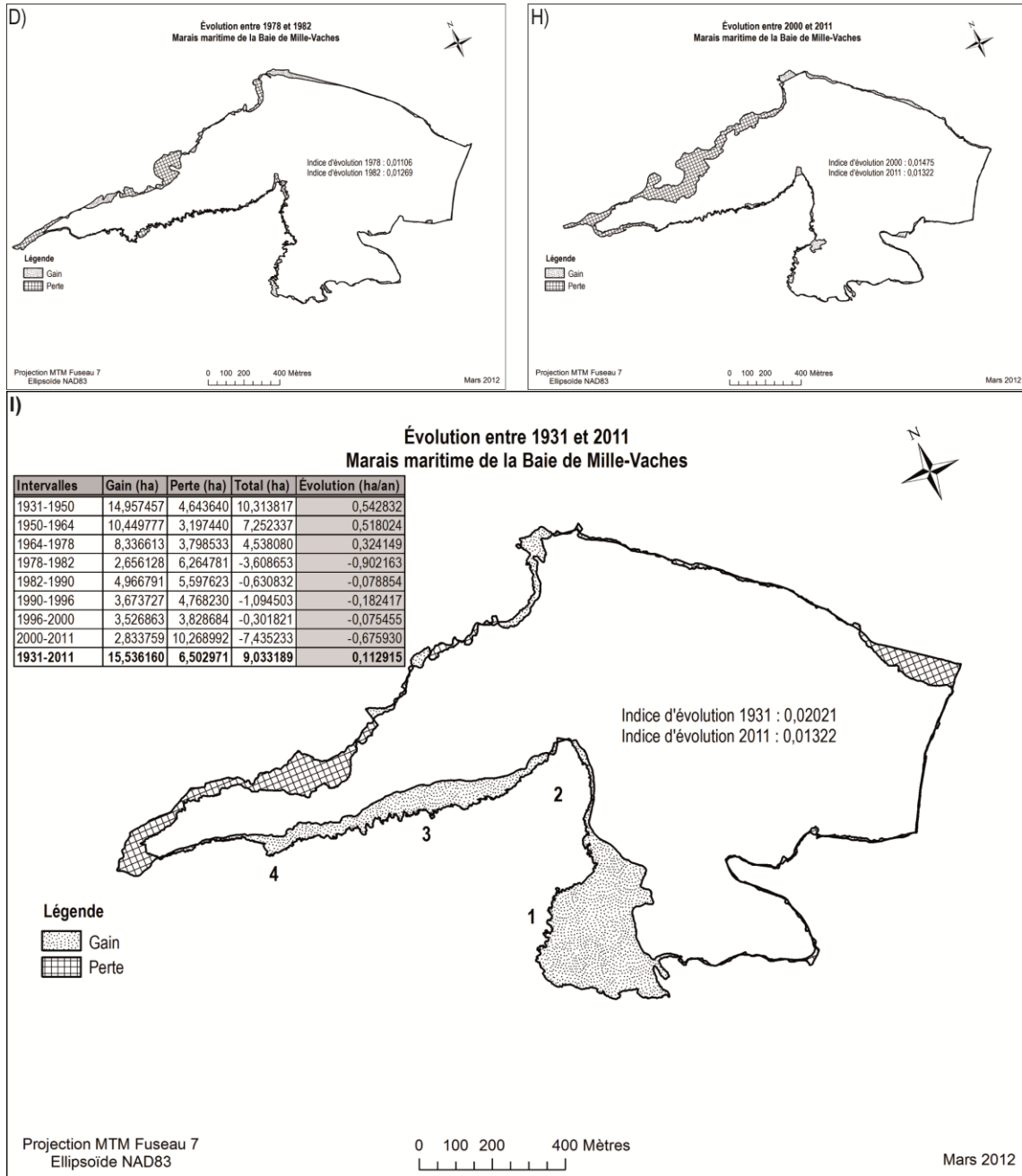


Figure 21. Évolution de la superficie du marais de la Baie de Mille-Vaches par photointerprétation, entre 1931 et 2011.

3.4. Altitude du trait de côte

Des graphiques d'altitude du trait de côte sont présentés à la figure 22 pour chacun des mois de relevés. Ces figures permettent de visualiser l'évolution de l'altitude du trait de côte dans le secteur sud pour chacun des intervalles de prises de mesures. Les secteurs A, B et C ont été

spécialement étudiés. Le secteur A correspond aux segments S14 et 15, le secteur B au segment S13 et le secteur C au segment S06. Les résultats de l'évolution de l'altitude du trait de côte montrent que le secteur B a une altitude moyenne plus faible que les deux autres secteurs. De plus, on y note une augmentation importante entre août et octobre, passant de 4,31 m à 7,07 m. Le secteur A présente une altitude relativement stable, malgré quelques fluctuations mineures. Finalement, le secteur C montre une augmentation constante de l'altitude entre les mois de mai et décembre, passant de 3,76 m à 6,15 m.

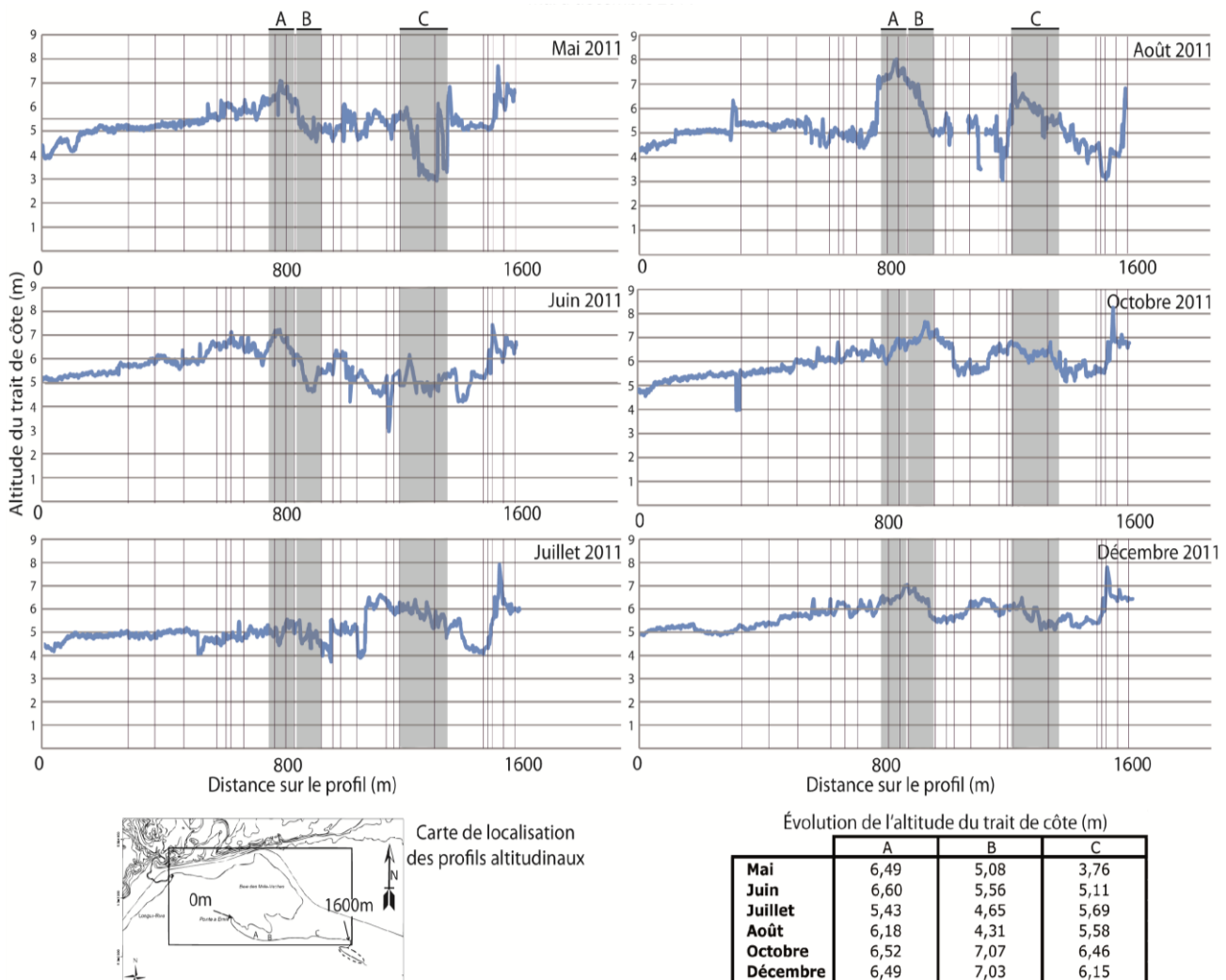


Figure 22. Profils altitudinaux et évolution de l'altitude du trait de côte, secteur sud de la Pointe à Émile entre mai et décembre 2011.

3.5. Volumes sédimentaires

La figure 23a met en évidence la moyenne de volume de sédiments de près de $9 \text{ m}^3/\text{m}$ sur le haut de la plage pour les segments S01 à S09. Au mois d'août, les volumes moyens atteignent près de $40 \text{ m}^3/\text{m}$. Le volume de sédiments augmente au segment S13 entre mai et août avec des volumes les plus élevés passant de $86 \text{ m}^3/\text{m}$ en mai à $99 \text{ m}^3/\text{m}$ en août. Durant ces mois, les volumes importants sont mesurés au niveau des lobes de transgression sur l'arrière-plage. Les volumes transportés par ces lobes sont maximaux en août à S13b, avec près de $43 \text{ m}^3/\text{m}$, mais sont plus faibles en mai avec $10 \text{ m}^3/\text{m}$. Finalement, la portion ouest de la Pointe à Émile, des segments S14 à S23, présente des volumes sédimentaires moyens avec des maxima au mois de mai de $17 \text{ m}^3/\text{m}$ et de $28 \text{ m}^3/\text{m}$ au mois de juillet.

Sur le bas de la plage, la figure 23b montre que les segments S01 à S08 ont en moyenne près de $3 \text{ m}^3/\text{m}$. Pour les segments S09 à S19, les volumes d'environ $31 \text{ m}^3/\text{m}$ sont relativement constants pour tous les intervalles de mesure. Les plus grands volumes sont enregistrés en mai avec $43 \text{ m}^3/\text{m}$. Les segments S20 à S23 ont une moyenne de $63 \text{ m}^3/\text{m}$ avec des modes en mai de $80 \text{ m}^3/\text{m}$, de $74 \text{ m}^3/\text{m}$ en juillet et octobre.

Dans la portion nord de la Pointe à Émile, le haut de la plage montre des volumes moyens de moins de $2 \text{ m}^3/\text{m}$ à S24 à S28 (figure 23c). Les segments S25 et S28 présentent des maxima importants en août, de $4 \text{ m}^3/\text{m}$ et de $8 \text{ m}^3/\text{m}$ respectivement. Les segments S30 et S31 n'ont que $0,6 \text{ m}^3/\text{m}$. Au bas de la plage, les volumes sont importants dans les segments S24 à S26 et S28 avec une moyenne de $6 \text{ m}^3/\text{m}$, où la moyenne maximale est notée en octobre avec $7 \text{ m}^3/\text{m}$ (figure 23d). Les autres segments ont une moyenne de $1 \text{ m}^3/\text{m}$, qui est doublée en août.

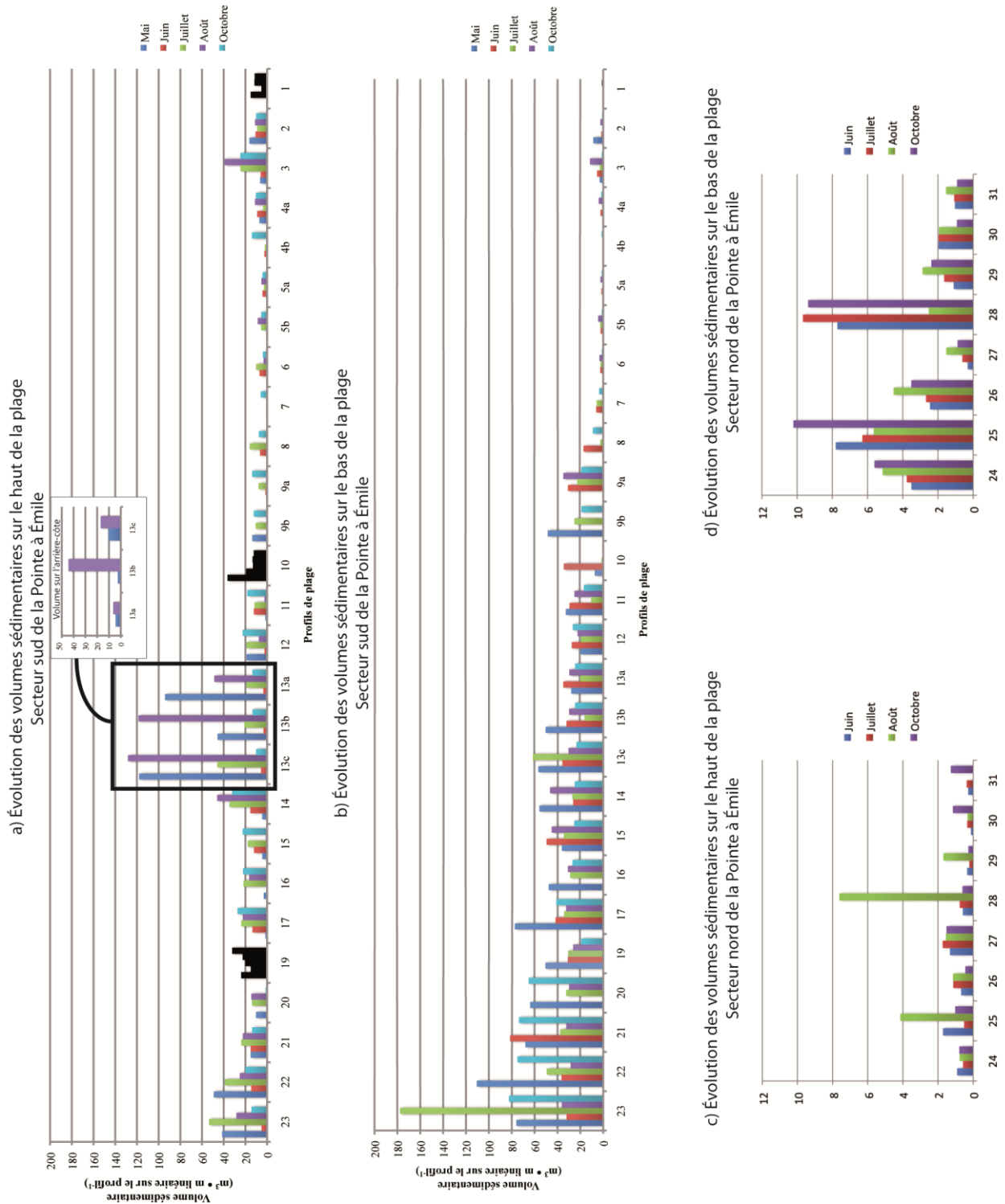


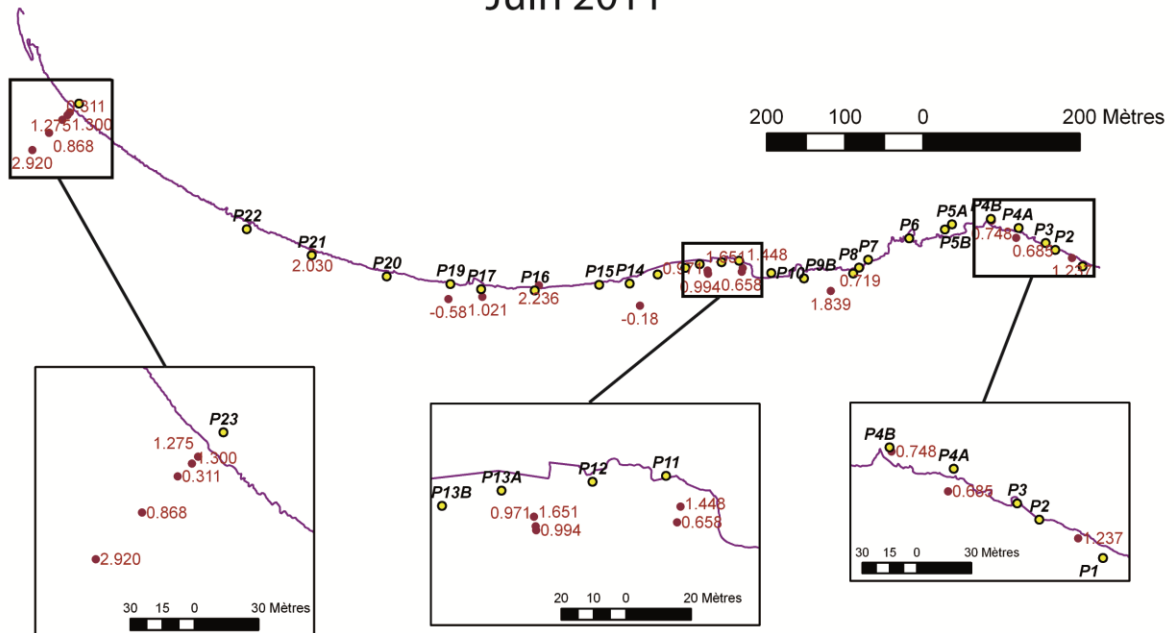
Figure 23. Graphiques d'évolution des volumes sédimentaires pour chacun des profils de plage. a) et c) : volumes sédimentaires (m³/m) du haut de la plage. b) et c) volumes sédimentaires (m³/m) du bas de la plage.

3.6. Granulométrie

Dans la portion est de la Pointe à Émile, les sédiments en juin présentent des tailles variant de sable grossier (0,180Φ) à sable moyen (1,839Φ). À S16, la taille des sédiments diminue pour atteindre le sable fin (2,236Φ). Au bout de la pointe, S23 présente un profil de sable moyen (1,300Φ) à sable fin (2,920Φ) avec un seul échantillon de sable grossier (0,311Φ).

Le second échantillonnage permet d'observer des sédiments grossiers et moyens dans les segments S01 à S07. La taille granulométrique atteint les sables moyens dans les segments S08 et S09. À S10, l'échantillon prélevé au pied de l'enrochement se situe à la limite entre les sables moyens et grossiers (1,001Φ). Ensuite, les profils granulométriques des segments S11 à S23 montrent une haute-plage principalement composée de sable moyen à grossier (1,893Φ à 0,892Φ), un haut-estran de sable moyen (1,404Φ à 0,996Φ) et un bas-estran composé de silt fin à très fin (6,031Φ à 7,592Φ). À S13, des échantillons pris dans le lobe de transgression au mois d'août montrent une granulométrie de sable moyen (1,100Φ). L'échantillon P1303 est composé de sable moyen (1,277Φ). La carte de la figure 24 montre la distribution spatiale des résultats de l'échantillonnage de granulométrie.

Juin 2011



Octobre 2011

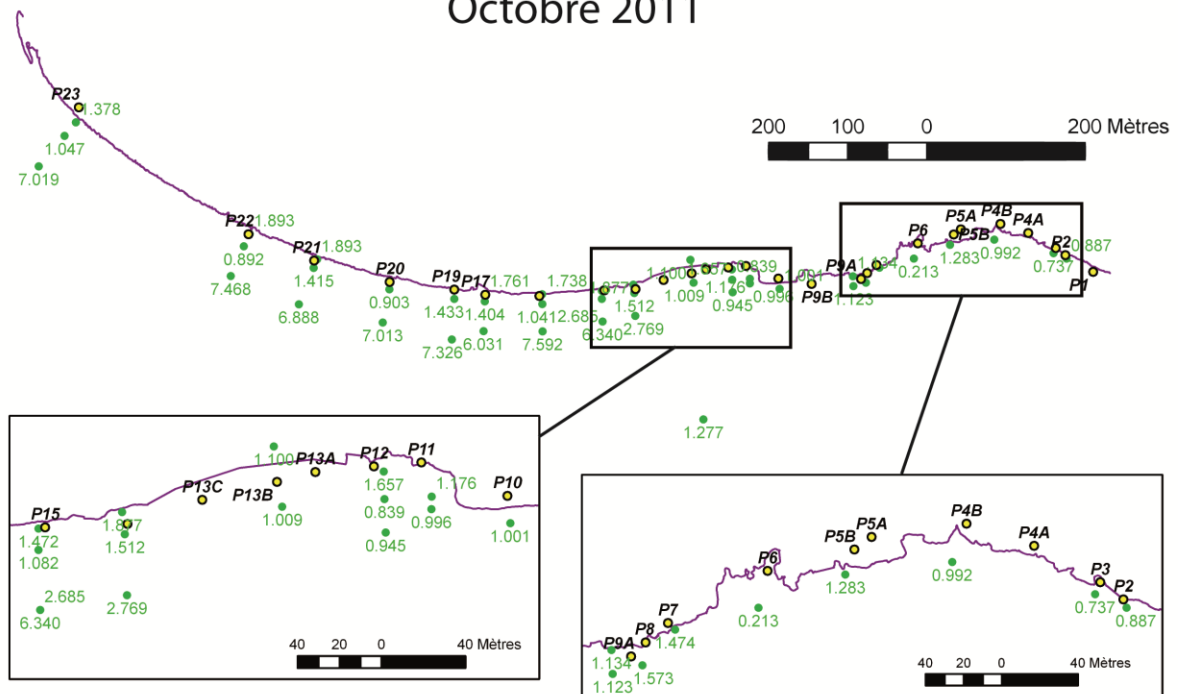


Figure 24. Distribution spatiale des résultats de l'analyse granulométrique (ϕ - Φ) du secteur sud de la Pointe à Émile en juin et octobre 2011.

4. PROFILS TYPES DE LA ZONE CÔTIÈRE

4.1. Définitions

Le secteur à l'étude comprend deux grands systèmes côtiers, la flèche littorale de la Pointe à Émile et le marais maritime de la Baie de Mille-Vaches. Ceux-ci correspondent à deux grandes unités hydrosédimentaires. La caractérisation et la segmentation côtière réalisées lors des relevés de terrain du mois de mai et du mois d'octobre 2011 ont permis de diviser la flèche littorale en 31 segments côtiers. Ceux-ci sont répartis en 23 segments pour le secteur sud et en 8 segments pour le secteur nord. Le marais maritime comprend 4 segments côtiers à l'intérieur de la Baie de Mille-Vaches. La segmentation côtière se divise en deux grandes parties. La première correspond aux 23 segments du secteur sud de la Pointe à Émile, caractéristiques de la dynamique et de l'évolution côtière d'une flèche littorale. La seconde partie inclut les 8 segments du secteur nord de la Pointe à Émile et les 4 segments du marais. Les segments du secteur nord de la flèche littorale sont influencés en majeure partie par la dynamique côtière à l'intérieur du marais, mais également par la dynamique côtière de la flèche littorale (Morissette, 2007). Les quatre segments du marais de la Baie de Mille-Vaches sont des segments caractéristiques de la dynamique et de l'évolution côtière d'un marais maritime. L'évolution du marais est fortement influencée par les agents et les processus régissant l'évolution côtière de la flèche littorale (Morissette, 2007). La modification de celle-ci constitue la préoccupation majeure des citoyens de la Pointe-à-Boisvert quant aux impacts écologiques appréhendés sur le marais de la Baie de Mille-Vaches. Par conséquent, le secteur sud de la Pointe à Émile est traité de manière prioritaire afin de quantifier et de comprendre l'évolution des segments constituant une protection naturelle pour le marais situé derrière (Morissette, 2007).

La caractérisation côtière a permis de regrouper les segments côtiers en 5 profils types (figure 25) selon leurs caractéristiques intrinsèques et le modèle dynamique qui régit leur évolution mensuelle (section 6). Les profils types correspondent à la synthèse des observations géomorphologiques effectuées de manière parallèle et perpendiculaire à la côte selon l'approche bidimensionnelle et intégrée lors des relevés de terrain de 2011.

Le profil d'accumulation (figure 25A) correspond à un profil stable théorique de côtes basses sableuses où l'action de la dérive littorale et des vagues dominant. Les niveaux d'eaux ont une influence prépondérante sur ce type de profil.

Les profils de microfalaises et de basses falaises en érosion (figure 25B et 25C) correspondent à des profils actifs de côtes basses sableuses. Les processus dominants dans ces types de profils sont l'action des vagues et les processus gravitaires. Par contre, ces deux profils n'ont pas la même élévation. La hauteur d'une microfalaise est de 2,5 m et moins alors qu'une basse falaise s'élève entre 2,5 m et 5,0 m (Dubois *et al.*, 2005). Dans la zone d'étude, les basses falaises en

érosion sont également soumises aux processus estuariens et fluviaux du ruisseau qui coule à leur pied. Cette caractéristique ne s'applique pas aux profils de microfalaise en érosion.

Lorsque les trois profils types précédents sont fréquemment soumis à la submersion, un nouveau profil apparaît; le profil de submersion (figure 25D). Celui-ci correspond à un profil actif de côtes basses sableuses soumis principalement à l'effet des niveaux d'eau, mais également à l'action des vagues. La submersion de la zone côtière est le principal agent qui modèle ce profil de côte.

Dans le site d'étude, certaines interventions humaines en zone côtière visant à fixer le trait de côte ont été effectuées. L'enrochement du trait de côte et de la ligne de rivage est le seul type d'infrastructures côtières installé dans le secteur sud de la Pointe à Émile. Ces interventions en zone côtière se traduisent par un profil type de structure de protection (figure 25E), mis en place pour contrer les effets de l'érosion et du recul du trait de côte occasionnés par l'action des vagues sur des côtes actives (Leclerc, 2010; Bernatchez et al., 2008).

4.2. Distribution spatiale

Les 23 segments côtiers du secteur sud de la Pointe à Émile ont été regroupés selon les différents profils types de la zone côtière (figure 26). La flèche littorale est caractérisée principalement par des profils d'accumulation (profil A) et de microfalaise en érosion (profil B). Il n'existe aucune alternance entre les profils d'accumulation (profil A) et d'érosion (profils B et C) sur la flèche littorale de la Pointe à Émile. Ce constat réfère à un modèle théorique de flèche littorale, où l'extrémité de la flèche est une zone d'accumulation, le pédoncule une zone d'érosion alors que la partie centrale de la flèche est neutre (Allard *et al.*, 2008, Davidson-Arnott, 2010, Bird, 2008). Les profils E, les structures de protection des segments S10 et S19, sont intercalés dans les profils de microfalaises en érosion (profils B). Ces structures sont implantées pour contrer les processus d'érosion sur les profils de type B, mais occasionnent le maintien et l'accentuation de l'érosion de part et d'autre de la structure. De plus, l'implantation d'une structure de protection au segment S10 favorise l'apparition d'un profil de submersion (profil D) au segment S13, seul segment où ce profil type est retrouvé. Finalement, la figure 26 montre la diversité d'agents et de processus côtiers et fluviaux du site d'étude avec la présence du profil C de basses falaises en érosion à l'embouchure du ruisseau entre la Pointe à Boisvert et la Pointe à Émile.

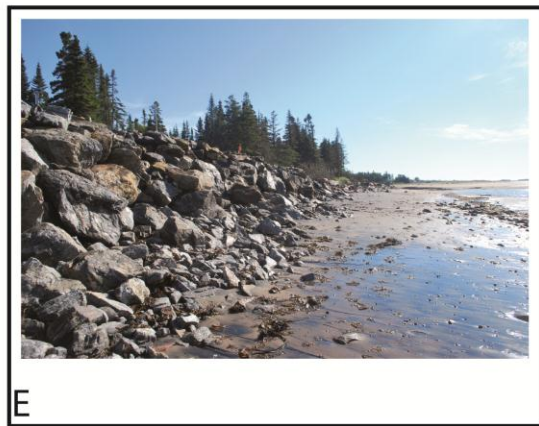
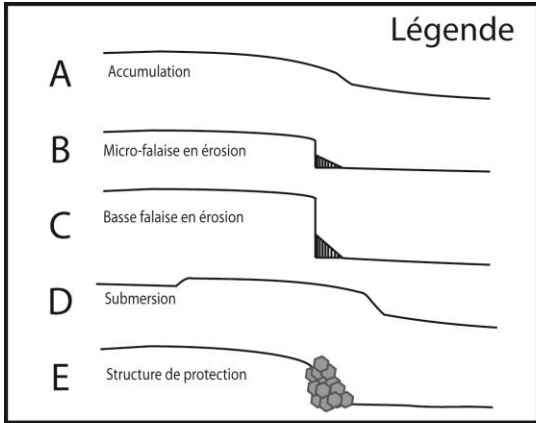


Figure 25. Illustrations des profils types de la zone côtière du secteur sud de la Pointe à Émile.

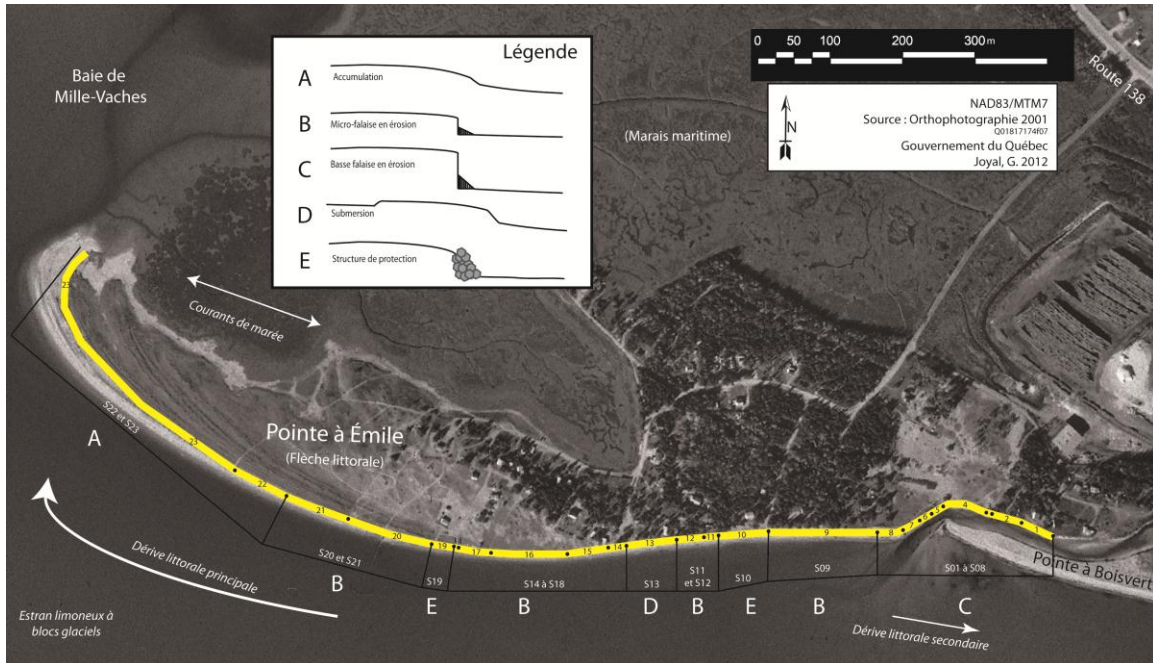


Figure 26. Localisation des profils types du secteur sud de la Pointe à Émile, été 2011.

5. RYTHME DÉCENNAL ET ANNUEL DE L'ÉVOLUTION CÔTIÈRE

5.1. Profils types

Les résultats de l'évolution côtière par photointerprétation montrent que les segments du secteur sud de la Pointe à Émile n'ont pas toujours appartenu au même profil type. Par conséquent, la distribution et la localisation de ces profils sur la flèche littorale ont subi plusieurs modifications au cours des 80 années de mesure. Cette variabilité traduit le rythme d'évolution décennal de la flèche littorale. Le suivi de la position du point neutre de la flèche littorale, zone théorique de pivot des profils d'érosion vers des profils d'accumulation, permet de déterminer l'étendue relative de chacun d'entre eux (figure 27). Dans cette section, les basses falaises en érosion (profil C) ne sont pas considérées puisqu'elles correspondent à un profil de côte active au même titre que le profil de microfalaise en érosion (profil B) (section 4.1.).

Le point neutre de la flèche se déplace considérablement entre 1931 et 2011. Celui-ci est situé entre S12 et S13 pour l'intervalle de 1931 à 1950. Il se déplace entre S15 et S16 pour la période de 1982 à 1990 et complète sa migration entre S20 et S21 durant l'intervalle 1996 à 2007 pour disparaître complètement entre 2007 et 2011. La position de ce point neutre signifie que les segments à l'est de celui-ci présente un profil d'érosion de type B alors que les segments à l'ouest présente un profil d'accumulation de type A. Le déplacement du point neutre de la flèche littorale entre 1931 et 2011 indique une augmentation du nombre de profil d'érosion au détriment des profils d'accumulation. Pour la période de 1931 à 1950, il y a 8 segments présentant un profil

d'érosion de type B contre 15 d'accumulation de type A. Entre 2000 et 2007, il y a seulement 2 profils d'accumulation de type A. Finalement, pour le dernier intervalle de mesure une tendance à l'érosion généralisée se dégage puisque tous les segments sont en érosion ou en recul.

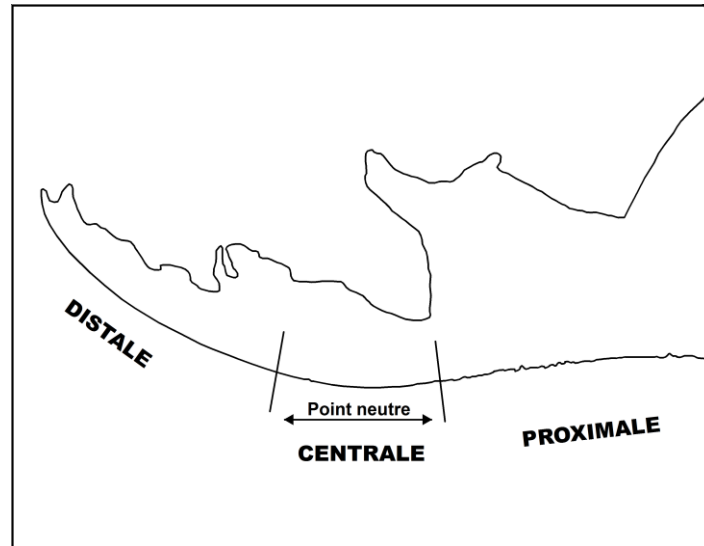


Figure 27. Localisation des zones caractéristiques d'une flèche littorale et déplacement du point neutre dans la partie centrale.

5.2. Trait de côte

Afin de déterminer le rythme annuel d'évolution côtière, la comparaison des courbes de moyennes annuelles d'évolution (figure 20) permet de dégager des tendances et d'évaluer la contribution de chaque intervalle étudiée à l'évolution côtière globale de 1931 à 2011.

Historiquement, les taux annuels d'évolution côtière montre une alternance entre des profils d'accumulation et d'érosion dans la partie proximale de la flèche, à l'est du point neutre. Cette information met en évidence la contribution des segments S1 à S5 à l'alimentation de la zone distale de la flèche qui se traduit par la présence des profils d'accumulation à l'ouest du point neutre (Bird, 2008, Davidson-Arnott, 2010).

Jusqu'en 1990, une alternance entre l'érosion et l'accumulation, sauf pour l'intervalle 1960 à 1964, est observable. Durant ce dernier intervalle, la majorité des segments de la flèche sont en érosion à l'exception des segments S22 et S23 qui sont en accumulation. Après 1990, l'augmentation du nombre de segments en érosion et des valeurs des taux d'érosion annuels confirment la tendance à l'érosion généralisée de la flèche littorale.

Les valeurs d'évolution annuelle des intervalles récents, entre 1990 et 2011, contribuent de manière significative au modèle de la courbe de l'évolution globale (1931-2011) de la Pointe à

Émile. En plus de la présence des profils d'accumulation et d'érosion, ce modèle suggère l'apparition récente d'un profil de submersion (profil D) aux segments S4 à S6 et S12 et S13 qui se traduit par des reculs du trait de côte très importants. La présence de ce profil démontre que les transgressions marines ont désormais un impact majeur sur le modèle d'évolution de la flèche littorale et que les lobes de transgression sont un nouvel élément morphologique de ce système côtier (Orford *et al.*, 2003 in Davidson-Arnott, 2010).

Finalement, les profils d'accumulation de la partie distale de la flèche littorale engendrent un allongement de celle-ci au rythme moyen de 4,00 m/an. L'avancée de la Pointe à Émile est fortement corrélée au gain en superficie mesurée dans le marais derrière la flèche pour la même période soit de 1931 à 1990, puisque celle-ci protège cette partie du marais de l'effet des agents d'érosion (Morissette, 2007). En effet, le taux annuel moyen maximal enregistré entre 1964 et 1978 correspond au plus grand gain de superficie mesuré dans le segment MM01 du marais de la Baie de Mille-Vaches.

6. RYTHME MENSUEL DE L'ÉVOLUTION CÔTIÈRE

Suite à la présentation des résultats d'évolution mensuelle des limites de la zone côtière et des variations des volumes sédimentaires à la plage, la présente section porte sur la dynamique, l'évolution mensuelle et la vulnérabilité des segments côtiers types. Elle est divisée en sept sections selon la nomenclature des profils types présentée précédemment. L'utilisation des profils types permet de comprendre le lien dynamique qui existe entre eux et leur probabilité d'occurrence en fonction des niveaux d'eau et de l'énergie à la côte pendant un cycle annuel complet. La vulnérabilité de chaque profil type est présentée en fonction des principaux aléas côtiers responsables de leur morphogenèse.

6.1. Évolution et vulnérabilité des profils types

6.1.1. Profil A : Accumulation

Les segments S22 et S23 sont situés à l'extrémité ouest de la Pointe à Émile. Ils ne possèdent pas de microfalaise, leur profil de pente douce et continue ainsi que leur faible altitude ont un effet dissipatif de l'énergie des vagues (Quartel *et al.*, 2008). Ce sont les deux segments les plus longs sur la Pointe à Émile.

Après l'événement de submersion du mois de décembre 2010, où la transgression à cet endroit a été de moins de 5 mètres (figure 28, 2°), l'intervalle de juin à juillet est caractérisé par une très faible mobilité du trait de côte, mais une avancée moyenne de la ligne de rivage de $1,40 \pm 0,43$ mètres et maximale de 3,80 mètres (figure 28, 3°). Cette avancée est caractérisée par d'importantes accumulations sédimentaires et par une végétalisation de la haute-plage (figure 28, 4°). L'accumulation sédimentaire est notée autant en haut qu'en bas de plage, montrant un modèle

d'accumulation uniforme pour la plage. Le mois de juin montre des volumes égaux pour les deux segments, mais dès le mois suivant, ils sont environ 70% plus élevés en aval du courant de dérive littorale, à S23, qu'en amont, à S22. Il y a également une augmentation des volumes en haut de plage, ce qui signifie que le mouvement des sédiments se fait à la fois de manière perpendiculaire par le jet de rive et le retour de vague ainsi que parallèle à la côte par le courant de dérive littorale (Goodfellow et Stephenson, 2005).

L'intervalle suivant, de juillet à août, permet de montrer que les événements de plus fort hydrodynamisme ont tendance à redistribuer les sédiments sur la plage. En effet, les volumes sont équivalents en haut et en bas de plage. L'accumulation lors des mois précédents a eu comme effet d'élever le profil de la plage pour limiter la submersion de la haute-plage. La protection naturelle qu'ont offerte les sédiments s'est toutefois vue réduite par l'érosion de la plage, où les sédiments de la haute-plage ont été transportés sur le bas de la plage. Ces résultats montrent que le mouvement perpendiculaire des sédiments est un facteur important dans la définition de la morphologie du profil de plage (Bruun, 1998). Le trait de côte n'a pas changé de position, mais la ligne de rivage a reculé d'un mètre. Ces sédiments prélevés à la plage ont été distribués dans les segments S24 à S26 par le courant de dérive littorale principal, comme le dénotent les augmentations sédimentaires en bas de plage de ces segments. La présence de nombreux lobes de marées dans ces segments dénote d'une prise en charge des sédiments par les courants de marée dans le marais maritime, contribuant ainsi à son ensablement (Morissette, 2007).

Le mois d'octobre montre une augmentation importante des volumes, soit près de 60% sur le haut-estran et une diminution de 36% en haute-plage. Ces données montrent encore une fois le modèle décrit précédemment, à savoir que les sédiments en bas de plage accumulés par l'érosion de la haute-plage et par les sédiments transportés via le courant de dérive littorale contribueront à former une haute-plage (figure 28, 3° et 4°). La progradation de la ligne de rivage de près de 3 mètres entre octobre et décembre dénote cette croissance de la haute-plage. La végétalisation de la haute-plage n'a toutefois pas eu lieu, considérant les conditions climatiques et la présence du pied de glace dès le mois de décembre. Les analyses granulométriques montrent que la formation d'un profil d'accumulation sédimentaire, entre juin et juillet ou entre octobre et décembre, a tendance à s'effectuer selon un granoclassement particulier. La haute-plage est composée de sable moyen ($1,3\Phi$), le haut-estran de sable moyen à grossier ($1,1$ à $0,3\Phi$) et le bas-estran de sable fin à très fin sur des silts fins ($2,9\Phi$ sur $7,0\Phi$). Ce granoclassement peut s'expliquer par la fréquence d'inondation et la morphologie des sections perpendiculaires. La pente plus abrupte et la fréquence élevée d'inondation du haut-estran a comme effet d'y concentrer un maximum d'énergie, malgré des conditions hydrodynamiques relativement faibles. Le jet de rive résultant de la dissipation de la majorité de l'énergie de la vague sur le haut-estran a une plus faible compétence de transport sédimentaire et provoque une accumulation de sable plus fin en haute-plage. Sur le bas-estran, la grande fréquence d'inondation et la faible compétence de l'eau a tendance à y accumuler des sédiments silteux et argileux. Ce phénomène renforce l'explication des

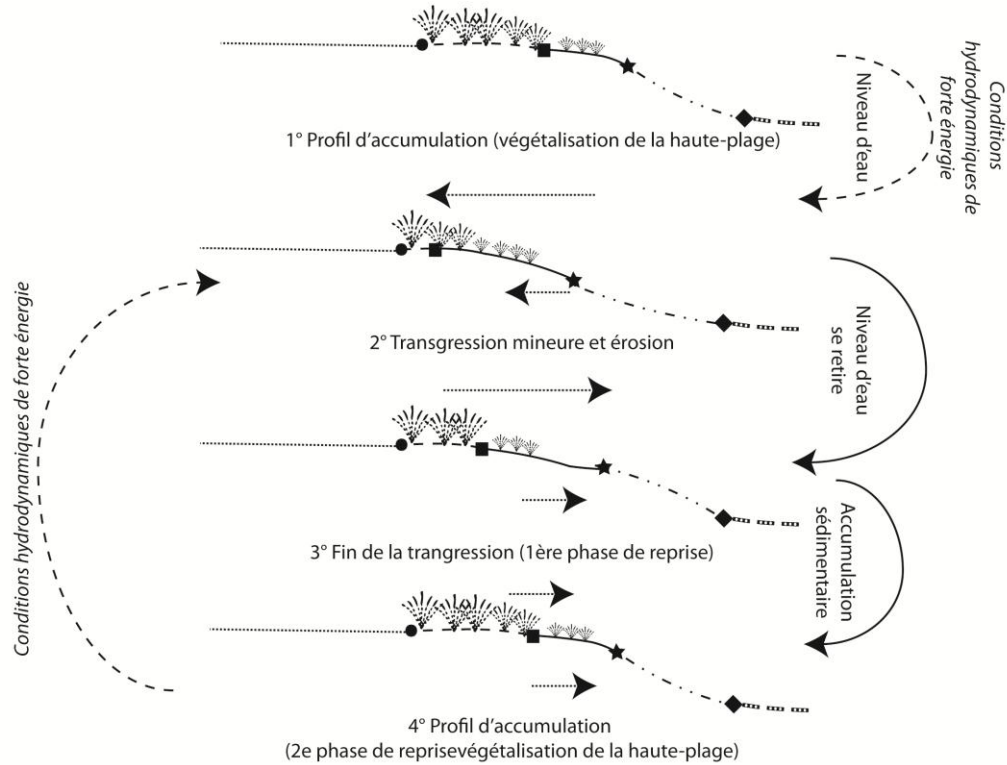
caractéristiques granulométriques de sable fin des lobes de transgression et de sable moyen à grossier sur le haut-estran et la haute-plage lors d'épisodes d'hydrodynamisme élevé.

L'extrémité de la Pointe à Émile est une zone en accumulation de sédiments qui reçoit une bonne partie des sédiments érodés depuis l'amont du courant de dérive littorale, sur les falaises en érosion et à partir de la Pointe à Boisvert à l'est. Les importants taux de progradation de la ligne de rivage et du trait de côte après les événements d'érosion et de submersion dénotent une grande résilience suite à l'action d'un aléa. L'accumulation d'une quantité importante de sédiments, pouvant atteindre jusqu'à 180 m³/m, et de débris marins (Catto, 2006) montrent que cette zone constitue un lieu d'accumulation et de transit sédimentaire entre la Pointe à Émile et le marais de la Baie de Mille-Vaches. Finalement, l'altitude constamment élevée de la haute-plage et du trait de côte et la végétalisation complète de l'arrière-plage limitent les dommages potentiels de la submersion associée aux événements de haut niveau d'eau (Bernatchez *et al.*, 2008).

Les segments en accumulation ont une vulnérabilité très faible à l'érosion et à la submersion. L'importante résilience du trait de côte et de la ligne de rivage, combinée aux importants volumes de sédiments végétalisés qui contribuent à élever le profil de la plage, est un facteur de réduction de la sensibilité de ces segments à l'érosion et à la submersion. Les deux éléments résilients possèdent effectivement de grands espaces de liberté qui permettent une mobilité et une résilience rapides (figure 28).

- Trait extrême
- Trait de côte
- ★ Ligne de rivage
- ◆ Point d'inflexion

A) Segments en accumulation



Évolution en fonction des conditions hydroclimatiques

- Faible (1-2 mètre)
- Moyen (2-5 mètres)
- Élevé (>5 mètres)

Espace de liberté et élément résilient

- Espace de liberté Ligne de rivage
- Espace de liberté Trait de côte

Submersion et érosion sur segments en accumulation

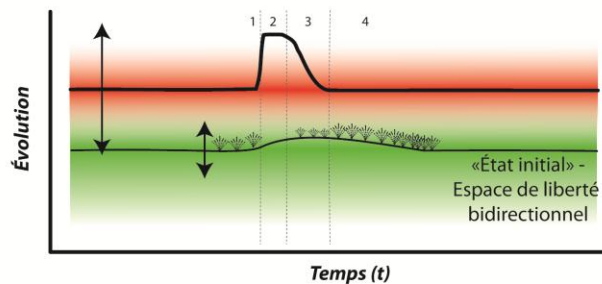


Figure 28. Haut : Relations dynamiques entre les profils de plage des segments en accumulation en fonction des principaux agents et processus ainsi que des conditions hydrodynamiques. Bas : Schéma conceptuel de la résilience du trait de côte et de la ligne de rivage dans leur espace de liberté sur des segments en accumulation soumis à l'érosion et à la submersion. Il montre l'adaptation morphologique du segment côtier durant et après le passage d'un événement de haut niveau d'eau (modifié de Charlton, 2008). (L'échelle n'est pas respectée)

6.1.2. Profil B : Microfalaise en érosion

La caractérisation côtière de ces segments a identifié la présence d'une microfalaise en érosion. L'analyse approfondie des résultats permet de bien comprendre le rôle des agents et des processus responsables de leur évolution morphologique.

Durant le mois de décembre 2010, un événement hydrodynamique important a érodé les falaises côtières (figure 29, 2a°). L'intervalle de mai à juin montre une avancée de la ligne de rivage d'environ $3,50 \pm 1,03$ mètres de S14 à S17 et d'environ $1,90 \pm 0,56$ mètres à S20 et S21. La position du trait de côte reste sensiblement la même durant cet intervalle (figure 29, 3°). Tout comme les basses falaises en érosion, les segments à microfalaises en érosion sont soumis aux processus gravitaires. La grande progradation de la ligne de rivage à la suite d'un épisode d'érosion marine renforce l'idée de la contribution des processus gravitaires à l'accumulation d'un talus d'éboulis au pied de la falaise (Bruun, 1998). L'intervalle de juin à juillet montre une progradation moins importante de la ligne de rivage de $1,86 \pm 0,28$ mètres pour S14 à S17 et $1,43 \pm 0,32$ mètres pour S20 et S21, ce qui représente entre 50 et 75% de l'intervalle précédent (figure 29, 4°). Ces deux intervalles de progradation témoignent d'un faible hydrodynamisme et du marnage de faible amplitude qui ont contribué à la formation d'une haute-plage qui se végétalise à partir de juillet (Goodfellow et Stephenson, 2005). La faible énergie des vagues à ce moment a favorisé une accumulation de plus de 86% de sédiments en haut de plage entre mai et juillet dans les segments S14 à S17 et de 34% dans les segments S20 et S21. Une part des sédiments provient du bas de la plage puisque les volumes mesurés y sont décroissants pour les intervalles d'accumulation en haut de plage. Par exemple, le bas de la plage au segment S21 passe de $81,5 \text{ m}^3/\text{m}$ en juin à $37,64 \text{ m}^3/\text{m}$ en juillet. L'autre part de sédiments du haut de plage proviendrait de l'érosion de la falaise par les processus gravitaires causant un faible recul du trait de côte (<1 mètre) au mois de juillet (figure 29, 3°). Ainsi, juillet est le mois critique d'accumulation sédimentaire et de végétalisation dans la partie supérieure de la plage. En conditions de faible hydrodynamisme, les sédiments auraient tendance à circuler dans le sens du courant de dérive littorale avant d'être piégés en haut de plage par le jet de rive et la végétation. Cette haute-plage en formation tend à élever l'altitude du profil de plage et à faire prograder la ligne de rivage, limitant ainsi l'inondation du pied de la microfalaise.

En août, un second événement hydrodynamique de forte énergie a causé de l'érosion sur la microfalaise côtière (figure 29, 2b°). Les taux maxima d'érosion y ont été enregistrés sur la ligne de rivage. Des taux de recul de $-5,47 \pm 1,31$ mètres à la ligne de rivage et de $-0,31 \pm 0,45$ mètres au trait de côte ont été mesurés aux segments S14 à S17, alors qu'ils l'ont été respectivement de $1,52 \pm 0,46$ mètres et de $-0,76 \pm 0,52$ mètres aux segments S20 et S21. La haute-plage agit comme agent de protection naturelle des microfalaises en limitant l'action des vagues directement sur celles-ci (Goodfellow et Stephenson, 2005). Les taux de recul du trait de côte sont effectivement entre 50 et 70% plus petits que ceux de la ligne de rivage. L'évacuation des sédiments prélevés par l'érosion s'est effectuée vers le bas de la plage des segments S24 et S25,

situés dans les crochets actuels de la flèche littorale, où une augmentation des volumes a été enregistrée. Le courant de dérive littorale est un vecteur de transport des sédiments à ce moment. Le recul de la ligne de rivage a été accompagné d'un abaissement du profil de la plage qui a eu comme effet de remettre en activité la microfalaise meuble par les agents et processus côtiers et gravitaires (figure 29, 2b°).

Les intervalles d'août à décembre sont caractérisés par une reprise de la formation de la haute-plage (figure 29, 3°). En effet, une avancée de la ligne de rivage et une accumulation de sédiments en haut de plage y ont été notées. La source sédimentaire serait, encore une fois, le bas de la plage puisqu'une diminution y est enregistrée en octobre. La végétalisation de la haute-plage a été impossible, étant donné les conditions climatiques et l'ancrage du pied de glace à cet endroit.

Finalement, l'évolution des segments à microfalaises soumises à l'érosion serait déterminée par les niveaux d'eau, les conditions hydroclimatiques (Quartel *et al.*, 2008), la disponibilité sédimentaire en bas de plage (*barres et sillons*) et les processus gravitaires (Bernatchez et Dubois, 2004).

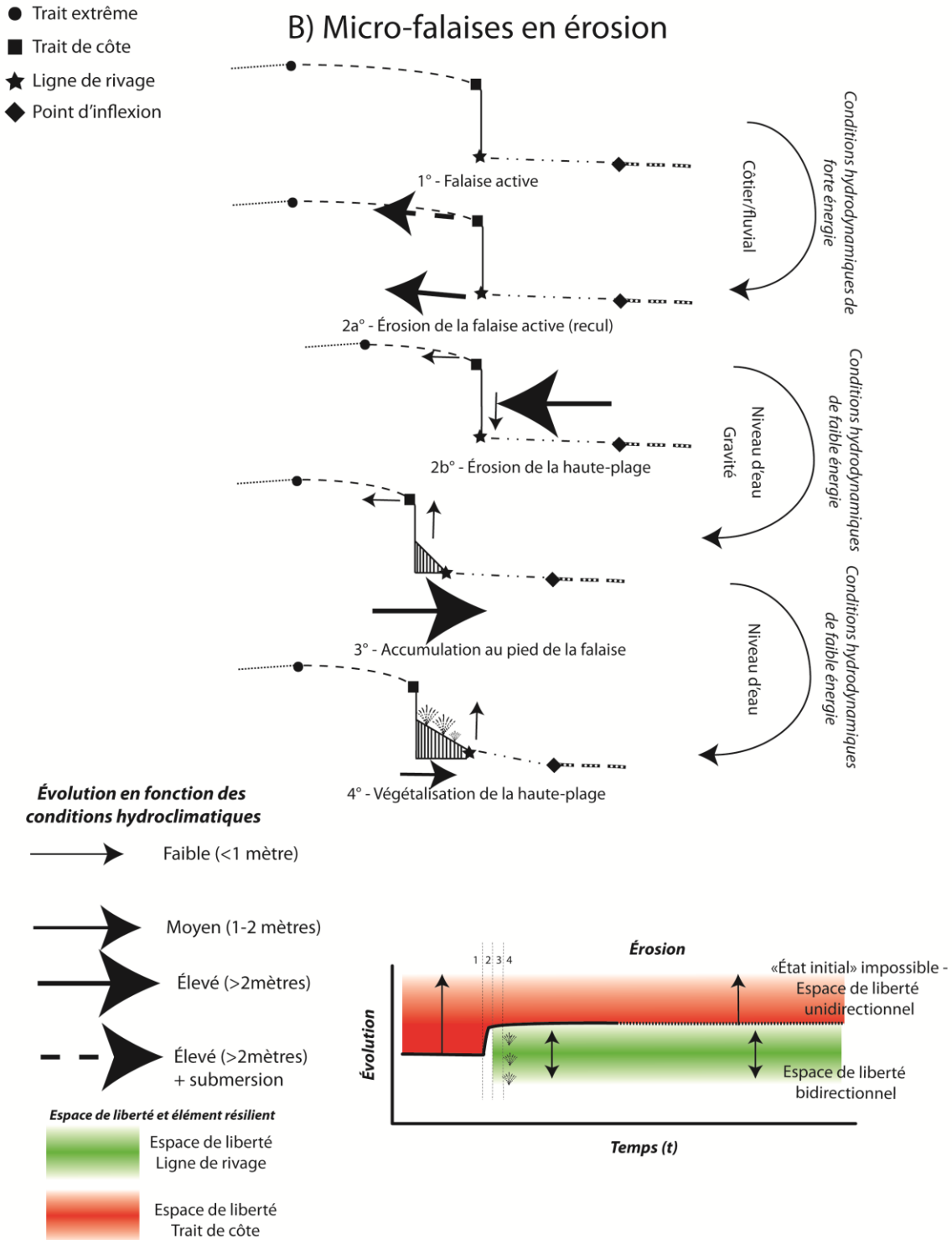


Figure 29. Haut : Relations dynamiques entre les profils de plage des segments de microfalaises en érosion. Bas : Schéma conceptuel de la résilience du trait de côte et de la ligne de rivage dans leur espace de liberté sur des segments en érosion (aléa continu). Il montre l'adaptation morphologique du segment côtier durant et après le passage d'un événement érosif (modifié de Charlton, 2008). (L'échelle n'est pas respectée)

6.1.2.1. Profil B : Microfalaise en érosion (Effet du profil E)

Les deux segments situés de part et d'autre de la structure de protection du segment S10 sont composés de microfalaises meubles en érosion (figure 29). L'analyse des résultats montre que les données maximales de recul associées au processus d'érosion ont été enregistrées dans ces segments.

Les périodes d'accumulation sédimentaires n'ont jamais dépassé un intervalle de mesure et les volumes accumulés en haut de plage ne sont jamais fixés par la végétation (figure 29, 4°). Après de grandes fluctuations du stock sédimentaire entre mai et juillet, une diminution de la quantité de sédiments est notée en août. En juillet, période critique dans le processus de formation d'une haute-plage végétalisée, les volumes présents aux segments S09 et S11 ne représentent que 25-30% des volumes enregistrés sur les autres microfalaises en érosion (S14 à S17) (figure 29, 3°). La dissipation de l'énergie des vagues par le mur de protection vers la microfalaise adjacente et le fort hydrodynamisme qu'elle crée font migrer les sédiments vers le bas de la plage (Bernatchez *et al.*, 2008; Leclerc, 2010). L'absence de sédiments capables d'augmenter l'altitude de la haute-plage contribue à l'inondation plus fréquente du pied de la microfalaise, empêchant la croissance de la végétation et favorisant ainsi l'érosion du pied de la microfalaise. Les données moyennes d'évolution de la ligne de rivage montrent que, dans ces segments, elle ne se déplace que très peu (1,13 m/mois). L'écart-type montre toutefois une grande étendue des données (1,44). Les plus forts taux de recul et les plus faibles taux d'avancée sont enregistrés en août et en octobre, alors que les mois de juin et de juillet dénotent des avancées généralisées. Ainsi, les intervalles de plus faible hydrodynamisme occasionneraient un recul limité de la microfalaise près de la structure de protection. Les autres intervalles, de fort hydrodynamisme, favoriseraient la dissipation de l'énergie des vagues par l'enrochement vers les microfalaises (Bernatchez *et al.*, 2008). Les différences notées entre les taux d'évolution de S11 et S12 ainsi que S09 peuvent s'expliquer par leur position dans le sens de la dérive littorale. De plus forts taux de reculs sont enregistrés à S09, mais de plus importantes pertes de volumes sédimentaires le sont à S11 et S12. Ces deux segments recevraient davantage de sédiments grâce aux processus de diffraction en aval de la dérive littorale (Bernatchez *et al.*, 2008), sans toutefois être capable de les conserver. De plus, la hauteur de falaise peut expliquer une partie des différences observées. Les falaises du segment S11 sont plus hautes qu'à S09, ce qui peut favoriser l'action des processus gravitaires. La faible quantité de sédiments au segment S09 explique ses taux de recul élevés.

En conclusion, la structure de protection du segment S10 occasionnerait l'érosion accélérée des segments adjacents d'un ordre de grandeur équivalent à environ de 2 à 5 fois plus rapide que la moyenne d'évolution mensuelle des segments à microfalaises. Localement, ce phénomène est appelé *effet de bout* (Bernatchez *et al.*, 2008; Leclerc, 2010), mais l'abaissement du profil de plage au segment S13 et la submersion côtière qui s'en est suivie témoignent également de l'effet de la structure de protection sur les segments distaux.

6.1.3. Profil C : Basse falaise en érosion

Dans ces segments, le trait de côte et la ligne de rivage ne montrent que très peu de fluctuations. Chaque intervalle de mesure de la position du trait de côte montre des taux de reculs variant de 1 à 2 mètres par mois, parfois moins. Les déplacements de la ligne de rivage dans ce secteur fluctuent entre l'avancée et le recul. Nos observations ont permis de comprendre que l'érosion du trait de côte des basses falaises est contrôlée en partie par la gravité. Selon Bruun (1998), les effets des processus gravitaires sont l'érosion au sommet du talus et une accréation dans la partie inférieure. La falaise atteint alors une pente d'équilibre (Brunsden, 2001). Ce modèle a été noté dans ces segments, où des taux de recul du trait de côte coïncident avec une avancée importante de la ligne de rivage.

L'intervalle de juillet à août montre un recul du trait de côte et de la ligne de rivage de plus de 2 mètres, indiquant un épisode de forte énergie (figure 30, 2°). Les processus hydrodynamiques affectent l'ensemble de la basse falaise. Les volumes sédimentaires diminuent de 50% sur l'ensemble des segments. Ensuite, l'intervalle d'août à octobre est caractérisé par une stabilité du trait de côte et une avancée de la ligne de rivage de 1 à 2 mètres, accompagnées d'une augmentation importante des volumes, équivalente à celle calculée de mai à juillet (figure 30, 3c°). Cet épisode témoigne d'une reprise de l'action des processus gravitaires (Bruun, 1998).

Le talus d'éboulis de sable au pied de la basse falaise est complètement évacué en octobre, malgré la progradation de la ligne de rivage (figure 30, 3a°). Le reprofilage du talus côtier par les processus gravitaires a pour effet la progradation temporaire de la ligne de rivage par accumulation de sable au pied de la falaise, mais les courants fluviaux et tidaux contribuent à l'évacuation sédimentaire du bas des falaises vers l'ouest. La présence de débords organiques permet de confirmer le processus d'affouillement au pied de la falaise, ce qui rend la falaise verticale ou concave (figure 30, 3b°) et rend les processus gravitaires à nouveau actifs (figure 30, 3c°).

Deux conditions seraient alors propices au recul du trait de côte et de la ligne de rivage des basses falaises des segments S01 à S08 : 1) les processus d'érosion associés à des événements de forte énergie lors de haut niveau d'eau, où il peut parfois même y avoir submersion au sommet des falaises et 2) les processus gravitaires combinés aux courants fluviaux et tidaux qui érodent le sommet et la base des falaises. Dans le premier cas, la vitesse du processus est associée à l'énergie des vagues. Dans le second, elle est en lien avec les caractéristiques morphologiques et granulométriques de la falaise ainsi que la capacité et la compétence des courants. Par ailleurs, les courants ne sont pas les seuls responsables de l'évacuation sédimentaire. Les valeurs de recul élevées de près de 4 mètres dans les segments S04 et S06 montrent la contribution des transgressions et des lobes en arrière-plage à l'évacuation sédimentaire (section 6.1.4).

Les segments soumis à l'érosion, que ce soit par des agents ou des processus fluviaux, gravitaires, côtiers ou marins, possèdent différents degrés de vulnérabilité définis par l'expression de leur résilience. Les segments des profils B et C correspondent à cette situation. Le mouvement bidirectionnel de la ligne de rivage constitue l'élément essentiel de la résilience des segments en érosion. La formation d'une haute-plage végétalisée, une terrasse naturelle de basse altitude, est une mesure de protection naturelle contre l'érosion du trait de côte (Wright et Short, 1984 *in* Goodfellow et Stephenson, 2005).

La combinaison des agents marins et fluviaux dans la portion des basses falaises du secteur à l'étude contribuent à diminuer la résilience. Ces agents diminuent la capacité de colonisation par la végétation sur les sédiments accumulés au pied des falaises. Les conséquences morphologiques de cette sensibilité élevée sont un recul du trait de côte tout au long de l'année. De plus, lorsqu'un événement cause le recul du trait de côte, ce dernier ne peut retrouver sa position initiale. L'érosion peut ainsi être décrite comme un aléa de type continu puisque ses effets sur la zone côtière sont permanents (figure 29 et 30). Le déplacement du trait de côte dans son espace de liberté est unidirectionnel. En fonction de la force d'un aléa, la ligne de rivage atteint la même position planimétrique que le trait de côte, témoignant de la présence d'une falaise verticale (Baptista *et al.*, 2011). L'élément résilient de ces segments côtiers est la ligne de rivage qui contribue à la formation de la haute-plage. Les mois de juin et juillet sont critiques pour la progradation de la ligne de rivage à cause d'un hydrodynamisme de plus faible énergie. La protection qu'offre la haute-plage contribue à réduire l'espace de liberté nécessaire pour le déplacement du trait de côte en arrière-plage lors d'événements érosifs. Le temps de réponse de la ligne de rivage face à l'érosion est plus grand que la réponse du système à l'aléa. Les deux phases de résilience, 1) l'accumulation sédimentaire et 2) la végétalisation (ou stabilisation), nécessitent environ deux mois pour s'exprimer. Ainsi, la séquence d'événement de fort hydrodynamisme est déterminante dans l'évolution de la vulnérabilité des systèmes côtiers en érosion (Forbes *et al.*, 2004; Quartel *et al.*, 2008).

La vulnérabilité des segments en érosion dépend par conséquent de la capacité de la ligne de rivage de prograder suffisamment durant une phase de résilience pour diminuer la sensibilité du trait de côte à l'action des agents érosifs.

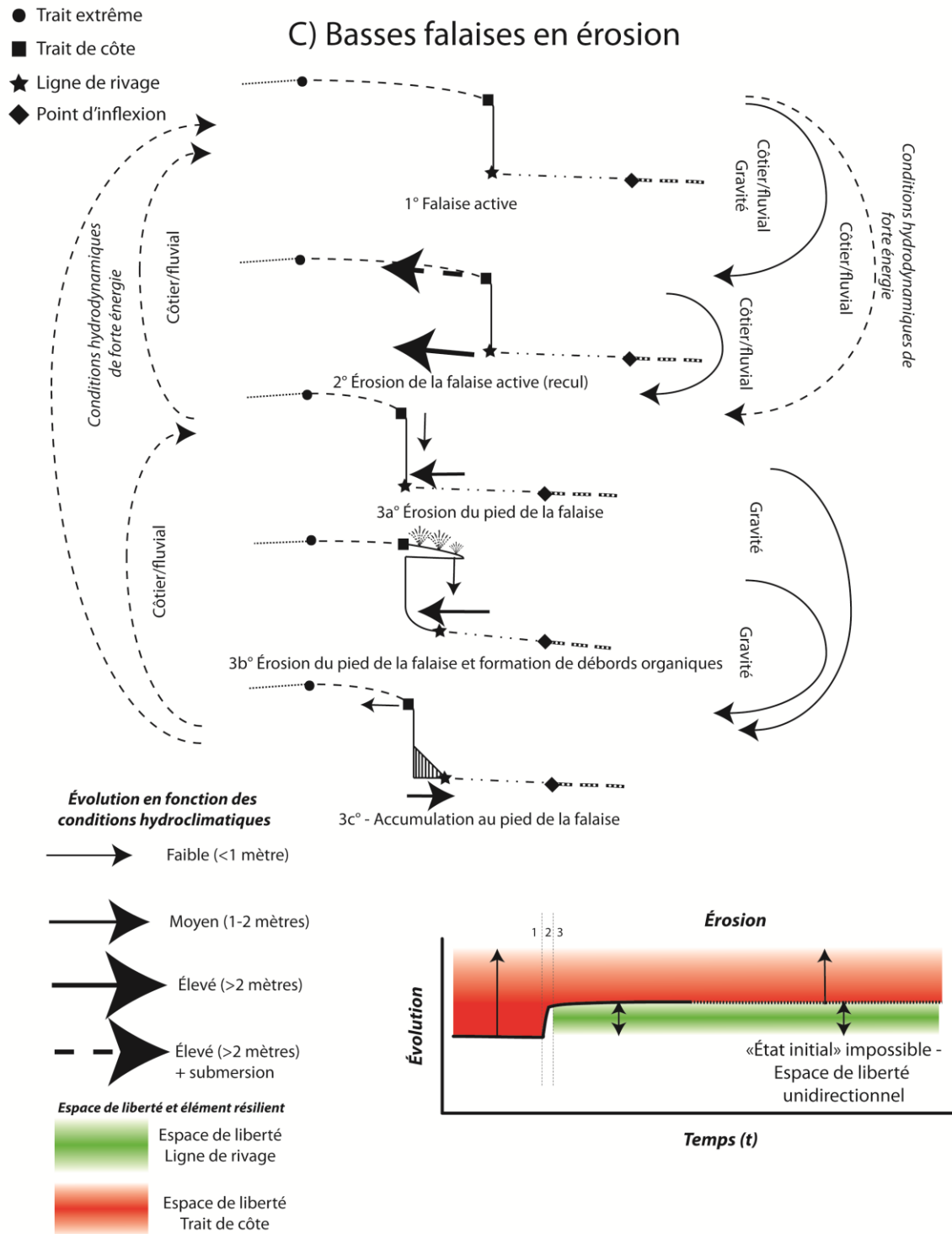


Figure 30. Haut : Relations dynamiques entre les profils de plage des segments de basses falaises en érosion. Bas : Schéma conceptuel de la résilience du trait de côte et de la ligne de rivage dans leur espace de liberté sur des segments en érosion (aléa continu). Il montre l'adaptation morphologique du segment côtier durant et après le passage d'un événement érosif (modifié de Charlton, 2008). (L'échelle n'est pas respectée)

6.1.4. Profil D : Submersion

Les résultats du suivi de l'altitude du trait de côte pour les secteurs B et C montrent que les segments S13 et S06 présentent des altitudes moyennes de 5,08 mètres et de 3,76 mètres en mai 2011. La faible altitude de cette portion de la zone côtière serait favorable à la formation de lobes et de cordons de sable transgressifs (Bernatchez et Dubois, 2004). Ces lobes sont mis en place lors d'événements de haut niveau d'eau accompagnés d'une forte énergie des vagues (Forbes *et al.*, 2004). C'est effectivement un événement de ce genre en décembre 2010 qui a édifié le premier complexe de lobes de transgression mesurés en mai 2011 (figure 31, 2°). Les niveaux d'eau ont atteint 5,54 mètres à la station de Pointe-au-Père (Lefavre, 2011). En ce qui concerne le segment S06, l'altitude initiale du trait de côte et la présence de lobes de transgression expliquent les hauts taux d'avancée entre mai et juin, comparativement aux autres segments de la portion fluviale du secteur d'étude (Baptista *et al.*, 2008; Baptista *et al.*, 2011).

Il en va de même pour le segment S13. Les taux d'avancée du trait de côte entre mai et juin de 32,29 mètres en moyenne, avec des maxima à près de 63,41 mètres, montrent une reprise de la position du trait de côte qui, en décembre 2010, a atteint le trait extrême (figure 31, 3°). Le même modèle d'évolution a été enregistré en août, où de hauts niveaux d'eau ont été enregistrés. Sans avoir les données réelles de la hauteur d'eau, il est possible, à l'aide du graphique d'altitude du trait de côte et des données d'évolution, de constater que le segment S13 a été submergé, ce qui n'a pas été le cas pour S06. Ainsi, le niveau d'eau se situait entre 4,31 et 5,58 mètres. Ce second épisode de transgression a entraîné un recul du trait de côte de près de $30,70 \pm 15,14$ mètres en moyenne, avec un taux de recul maximal de 64,20 mètres, atteignant à nouveau le trait extrême (figure 31, 2°). Les niveaux d'eau déterminent donc le déplacement du trait de côte sur l'arrière-plage des segments de faible altitude, soit vers la terre ou vers la mer.

Les taux de recul élevés du trait de côte lors d'événements de transgression sont également associés à une accumulation sédimentaire en arrière-plage. L'événement d'août a déplacé une quantité 4,5 fois plus importante de sédiments sur l'arrière-plage que celui de décembre 2010 (22,54 m³/m contre 5,73 m³/m). Il serait ainsi possible d'affirmer que la quantité de sédiments déplacés par les lobes de transgression dépend de la disponibilité sédimentaire sur la plage (Goodfellow et Stephenson, 2005). Effectivement, les sédiments transportés sur l'arrière-plage proviennent de la plage, comme le montre la taille granulométrique de sable moyen (- 1 ϕ) des sédiments sur la plage en juin et sur les lobes de transgression édifiés au mois d'août. Les taux de recul de la ligne de rivage en août de $-4,96 \pm 1,17$ mètres en moyenne avec un maximum de -7,98 mètres et la diminution des volumes sur le bas de la plage, principalement au profil P13c, coïncident avec les endroits où la transgression a été maximale.

La période comprise entre les deux épisodes de transgression montre que l'accumulation sédimentaire sur la plage est importante (figure 31, 3° et 4°). Des volumes de 5 à 11,25 fois plus élevés que le mois de juin sont mesurés en juillet. En décembre 2010, il est probable que les

volumes présents aient été similaires à ceux calculés en octobre 2011, soit près de 8% plus faibles qu'en juillet. Cette affirmation est valide dans la mesure où la présence du pied de glace sur le haut-estran y limite l'accumulation de sédiments durant l'hiver.

Le mouvement des sédiments lors d'épisodes de haut niveau d'eau s'effectue donc de manière perpendiculaire au trait de côte et comporte une évacuation sédimentaire vers l'arrière-plage (Catto, 2006; Forbes *et al.*, 2004). Les analyses granulométriques montrent que les sédiments des lobes de transgression sont composés de sable moyen, alors que la plage se compose de sable grossier (Catto, 2006).

Le modèle d'évolution annuelle, dans le cas de l'année 2011, est ainsi caractérisé par deux épisodes de transgression. Les mois où les niveaux d'eau étaient normaux (juin, juillet, octobre et décembre) sont caractérisés par une reprise d'un profil d'accumulation. Le temps de reprise d'un état « initial » serait donc plus élevé que le temps de réaction du système côtier à l'aléa. En effet, le recul du trait de côte lors d'un événement de submersion est beaucoup plus rapide que pour une distance équivalente en progradation. On note effectivement que l'intervalle suivant immédiatement la transgression est celui où l'évolution positive du trait de côte est la plus importante (figure 31, 3°). Le retour complet du trait de côte à sa position « initiale » se termine durant le second intervalle, où la reprise est beaucoup plus faible, de l'ordre de $8,3 \times 10^{-3}$ fois plus petite (figure 31, 4°). Toutefois, cette variabilité temporelle n'est pas représentative du modèle d'accumulation sédimentaire sur la plage. Le premier intervalle de reprise est caractérisé par une diminution importante des volumes sédimentaires. Durant la seconde phase, une forte accumulation en haut de plage est due à une migration de la ligne de rivage vers le bas de la plage, puisque les volumes y sont inversement proportionnels.

L'altitude du trait de côte est un élément majeur à considérer dans l'évolution de ce segment (Baptista *et al.*, 2008; Baptista *et al.*, 2011). En effet, lors d'une recharge en sable qui a eu lieu entre les mois d'août et octobre, il est possible de noter que l'altitude de 4,31 mètres du trait de côte a été portée à 7,07 mètres (figure 31). Cette mesure a limité la submersion marine potentielle du niveau d'eau de 4,80 mètres enregistré le 28 octobre 2011 (SHC, 2011).

Étant donné la grande mobilité du trait de côte sur les segments soumis à la submersion, il constitue l'élément résilient principal. Il est possible de constater que l'espace de liberté nécessaire à l'action de l'aléa est très grand, variant de quelques mètres à quelques dizaines de mètres lors d'un seul événement, et que le mouvement des limites de la zone côtière est bidirectionnel. Les modifications morphologiques causées par la submersion sont majoritairement un transit sédimentaire de la plage vers l'arrière-plage, formant des lobes de transgression qui contribuent à l'évacuation sédimentaire et à l'abaissement du profil de la plage (Bernatchez et Dubois, 2004; Forbes *et al.*, 2004). La formation de lobes en arrière-plage dépend directement des variations altitudinales du trait de côte (abaissement du profil, dévégétalisation, prélèvement anthropique, etc.).

Le retour à l'état « initial » est considéré par l'étude du temps de réponse et d'adaptation géomorphologique. Bien que le temps de réponse du trait de côte soit directement lié au retrait du niveau d'eau, une séquence d'événements de haut niveau d'eau peut empêcher la seconde phase de reprise et augmenter la sensibilité de la côte à la submersion par un abaissement progressif du profil de la plage (Forbes *et al.*, 2004). Selon les résultats de cette étude, les systèmes côtiers ont besoin d'un temps d'adaptation supérieur à deux mois. Pour que le système côtier conserve sa résilience naturelle à la submersion, il est nécessaire de favoriser le libre déplacement du trait de côte sur l'arrière-plage. Une accumulation suffisante en haute-plage pour combler la dépression altitudinale au trait de côte permettrait de diminuer la sensibilité du segment. L'étude à très haute résolution a permis de constater que la configuration des segments côtiers adjacents peut toutefois influencer l'hydrodynamisme localement et influencer l'expression de la résilience du trait de côte et de la ligne de rivage pour la formation de la haute-plage, rendant difficile la diminution de la sensibilité à l'aléa submersion.

Les segments de système côtier de basse altitude qui ont une grande sensibilité à l'aléa submersion sont soumis au modèle des aléas de type ponctuel (figure 31). Malgré la grande résilience du trait de côte, la sensibilité reste la même puisque l'altitude du trait de côte est inchangée. La vulnérabilité reste de moyenne à élevée. L'élévation du profil de la plage par l'augmentation et la rétention de sédiments est une avenue possible pour diminuer la vulnérabilité de ce secteur. Une augmentation de la submersion à cet endroit risque de mettre en péril l'équilibre écologique du marais de la Baie de Mille-Vaches si la fréquence d'inondation du schorre supérieur augmentait (Quintin, 2010).

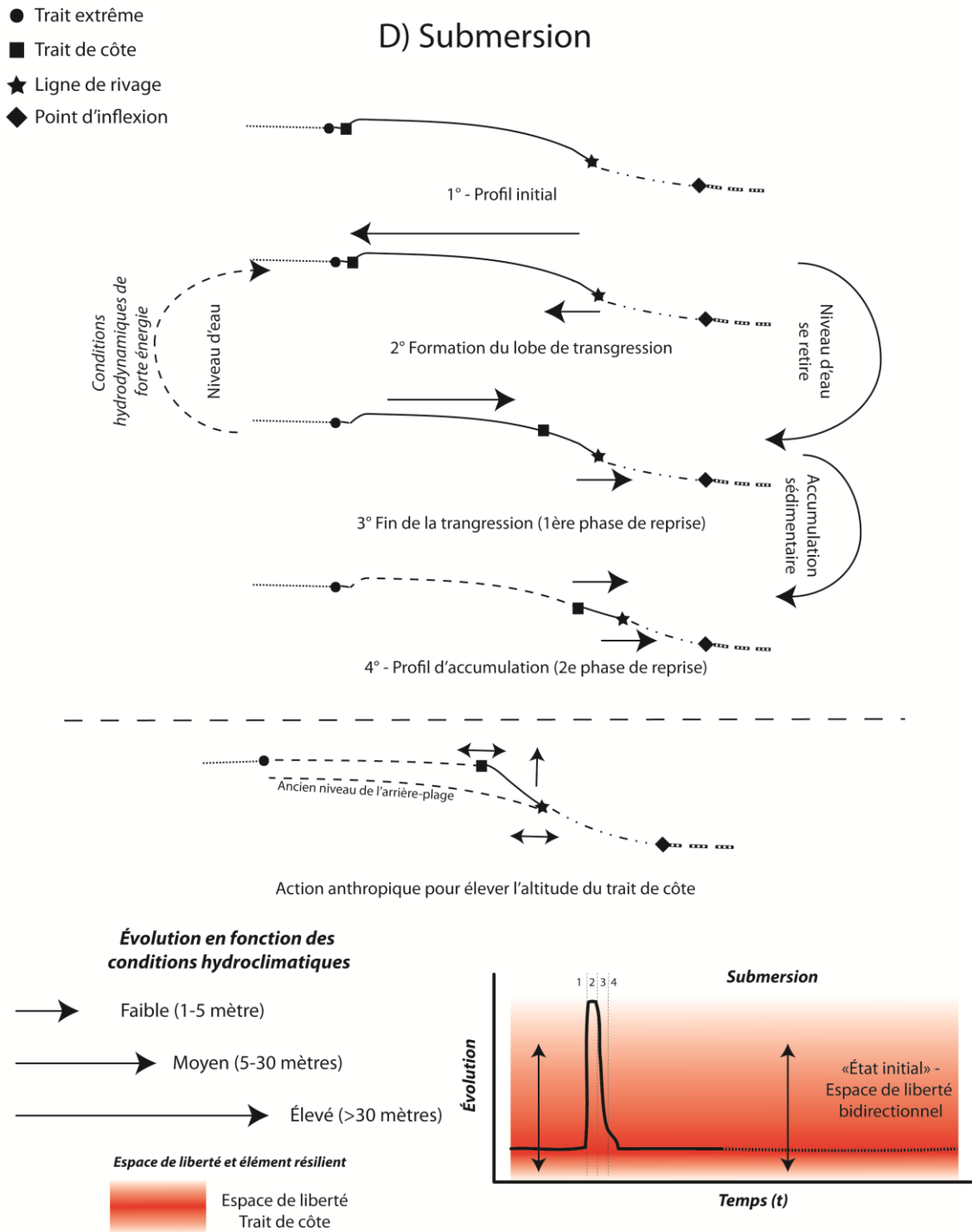


Figure 31. Haut : Relations dynamiques entre les profils de plage des segments soumis à la submersion. Bas : Schéma conceptuel de la résilience du trait de côte dans son espace de liberté sur des segments de basse altitude soumis à la submersion marine (aléa ponctuel). Il montre l'adaptation morphologique du segment côtier durant et après le passage d'un événement de haut niveau d'eau (modifié de Charlton, 2008). (L'échelle n'est pas respectée)

6.1.5. Profil E : Structure de protection

Les segments S10 et S19 sont caractérisés par la présence de structures de protection aménagées dans le but de limiter l'érosion du trait de côte. Or, les résultats montrent que les structures de protection possèdent une dynamique particulière. Pour présenter cette évolution, le segment S10 est utilisé comme référence puisque la structure du segment S19 a été modifiée durant la période d'échantillonnage.

Tout d'abord, les intervalles de mai à juin et de juillet à août montrent un recul d'environ 1 mètre du trait de côte (figure 32, 2°). Dans le premier cas, le recul de juin est accompagné d'une importante accumulation de sédiments au pied de l'enrochement. Cette accumulation n'est plus présente en juillet (figure 32, 3°). À ce moment, on note une perte de près de 98% de la charge sédimentaire, de 27,01m³/m à 0,47m³/m. L'érosion s'est réalisée de manière verticale puisque la position de la ligne de rivage reste la même (0,79 ± 0,70 m/mois). Ces résultats montrent que des conditions marines relativement calmes ont causé de l'affouillement au pied de l'enrochement, désormais inondé à chaque marée haute (Bernatchez et Dubois, 2004). La hausse de la fréquence d'attaque des vagues sur l'enrochement, la réflexion des vagues et l'énergie du courant de retour influencent la stabilité de l'enrochement et transportent les sédiments vers le large, ne permettant plus d'accumulation au pied de la structure (Leclerc, 2010). La variation de la taille granulométrique au pied de l'enrochement entre juin et octobre montre bien cette perte de haute-plage sableuse ($\approx 1,83\Phi$) au profit d'un cordon de sable grossier ($\approx 1,00\Phi$) qui témoigne de l'augmentation de l'énergie (Leclerc, 2010).

Lors de l'épisode de fort hydrodynamisme du mois d'août, un recul de près de 1,5 mètres au trait de côte a été noté (figure 32, 4°). Cet événement a eu des impacts sur la configuration morphologique de la structure de protection. Des chutes de blocs ont contribué à la diminution de la pente pour rendre la structure concave (figure 32, 5°). De nombreux blocs ont été prélevés de l'enrochement pour être déplacés à son pied, formant des trous d'affouillement de quelques décimètres à quelques mètres qui fragilisent la structure. Les mois subséquents ont eu comme effet d'altérer davantage la structure affaiblie en août. Des blocs éboulés ou écroulés ont alors été ensevelis sous le sable grossier (figure 32, 6°).

Les systèmes côtiers possèdent une capacité à adapter leur morphologie pour favoriser la dissipation de l'énergie d'un aléa, c'est la résistance structurelle (Brunsdén, 2001). À la lumière des résultats présentés dans ce rapport, la résistance structurelle s'apparente à la résilience naturelle des systèmes côtiers. Elle représente un moyen de minimiser l'énergie nécessaire au système pour résister ou s'adapter aux modifications potentielles d'un aléa. Les structures de protection diminuent la résilience naturelle des systèmes côtiers à falaises puisqu'ils empêchent la formation d'une haute-plage végétalisée, la formation de profils dissipatifs de l'énergie des vagues et l'échange de sédiments entre l'arrière-plage et la plage (Bernatchez et Dubois, 2004). Ainsi, ces infrastructures sont considérées comme des perturbations de type continu (figure 32) qui diminuent

l'espace de liberté de la ligne de rivage et du trait de côte tout en conservant le même potentiel d'érosion du trait de côte.

Les structures de protection sont ainsi soumises à l'érosion, à une échelle temporelle différente certes, mais dont la résilience naturelle est totalement perturbée, ce qui en augmente la vulnérabilité (Bernatchez *et al.*, 2008). En plus d'influencer leur propre niveau de vulnérabilité, les ouvrages littoraux rigides ont pour effet de créer des entraves à la libre circulation des sédiments qui peuvent limiter le transit sédimentaire et diminuer la résilience des segments situés de part et d'autre (Bernatchez *et al.*, 2008; Leclerc, 2010). Ce concept est appelé intermittence de transport (*transport lags*) par Brunnsden (2001).

6.1.6. *Marais maritime*

L'évolution du marais maritime de la Baie de Mille-Vaches a été effectuée à partir du suivi du point d'inflexion. La rivière à la Truite et la rivière aux Éperlans sont des éléments qui influencent l'état du marais. En effet, les segments MM02 et MM04 sont caractérisés par une moyenne d'évolution majoritairement négative, malgré un écart-type relativement grand. La dynamique fluviale de ces segments contribue à la formation des microfalaises d'érosion du schorre inférieur (Dionne et Bouchard, 2000). L'orientation du segment MM04 le rend plus sensible à l'hydrodynamisme marin durant la période interglaciale, ne bénéficiant plus de la protection de la Pointe à Émile (Dionne et Bouchard, 2000; Morissette, 2007). Le processus d'érosion décrit par Dionne et Bouchard (2000) consiste en une destruction de la végétation et une incision de la marge du schorre. Les microfalaises témoignent de l'érosion et contribuent au recul du schorre inférieur qui menace l'intégrité biophysique du schorre supérieur.

La dynamique des autres segments est principalement liée à l'évolution de la végétation. Très localisée, cette évolution peut être grandement positive à un endroit et négative à proximité. C'est ce qui peut expliquer la grande étendue et les grands écarts-types des données. Le segment MM01, qui possède le plus grand écart-type pour tous les intervalles de prises de données, est fortement influencé par la progradation de la Pointe à Émile vers l'ouest (Morissette, 2007) et de l'accumulation de sédiments en haut-estran sur le segment S24, principalement lors d'événements de surcotes (voir section 6.1.1). Cette accumulation influence la progradation de la végétation du marais à proximité de la pointe (Morissette, 2007), alors que la portion distale peut prograder rapidement, ce qui peut influencer l'étendue des données.

Il est finalement nécessaire de prendre en compte que l'évolution d'un marais maritime s'effectue davantage de manière verticale et à une échelle temporelle différente des côtes sableuses. Le suivi cinématique de l'érosion des marais maritimes à l'échelle mensuelle ne serait par conséquent pas très adapté. Des profils de plage à haute résolution spatiale auraient permis de mieux représenter leur évolution.

- Trait extrême
- Trait de côte
- ★ Ligne de rivage
- ◆ Point d'inflexion

E) Structures de protection

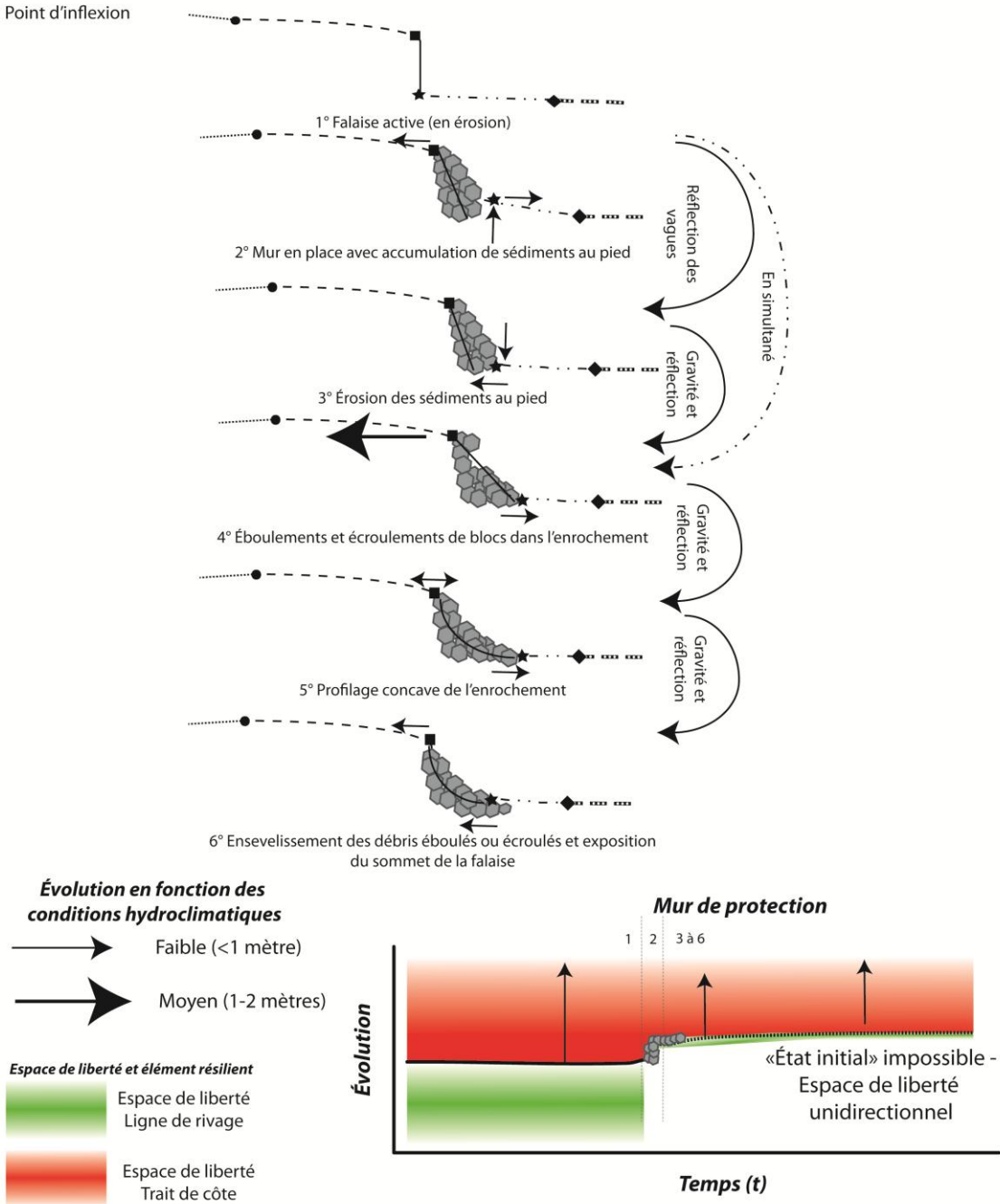


Figure 32. Haut : Relations dynamiques entre les profils de plage des segments de falaises côtières artificialisées. Bas : Schéma conceptuel de la résilience du trait de côte et de la ligne de rivage dans leur espace de liberté sur des segments artificialisés (aléa continu). Il montre la diminution de l'espace de liberté de la ligne de rivage suite à la construction de la structure (modifié de Charlton, 2008). (L'échelle n'est pas respectée)

6.2. Synthèse de l'évolution

L'état de la zone côtière telle qu'elle a été segmentée résulte de l'action d'agents et de processus marins, côtiers et terrestres. D'est en ouest, la dynamique est différente et l'étude de l'évolution mensuelle à très haute résolution a permis de discerner les zones de source sédimentaire (figures 29 et 30), les zones de transit et d'évacuation (figures 31 et 32) et les zones d'accumulation sédimentaires (figure 28) du secteur d'étude. Les relations dynamiques naturelles entre les segments côtiers de la Pointe à Émile selon leur position relative sont perturbées par une combinaison de processus anthropiques. Les zones naturelles de sources sédimentaires sont effectivement aménagées pour limiter l'érosion, mais cette mesure ne fait que déplacer la zone source de part et d'autre de la structure. La synthèse de l'évolution des profils dynamiques types présentés précédemment est complétée ici par l'analyse des facteurs naturels et humains qui expliquent leurs liens spatiaux.

Tout d'abord, l'influence fluviale et la hauteur des falaises qui favorisent les processus subaériens dans la portion des basses falaises sont responsables de l'érosion constante du pied des falaises et du trait de côte. Les faibles volumes sédimentaires et l'absence de zones d'accumulation témoignent du grand dynamisme et du transport constant effectué par les courants fluviaux et tidaux. Ce secteur représente une source sédimentaire pour la flèche littorale. La présence de la Pointe à Boisvert qui s'avance vers l'ouest en face du secteur des basses falaises constitue une autre source sédimentaire. Les sédiments la constituant proviendraient de l'érosion des régions de Forestville et du banc de Portneuf (Dionne *et al.*, 2004; Morissette, 2007).

À la sortie du ruisseau, les sédiments sont pris en charge par le courant de dérive littorale principal. Ils sont immédiatement confrontés à une zone artificialisée qui modifie le transit de trois façons. En premier lieu, l'empiètement anthropique sur la plage a comme effet de changer le profil naturel de la zone côtière au profit de profils réfléchifs (Bernatchez et Fraser, 2011; Bernatchez *et al.*, 2008). La construction d'enrochements empêche la formation de profils dissipatifs où la haute-plage correspond à l'adaptation de la morphologie d'un système côtier en prévision des effets d'aléas au trait de côte (Brunsdén, 2001). Ce type de profil artificiel réfléchif contribue à l'affouillement au pied de la structure, à l'évacuation sédimentaire vers le large par les courants de retour de vagues et au transport accéléré dans le sens de la dérive littorale (Bernatchez et Fraser, 2011; Bernatchez *et al.*, 2008). En plus, les enrochements ont tendance à bloquer le courant de dérive littorale (Archetti, 2009). En second lieu, cette évacuation sédimentaire rend difficile l'accumulation sur les segments situés en aval de la structure. À cet endroit, la diminution du stock sédimentaire sur la plage et l'activité anthropique qui s'y déroule ont comme effet de diminuer ponctuellement l'altitude du trait de côte et de sensibiliser ces profils aux processus de submersion. Un effet indirect de l'implantation de la structure de protection serait l'accélération de l'évacuation sédimentaire vers l'arrière-plage. La formation de lobes transgressifs à cet endroit étroit de la Pointe à Émile peut entraîner à long terme la formation d'une brèche vers le marais de la Baie de Mille-Vaches (Allard *et al.*, 2008). Finalement, la dissipation de l'énergie par

l'enrochement s'effectue de part et d'autre de la structure causant un effet de bout. Cette érosion accélérée à ces endroits représente le troisième type d'évacuation sédimentaire à proximité de l'enrochement.

La zone située à l'aval de l'enrochement, en plus d'avoir une dynamique influencée par l'action anthropique, se situe près du pédoncule de la flèche littorale de la Pointe à Émile, zone naturelle de prélèvement sédimentaire pour l'avancée de la flèche littorale (Bird, 2008). Il y aurait ainsi une explication anthropique et naturelle aux faibles volumes enregistrés annuellement dans cette zone. L'alternance entre les unités organiques et sableuses de la coupe stratigraphique effectuée au pédoncule de la flèche littorale montre au moins deux épisodes de transgression marine sur la Pointe à Émile.

Cette séquence chronostratigraphique de transgression a également mis en évidence qu'à l'endroit où les lobes de transgression recouvraient l'arrière-plage, d'anciennes transgressions marines ont eu lieu. Cette zone de perte de sédiments influence à son tour l'état des segments situés vers l'ouest. L'érosion de ces segments est le résultat d'une faible quantité de sédiments disponibles à la formation de la haute-plage et de l'effet de dissipation d'énergie de l'enrochement. Les sédiments nécessaires à la formation de la haute-plage sont alors prélevés sur le bas de la plage, entraînant une dynamique perpendiculaire au trait de côte. Les mois critiques pour l'accumulation de sable sur la haute-plage sont juin et juillet, ce dernier est particulièrement critique pour la végétalisation.

Finalement, l'extrémité ouest de la pointe est caractérisée par une accumulation importante de sédiments en haute-plage et en haut d'estran, représentative de la zone naturelle de déposition des flèches littorales, où se forment les crochets successifs. L'évolution actuelle de ces crochets est l'un des facteurs qui contribue à diminuer la superficie du marais de la Baie de Mille-Vaches, mais qui peut être également bénéfique dans la mesure où la recharge en sable constitue un support à l'établissement de la communauté végétale de schorre (Keddy, 2000 *in* Quintin, 2010; Morissette, 2007). Les courants de flot et de jusant contribuent au transport du sable dans la portion nord de la Pointe à Émile et dans le marais.

7. SYNTHÈSE DE LA VULNÉRABILITÉ À HAUTE RÉOLUTION

Considérant le rapport entre la sensibilité et la résilience des segments côtiers de la Pointe à Émile, il est possible de définir la vulnérabilité de chacun des segments côtiers et d'évaluer les tendances générales d'évolution de celle-ci (tableau 6).

Les segments présentant un profil d'accumulation (profil A) de l'extrémité ouest de la Pointe à Émile (S22 et S23) ont un niveau de résilience plus élevé que leur sensibilité aux deux aléas côtiers principaux : l'érosion et la submersion (figure 33). Cette résilience est attribuable aux

importantes accumulations sédimentaires et à la grande capacité de mouvement des éléments résilients, le trait de côte et la ligne de rivage, dans leur espace de liberté. Le niveau de vulnérabilité pourrait diminuer dans le temps si les éléments résilients continuent à réagir de la même façon aux aléas côtiers (encadré figure 33).

Les segments montrant des profils de type B et C sont principalement sensibles à l'érosion et dans une moindre mesure à la submersion. Sur la Pointe à Émile, ils représentent 18 des 23 segments, il s'agit des segments S01 à S08, S09, S11, S12, S14 à S18, S20 et S21 (figure 33). La vulnérabilité des profils B et C dépend de la capacité de la ligne de rivage de prograder suffisamment durant une phase de résilience pour diminuer la sensibilité du trait de côte. L'élément résilient principal, la progradation de la ligne de rivage, contribue également à l'alimentation sédimentaire des autres profils de ce système côtier. Cet apport sédimentaire devient donc un des éléments résilients pour tous les autres profils types à l'étude. La sensibilité à la submersion du profil B est plus élevée que celle du profil C à cause de la plus faible altitude du trait de côte qui le caractérise. Par conséquent, la vulnérabilité du profil B est élevée et celle du profil C est moyenne. Les segments dont le niveau de sensibilité est similaire à leur niveau de résilience (figure 33) possèdent une vulnérabilité qui aura tendance à être constante, cette situation s'applique à tous les segments de type B et C à l'exception des segments S11 et S12 puisque leur résilience est diminuée par la proximité d'un profil E. Ces deux derniers segments présentent donc une vulnérabilité élevée qui aura tendance à augmenter puisque leur résilience est plus faible que leur sensibilité à l'érosion et à la submersion (encadré figure 33). À long terme, les segments de basses falaises et de microfalaises verront leur vulnérabilité croître en fonction du tarissement du stock sédimentaire et/ou de l'aménagement du littoral. Dans ces cas, le libre déplacement de la ligne de rivage et la végétalisation de la haute-plage sont des éléments essentiels à la conservation de leur niveau de résilience.

Le segment S13 ayant un profil de submersion de type D (figure 33) est très sensible à la submersion même s'il présente une grande résilience. La résilience de ce segment s'explique par la grande mobilité du trait de côte dans un espace de liberté relativement grand. La vulnérabilité de ce segment est accentuée par la menace que représentent les processus de submersion côtière sur la conservation de l'intégrité biologique du marais maritime de la Baie de Mille-Vaches et par la faible altitude du trait de côte. La vulnérabilité de ce segment est donc très élevée et l'équilibre entre la sensibilité et la résilience de ce profil type indique une tendance à l'augmentation à long terme (encadré figure 33).

Le profil type E correspond aux segments artificialisés au moyen de structures de protection. Sur la Pointe à Émile, il s'agit des segments S10 et S19 (figure 33). Durant la période d'étude, la structure de protection de S19 a été modifiée, l'enrochement a été remplacé par des débris ligneux. La vulnérabilité du segment S19 ainsi que sa tendance d'évolution est similaire à celles du profil B. Dans le cas du segment S10, la résilience est très faible par rapport à sa sensibilité à l'érosion et à la submersion, la vulnérabilité est donc croissante (encadré figure 33). Comme l'a

montré ce rapport, les facteurs anthropiques favorisent la diminution de la capacité d'adaptation morphologique des segments côtiers après l'action d'un aléa, ce qui, à moyen et à long terme, augmenteront leur sensibilité ainsi que celle des segments à proximité. Le segment S10 en est un bon exemple. Celui-ci est situé dans une zone naturelle de prélèvement de sédiments et le déficit sédimentaire, causé par l'anthropisation du littoral, contribue à l'augmentation de sa vulnérabilité.

La sensibilité du marais maritime de la Baie de Mille-Vaches est directement reliée à l'évolution des profils types A et D. La vulnérabilité de S13, présentant le seul profil D du site d'étude, est très élevée et une tendance à l'augmentation est appréhendée alors que la vulnérabilité des segments associés au profil A est faible tend à rester stable. La sensibilité du marais maritime est donc très élevée, alors que sa résilience est pratiquement nulle puisqu'il est confiné entre la route 138, l'aboteau du chemin du Barrage et la flèche littorale de la Pointe à Émile ce qui limite sa migration vers l'intérieur des terres. La vulnérabilité du marais est ainsi très élevée et aura tendance à augmenter avec l'accroissement de la vulnérabilité du segment S13.

Tableau 6. Vulnérabilité et tendance d'évolution des segments côtiers de la Pointe à Émile

Segments	Profils types	Sensibilité	Résilience	Vulnérabilité	Tendance
S01 S02	Profil C	Moyenne	Faible	Faible	Stabilité
S03 S04 S05 S06 S07 S08	Profil C	Élevée	Moyenne	Moyenne	Stabilité
S09	Profil B	Élevée	Moyenne	Élevée	Stabilité
S10	Profil E	Élevée	Très faible	Élevée	Augmentation
S11 S12	Profil B	Élevée	Faible	Élevée	Augmentation
S13	Profil D	Élevée	Élevée	Élevée	Augmentation
S14 S15 S16 S17 S18 S20 S21	Profil B	Moyenne	Élevée	Élevée	Stabilité
S19	Profil E	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Stabilité
S22 S23	Profil A	Moyenne	Élevée	Faible	Diminution
MM01 à MM04	Marais	Élevée	Faible	Élevée	Augmentation

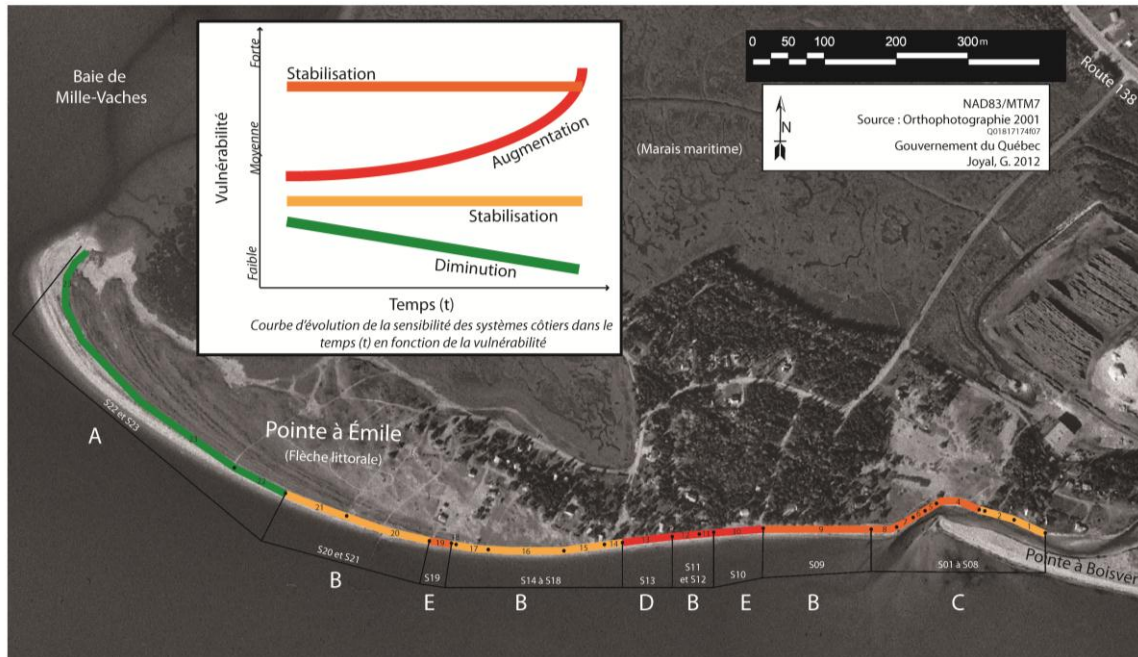


Figure 33. Vulnérabilité des segments côtiers du secteur sud de la pointe à Émile. Encadré : Tendances de l'évolution de la vulnérabilité côtière en fonction des profils types.

8. CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

Les observations géomorphologiques et la quantification de l'évolution côtière à très haute résolution à l'aide des méthodes utilisées dans le cadre de ce rapport de recherche ont montré que les segments de la zone côtière qui possèdent des caractéristiques intrinsèques similaires ont tendance à évoluer de la même manière. Cinq types de profils dynamiques ont été définis : profil A d'accumulation, profil B de microfalaises en érosion, profil C de basses falaises en érosion, profil D de submersion et profil E de structures de protection. Ces profils dynamiques ont permis de comprendre le rythme décennal, annuel et intra-annuel de la Pointe à Émile afin d'établir le transit et le budget sédimentaire de la flèche littorale en identifiant les sources potentielles de sédiments; profils C (S01 à S08) les zones d'érosion et de transit; profil B et E (S09 à S12 et S14 à S20), une zone de transgression; profil D (S13) et les zones de déposition et d'accumulation; profil A (S22 et S23). Historiquement, le budget sédimentaire de la flèche littorale était en équilibre, alors qu'au cours des deux dernières décennies une tendance généralisée à l'érosion est apparue. Cette tendance à l'érosion se traduit par un déficit sédimentaire au niveau du profil A expliquée en partie par l'apparition des profils E et D. L'artificialisation récente du littoral au cours de la dernière décennie concorde avec l'apparition du profil D. Les structures de protection seraient donc responsables de l'érosion accélérée des segments adjacents et de l'apparition d'un profil de submersion. La contribution des facteurs anthropiques à l'évolution de la flèche littorale est non négligeable puisque ceux-ci diminuent la capacité d'adaptation morphologique des segments face aux aléas côtiers, ce qui, à moyen et à long terme, peut créer des boucles de rétroactions qui augmenteront leur sensibilité. Parmi les agents et processus naturels qui régissent l'évolution de la

flèche, le niveau d'eau ponctuel conditionne l'expression des processus hydrodynamiques côtiers dans les différents segments de la zone côtière. L'identification et le suivi du trait extrême, du trait de côte et de la ligne de rivage a permis de quantifier l'effet des vagues, de la dérive littorale et des courants de marée sur l'évolution des profils types alors que le suivi de l'altitude de ces limites a permis de quantifier l'impact des processus gravitaires et des niveaux d'eau sur le modelé côtier. L'évolution des profils types repose donc sur l'équilibre entre l'expression des différents agents et processus autant naturels qu'anthropiques et la morphologie des segments côtiers.

L'intervalle temporel à très haute résolution a permis de définir un modèle d'évolution plus apte à expliquer les mécanismes de résilience des segments côtiers. La meilleure connaissance de la dynamique locale permet une meilleure analyse de la sensibilité et de la résilience de la zone côtière, éléments nécessaires à l'étude de la vulnérabilité côtière. Il est également nécessaire de considérer la magnitude, la fréquence et le temps de réaction des segments côtiers pour évaluer la réponse morphologique de la zone côtière. Cette information permet d'inclure les effets des événements ponctuels et continus sur la morphologie côtière. Le rôle de l'hydrodynamisme et des niveaux d'eau est de premier ordre sur la morphodynamique des segments côtiers. L'étude à très haute résolution confirme que la récurrence de hauts niveaux d'eau accompagnés d'un hydrodynamisme fort diminue la résilience de certains segments côtiers. La vulnérabilité peut ainsi augmenter lors d'événements extrêmes, mais également lors d'une série de petits événements rapprochés dans le temps (Forbes *et al.*, 2004). Dans le cadre de la présente étude, le seuil de vulnérabilité de la Pointe à Émile varie en fonction de l'action des aléas sur les segments côtiers, de leur résilience et de leur capacité à adapter leur morphologie pour diminuer leur sensibilité à long terme.

Dans le cadre d'études ayant trait à la gestion et la prévention des géorisques côtiers, il est nécessaire de représenter la dynamique côtière à haute résolution puisque l'acquisition de données sur la géomorphologie côtière est considérablement influencée par les intervalles d'échantillonnage. Les relevés d'évolution côtière à l'échelle annuelle ou bisannuelle pourraient mener à de mauvaises interprétations de la dynamique d'un secteur (Archetti, 2009). Ce niveau de détail est essentiel à la compréhension des mécanismes d'évolution et de résilience naturelle des systèmes côtiers et permet de cerner des actions intégrées qui en augmentent l'efficacité. L'étude de la vulnérabilité géomorphologique permet ainsi de mieux gérer et de prévenir les risques naturels, tout en préservant l'intégrité biologique et la géodiversité (Anfuso *et al.*, 2009).

Finalement, il n'existe aucun « état d'équilibre » de la zone côtière, si ce n'est que l'état où la zone côtière serait moins sensible à un aléa par une augmentation de sa résilience ou de sa résistance. Il serait alors plus pertinent de parler d'« état d'équilibre dynamique », où la sensibilité est égale ou inférieure à la résilience.

À la lumière des résultats présentés dans ce rapport de recherche, des recommandations afin de freiner l'augmentation de la vulnérabilité du marais de la Baie de Mille-Vaches sont présentés

(tableau 7). Ces recommandations s'appuient sur les données d'évolution historique et récente et sur la dynamique des profils types de la Pointe à Émile. La sensibilité du marais est étroitement liée à l'évolution de la flèche littorale, c'est pourquoi les interventions en zone côtière doivent être ciblées et doivent prendre en compte la dynamique hydrosédimentaire et géomorphologique des systèmes côtiers à l'étude.

Tableau 7. Recommandations et priorisation des segments côtiers de la Pointe à Émile

Priorité	Segments	Profils types	Recommandations
1a	S13	Profil D	<ul style="list-style-type: none"> - Favoriser le rehaussement du profil type en élevant le trait de côte. - Reprofiler le segment côtier. - Favoriser la rétention des sédiments en transit sur l'estran. - Favoriser le libre déplacement de la ligne de rivage. - Favoriser la rétention des sédiments sur l'arrière-plage. - Assurez un apport en sable moyen à grossier; sédiments de taille variant entre 0,25 à 2,00 mm.
1b	S11 et S12	Profil B	<ul style="list-style-type: none"> - Favoriser la rétention des sédiments en transit. - Assurez un apport en sable moyen à grossier; sédiments de taille variant entre 0,25 à 2,00 mm. - Favoriser le libre déplacement de la ligne de rivage.
1c	S10	Profil E	<ul style="list-style-type: none"> - Favoriser la rétention des sédiments en transit. - Assurez un apport en sable moyen à grossier au pied de la structure; sédiments de taille variant entre 0,25 à 2,00 mm. - Diminuer la réflectivité de la structure
2a	S01 à S08	Profil C	<ul style="list-style-type: none"> - Assurer un apport continu en sédiments en provenance de cette zone.
2b	S19	Profil B	<ul style="list-style-type: none"> - Favoriser la rétention des sédiments en transit. - Favoriser le libre déplacement de la ligne de rivage. - Assurez un apport en sable moyen à grossier; sédiments de taille variant entre 0,25 à 1,00 mm.
3	Tous	Tous	<ul style="list-style-type: none"> - Favoriser le libre déplacement de la ligne de rivage en respectant l'espace de liberté.
<p>Effectuer un suivi et une évaluation de la vulnérabilité à la suite de chaque intervention. Les suivis doivent être faits à deux périodes de l'année; au printemps dès le départ des glaces et à l'automne avant les tempêtes.</p>			

9. RÉFÉRENCES

Allard, J., Bertin, X., Chaumillon, E. et Pouget, F. 2008. Sand spit rhythmic development : A potential record of wave climate variations? Arçay spit, western coast of France. *Marine Geology*, 253 : 107-131 .

Anfuso, G., Angel, J. et Del Pozo, M. 2009. Assessment of Coastal Vulnerability Through the Use of GIS Tools in South Sicily (Italy). *Environmental Management*, 43 : 533-545.

Archetti, R. 2009. Quantifying the Evolution of a Beach Protected by Low Crested Structures Using Video Monitoring. *Journal of Coastal Research*, 25(4) : 881-899.

Balaguer, P., Sarda, R., Ruiz, M., Diedrich, A., Vizoso, G. et Tintoré, J. 2008. A proposal for boundary delimitation for integrated coastal zone management initiatives. *Ocean & Coastal Management*, 51 : 806-814.

Baptista, P., Bastos, L., Bernardes, C., Cunha, T. et Dias, J. 2008. Monitoring Sandy shores Morphologies by DGPS – A Practical Tool to Generate Digital Elevation Models. *Journal of Coastal Research*, 24(6) : 1516-1528.

Baptista, P., Cunha, T., Bernardes, C., Gama, C., Ferreira, O. et Dias, A. 2011. A Precise and Efficient Methodology to Analyse the Shoreline Displacement Rate. *Journal of Coastal Research*, 27(2) : 223-232.

Bernatchez, P., 2006a. Bilan de l'érosion côtière sur la Côte-Nord (2000-2005), Québec, Rapport de recherche remis au ministère des Affaires municipales et des régions du Québec, Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières, Module de géographie, Université du Québec à Rimouski, février 2006, 36 pages.

Bernatchez, P., 2006b. Implantation d'un réseau de suivi de l'érosion côtière et bilan de l'érosion pour le Bas-Saint-Laurent, la Gaspésie et les Îles-de-la-Madeleine, Québec, Rapport de recherche remis au ministère des Affaires municipales et des régions du Québec, Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières, Module de géographie, Université du Québec à Rimouski, février 2006, 65 pages.

Bernatchez, P. 2004. Impacts et causes de l'érosion côtière au Québec maritime. Résumés : 1er symposium Ouranos sur les changements climatiques (Montréal, 9 et 10 juin 2004).

Bernatchez, P., 2003. Évolution littorale holocène et actuelle des complexes deltaïques de Betsiamites et de Manicouagan-Outardes : synthèse, processus, causes et perspectives, Thèse de doctorat, Université Laval, Québec, 460 pages.

Bernatchez, P. et Dubois, J.-M. 2004. Bilan des connaissances de la dynamique de l'érosion des côtes du Québec maritime laurentien. *Géographie physique et Quaternaire*, 58(1) : 45-71.

Bernatchez, P. et Fraser, C. 2011. Evolution of Coastal Defence Structures and Consequences for Beach Width Trends, Québec, Canada. *Journal of Coastal Research*, In Press.

Bernatchez, P., Fraser, C., Friesinger, S., Jolivet, Y., Dugas, S., Drejza, S. et Morissette, A. (2008) Sensibilité des côtes et vulnérabilité des communautés du golfe du Saint-Laurent aux impacts des changements climatiques. Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières, UQAR. Rapport de recherche remis au Consortium OURANOS et au FACC, 256 pages.

Bernatchez, P., Morissette, A., Corriveau, M., Friesinger, S. et Jolivet Y., 2006. Sensibilité des côtes du golfe du Saint-Laurent aux changements climatiques : scénarios préliminaires d'érosion côtière et projections futures. 2^e symposium scientifique Ouranos, 2 et 3 novembre 2006, Montréal.

Bird, E. 2008. Coastal Geomorphology – An introduction. 2nd Édition, John Wiley & Sons Ltd., 411 pages.

Blott, S. 2000. Gradstat, version 4.0 – A Grain Size Distribution and Statistics Package for the Analysis of Unconsolidated Sediments by Sieving or Laser Granulometer. Surface Processes and Modern Environments Research Group, Londres.

Boak, E.H. et Turner, I.L. 2005. Shoreline definition and Detection : A Review. *Journal of Coastal Research*, 21(4) : 688-703.

Boruff, B. J., Emrich, C. et Cutter, S. L. 2005. Erosion Hazard Vulnerability of US Coastal Counties. *Journal of Coastal Research*, 21(5) : 932-942.

Briard, M., 1980. L'évolution actuelle du littoral de la moyenne Côte-Nord de 1948-1976, Rapport de baccalauréat en géographie, Université de Sherbrooke, Sherbrooke, Québec, 36 pages.

Briggs, D. 1977. Sediments. Butterworths, Londres, 192 pages.

Brooks, N. 2003. Vulnerability, risk and adaptation : A conceptual Framework. Tyndall Centre for Climate Change Research. Working Paper 38, 20 pages.

Brunsdon, D. 2001. A critical assessment of the sensitivity concept in geomorphology. *Catena*, 42 : 99-123.

Bruun, P. 1998. The Bruun Rule of Erosion by Sea-Level Rise : A Discussion on Large-Scale Two- and Three-Dimensional Usages. *Journal of Coastal Research*, 4(4) : 627-648.

Catto, N. R. 2006. More than 16 Years, More than 16 Stressors : Evolution of a Reflective Gravel Beach, 1989-2005. *Géographie physique et Quaternaire*, 60(1) : 49-62.

Charlton, R. 2008. Fundamentals of Fluvial Geomorphology. Routledge, New York, 234 pages.

Crowell, M., Leatherman, S.P. and Buckley, M.K., 1993. Shoreline change rate analysis : Long term versus short term data. *Shore & Beach*, 61(2): 13-20.

Davidson-Arnott, R. 2010. Introduction to Coastal Processes and Geomorphology. Cambridge, New York, 442 pages.

Dionne, J.-C. 1973. La notion de pied de glace (Icefoot), en particulier dans l'estuaire du Saint-Laurent. *Cahiers de géographie du Québec*, 17(41) : 221-250.

Dionne, J.-C. et Bernatchez, P. 2000. Les erratiques de dolomie sur le rivage des Escoumins, côte nord de l'estuaire maritime du Saint-Laurent, Québec. *Atlantic Geology*, 36 : 243-255.

Dionne, J.-C. et Bouchard, M.-C. 2000. Nouvelles données sur l'érosion du schorre supérieur à Montmagny, moyen estuaire du Saint-Laurent. *Géographie physique et Quaternaire*, 54(2) : 219-230.

Dionne, J.-C., Dubois, J.-M. et Bernatchez, P. 2004. La terrasse Mitis à la Pointe de Mille-Vaches (Péninsule de Portneuf), rive nord de l'estuaire maritime du Saint-Laurent : Nature des dépôts et évolution du niveau marin relatif à l'holocène. *Géographie physique et Quaternaire*, 58(2-3) : 281-295.

Dubois, J.-M. M. 1979. Environnements quaternaires et évolution postglaciaire d'une zone côtière en émergence en bordure sud du Bouclier canadien : la moyenne côte du Saint-Laurent, Québec, Thèse de doctorat, Université d'Ottawa, Ottawa, 754 pages.

Dubois, J.-M.M., Bernatchez, P., Bouchard, J.-D., Daigneault, B., Cayer, D. et Dugas, S., 2005. Évaluation du risque d'érosion du littoral de la Côte-Nord du Saint-Laurent pour la période de 1996-2003, Conférence régionale des élus de la Côte-Nord, 291 pages, annexes.

Esteves, L. S., Williams, J. J. et Dillenburg, S. R. 2006. Seasonal and Interannual Influence on the Patterns of Shoreline Changes in Rio Grande Do Sul, Southern Brazil, *Journal of Coastal Research*, 22(5) : 1076-1093.

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

Fraser, C. et Bernatchez, P. (2006) Caractérisation et évaluation des risques d'érosion et de submersion côtière pour le secteur de la pointe Verte, Maria, Québec. Rapport de recherche remis au Ministère de la Sécurité publique du Québec. Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières, UQAR, 44 pages.

Goodfellow, B.W. et Stephenson, W.J. 2005. Beach morphodynamics in a strong-wind bay: a low-energy environment?. *Marine Geology*, 214 : 101-116.

Grenier, A., 1993. Évolution littorale récente et impact des structures artificielles aux Îles-de-la-Madeleine, golfe du Saint-Laurent, Québec. Mémoire de maîtrise, Université de Sherbrooke, Département de géographie et télédétection, Sherbrooke, Québec, 275 pages.

Grenier, A. et Dubois, J.-M.M., 1990. Évolution littorale récente par télédétection : Synthèse méthodologique. *Photo-interprétation*, 90(6): 3-16.

IPCC. 2007. Climate Change 2007 : impacts, adaptation and vulnerability. Summary for Policymakers. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva, 23 pages.

IPCC. 2001. Climate Change 2001 : impacts, adaptation and vulnerability. In : McCarthy J, Canziani O, Leary N, Dokken D, White K (eds) Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, World Meteorological Organisation and United Nations Environment Programme, Cambridge University Press, Cambridge, 1032 pages.

Joyal, G. 2012. Évolution et vulnérabilité côtière micro échelle de la Pointe à Émile – Baie de Mille-Vaches, Côte nord de l'estuaire maritime du Saint-Laurent, Québec. Mémoire de baccalauréat, Module de géographie, Université du Québec à Rimouski, 81 pages.

Joyal, G. et Morissette, A. (En préparation) Évolution et vulnérabilité côtière micro échelle. 80^e Congrès de l'ACFAS, 7 au 11 mai 2012, Montréal.

Klein, R.J.T et Nichols, R.J. 1999. Assessment of coastal vulnerability to climate change. *Ambio*, 28(2) : 182-187.

Klein, R.J.T, Smit, M.J., Goosen, H. et Hulsbergen, C.H. 1998. Resilience and vulnerability : Coastal Dynamics or Dutch Dykes?. *The Geographical Journal*, 164(3) : 259-268.

Komar, P. D. 1999. Coastal change – scales of processes and dimensions of problems. Proceedings of Coastal Sediments '99, New York : 1-17.

Lajoie, M., Baillargeon, S., Boyer-Villemare, U., Crousset, Y. 2007. L'érosion des berges au Québec maritime. Document d'information du Comité ZIP Côte-Nord du Golfe, 45 pages.

Lamontagne, Y. 1996. Étude de l'évolution littorale de l'estuaire maritime du Saint-Laurent. Application à la gestion des bancs coquilliers. Exemple de la Côte-Nord. Mémoire de maîtrise non publié, Département des sciences de l'environnement, Université du Québec à Montréal, 106 pages.

Leclerc, A.-M. 2010. Ouvrages de protection du littoral : Effets sur la morphologie des plages et sur les communautés benthiques intertidales, région de Saint-Siméon et de Bonaventure, Baie-des-Chaleurs (Québec, Canada). Mémoire de maîtrise, Université du Québec à Rimouski, 161 pages.

- Lefavre, D. 2011. Débordement et déferlement des eaux, Cas du 6 décembre 2010. *Infocéans*, 14(1) : 3.
- Lemieux, C. et Lalumière, R. 1995. Répartition de la zostère marine (*Zostera marina*) dans l'estuaire du fleuve Saint-Laurent et dans la Baie-des-Chaleurs (1994). Rapport présenté au Service canadien de la faune, Environnement Canada, préparé par le Groupe-Conseil Génivar, 58 pages.
- Lessard, G.L. et Dubois, J.-M.M., 1984. Évolution littorale multitemporelle d'une côte récemment déglacée du nord du golfe du Saint-Laurent. *Revue de géomorphologie dynamique*, 33(3): 81-96.
- Masselink, G. et Hughes, M.G. 2003. Introduction to Coastal Processes & Geomorphology. Arnold, Londres, 354 pages.
- Masselink, G. et Pattiaratchi, C.B. 2001. Seasonal changes in beach morphology along the sheltered coastline of Perth, Western Australia, *Marine Geology*, 172 : 243-263.
- Moore, L.J., 2000. Shoreline Mapping Techniques. *Journal of Coastal Research*, 16(1): 111-124.
- Morissette, A. 2007. Évolution côtière haute résolution de la région de Longue-Rive-Forestville, Côte Nord de l'estuaire maritime du Saint-Laurent, Québec. Mémoire de maîtrise, Océanographie, Université du Québec à Rimouski, Rimouski, 282 pages.
- Morissette, A. et Joyal, G. (En préparation) Méthode de suivi terrain à très haute résolution pour les risques côtiers. 80^e Congrès de l'ACFAS, 7 au 11 mai 2012, Montréal.
- Pêches et Océans Canada (MPO). 2011. Système d'information pour la gestion et l'habitat du poisson. Cartographie interactive. [En ligne], consultée le 30 juin 2011.
- Pendleton, E. A., Thieler, E. R. et Williams, S. J. 2010. Importance of Coastal Change Variable in Determining Vulnerability to Sea- and Lake-Level Change. *Journal of Coastal Research*, 26(1) : 176-183.
- Quartel, S., Kroon, A. et Ruessink, B.G. 2008. Seasonal accretion and erosion patterns of a microtidal sandy beach. *Marine Geology*, 250 : 19-33.
- Quintin, C. 2010. Effets des facteurs environnementaux dans l'évolution des marais intertidaux du barachois de la rivière Nouvelle, Baie des Chaleurs, Québec. Mémoire de maîtrise, Université du Québec à Rimouski, avril 2010, 113 pages.
- Ressources naturelles et Faune. 2006. Fiche signalétique d'un point géodésique : 97K0124. Direction de la référence géodésique, inspecté le 2006-08-14.

Savard, J.P., 1998. Avis scientifique sur la dynamique sédimentaire dans l'estuaire de la rivière Portneuf. Rapport d'étude préliminaire présenté à Hydro-Québec, InterRives, Baie-Comeau, 50 pages.

Savard, J.-P., Bernatchez, P., Morneau, F., Saucier, F., Gachon, P., Senneville, S., Fraser, C. et Jolivet, Y. 2008. Étude de la sensibilité des côtes et de la vulnérabilité des communautés du Golfe du Saint-Laurent aux impacts des changements climatiques : sommaire à l'usage des décideurs. Ouranos, 35 pages.

Senneville, S. et Saucier, F. 2007. Étude de la sensibilité de la glace de mer au réchauffement climatique dans le golfe et l'estuaire du Saint-Laurent. Rapport d'étude, Ouranos, Montréal, 30 pages.

Service hydrographique du Canada. 2011. Marées, courants et niveaux d'eau / Forestville, [En ligne], www.tides.qc.ca.

Shaw, J., Taylor, R. B., Solomon, S., Christian, H. A. et Forbes, D. L. 1998. Potential Impacts of Global Sea-Level Rise on Canadian Coasts. *The Canadian Geographer*, 42(4) : 365-379.

Udden, J. A. 1914. Mechanical composition of clastic sediments. *Bulletin of the Geological Society of America*, 25 : 655-744.

Wentworth, C. K. 1922. A scale of grade and class terms for clastic sediments. *Journal of Geology*, 30 : 377-392.

ANNEXE 1

Tableau 6. Données d'évolution du trait de côte, secteur sud entre mai et décembre 2011.

Segment (S) / intervalle		N	Minimum	Moyenne	Maximum	Écart-type
01	mai_décembre	84	-1,33	-,6237	,02	,34256
	mai_juin	84	-,08	-,0012	,00	,00869
	juin_juillet	84	-2,83	-1,4274	-,85	,35458
	juillet_août	84	-2,14	-1,7892	-1,17	,23950
	août_octobre	84	,92	1,1574	1,42	,12497
	octobre_décembre	84	-,46	,3194	2,18	,31681
	02	mai_décembre	37	-1,16	-,2249	,39
mai_juin		37	-,96	-,2680	,71	,42149
juin_juillet		37	-1,71	-,7188	,19	,52809
juillet_août		37	-2,23	-1,9282	-1,46	,19614
août_octobre		37	,00	1,1468	1,36	,24836
octobre_décembre		37	,03	,3251	,65	,13391
03		mai_décembre	11	-1,23	-,1082	,37
	mai_juin	11	-1,89	-,0320	,60	,83704
	juin_juillet	11	-2,27	-,8023	2,05	1,49963
	juillet_août	11	-2,40	-,3290	1,40	1,19189
	août_octobre	11	-,67	,6791	1,45	,74503
	octobre_décembre	11	-2,01	-,0564	1,32	,90380
	04	mai_décembre	243	-1,79	2,7378	11,82
mai_juin		243	-2,13	4,1496	17,25	5,55808

	juin_juillet	243	-1,67	2,1777	5,84	1,98437
	juillet_août	243	-7,77	-4,1601	-1,32	2,03208
	août_octobre	243	-2,73	,0475	1,47	1,33984
	octobre_décembre	243	-1,79	,4808	1,43	,33327
05	mai_décembre	36	,15	1,7281	4,67	1,44741
	mai_juin	36	-,38	1,4376	4,25	1,38584
	juin_juillet	36	-,33	,4025	1,68	,50645
	juillet_août	36	-2,66	-2,0929	-1,38	,31648
	août_octobre	36	,24	,7597	1,18	,25856
	octobre_décembre	36	,19	,4814	1,04	,24436
06	mai_décembre	188	-2,80	10,6519	23,59	6,92516
	mai_juin	188	-,90	10,5320	23,27	6,60073
	juin_juillet	188	-,67	,4189	1,58	,66845
	juillet_août	188	-2,30	-1,2382	-,38	,49459
	août_octobre	188	-,36	,3639	1,06	,38838
	octobre_décembre	188	-1,18	,2031	1,44	,46932
07	mai_décembre	24	-4,48	-3,2875	-1,98	,81130
	mai_juin	24	-2,22	-1,0227	,78	,88647
	juin_juillet	24	-,13	-,0152	,10	,08221
	juillet_août	24	-2,22	-1,9062	-1,37	,30054
	août_octobre	24	-,36	,1217	,36	,21408
	octobre_décembre	24	-1,34	-,6108	,23	,41100
08	mai_décembre	32	-4,38	-2,3988	-,58	1,29142

	mai_juin	32	-2,30	,0337	2,34	1,27377
	juin_juillet	32	-,23	,6084	3,66	,64350
	juillet_août	32	-3,04	-2,1248	-1,20	,52976
	août_octobre	32	-,84	-,4294	-,15	,16294
	octobre_décembre	32	-,38	,1047	,40	,19776
	mai_décembre	139	-2,25	,3363	7,10	2,07186
09	mai_juin	139	-2,88	-,3068	4,97	1,82478
	juin_juillet	139	-,55	,7742	6,47	,58272
	juillet_août	139	-5,24	-1,6185	-,06	,65833
	août_octobre	139	-1,10	,5317	3,77	,74525
	octobre_décembre	139	-,30	,4127	,93	,23236
	mai_décembre	67	-1,63	-,3188	4,55	1,32284
10	mai_juin	67	-2,84	-1,4711	3,56	1,54285
	juin_juillet	67	-,73	,9350	1,71	,46730
	juillet_août	67	-3,28	-2,0570	-1,21	,47027
	août_octobre	67	-,09	,9487	2,00	,44240
	octobre_décembre	67	-,61	,2782	1,44	,42839
	mai_décembre	45	-1,50	-,0380	1,58	,68043
11	mai_juin	45	-1,38	-,1012	1,11	,72015
	juin_juillet	45	-1,27	,8928	2,37	,98964
	juillet_août	45	-4,95	-2,6760	3,07	2,15794
	août_octobre	45	-1,77	,8231	1,77	,86095
	octobre_décembre	45	-1,16	,2242	,74	,41284

12	mai_décembre	57	-,57	2,7323	6,33	1,74445
	mai_juin	57	-1,26	3,9183	8,25	2,04903
	juin_juillet	57	,82	1,1968	1,52	,18141
	juillet_août	57	-9,66	-6,0333	-3,26	1,99372
	août_octobre	57	,83	1,8461	3,53	,87109
	octobre_décembre	57	-,68	-,1646	,65	,38188
	mai_décembre	339	,72	31,4104	64,28	16,44369
13	mai_juin	339	1,88	32,2860	63,41	15,65843
	juin_juillet	339	-1,55	,2727	1,78	,71540
	juillet_août	339	-64,20	-30,7005	-1,37	15,13839
	août_octobre	339	,75	15,1007	32,28	7,79631
	octobre_décembre	339	-2,02	-,6154	,43	,68959
	mai_décembre	41	-1,64	-,7398	-,03	,45277
	14	mai_juin	41	-,12	,2206	1,09
juin_juillet		41	-,66	-,1476	,21	,18467
juillet_août		41	-2,12	-,5083	,32	,64427
août_octobre		41	-,44	-,1432	,66	,28331
octobre_décembre		41	-,63	-,0463	,23	,19163
mai_décembre		89	-1,87	-,2260	,67	,60649
15		mai_juin	89	-,65	,0665	1,24
	juin_juillet	89	-1,10	,0924	1,27	,56706
	juillet_août	89	-,62	,1451	,79	,36690
	août_octobre	89	-,52	-,2281	,24	,15825

	octobre_décembre	89	-,68	-,0545	,26	,21116
16	mai_décembre	159	-,86	,1869	2,80	,58775
	mai_juin	159	-,47	,8210	3,61	,71572
	juin_juillet	159	-1,10	-,4511	,28	,27982
	juillet_août	159	-1,74	-,1968	,52	,52838
	août_octobre	159	-,46	-,0405	,86	,31331
	octobre_décembre	159	-,40	,0951	,50	,16393
17	mai_décembre	56	-,18	2,6532	7,85	2,34317
	mai_juin	56	,99	3,3475	8,50	2,27792
	juin_juillet	56	-1,26	-1,0662	-,83	,10330
	juillet_août	56	-1,28	-,6751	-,39	,25206
	août_octobre	56	,21	,5159	,81	,16527
	octobre_décembre	56	-,44	-,0095	,22	,17204
18	mai_décembre	16	-,99	,4944	1,92	1,01694
	mai_juin	16	,09	,4439	1,03	,25544
	juin_juillet	16	-,92	-,1174	,52	,52810
	juillet_août	16	-2,06	-,7556	1,34	,73226
	août_octobre	16	-1,23	,0200	,60	,48104
	octobre_décembre	16	-,52	,8912	2,56	1,19051
19	mai_décembre	62	-,73	,6547	1,95	,59075
	mai_juin	62	-,10	,8108	1,15	,26076
	juin_juillet	62	-1,35	-1,0112	-,74	,15978
	juillet_août	62	-,85	-,4682	-,07	,15628

	août_octobre	62	-,13	,2700	,73	,21595
	octobre_décembre	62	-,16	,7774	1,44	,54372
20	mai_décembre	170	-1,11	,8360	2,90	1,00727
	mai_juin	170	,73	1,7361	3,93	,83878
	juin_juillet	170	-1,13	-,8249	,39	,23785
	juillet_août	170	-1,61	-,7924	,21	,38374
	août_octobre	170	-,72	,4315	,76	,18304
	octobre_décembre	170	-1,02	-,1184	,34	,26949
21	mai_décembre	162	,25	3,2127	5,48	1,04823
	mai_juin	162	,78	3,6611	6,56	1,08860
	juin_juillet	162	-1,75	-,8509	,64	,53374
	juillet_août	162	-2,57	-,7264	,04	,65201
	août_octobre	162	-,80	,6117	1,58	,34855
	octobre_décembre	162	-1,01	-,0981	,50	,31912
22	mai_décembre	133	3,47	6,2099	9,11	1,32128
	mai_juin	133	3,75	6,1709	9,16	1,25742
	juin_juillet	133	-1,49	-,6452	,71	,65083
	juillet_août	133	-2,15	-1,3212	-,62	,40862
	août_octobre	133	,08	,5989	,86	,15514
	octobre_décembre	133	-,73	,7984	1,72	,54803
23	mai_décembre	713	-16,05	7,6741	19,48	4,17761
	mai_juin	713	-1,09	6,2942	18,07	2,93193
	juin_juillet	713	-2,19	-,2642	1,41	,47059

	juillet_août	713	-7,94	-,9234	,51	1,26707
	août_octobre	713	-8,24	,9647	11,10	1,64132
	octobre_décembre	694	-29,89	,9761	19,17	2,89201
Total	mai_décembre	2904	-16,05	7,0512	64,28	11,46474
	mai_juin	2904	-2,88	7,0992	63,41	11,38836
	juin_juillet	2904	-2,83	,0382	6,47	1,15581
	juillet_août	2904	-64,20	-4,8544	3,07	10,83654
	août_octobre	2904	-8,24	2,2713	32,28	5,46979
	octobre_décembre	2885	-29,89	,3070	19,17	1,55668

ANNEXE 2

Tableau 7. Données d'évolution du trait de côte, secteur nord entre mai et décembre 2011.

Segment (S) / intervalle		N	Minimum	Moyenne	Maximum	Écart-type
24	mai_décembre	444	3,62	23,3581	64,47	18,91797
	mai_juin	444	6,32	31,1288	66,40	19,26062
	juin_juillet	444	-1,18	3,1330	14,57	4,21271
	juillet_août	444	-32,17	-8,9351	-1,63	8,61617
	août_octobre	444	-15,99	-4,0110	1,65	5,12352
	octobre_décembre	444	-2,56	2,0425	5,04	2,00540
	25	mai_décembre	189	4,78	17,5140	34,80
mai_juin		189	6,19	18,5775	33,07	8,38599
juin_juillet		189	-,37	,5005	2,48	,65619
juillet_août		189	-6,50	-3,2056	-1,50	1,41726
août_octobre		189	-2,14	-,5450	1,36	,84082
octobre_décembre		189	-1,03	2,1866	7,31	1,74584
26		mai_décembre	112	4,86	17,6065	28,62
	mai_juin	112	6,70	19,7532	29,73	6,62138
	juin_juillet	112	-,46	,5174	1,94	,83023
	juillet_août	112	-4,20	-3,0022	-1,72	,72656
	août_octobre	112	-2,94	,0092	3,54	1,45788
	octobre_décembre	112	-2,54	,3307	3,04	1,48923
	27	mai_décembre	4	7,00	7,5125	8,05
mai_juin		4	7,14	8,4500	9,30	,98272

	juin_juillet	4	-,28	,0775	,87	,54457
	juillet_août	4	-2,85	-2,0125	-1,23	,68714
	août_octobre	4	1,36	1,7700	2,39	,43992
	octobre_décembre	4	-1,35	-,7750	-,55	,38544
28	mai_décembre	874	,06	21,9897	64,27	15,36262
	mai_juin	874	,02	17,6470	53,59	12,72177
	juin_juillet	874	-,37	6,7077	37,46	7,62118
	juillet_août	874	-37,22	-4,6304	4,32	7,17645
	août_octobre	874	-7,38	-,4834	8,01	3,12355
	octobre_décembre	874	-4,79	2,7487	14,93	3,88814
	29	mai_décembre	50	-2,65	-,9344	2,64
mai_juin		50	,02	,9360	3,51	,74794
juin_juillet		50	-,57	,3204	1,63	,55447
juillet_août		50	-3,07	-,5864	,38	,80374
août_octobre		50	-,50	,7614	4,56	1,07743
octobre_décembre		50	-5,13	-2,3644	-1,11	,77595
30		mai_décembre	156	3,32	23,7812	43,09
	mai_juin	156	2,56	16,5472	38,28	11,32722
	juin_juillet	156	-,65	6,7011	18,18	6,49515
	juillet_août	156	-9,81	-4,0368	,52	2,84747
	août_octobre	156	-5,01	,5439	6,82	3,15550
	octobre_décembre	156	-4,41	4,0252	10,60	4,13292
	31	mai_décembre	97	1,13	6,4414	12,98

	mai_juin	163	,01	9,3626	36,87	10,92218
	juin_juillet	163	-,16	2,3085	6,38	1,15351
	juillet_août	163	-4,13	-,4659	2,59	1,24784
	août_octobre	97	-4,77	-,6564	3,09	1,72720
	octobre_décembre	97	-3,84	2,2212	7,31	2,27449
	mai_décembre	1933	-2,65	20,2742	64,47	15,38268
Total	mai_juin	1998	,00	19,5977	66,40	15,24733
	juin_juillet	1998	-1,18	4,4265	37,46	6,24913
	juillet_août	1998	-37,22	-4,8545	4,32	6,80548
	août_octobre	1932	-15,99	-1,1589	8,01	3,76282
	octobre_décembre	1933	-5,13	2,3185	14,93	3,31583

ANNEXE 3

Tableau 8. Données d'évolution de la ligne de rivage, secteur sud entre mai et décembre 2011.

Segment (S) / intervalle		N	Minimum	Moyenne	Maximum	Écart-type
01	mai_décembre	57	-1,54	,9928	3,08	1,34961
	mai_juin	57	-1,29	-,4101	1,37	,46122
	juin_juillet	57	-1,17	1,2983	4,66	1,44321
	juillet_août	57	-5,99	-2,1848	-,49	1,45080
	août_octobre	57	,67	1,3186	3,46	,52513
	octobre_décembre	57	-,56	,9709	2,92	1,03954
	02	mai_décembre	49	,02	,7853	3,40
mai_juin		49	-,80	-,1242	1,81	,42296
juin_juillet		49	-,09	,3367	,99	,26159
juillet_août		49	-1,59	-1,3347	-1,03	,13751
août_octobre		49	,66	1,1059	1,53	,18080
octobre_décembre		49	,19	,8004	1,39	,41370
03		mai_décembre	4	3,20	3,2450	3,28
	mai_juin	4	1,63	1,6570	1,69	,02671
	juin_juillet	4	,63	,6869	,77	,05967
	juillet_août	4	-1,85	-1,6250	-1,44	,19034
	août_octobre	4	1,55	1,6650	1,84	,13429
	octobre_décembre	4	,85	,8625	,88	,01258
	04	mai_décembre	127	-,53	,8671	2,96
mai_juin		127	-,76	,1018	1,58	,47511

	juin_juillet	127	-,72	,4911	1,07	,28722
	juillet_août	127	-2,45	-1,5726	-,51	,37547
	août_octobre	127	-,06	1,0177	1,97	,41737
	octobre_décembre	127	,38	,8287	1,22	,17849
05	mai_décembre	31	-,23	,3390	1,03	,32120
	mai_juin	31	-,50	,1740	,59	,26596
	juin_juillet	31	-,29	,4186	1,10	,28880
	juillet_août	31	-2,01	-1,6458	-1,22	,26603
	août_octobre	31	,15	,6271	,88	,16373
	octobre_décembre	31	,37	,7648	1,07	,14879
06	mai_décembre	128	-3,06	,9575	3,02	1,23999
	mai_juin	128	-4,52	-,5418	,89	1,25868
	juin_juillet	128	-,52	1,7409	3,61	1,17778
	juillet_août	128	-5,08	-2,8837	-1,05	1,48821
	août_octobre	128	-,53	,8737	2,58	,84293
	octobre_décembre	128	,51	1,7688	2,70	,66253
07	mai_décembre	45	-2,00	-1,1389	-,38	,47683
	mai_juin	45	-3,35	-2,2614	-1,26	,61297
	juin_juillet	45	1,68	2,4991	3,15	,31047
	juillet_août	45	-5,11	-4,4954	-3,62	,37442
	août_octobre	45	-,18	,3284	,66	,24402
	octobre_décembre	45	1,87	2,7909	3,41	,47835
08	mai_décembre	37	-,07	1,2108	2,56	,83558

	mai_juin	37	-2,14	-1,2491	1,60	,88049
	juin_juillet	37	,30	2,6471	3,81	,87851
	juillet_août	37	-5,50	-4,1503	,84	1,70948
	août_octobre	37	-4,22	,8454	2,03	1,72856
	octobre_décembre	37	2,70	3,1176	4,06	,38221
	mai_décembre	181	-5,06	1,9702	6,78	2,86930
09	mai_juin	181	-4,18	-,8092	3,78	1,40450
	juin_juillet	181	-3,56	2,1501	5,27	1,82340
	juillet_août	181	-3,00	-,8235	1,50	,93334
	août_octobre	181	-3,44	1,4756	5,76	1,36249
	octobre_décembre	181	-10,58	-,0223	2,67	2,17722
	mai_décembre	69	-2,54	-1,3372	1,73	,70173
10	mai_juin	69	-2,37	-,9439	1,16	,82840
	juin_juillet	69	-2,33	,7854	2,16	,70169
	juillet_août	69	-1,48	-,2672	1,62	,79215
	août_octobre	69	-,90	,5909	1,70	,58261
	octobre_décembre	69	-2,42	-1,5020	1,54	,58964
	mai_décembre	51	,01	6,8727	9,90	2,69674
11	mai_juin	51	-3,15	-1,1681	2,78	1,42090
	juin_juillet	51	-1,47	2,1946	4,66	1,54580
	juillet_août	51	-5,01	-1,7690	1,34	1,90213
	août_octobre	51	-4,03	3,5647	8,52	3,62556
	octobre_décembre	51	-,20	4,0510	11,07	2,42583

12	mai_décembre	48	5,71	8,1040	9,82	1,29103
	mai_juin	48	,02	,5631	1,45	,47734
	juin_juillet	48	1,55	1,8916	2,43	,18172
	juillet_août	48	-6,95	-5,6030	-3,26	1,19014
	août_octobre	48	5,58	6,9494	8,58	,90343
	octobre_décembre	48	3,64	4,3033	4,78	,23757
	mai_décembre	117	1,58	5,1803	8,43	1,53829
13	mai_juin	117	-2,09	1,3586	4,21	1,35618
	juin_juillet	117	1,30	2,3905	4,13	,70522
	juillet_août	117	-7,33	-4,9624	-2,59	1,16858
	août_octobre	117	1,42	3,1633	5,41	1,02589
	octobre_décembre	117	2,38	3,2296	4,61	,62312
	mai_décembre	26	3,97	5,6850	6,68	,71426
	14	mai_juin	26	2,03	3,3910	3,94
juin_juillet		26	1,41	2,0603	2,48	,26060
juillet_août		26	-7,98	-6,5956	-4,38	1,12407
août_octobre		26	2,56	4,6881	6,04	1,07322
octobre_décembre		26	1,61	2,1404	2,57	,32079
mai_décembre		34	2,99	5,0471	5,86	,71789
15		mai_juin	34	1,11	2,8438	3,39
	juin_juillet	34	1,53	2,0682	2,32	,24901
	juillet_août	34	-7,29	-6,1966	-4,60	,71591
	août_octobre	34	2,43	4,7685	5,84	1,01351

	octobre_décembre	34	1,08	1,5635	2,21	,23677
16	mai_décembre	115	3,66	5,4150	7,09	,85595
	mai_juin	115	1,42	3,3011	4,74	,86927
	juin_juillet	115	,83	1,6270	2,29	,33374
	juillet_août	115	-6,58	-3,0856	-,72	1,78358
	août_octobre	115	,99	2,7244	5,57	1,41909
	octobre_décembre	115	,52	,8482	1,43	,20193
	17	mai_décembre	38	4,69	7,2071	8,52
mai_juin		38	1,61	4,1309	5,50	1,10266
juin_juillet		38	1,18	1,6716	2,09	,26579
juillet_août		38	-7,35	-6,0048	-1,38	1,63547
août_octobre		38	1,53	6,0463	7,31	1,55494
octobre_décembre		38	1,10	1,3629	1,65	,14169
18		mai_décembre	13	2,55	6,8885	9,27
	mai_juin	13	,00	3,8161	6,08	2,06091
	juin_juillet	13	1,26	1,7413	2,05	,19673
	juillet_août	13	-7,06	-4,8362	-1,17	2,12718
	août_octobre	13	2,10	4,9546	6,68	1,79528
	octobre_décembre	13	,36	1,2115	1,76	,41809
	19	mai_décembre	40	,48	1,6940	5,19
mai_juin		40	-1,06	,0970	3,21	1,10343
juin_juillet		40	-,18	,6179	1,65	,38468
juillet_août		40	-3,84	-1,0023	,13	,96549

	août_octobre	40	1,94	3,7158	5,78	1,03107
	octobre_décembre	40	-2,61	-1,7342	-,30	,59553
20	mai_décembre	143	2,79	4,7210	7,31	,84428
	mai_juin	143	,86	2,2716	4,47	,55076
	juin_juillet	143	,72	1,2639	1,76	,27955
	juillet_août	143	-3,81	-1,5212	-,37	,67966
	août_octobre	143	,08	1,1101	4,75	,74626
	octobre_décembre	143	,24	1,5971	2,23	,34588
21	mai_décembre	66	3,54	4,4256	5,54	,50250
	mai_juin	66	,15	1,5473	3,02	,57405
	juin_juillet	66	,84	1,5952	2,58	,35431
	juillet_août	66	-2,18	-1,5128	-1,00	,23824
	août_octobre	66	,66	1,1879	2,14	,35805
	octobre_décembre	66	1,02	1,6085	2,01	,21871
22	mai_décembre	51	3,84	4,7367	5,95	,61837
	mai_juin	51	,84	1,7445	3,20	,69244
	juin_juillet	51	1,31	1,7815	2,21	,15728
	juillet_août	51	-3,15	-1,9409	-1,19	,47117
	août_octobre	51	,57	1,2598	2,27	,47919
	octobre_décembre	51	1,56	1,8918	2,17	,16403
23	mai_décembre	303	2,70	9,6816	16,85	3,30174
	mai_juin	294	1,19	5,4070	9,89	1,90362
	juin_juillet	284	-,33	1,0171	3,80	,70278

	juillet_août	276	-9,15	-1,5436	2,26	1,21935
	août_octobre	283	-4,20	,9124	4,94	1,12001
	octobre_décembre	283	,06	3,3333	6,67	1,35760
Total	mai_décembre	1795	-5,06	4,1617	16,85	3,88622
	mai_juin	1764	-4,52	1,4589	9,89	2,58814
	juin_juillet	1754	-3,56	1,4910	5,27	1,07989
	juillet_août	1746	-9,15	-2,3998	2,26	1,97464
	août_octobre	1775	-4,22	1,8229	8,58	1,91033
	octobre_décembre	1775	-10,58	1,6657	11,07	1,80333

ANNEXE 4

Tableau 9. Données d'évolution de la ligne de rivage, secteur nord entre juin et octobre 2011.

Segment (S) / intervalle		N	Minimum	Moyenne	Maximum	Écart-type
24	juin_octobre	153	-1,61	,8757	10,57	2,64183
	juin_juillet	153	-1,26	2,9255	13,15	3,41993
	juillet_août	153	-13,66	-2,0233	1,85	3,47803
	août_octobre	153	-6,71	-,0258	5,42	2,22987
25	juin_octobre	109	-2,31	-,1627	2,01	,83088
	juin_juillet	109	-,47	1,2117	4,49	1,16140
	juillet_août	109	-1,98	-,6250	1,24	,80710
	août_octobre	109	-4,83	-,7497	1,28	1,24290
26	juin_octobre	46	-,77	-,0539	1,53	,46953
	juin_juillet	46	,27	,8102	2,02	,38173
	juillet_août	46	-1,94	-,5774	,05	,42860
	août_octobre	46	-1,11	-,2865	1,56	,53617
27	juin_octobre	11	1,68	2,3364	2,84	,31620
	juin_juillet	11	1,37	1,8300	2,72	,45115
	juillet_août	11	-2,33	-1,4600	-,63	,55866
	août_octobre	11	1,03	1,9655	2,95	,77046
28	juin_octobre	327	-7,31	1,0121	8,31	2,25905
	juin_juillet	327	-,60	5,4837	24,52	5,13717
	juillet_août	327	-8,93	-,4252	14,67	5,00350
	août_octobre	327	-20,74	-4,0465	1,68	5,90940

29	juin_octobre	46	-,65	,5683	2,24	,63041
	juin_juillet	46	3,01	4,3778	6,58	,99687
	juillet_août	46	-4,75	-3,8152	-2,80	,58272
	août_octobre	46	-1,24	,0041	,70	,39700
30	juin_octobre	109	-4,90	1,1953	8,88	2,43454
	juin_juillet	109	1,10	4,5489	13,65	2,99841
	juillet_août	109	-8,44	-2,9291	-,29	1,76264
	août_octobre	109	-5,87	-,4243	2,62	1,54456
31	juin_octobre	118	-2,54	,1820	2,33	,75100
	juin_juillet	118	1,71	6,2386	13,89	2,91838
	juillet_août	118	-9,21	-3,6083	3,46	1,93746
	août_octobre	118	-8,95	-2,4478	,72	2,62209
Total	juin_octobre	919	-7,31	,7055	10,57	2,02556
	juin_juillet	919	-1,26	4,2041	24,52	4,09631
	juillet_août	919	-13,66	-1,6103	14,67	3,67477
	août_octobre	919	-20,74	-1,8883	5,42	4,21465

ANNEXE 5

Tableau 10. Données d'évolution du point d'inflexion, marais maritime entre juin et octobre 2011.

Segment (MM) / intervalle		N	Minimum	Moyenne	Maximum	Écart-type
01	juin_octobre	976	-25,94	-,8577	16,35	5,29847
	juin_juillet	976	-23,23	-,4949	14,31	4,59602
	juillet_août	976	-14,59	-1,1867	2,39	2,53839
	août_octobre	931	-7,30	,6085	15,24	2,54852
02	juin_octobre	910	-8,51	-,9743	4,36	2,12510
	juin_juillet	910	-7,08	-,6460	3,80	1,42229
	juillet_août	910	-5,00	-,2112	3,66	1,03275
	août_octobre	910	-7,26	-,1151	4,25	1,85039
03	juin_octobre	961	-5,85	-,4572	5,36	1,26919
	juin_juillet	961	-3,20	,3546	4,07	,84201
	juillet_août	961	-2,64	-,3601	6,69	,82094
	août_octobre	961	-5,93	-,4519	4,39	1,23702
04	juin_octobre	1012	-10,25	-,3907	7,95	1,96445
	juin_juillet	1012	-6,67	,7705	6,72	1,19380
	juillet_août	1012	-3,65	-,6617	11,33	1,11502
	août_octobre	1012	-10,26	-,4805	7,31	1,78644
Total	juin_octobre	3862	-25,94	-,6625	16,35	3,10263
	juin_juillet	3859	-23,23	,0128	14,31	2,59077
	juillet_août	3859	-14,59	-,6131	11,33	1,58464
	août_octobre	3817	-10,26	-,1202	15,24	1,95466

ANNEXE 6

Tableau 11. Données d'évolution du trait de côte par photointerprétation, entre 1931 et 2011.

Segment(S)/Intervalle		N	Minimum	Moyenne	Maximum	Ecart-type
1	2007-2011	84	-1,64	-1,3575	-,84	,15439
	2000-2007	84	,26	,5089	,80	,16070
	1996-2000	84	-3,85	-1,3864	-,15	1,21633
	1990-1996	84	-1,25	-,7713	,09	,40708
	1982-1990	84	-1,23	-,8645	-,71	,16853
	1978-1982	84	,70	1,0349	1,40	,18773
	1964-1978	84	-1,16	-,9708	-,82	,10379
	1950-1964	84	-2,06	-1,9620	-1,79	,07189
	1931-1950	84	,57	,5923	,67	,02791
	1931-2011	84	-,67	-,5580	-,45	,07210
2	2007-2011	37	-2,67	-2,0854	-1,34	,29315
	2000-2007	37	-,40	,1724	,40	,25174
	1996-2000	37	-5,94	-4,7343	-3,86	,67315
	1990-1996	37	,09	,7038	1,26	,35535
	1982-1990	37	-1,44	-1,3808	-1,14	,07847
	1978-1982	37	,24	,5165	,98	,20210
	1964-1978	37	-1,20	-1,0843	-,94	,08716
	1950-1964	37	-1,89	-1,7773	-1,67	,07777
	1931-1950	37	,48	,5219	,57	,02817
	1931-2011	37	-,88	-,7620	-,67	,05743
3	2007-2011	11	-3,02	-2,6245	-1,92	,37482
	2000-2007	11	-,56	-,5200	-,48	,02049
	1996-2000	11	-6,73	-6,3673	-5,98	,29038
	1990-1996	11	1,22	1,2355	1,25	,01368
	1982-1990	11	-1,42	-1,3791	-1,34	,03590
	1978-1982	11	,70	,8345	,93	,08501
	1964-1978	11	-1,18	-1,1373	-1,08	,03849
	1950-1964	11	-1,84	-1,8100	-1,79	,02191
	1931-1950	11	,45	,4618	,47	,00751
	1931-2011	11	-,92	-,9051	-,88	,01599
4	2007-2011	242	-5,70	-2,5990	-,61	1,44148
	2000-2007	242	-5,19	-3,1205	-,51	1,40238
	1996-2000	242	-8,25	-4,6303	,31	3,26582

	1990-1996	242	-,33	,7826	2,32	1,01446
	1982-1990	242	-1,85	-1,5308	-1,21	,17824
	1978-1982	242	,53	,8323	1,09	,11130
	1964-1978	242	-1,44	-1,2193	-1,04	,12724
	1950-1964	242	-1,87	-1,4591	-1,09	,25700
	1931-1950	242	,04	,2283	,45	,13324
	1931-2011	242	-1,30	-1,1019	-,86	,10704
5	2007-2011	35	-1,96	-1,5474	-1,14	,23774
	2000-2007	35	-5,31	-5,0951	-4,97	,11898
	1996-2000	35	-,04	,0774	,15	,06308
	1990-1996	35	-,33	-,2420	-,09	,07584
	1982-1990	35	-1,56	-1,4823	-1,43	,03388
	1978-1982	35	,52	,5786	,62	,03001
	1964-1978	35	-1,35	-1,3326	-1,31	,01221
	1950-1964	35	-1,08	-1,0106	-,95	,04531
	1931-1950	35	-,10	-,0314	,06	,05776
		1931-2011	35	-1,12	-1,0741	-1,04
6	2007-2011	187	-9,40	-5,2836	-1,05	2,32428
	2000-2007	187	-4,87	-2,6079	-,65	1,18851
	1996-2000	187	-,56	-,1773	,02	,15497
	1990-1996	187	-,56	-,3983	-,15	,14043
	1982-1990	187	-1,45	-,5209	,05	,46575
	1978-1982	187	-2,86	-1,4119	,54	,99567
	1964-1978	187	-1,32	-1,1627	-,95	,11985
	1950-1964	187	-1,04	-,9417	-,88	,03371
	1931-1950	187	-,37	-,2655	-,13	,08182
		1931-2011	187	-1,25	-1,0853	-,92
7	2007-2011	23	-5,43	-5,2152	-4,86	,16765
	2000-2007	23	-,57	-,0596	,41	,35230
	1996-2000	23	-,60	-,5739	-,48	,03144
	1990-1996	23	-,48	-,3939	-,26	,07512
	1982-1990	23	,02	,1157	,17	,04154
	1978-1982	23	-2,87	-2,8526	-2,83	,01959
	1964-1978	23	-,94	-,8735	-,77	,05605
	1950-1964	23	-1,37	-1,2200	-1,06	,11253
	1931-1950	23	-,35	-,2874	-,22	,04817
		1931-2011	23	-,93	-,8903	-,85
8	2007-2011	31	-5,68	-4,9906	-4,15	,49939

	2000-2007	31	,51	,8290	1,08	,15191
	1996-2000	31	-1,10	-,7377	-,45	,19966
	1990-1996	31	-,34	,0361	,17	,15705
	1982-1990	31	-,33	-,1671	-,04	,09249
	1978-1982	31	-3,53	-3,1481	-2,58	,33339
	1964-1978	31	-,74	-,7281	-,69	,01376
	1950-1964	31	-1,37	-1,2990	-1,24	,04467
	1931-1950	31	-,40	-,3313	-,24	,05353
	1931-2011	31	-,85	-,8188	-,79	,01951
9	2007-2011	138	-4,49	-2,7157	-1,36	,66021
	2000-2007	138	,19	,6608	1,18	,28713
	1996-2000	138	-3,63	-1,7823	-,92	,77655
	1990-1996	138	-1,13	-,5822	,04	,33105
	1982-1990	138	-,59	-,1413	,60	,31587
	1978-1982	138	-4,71	-3,3848	-1,94	,78584
	1964-1978	138	-,85	-,7289	-,60	,07981
	1950-1964	138	-1,35	-,9794	-,53	,28768
	1931-1950	138	-,60	-,4161	-,24	,11833
		1931-2011	138	-,91	-,7920	-,73
10	2007-2011	66	-2,45	-,9453	,04	,64047
	2000-2007	66	-,29	,3845	,57	,20508
	1996-2000	66	-2,29	-2,1417	-1,81	,11711
	1990-1996	66	-1,44	-,9194	-,43	,30765
	1982-1990	66	-1,34	-,5300	,62	,67324
	1978-1982	66	-5,02	-2,8118	-,76	1,64509
	1964-1978	66	-,81	-,6386	-,42	,12935
	1950-1964	66	-1,49	-1,2426	-,69	,25616
	1931-1950	66	-,49	-,1555	-,06	,13465
		1931-2011	66	-,84	-,7494	-,73
11	2007-2011	44	-4,06	-3,5880	-2,76	,30467
	2000-2007	44	-1,67	-1,1091	-,31	,41022
	1996-2000	44	-2,23	-2,1445	-2,06	,04791
	1990-1996	44	-1,39	-,7470	-,58	,16860
	1982-1990	44	-,96	-,7382	-,24	,18555
	1978-1982	44	-2,82	-2,3459	-1,86	,40801
	1964-1978	44	-,48	-,4175	-,35	,04794
	1950-1964	44	-1,49	-1,4645	-1,29	,03879
	1931-1950	44	-,13	-,0668	-,06	,01253

	1931-2011	44	-1,05	-,9765	-,86	,05407
12	2007-2011	56	-6,64	-5,3736	-3,72	,61108
	2000-2007	56	-1,67	-1,5648	-1,47	,05871
	1996-2000	56	-2,06	-1,7395	-1,55	,14684
	1990-1996	56	-1,80	-1,6845	-1,39	,12711
	1982-1990	56	-,47	-,3379	-,20	,09163
	1978-1982	56	-2,83	-2,5007	-1,93	,32167
	1964-1978	56	-,49	-,3980	-,33	,05231
	1950-1964	56	-1,29	-1,2677	-1,21	,02389
	1931-1950	56	-,15	-,0727	,04	,05916
	1931-2011	56	-1,13	-1,0865	-1,04	,02097
13	2007-2011	338	-20,13	-12,1109	-3,89	3,91454
	2000-2007	338	-1,66	-1,4383	-1,19	,15097
	1996-2000	338	-2,28	-1,9391	-1,26	,30454
	1990-1996	338	-1,88	-1,6664	-1,45	,13717
	1982-1990	338	-,89	-,5299	,08	,33958
	1978-1982	338	-2,63	-,9043	,90	1,40802
	1964-1978	338	-,52	-,3986	-,16	,11079
	1950-1964	338	-1,54	-1,3326	-1,11	,11870
	1931-1950	338	,04	,3091	,48	,13811
	1931-2011	338	-1,65	-1,2811	-,80	,19423
14	2007-2011	40	-3,82	-3,4465	-2,66	,35841
	2000-2007	40	-1,46	-1,3098	-1,19	,10103
	1996-2000	40	-2,29	-2,1260	-1,95	,11213
	1990-1996	40	-1,96	-1,8498	-1,80	,05240
	1982-1990	40	-,90	-,7490	-,52	,14038
	1978-1982	40	-,84	,2422	,90	,58867
	1964-1978	40	-,52	-,3785	,00	,17583
	1950-1964	40	-1,29	-1,0975	-,99	,08506
	1931-1950	40	,27	,3355	,45	,05344
	1931-2011	40	-,80	-,7734	-,73	,02233
15	2007-2011	88	-3,49	-3,0902	-2,63	,15838
	2000-2007	88	-1,79	-1,5151	-1,39	,13073
	1996-2000	88	-1,98	-1,5108	-1,03	,32096
	1990-1996	88	-2,20	-2,0966	-1,93	,08813
	1982-1990	88	-,51	-,3419	-,27	,07325
	1978-1982	88	-1,00	-,8578	-,77	,06959
	1964-1978	88	,06	,2182	,33	,06554

	1950-1964	88	-1,39	-1,2845	-1,12	,07998
	1931-1950	88	,17	,2881	,37	,05583
	1931-2011	88	-,78	-,7151	-,64	,03497
16	2007-2011	159	-3,07	-2,8891	-2,46	,14939
	2000-2007	159	-1,79	-1,5174	-1,28	,20773
	1996-2000	159	-1,90	-1,4281	-1,05	,25681
	1990-1996	159	-1,91	-1,4068	-1,07	,19441
	1982-1990	159	-,28	,1843	,56	,29168
	1978-1982	159	-,79	-,2748	,35	,31988
	1964-1978	159	,01	,2435	,53	,16130
	1950-1964	159	-1,23	-,9134	-,53	,26608
	1931-1950	159	,38	,4382	,50	,03605
		1931-2011	159	-,64	-,4627	-,30
17	2007-2011	55	-5,17	-3,6380	-2,73	,72759
	2000-2007	55	-1,31	-1,2018	-1,07	,09266
	1996-2000	55	-1,10	-,8562	-,66	,12622
	1990-1996	55	-1,04	-,7916	-,33	,23619
	1982-1990	55	,38	,5451	,64	,06968
	1978-1982	55	,10	,2336	,42	,09121
	1964-1978	55	-,09	-,0355	,06	,03726
	1950-1964	55	-,56	-,4247	-,36	,05106
	1931-1950	55	,51	,5916	,72	,07654
		1931-2011	55	-,30	-,2626	-,18
18	2007-2011	14	-3,81	-3,4543	-2,93	,30379
	2000-2007	14	-1,06	-1,0550	-1,05	,00519
	1996-2000	14	-,83	-,8221	-,82	,00426
	1990-1996	14	-,34	-,3093	-,30	,01141
	1982-1990	14	,37	,4229	,50	,04999
	1978-1982	14	,37	,4464	,51	,04749
	1964-1978	14	-,05	-,0250	,00	,01829
	1950-1964	14	-,43	-,4300	-,43	,00000
	1931-1950	14	,70	,7064	,72	,00842
		1931-2011	14	-,20	-,1768	-,14
19	2007-2011	62	-3,04	-2,7894	-2,43	,14374
	2000-2007	62	-1,04	-,8955	-,84	,06615
	1996-2000	62	-,85	-,6845	-,55	,09912
	1990-1996	62	-,61	-,4248	-,28	,09990
	1982-1990	62	,55	,6982	,76	,06147

	1978-1982	62	,29	,6984	1,08	,18906
	1964-1978	62	,02	,0592	,13	,02669
	1950-1964	62	-,55	-,4697	-,38	,03626
	1931-1950	62	,58	,6352	,70	,03745
	1931-2011	62	-,13	-,1001	-,07	,01485
20	2007-2011	169	-3,05	-2,3642	-1,74	,29858
	2000-2007	169	-,88	-,7193	-,35	,16994
	1996-2000	169	-,55	,0540	,68	,39858
	1990-1996	169	-,26	-,0718	,15	,11454
	1982-1990	169	,40	,6439	,84	,12201
	1978-1982	169	,83	1,3596	1,94	,36122
	1964-1978	169	-,13	,0489	,22	,09387
	1950-1964	169	-,50	-,3098	-,15	,09777
	1931-1950	169	,39	,5753	,71	,08461
	1931-2011	169	-,08	,0394	,16	,07049
21	2007-2011	161	-2,90	-2,4265	-1,98	,21709
	2000-2007	161	-,34	-,1148	,21	,14827
	1996-2000	161	,71	1,1298	1,46	,18772
	1990-1996	161	-,42	-,1688	-,02	,10189
	1982-1990	161	,64	,7191	,78	,03932
	1978-1982	161	1,14	1,4657	1,81	,16376
	1964-1978	161	,12	,2062	,40	,05883
	1950-1964	161	-,25	,0537	,29	,17689
	1931-1950	161	,47	,5103	,60	,03048
	1931-2011	161	,14	,2244	,31	,04879
22	2007-2011	132	-3,64	-2,9747	-2,35	,32437
	2000-2007	132	,23	,5463	,82	,18574
	1996-2000	132	1,32	1,7109	2,16	,18847
	1990-1996	132	-,26	-,0948	-,03	,06665
	1982-1990	132	,52	,7042	,88	,06066
	1978-1982	132	,55	,8452	1,36	,17865
	1964-1978	132	,30	,6629	1,09	,26720
	1950-1964	132	,20	,3007	,39	,04216
	1931-1950	132	,60	,6526	,69	,02188
	1931-2011	132	,30	,4138	,54	,06033
23	2007-2011	652	-4,66	-1,9461	3,26	1,40469
	2000-2007	590	,48	1,4001	3,67	1,02713
	1996-2000	590	1,90	3,2412	4,71	,95392

	1990-1996	583	-,28	,3028	1,96	,50243
	1982-1990	566	-,45	-,0682	,49	,21221
	1978-1982	518	1,01	2,0233	5,11	,83165
	1964-1978	444	1,10	2,7034	5,57	1,17294
	1950-1964	300	,13	,2977	,39	,05876
	1931-1950	300	,67	1,0072	1,75	,28542
	1931-2011	300	,47	,8043	1,27	,20774
Total	2007-2011	2846	-20,13	-3,8291	3,26	3,63279
	2000-2007	2784	-5,31	-,5980	3,67	1,69908
	1996-2000	2784	-8,25	-,3592	4,71	2,65936
	1990-1996	2777	-2,20	-,4285	2,32	,92814
	1982-1990	2760	-1,85	-,2242	,88	,69830
	1978-1982	2712	-5,02	,1056	5,11	1,78532
	1964-1978	2638	-1,44	,1211	5,57	1,36983
	1950-1964	2494	-2,06	-,7866	,39	,69971
	1931-1950	2494	-,60	,3406	1,75	,41834
	1931-2011	2494	-1,65	-,4754	1,27	,70521